

Algemeen

Kennisbank Bouwfysica

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

1 Inhoudsopgave modules

1.1 Algemeen

De informatie met betrekking tot installatieontwerp is ondergebracht in een modulereeks. Hierbij wordt de volgende verdeling van de kennis aangehouden (tabel 1). Op basis van deze verdeling is de plek en inhoud van de meeste modules terug te vinden. Er past een aantal modules niet in dit schema; die vallen onder Algemeen en Overig.

tabel 1. hoofdingeling installatiemodules

	1. Opwekking / Centrale installaties	2. Transport	3. Afgifte
A. Lucht	x	x	x
B. Verwarming	x	x	x
C. Koeling	x	x	x

Op verschillende niveaus kan naar de bovengenoemde onderwerpen worden gekeken:

- Beleving, fysiologie, comfort
- Wettelijke en praktische eisen, wensen en normen
- Hoe werkt het?
- Vuistregels
- Systeemkeuze
- Bouwfysische en energetische optimalisatie
- Globale en handberekeningen
- Nauwkeurige berekeningen en simulatie
- Naslagwerk

Hiernaast zijn er binnen de installatietechniek nog specifieke onderwerpen zoals sanitair, riolering en hemelwaterafvoer, waterleiding, brandveiligheid, elektrotechnische installaties, ICT, licht en liften die om een aparte bespreking vragen.

2. Nadere toelichting

Aan de hand van bovenstaand schema wordt aangegeven welke modules gereed zijn en gebruikt kunnen worden bij het ontwerpproces. Er wordt tevens een volgorde van benodigde kennis aangegeven die bij het ontwerpproces aangehouden zou kunnen worden; een en ander naar eigen inzicht te kiezen:

2.1. algemeen

Een algemene inleiding wordt gegeven in de volgende vijf modules:

1. *Inhoudsopgave klimaatinstallaties*
Dit is dit document.
2. *Inleiding installatiemodulen*
Beschrijving van de uitgangspunten van het installatieontwerp, het ontwerpproces en van de hoofdopzet van de modules.
3. *Ontwerpfilosofie*
Uitwerking van de aanpak van het ontwerpproces.
4. *Ontwerptraject*
Uitwerking van de stappen van het ontwerpproces.
5. *Eisen binnenklimaat (of Afgifte – lucht – aan het binnenklimaat te stellen eisen, 3.A.b)*
Beschrijving van de eisen die bekend moeten zijn bij ontwerp van een goed binnenklimaat.

2.2. lucht

Omdat luchtkanalen en het al dan niet toepassen daarvan veel invloed hebben op het ruimtelijk ontwerp wordt aangeraden om eerst hier inzicht in op te bouwen:

6. *Afgifte - lucht - systeemkeuze (3.A.e)*
Een overzicht wordt gegeven van ventilatiesystemen met bijbehorende verwarming-, koeling- en integratiemogelijkheden. Een eerste indruk van benodigde ruimte voor luchtkanalen wordt gegeven.
7. *Centrale installaties – lucht – vuistregels (1.A.d)*
Een belangrijke invloed op de grootte van de techniekruimte is de benodigde ruimte voor de al dan niet aanwezige luchtbehandelingskasten. Globale dimensionering is mogelijk op basis van genoemde vuistregels.
8. *Centrale installaties – lucht – systeemkeuze (1.A.e)*
Voor de plek en vorm van eventuele ruimte voor luchtbehandelingskasten is het belangrijk om te weten of er sprake is van warmteterugwinning of niet en welke vorm van warmteterugwinning wordt toegepast.
9. *Transport – lucht – vuistregels (2.A.d): Integratie aspecten*
Het effect van het transporteren van lucht via horizontale kanalen en verticale schachten wordt toegelicht. Het accent ligt hier op integratieaspecten in het gebouw.
10. *Transport – lucht – vuistregels (2.A.d): Dimensioneren luchtkanalen*
De overwegingen om te komen tot een juiste dimensionering van luchtkanalen wordt nader toegelicht.
11. *Afgifte – lucht – vuistregels (3.A.d)*
Voor een reeks van veel voorkomende situaties in het ruimtelijk ontwerp worden principeoplossingen beschreven.
12. *Afgifte - lucht – bouwfysische en energetische optimalisatie (3.A.f)*
De mogelijkheden van te openen ramen, klimaatgevels en tweede huidfaçades worden besproken en daarnaast worden enige opties om met duurzame energie om te gaan weergegeven.
13. *Centrale installaties – lucht – globale en handberekeningen*
Besproken wordt hoe de relatie is tussen relatieve luchtvochtigheid, dampspanning, absolute vochtigheid, temperatuur en enthalpie in het Mollierdiagram.

2.3. koeling

14. Afgifte – koeling – systeemkeuze (3.C.e)

Naast de vereiste hoeveelheid lucht is de koelvraag vaak bepalend voor de systeemkeuze van de installaties. Koelen met lucht en water is mogelijk. Op mogelijke oplossingen en randvoorwaarden wordt nader ingegaan.

15. Centrale installaties – koeling – vuistregels (1.C.d): Werkingsprincipes

Ingegaan wordt op de werking van koelmachines, de toepassing van grote of kleine koelmachines en droge of natte koelers.

16. Centrale installaties – koeling – vuistregels (1.C.d): Ruimtelijke integratie

De ruimtelijke gevolgen van de inpassing van koelinstallaties in een gebouw worden besproken.

17. Afgifte – koeling – globale en handberekeningen (3.C.g): Methode koelbehoefte berekening

Weergegeven wordt hoe een koellastberekening wordt opgezet.

18. Afgifte – koeling – globale en handberekeningen (3.C.g): Koelbehoefte kleine ruimten

Weergegeven wordt hoe een koellastberekening wordt opgezet voor kamerachtige ruimten en hoe dit uitwerkt in het totale ruimtelijk ontwerp.

19. Afgifte – koeling – globale en handberekeningen (3.C.g): Koelbehoefte grote ruimten

Weergegeven wordt hoe een koellastberekening wordt opgezet voor grote ruimten en hoe dit uitwerkt in het totale ruimtelijk ontwerp.

20. Afgifte – koeling – nauwkeurige berekeningen en simulatie (3.C.h)

Met het simulatieprogramma Orca kan sneller een gedetailleerd beeld van het binnenklimaat worden opgebouwd dan alleen met een handberekening mogelijk is. Een verbinding wordt gelegd tussen de resultaten van simulaties met handberekeningen.

21. Centrale installaties – koeling - bouwfysische en energetische optimalisatie (1.C.f)

Om lucht te bevochtigen, te ontvochtigen, te verwarmen of te koelen is energie nodig. Om deze hoeveelheid energie te beperken zijn er veel technieken voorhanden. Lucht koelen door droge lucht met water te besproeien (adiabatische koeling) is een optie.

2.4 verwarming

22. Afgifte – verwarming – systeemkeuze (3.B.e)

Gebouwen worden meestal vooral met water verwarmd en soms met lucht. Op de diverse systeemoplossingen wordt nader ingegaan.

23. Centrale installaties – verwarming – vuistregels (1.B.d): Warmteopwekking systemen

Mogelijkheden worden besproken om gebouwen met gasketels of op duurzame wijze met bij voorbeeld warmtepompen te verwarmen.

24. Centrale installaties – verwarming – vuistregels (1.B.d): Ruimtelijke integratie

De gevolgen op het ruimtelijk ontwerp van ketelhuizen en warmtedistributie worden weergegeven.

25. Transport – verwarming of koeling – vuistregels (2.B/C.d): Integratieaspecten

Watervoerende leidingen zijn aanzienlijk kleiner dan luchtkanalen. De wijze van mogelijke integratie in het gebouw en de manier om de grootte van de leidingen vast te kunnen stellen wordt besproken.

26. Transport – verwarming of koeling – vuistregels (2.B/C.d): Dimensionering leidingen

De manier om de grootte van de leidingen vast te kunnen stellen wordt besproken.

27. Afgifte – verwarming – globale en handberekeningen (3.B.g)

Met vijf voorbeelden wordt weergegeven hoe een warmtebehoefteberekening wordt opgezet en hoe dit uitwerkt in het totale ruimtelijk ontwerp.

2.5 overig

28. Riolering en hemelwaterafvoer – globale en handberekeningen

Riolering en hemelwaterafvoer hebben - naast lucht - vrij veel invloed op het ruimtelijk ontwerp. De belangrijkste ontwerpeisen worden besproken.

29. Liften – eisen

De eisen te stellen aan een liftontwerp voor een gebouw worden besproken. Een voorbeeld voor hoogbouw is weergegeven. Met de weergegeven vuistregels kan ook een goede indruk worden verkregen van het aantal en type benodigde liften.

30. Liften – bouwkundige aspecten

De consequenties van de liftkeuze voor het gebouwoffontwerp worden besproken.

31. Elektriciteit - vuistregels

Enkele hoofdlijnen van het ontwerp van elektrische installaties voor woningen en bedrijfsgebouwen worden besproken voor zover dit voor bouwkundige ontwerpers van belang is om te weten. Voorbeelden worden weergegeven van de indeling van een meterkast, van een trafostation en elektrische installaties in hoogbouw.

Algemene inleiding

Kennisbank Bouwfysica

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

1 Inleiding

Deze reader is primair samengesteld om te worden gebruikt bij het vak: “Klimaatinstallaties – integratie van gebouw en Installaties” (BK 4500), waarmee de reeks vakken verzorgd door de sectie Climate Design in de basis van de Bachelor opleiding aan de faculteit Bouwkunde wordt besloten. In feite is het een naslagwerk dat ook meegaat de Msc-fase in, om te worden gebruikt bij ontwerp oefeningen en afstudeerprojecten. Behalve bij de faculteit Bouwkunde wordt deze reader ook gebruikt op de faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen bij het vak Installaties (CT 5230).

De basis voor deze reader ligt in het dictaat “Klimaatinstallaties – integratie van gebouw en Installaties” opgesteld door ing. T.A.J. Schalkoort (research en tekst) en S. Borghouts, L. Diephuis en A. Jansen (lay out en illustraties) onder verantwoordelijkheid van prof. ir. P.G. Luscuere van de leerstoel Installaties.

Het dictaat is geactualiseerd en opgesplitst in een aantal zelfstandige modules die op verschillende plekken in het onderwijs en bij projecten kunnen worden ingezet. In deze reader zijn ze weer bij elkaar gebracht ten behoeve van het onderwijs in de genoemde twee vakken. De modules zullen worden daarnaast ingebracht in de Kennisbank Bouwfysica (www.kennisbankbouwfysica.nl) waarin docenten van universiteiten en hogescholen samenwerken in het bij elkaar brengen van leermateriaal voor Bouwfysica en Installaties; in de nieuwe opzet van het BSc-curriculum van de Delftse faculteit Bouwkunde samen genomen onder de naam “Klimaatontwerp”.

Met behulp van deze modules kunnen readers worden samengesteld voor verschillende vakken aan verschillende onderwijsinstellingen, omdat ze als zelfstandige stukken informatie kunnen worden gebruikt in een selectie zoals die door de betreffende docent wordt bepaald, passend in specifieke context. Daarnaast zijn de modules afzonderlijk beschikbaar via de website van de Kennisbank Bouwfysica en het Delftse Blackboard.

Deze modules zijn bewerkt, nieuwe teksten zijn geschreven en het geheel is geredigeerd door dr. ir. Peter van den Engel (docent) en Martine Verhoeven (student assistent), daarbij zijn ook bijdragen voor nieuwe gedeelten geschreven door ir. Leo de Ruijscher en ir. John van der Vliet (docenten). Doordat het materiaal nu modulair is opgezet, kan het op eenvoudige wijze worden geactualiseerd. Op de website van de Kennisbank Bouwfysica zullen steeds de nieuwste versies worden opgenomen.

Delft, januari 2008

ir. A.C. van der Linden

Technische Universiteit Delft
Faculteit Bouwkunde
Afdeling Bouwtechnologie
Sectie Climate Design

Ontwerpfilosofie

Kennisbank Bouwfysica

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

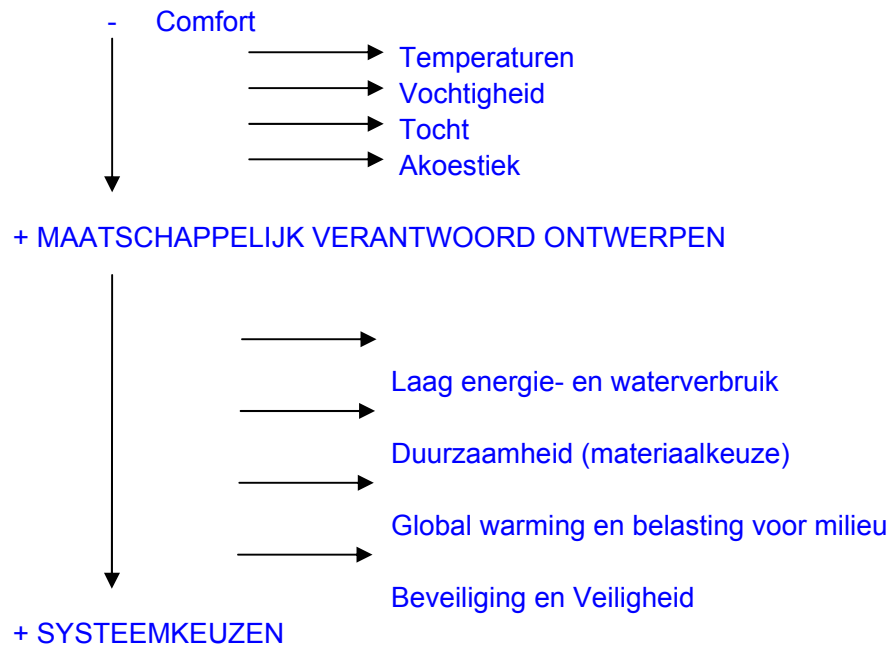
1 Inleiding

Het ontwerpen van een binnenklimaat staat niet op zichzelf. Het is een traject dat gekenmerkt wordt door het doen van juiste aannames van het gewenste comfortniveau, het maken van de juiste keuzes en veel overleg. De belangrijkste betrokken partijen hierbij zijn de opdrachtgever, de gebruiker, de architect, de constructeur, diverse autoriteiten, alsmede externe specialisten. Inbreng van allen maakt dat het een geïntegreerd ontwerp wordt. Van belang is dat men zich tijdens het ontwerpen moet realiseren dat een ontwerp veelal bestaat uit een compromis.

2 De ontwerpfilosofie

Om te zorgen voor een optimaal ontwerp waarin alle elementen een plaats krijgen, is het van belang de volgende stappen te volgen. Door deze stappen, tijdens het verkrijgen van een juiste ontwerpfilosofie, te bewandelen voorkomt men een verkeerde start. Hierdoor is de kans op een werkelijk geïntegreerd ontwerp het grootst.





3 De metafoor

Een geïntegreerd ontwerp heeft meestal plaats binnen een ontwerpteam. Naast de architect, nemen de constructeur, de installatieadviseur en de bouwfysicus een belangrijke plaats in. Tevens kan dit ontwerpteam worden aangestuurd door een gedelegeerd opdrachtgever, meestal in de vorm van een projectmanagementbureau. Inbreng van opdrachtgever en gebruiker zijn essentieel. Derden zoals nutsbedrijven, lokale overheden en overige adviseurs dienen tevens te worden geconsulteerd.

De metafoor van de architect dient als uitgangspunt voor de start van het geïntegreerd ontwerp. Om dit abstracte beeld te onderkennen worden enige voorbeelden gegeven.

Een ecologisch ontwerp - groene daken eventueel half onder de grond - verdient een groene aanpak. Als een installatieadviseur gebruik zou maken van oliegestookte ketels doet hij het niet goed. Bouwkundig gezien moet worden gedacht aan oplossingen zoals binnenmuren opgetrokken uit leem.

Een transparant glazen gebouw vraagt niet in de eerste plaats om betonkernactivering als klimaatconcept maar om wering van zonnewarmte op een manier die mogelijk het architectonisch concept verstevigt.

4 Functioneel Programma van Eisen

Nu we de Metafoor kennen, is het zaak om het functioneel Programma van Eisen op te stellen; beter nog: om dit vast te stellen. Als deze stap wordt overgeslagen, is de kans groot dat men tijdens het ontwerpproces het toekomstig gebruik uit het oog verliest. Door de eigen gedrevenheid en die van de overige ontwerppartners is de kans aanwezig om het groeiende ontwerp boven de functionaliteit uit te tillen. Tot op zekere hoogte is dit zelfs nodig om

vernieuwing een reële kans te geven; aan de andere kant is een zekere alertheid noodzakelijk. Om dit gedurende het ontwerptraject van Voorlopig ontwerp via Definitief ontwerp tot Bestekgereed te blijven toetsen, dient er na iedere ontwerpfasen een fasedocument te worden opgesteld. Hierin wordt onder andere aangegeven wat de afwijkingen zijn ten opzichte van de diverse Programma's van Eisen.

Naast de logistiek worden in dit programma de volgende zaken opgenomen: bezetting (vast aantal personen + bezoekers), single- of multi tenant, bedrijfstijden (avondgebruik), verhuur (onderbemetering), gebruik van de ruimten, etc..

Enige voorbeelden die misvattingen onderstrepen, zijn: een Atrium hoeft geen buitenruimte met een dak erop te zijn. Als er modeshows worden gelopen, is de temperatuur wel degelijk van belang. Als men in het koffiebarretje toch friet staat te bakken, is er behalve een temperatuurprobleem ook een geurprobleem. Als de gemeente de sporthal van een school wil verhuren aan de plaatselijke professionele badmintonvereniging kan het gebruik van grote hoeveelheden ventilatielucht van invloed zijn op het spel. Kortom, de metafoor dient te worden onderbouwd door een juist functioneel programma van eisen.

5 Technisch Programma van Eisen

Het technisch programma van eisen is opgedeeld in de twee hoofdzaken: Gezondheid en Comfort. Beide zaken hebben expliciet met de systeemkeuze van de installaties te maken en moeten zorgvuldig worden onderkend.

5.1 Gezondheid

Gezondheid heeft te maken met het soort voedsel dat we tot ons nemen voor wat betreft kwaliteit en kwantiteit. Dit geldt tevens voor de lucht die we constant inademen. Naast onze gezondheid heeft deze lucht ook betrekking op het verdere functioneren. Ons lichaam gebruikt de zuurstof uit de lucht en ademt CO₂ uit. In ruimten waar veel mensen samen zijn, zal dan ook bij onvoldoende ventilatie het CO₂ gehalte toenemen. Hierdoor treedt er tevens concentratieverlies op.

Twee voorbeelden om dit aan te geven zijn de volgende:

1. Veel van de huidige schoollokalen met een ruim aantal leerlingen kampt met het probleem van te weinig verse luchttoevoer. Door de komst van het Bouwbesluit wordt momenteel wel een minimum niveau van ca. 20 m³/h per leerling gegarandeerd, hetgeen nog steeds als ontoereikend moet worden ervaren!
2. Bij functiewijziging van een kantoor in een vergaderzaal is men verbaasd dat men niet kan volstaan met het wisselen van de opschriften naast de deur. Een optimaal ontworpen kantoor voor twee personen (2 x 50m³ verse buitenlucht per persoon per uur) is uiteraard qua ventilatievold niet geschikt voor een vergaderzaal; dit gezien het aantal personen en de verblijftijd.

Bij de systeemkeuze van het ventilatiesysteem zal dus zorgvuldig moeten worden overwogen of men dit met natuurlijke ventilatie (1) dan wel met mechanische ventilatie (2) zal uitvoeren.

1. Natuurlijke ventilatie door middel van te openen ramen of het aanbrengen van roosters in de gevel

Ingeval van geluidhinder van buiten naar binnen worden zogenaamde suskasten in de façade toegepast. De mate van luchtverplaatsing hangt af van het totale ontwerp vanaf toevoer t/m

afvoer. Om een goede doorstroming te garanderen, is een lage luchtweerstand en een afvoerkanaal nodig zodat gebruik kan worden gemaakt van thermische trek. De hoeveelheid ventilatielucht blijft daarbij wel enigszins afhankelijk van over- en onderdruk van de gebouwszijde. Daar het vrijwel nooit windstil is in Nederland, is er altijd wel een zekere mate van ventilatie.

2. Combinatie met mechanische ventilatie

Door toepassing van mechanische afzuiging is er al een betere voorspelling te doen inzake de hoeveelheid ventilatielucht; echter het weggooien van energie moet worden voorkomen. Het gebruik van warmtepompen aangesloten op de luchtafvoer kan hier echter in voorzien. Bij mechanische ventilatiesystemen is de hoeveelheid ventilatielucht, mits goed geïmplementeerd, goed te garanderen. Indien mechanische toe- en afvoer wordt toegepast, kunnen ook warmteterugwinunits worden toegepast.

5.2 Comfort

Als de gezondheid van het gebouw wat betreft de ventilatie goed is voorzien, moet het binnenklimaat nog overeenkomstig het programma van wensen van een bijbehorend comfort te worden voorzien. Comfort betreft in zijn algemeenheid de volgende zaken;

- Lage temperaturen
- Hoge temperaturen
- Vochtigheid
- Tocht
- Akoestiek

Al deze zaken dienen in het technisch programma van eisen te worden vastgelegd en bepalen in grote lijnen het te verwachte comfort, alsmede het bijbehorende financiële kader (installatiebudget).

Het hiervoor genoemde programma van wensen is vaak een onofficieel en imaginair document dat zich in de hoofden van mensen afspeelt. Men zal zich als ontwerper vaak geplaatst voelen voor het dilemma van abstracte gevoelens; de opdrachtgever of gebruiker overvraagt snel en kan vaak de consequenties van de wensen niet overzien. Het is dan ook te adviseren om de vele en diverse uitingen vast te leggen in het uiteindelijke programma van eisen. Hierdoor verkrijgt men een document met een officiële status in het ontwerpproces.

6 Maatschappelijk verantwoord ontwerpen

Momenteel dient er veel zorg te worden besteed aan duurzaam bouwen. Hier maakt het energieverbruik en de eventuele uitstoot van schadelijke stoffen deel van uit. Het energieverbruik dient zo laag mogelijk te zijn en de uitstoot van schadelijke stoffen (emissies) moet worden voorkomen. Tevens geldt dat alle materialen die ons klimaat onvriendelijk (zowel binnen als buiten) beïnvloeden, moeten worden geweerd.

Even een voorbeeld van wat er momenteel mis kan gaan in een woning of kantoor: de stof van de stoel waar je bij voorbeeld op zit, bevat mutagene materialen, zware metalen, gevaarlijke chemicaliën en verf. Door het schuiven op de stoel zullen er deeltjes vrijkomen die via de neus en de mond in het lichaam terechtkomen. Computers met giftige gassen, materialen als cadmium, lood en kwik. Plastic met broomsubstanties en andere toevoegingen. Verf en tapijtljm. Dit is een vrije vertaling vanuit het boek "Cradle to Cradle" van de architect

William McDonough en chemicus Michael Braungart. Het boek is een aanrader voor een ieder die in de bouw werkzaam is.

Moeten we niet toe naar gebouwen die zichzelf kunnen voorzien in de behoefte aan gezond water, voldoende energie en verse lucht? Momenteel is het steeds meer gebruikelijk om naast het energie- en waterverbruik ook de belasting voor en de effecten op het milieu in kaart te brengen.

7 Systeemkeuzen

Nu we de technische uitgangspunten kennen, is het zaak om die te vertalen in een juiste systeemkeuze. Zoals uit de colleges blijkt, is water een betere energiedrager dan lucht, zodat je geneigd bent heel snel voor een waterdragend systeem te kiezen. Dat is ook juist zolang de minimale hoeveelheid ventilatielucht maar blijft gewaarborgd. Hierbij een aantal voorbeelden waardoor men zich kan laten inspireren voor mogelijke toepassing.

- Woningen met een natuurlijke ventilatie met radiator- en of vloerverwarming.
- Kantoren met een minimaal ventilatievoud (volgens het Bouwbesluit) en verwarming of koeling door middel van inductie-units of klimaatplafonds.
- Auditoria, theaters en conreferentiezalen, kortom ruimten met een groot aantal aanwezige personen (hoge bezettingsgraad) hebben een dusdanig hoog gehalte aan ventilatielucht nodig, dat deze tevens kan worden aangewend voor de drager van koeling en/of verwarming.
- Winkelcentra worden vaak uitgerust met een basisvoorziening die bestaat uit een ventilatiekanaal en een gekoeld- en warmwater aansluiting voor koeling en verwarming van de ruimten. De Interieurarchitect van de betreffende winkel moet dan gebruik maken van deze aangeboden basisvoorzieningen. Het ontwerp en de installaties kunnen dan in samenhang met het interieur ontwerp, de installaties en in veel gevallen de bijbehorende huisstijl te worden gerealiseerd.

8 Literatuur

1. William McDonough en Michael Braungart. Cradle to Cradle. Remaking the Way We Make Things. 2002

Ontwerptraject

Kennisbank Bouwfysica

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

1 Kenmerken ontwerptraject

Het ontwerp van de klimaatregeling van gebouwen is een interactief proces waarbij van "grof" naar "fijn" wordt gewerkt. Er zijn verschillende beschrijvingen die met elkaar gemeen hebben dat ze het ontwerpproces in een traject verdelen. Een veel aangehaald voorbeeld is van Stichting Bouw Research (SBR) en Stichting ISSO. Elke fase van het ontwikkelingsproces wordt afgesloten met een gezamenlijk fasedocument [3] waarin wordt aangegeven welke beslissingen moeten worden genomen, alsmede wat de wijzigingen op het voorgaande document zijn. Zowel architecten, constructeurs als installatie adviseurs maken gebruik van de DNR (De Nieuwe Regeling) een document dat is opgesteld en uitgegeven door de BNA en de ONRI. Brancheorganisaties voor bureaus die zich bezighouden met het ontwerp en en toezicht op de uitvoering van gebouwen en installaties.

Figuur 1 vat deze ontwerpbeslissingen in hoofdlijnen samen:

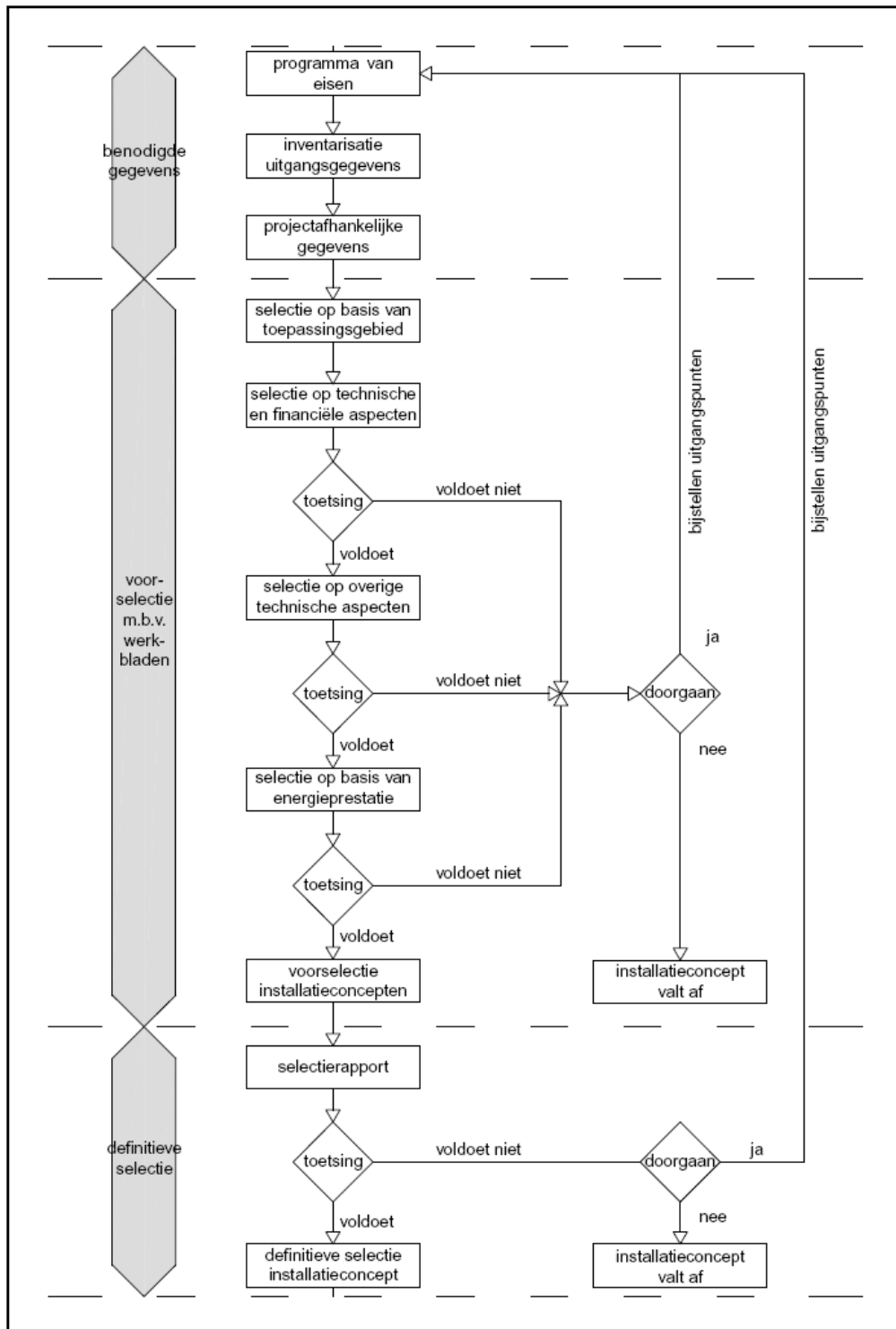
Fase	ontwerpbeslissing
HAALBAARHEID STUDIE	doelstellingen / functies ruimtebehoefte financiering
PROJECT DEFINITIE	vertaling doelstellingen in PVE functionele eisen (ruimte) eisen - thermische behaaglijkheid - verlichting - luchtdoorlatendheid / isolatie
STRUCTUUR PLAN (Ruimtelijk Ontwerp)	hoofdstructuur gebouw globale indeling / maatvoering globale gebouwworm zonering / compartimentering hoofdstructuur kanalen
VOORLOPIG ONTWERP	constructie (SWM, de Specifiek Werkzame Massa) gevelopbouw zonwering / glas % / U-waarde systeemkeuze installaties ruimte installaties

DEFINITIEF	geveldetailering
ONTWERP	glas- en zonweringssysteem
	dak / laagste vloer
	interieur / plafondafwerking
	dimensionering installaties
	regelsystemen (optimalisatie)

figuur 1 schema Hoofddijnen Ontwerpproces

SBR en ISSO laten hiermee zien dat bij het ontwerpproces voortdurend beslissingen moeten worden genomen op basis van gegevens die pas later beschikbaar zijn. Zo moet bij het Structuurplan, bij Bouwkunde meestal aangeduid met **Ruimtelijk Ontwerp**, de hoofdstructuur van de luchtkanalen worden bepaald. Om dat te kunnen, moet bekend zijn welk klimaatregelsysteem wordt toegepast. Dat is bij het Ruimtelijk Ontwerp vaak nog niet duidelijk. Sterker nog, in een volgend stadium kan blijken dat helemaal geen luchtkanalen nodig zijn, bij voorbeeld omdat met natuurlijke ventilatie kan worden volstaan. Volgens het schema moet de systeemkeuze bij het **Voorlopige Ontwerp** worden gemaakt. In werkelijkheid is dit pas mogelijk als de vorm en de eigenschappen van de gevel (glaspercentage, type zonwering etc.) en de scheidings- en afbouwconstructies (warmteaccumulerende massa, verlaagd plafond e.d.) bekend zijn. Deze aspecten komen pas bij het **Definitieve Ontwerp** aan bod. Dit toont aan dat ontwerpbeslissingen vaak op **aannamen** zijn gebaseerd en dat later moet worden nagegaan of de aannamen juist waren en of dat de beslissingen wellicht moeten worden gecorrigeerd. Hierin ligt tevens de zwakte van het ontwerpproces omdat correcties moeilijker zijn uit te voeren naarmate het ontwerp vordert. Dat heeft te maken met de praktische **mogelijkheden** tot wijzigen - die tijdens het ontwerpproces afnemen - maar ook met de **bereidheid** tot wijzigen. De bereidheid neemt af omdat partners in het ontwerpproces zich aan afspraken en planningen willen houden, meestal omdat ze zelf weer afhankelijk zijn van anderen waarmee ze afspraken hebben gemaakt. Daarom moeten aannamen steeds zo realistisch mogelijk zijn en moet gedurende het gehele proces naar samenhang tussen de verschillende ontwerpaspecten worden gestreefd. Dit kan door een ontwerpmethode te kiezen waarbij die samenhang is gewaarborgd.

Het ontwerp, gezien vanuit het perspectief van installatieontwerpers, is beschreven in ISSO-publicatie "Concepten voor klimaatinstallaties" [3]. Figuur 2 toont hoe deze ontwerpers tot een systeemkeuze kunnen komen.



figuur 2 schema ontwerpproces installatieontwerpers (volgens ISSO)

Het is een ideaal en op dit moment geen algemeen toegepaste werkwijze. Installatieontwerpers hebben vaak eigen methoden waarover ze nauwelijks met vakgenoten communiceren. Sommigen beperken hun keuze tot systemen waarmee ze goede ervaringen hebben, er zijn er ook die bereid zijn om te experimenteren en risico's te nemen. Het in [3] beschreven systeemkeuzeproces neemt het bouwkundige schetsontwerp als uitgangspunt. Doel van het proces is: realiseren van het Programma van Eisen en voldoen aan wetten en

regels. Het resultaat is een selectie van in aanmerking komende concepten en varianten. Hoe de uiteindelijke systeemkeuze kan worden gemaakt, is globaal beschreven. De doelen zijn volgens ISSO: voldoende comfort, flexibiliteit, energieprestatie, ruimte voor inbouw, mogelijkheden van onderhoud en beheer, kostenbeheersing en beperking nadelige milieueffecten. Hoe die doelen en de kosten van het doelbereik tegen elkaar moeten worden afgewogen, is niet aangegeven. Het meest opvallende is dat het installatieontwerp is beschreven als een op zichzelf staand proces en niet als deel van het architectonisch ontwerpproces. Dit toont aan dat de positie en verantwoordelijkheden van installatieontwerpers - gezien vanuit hun eigen perspectief - niet eenduidig zijn, dat kennelijk per project moet worden afgestemd en in die afstemming een taak voor de architect ligt. Momenteel doet de term geïntegreerd ontwerpen grote opgang. In tegenstelling tot het beperken van doen en denken binnen het eigen vakgebied is het grensoverschrijdend pro-actief meedenken binnen het ontwerpteam van essentieel belang.

Uitgaande van het gegeven dat bij het ontwerp van "grof" naar "fijn" wordt gewerkt, kunnen het installatie- en gebouwontwerp in opeenvolgende stadia steeds beter op elkaar worden afgestemd. Het resultaat is steeds afhankelijk van de gegevens waarover wordt beschikt en van de nauwkeurigheid en gedetailleerdheid van die gegevens. Het betreft enerzijds bouwkundige en bouwfysische gegevens en anderzijds - als consequentie - gegevens over de installaties, dimensies, kosten e.d.

Kenmerkend voor een mogelijk optimale methode is dat de architect het installatieontwerp stuurt door de installaties in hun **vorm** en **functie** te ontwerpen. Installatieontwerpers kunnen daarbij helpen - op een manier zoals in voorgaande paragraaf beschreven - de architect blijft verantwoordelijk. Moeten installatieontwerpers bedoelde hulp bieden dan moeten ze daarvoor vanaf het eerste ruimtelijk ontwerp bij het ontwerp betrokken zijn. Afgezien van deze hulp liggen de taak en de verantwoordelijkheden van installatieontwerpers hoofdzakelijk bij de uitwerking en cijfermatige onderbouwing van de keuze van de architect en bij de tijdige terugkoppeling van de resultaten. Bij de uitwerking gaat het om de keuze en dimensionering van de installatiecomponenten, om het beperken van investerings- en exploitatiekosten, beperken van energiegebruik en andere milieu-effecten en om het maken van aanbestedingsstukken. Bij de uitvoering zijn de installatieontwerpers meestal verantwoordelijk voor de kwaliteitsbewaking (is geleverd waarvoor is betaald?) en de controle op de goede werking van de installaties. Het zou beter zijn om deze controle - bij wijze van toezicht - door anderen te laten uitvoeren. In de Verenigde Staten, Engeland en Scandinavische landen is deze "commissioning" door niet bij het ontwerp betrokkenen gebruikelijk. Een negatief aspect is vaak dat diegene die toezicht houdt tijdens de uitvoering de keuzes die ontstaan zijn tijdens het ontwerptraject niet kent. Hierdoor (menselijk gedrag) is de kans op tussentijdse wijzigingen van het oorspronkelijke ontwerp groot. Vaak gaat dit ten koste van grote sommen meerwerk die niet beantwoorden aan het onderliggend programma van eisen.

2 Uitdagingen

Klimaatregelende installaties kunnen gebouwen binnen ruime grenzen van vormgeving en materiaalkeuze aan gangbare klimaat- en gebruikseisen laten voldoen. Sommige architecten zien evenwel een uitdaging in het zoveel mogelijk beperken van de toepassing van installaties, bij voorbeeld om ontwerpfilosofische reden of om het beschikbare budget anders te kunnen besteden. Het doel is dan gericht op het creëren van - wat wel genoemd wordt - een "installatiearm" gebouw. Om dat te bereiken, is een gebouw nodig dat voor het

functioneren ervan zo onafhankelijk mogelijk is van installaties. Dat vraagt veel van de thermische eigenschappen van het gebouw, zoals van de massa en de isolatie, maar ook van de bouwkundige voorzieningen waarmee het binnenklimaat in dat geval moet worden geregeld, zoals te openen ramen en regelbare zonwering.

Er zijn ook architecten die installaties zo weinig mogelijk in beeld willen brengen, maar geen beperkingen opleggen aan de toepassing van installaties. De installaties zijn er dan wel maar je ziet ze niet. Vaak zoekt men hierbij naar extra motivatie door constructieve elementen en installatiedelen functioneel te integreren, bij voorbeeld kolommen die ook luchtkanaal zijn. Weer anderen streven naar het tegenovergestelde door installaties als expressieve elementen te gebruiken. Vooral dat vraagt bij de uitwerking door installatieontwerpers om meer dan normale aandacht voor de vorm en vaak om andere dan standaardoplossingen.

Van installatieontwerpers wordt nog meer gevraagd als ze moeten bijdragen aan vernieuwende architectuur met - op dat moment - nog onbekende installatievormen en -functies. De architect moet in dat geval de installatieontwerper uitdagen om vernieuwende installatietechnische oplossingen te bedenken. Dan zal blijken dat er spanning zit tussen het architectonisch ontwerp en het ontwerp van de klimaatregeling, en tussen architecten en installatieontwerpers. Die spanning wordt veroorzaakt doordat klimaatregelende voorzieningen voor vormgevers in de eerste plaats elementen zijn die gezien of - als ze niet in het beeld passen - liever niet gezien worden. Voor installatieontwerpers vertegenwoordigen de voorzieningen klimaatregelende functies en wordt de keuze bepaald door de mate van comfort die de voorzieningen bieden en door het energiegebruik en de kosten die ze met zich meebrengen.

Een ander verschil dat spanning veroorzaakt, is dat installatieontwerpers doelgericht werken terwijl architecten - vooral in de creatieve fase - zich concentreren op het vinden van het nog onbekende en met middelen variëren om hun abstracte doel te bereiken. Om in zo'n creatief middelengericht ontwerpproces mee te gaan en grenzen te verleggen, moeten installatieontwerpers bereid zijn om hun vertrouwde doelen even los te laten, onzekerheid te accepteren en risico's te nemen. De argumenten om installatieontwerpers daartoe te motiveren kunnen architecten alleen zelf bedenken omdat het hun fascinaties zijn, hun manier van redeneren en het hun voorstellingsvermogen betreft.

Dan is er ook het verschil in ontwerp perspectief. Installatieontwerpers concentreren zich - vanuit hun op functies gerichte denken - op de gebruikers en bewoners van gebouwen. Dat is begrijpelijk omdat zij als eerste worden aangesproken als gebruikers en bewoners niet tevreden zijn. Architecten richten zich meer op het perspectief van bezoekers en passanten; dat is ook het perspectief van waaruit het architectonisch ontwerp doorgaans wordt beoordeeld. Bezoekers en passanten ervaren bij hun gang door en langs het gebouw de afwisseling van het gebouw in vormen, afmetingen en materiaalkeuze. Voor plaatsgebonden bewoners is het gebouw in dat opzicht statisch, ze ondervinden afwisseling door wat in en rond het gebouw gebeurt en meer nog door wat het gebouw toestaat daarvan waar te nemen. Bij het uitdagen van installatieontwerpers moet je je daarom bewust zijn van de verschillen in benadering, werkwijze en perspectief.

3 Enkele hoofdstappen van het ontwerpproces

Tijdens het ontwerpproces is een aantal uitgangspunten, fases en hoofdstappen van belang:

- a. Nagegaan moet worden hoe voor de te koelen periode de interne en externe warmtelast kan worden beperkt. Voor het verwarmingsseizoen daarentegen geldt het omgekeerde en moet warmte worden vastgehouden.
- b. Bij voorkeur moet zo veel mogelijk met water moet worden verwarmd en gekoeld. De energie-inhoud van water is 4.200.000 Joule per m^3 water en van lucht 1.200 Joule per m^3 lucht en daarmee 3.500 maal zo groot. De leidingdiameters van water zijn daardoor ca. 60 maal kleiner dan die van lucht om dezelfde hoeveelheid thermische energie te transporteren.
- c. Bij de bepaling van de hoeveelheid verse toegevoerde lucht moet de gewenste luchtkwaliteit als uitgangspunt worden genomen, bij voorbeeld minimaal 0,9 l/sm² verblijfsgebied voor een woning en 1,3 l/sm² verblijfsgebied voor een kantoor. Het Bouwbesluit geeft de minimumhoeveelheden aan die moeten worden toegevoerd. Het heeft daarbij de voorkeur om per persoon minimaal 36 m³ verse lucht per uur toe te voeren. Hoe meer verse lucht per persoon hoe beter uiteraard. Voor een gebouw met een zeer goede luchtkwaliteit is 72 m³/h per persoon een optie. Vastgesteld moet worden hoeveel m³ lucht per uur per gebouwdeel wordt toe- en afgevoerd.
- d. Eerst moet worden nagegaan of natuurlijke toevoer en/of afvoer mogelijk is zodat het aantal kanalen zo veel mogelijk kan worden beperkt. Als mechanische luchttoe- en -afvoer nodig is, moeten ook de kanaaldiameters en de grootte van de ruimte voor eventuele luchtbehandelingskasten worden bepaald. Een goede vuistregel om mee te beginnen is een luchtsnelheid van 5 m/s door het kanaal. Luchtkanalen in schachten of bij plafonds hebben veel invloed op het ruimtelijk ontwerp dus is het aan te bevelen eerst met de luchtverdeling te beginnen.
- e. Een volgende stap is het onderzoek om warmte en koude zo veel mogelijk duurzaam op te wekken. Warmte- en koudeopwekking met een warmtepomp verbonden met een aquifer of met de afvoerlucht zijn opties die moeten worden onderzocht. Bij ventilatie moet ook de mogelijkheid tot warmterugwinning worden beoordeeld en de mogelijkheid tot vrije koeling met te openen ramen en met nachtventilatie vraagt aandacht.
- f. Is eenmaal bekend hoe koude en warmte wordt opgewekt dan kan ook de bouwkundige plek en ruimte daarvoor worden gereserveerd.
- g. De volgende meer gedetailleerde stappen worden in de modules zelf besproken (zie inhoudsopgave modules).

4 Literatuur

1. Schalkoort TAJ, Luscuere PG. Gezonde gebouwen. Dictaat TU-Delft, faculteit Bouwkunde, art. nr. 1386. November 1997.
2. NPR-CR 1752. Ventilatie van gebouwen – Ontwerpcriteria voor de binnenomstandigheden. NNI, januari 1999.
3. Ontwerpen van energie-efficiënte kantoorgebouwen. Publicatie 213. ISSO/SBR, 1990.

Eisen binnenklimaat

Kennisbank Bouwfysica

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

1 Klimaat

Onder "klimaat" of "thermisch klimaat" wordt verstaan: de combinatie van omgevingsfactoren die de warmte en vochtuitwisseling tussen de mens en zijn omgeving bepaalt. Deze factoren zijn luchttemperatuur, gemiddelde stralingstemperatuur, luchtbeweging en luchtvochtigheid. Vaak wordt tot het "binnenklimaat" ook de luchtreinheid gerekend.

2 Kwaliteit

Als veel van het binnenklimaat afhangt, zoals bij de productie van micro-elektronische componenten, teelt van temperatuurgevoelige gewassen, bewaren en tentoonstellen van onvervangbare kunstvoorwerpen, kan een nauwkeurige klimaatregeling - die ook onder extreme weers- en gebruiksomstandigheden binnen de vereiste grenzen blijft - noodzakelijk zijn. Klimaatinstallaties voor verblijfruimten, zoals in woningen, kantoren en scholen, worden zelden op extremen gebaseerd. In dergelijke ruimten worden overschrijdingen van comfortgrenzen gedurende aangegeven perioden toegestaan. De mate waarin overschrijdingen mogen optreden bepaalt enerzijds de kwaliteit van het binnenklimaat en anderzijds de mate waarin installaties moeten worden aangewend om die kwaliteit te realiseren. "Kwaliteit" moet daarom worden beschouwd als de mate waarin aan gestelde eisen wordt voldaan.

3 Thermisch comfort

Het klimaat is voor mensen thermisch comfortabel als ze geen behoefte hebben aan een hogere of lagere temperatuur (1). De mate waarin het klimaat als (on)comfortabel wordt ervaren, hangt samen met de warmte-isolatie van de kleding en de ontwikkelde interne lichaamswarmte, die afhankelijk is van de lichamelijke activiteit. Over thermisch comfort is veel bekend. Eisen zijn nauwkeurig te geven. Uit de praktijk blijkt dat het thermisch comfort vooral wordt bedreigd door tocht en temperatuurverschillen. Bij tocht gaat het om de combinatie van lichtsnelheid, luchttemperatuur en karakter van de luchtstroming (mate van turbulentie). Bij temperatuurverschillen zijn het de verschillen in de tijd (fluctuaties en verloop) en de ruimtelijke verschillen (gradiënten) die het comfort beïnvloeden (2, 3, 4, 5).

4 Olfactief comfort (luchtreinheid)

Het comfort dat samenhangt met de luchtreinheid wordt wel "olfactief" comfort genoemd (olfactief = reukzin betreffend). Hiervan is minder bekend dan van thermisch comfort. Vele stoffen kunnen de lucht olfactief verontreinigen en tot onaangename geursensaties leiden. Bovendien kunnen ze hinder, zoals slijmvliesirritatie, veroorzaken (6). Slechts van een beperkt aantal stoffen is bekend welk verband bestaat tussen de concentratie van die stoffen in de lucht en de mate van geurhinder. Complicerend is dat geurwaarneming door thermische factoren en adaptatie wordt beïnvloed.

Voor het beoordelen van de luchtreinheid worden vaak indicatorstoffen gebruikt, zoals kooldioxide. Verblijfruimten met een concentratie van meer dan 0,1 volume % CO₂ worden doorgaans bedompt of onfris gevonden, terwijl 0,08 volume % wordt genoemd als grenswaarde ter voorkoming van klachten (7). Omdat de CO₂-productie van mensen bekend is en afhankelijk is van de activiteit is met dit gegeven de verse luchthoeveelheid per persoon vast te stellen.

Bij CO₂ als indicator worden alleen mensen als verontreinigingsbron in aanmerking genomen. Andere bronnen, zoals bouw- en inrichtingsmaterialen en vervuilde installaties, leveren vaak grotere bijdragen aan de binnenluchtverontreiniging. Om deze reden wordt ook wel de concentratie van een aantal stoffen te zamen, zoals de groep vluchtige organische verbindingen (VOC's), als indicator gebruikt (8).

Een geheel andere benadering is het beoordelen van de luchtreinheid met proefpersonen ("geur-panelen") en het gebruik van de eenheden "decipol" voor geursterkte en "olf" voor bronsterkte (9). De geursterkte is afhankelijk van de bronsterkte en van de hoeveelheid verse lucht die door de ruimte stroomt (10). Omdat de relatie tussen de geursterkte en het percentage ontevreden bekend is, kan worden bepaald hoeveel verse lucht moet worden toegevoerd om een gewenst percentage mensen tevreden te stellen.

Vaak worden luchtreinheidseisen aangegeven in de per persoon toe te voeren hoeveelheid verse lucht. Omdat het aantal personen niet altijd bekend is en ook andere bronnen de lucht kunnen verontreinigen, wordt luchtverversing ook wel als ventilatievoud aangegeven (m³/h verse lucht per m³ ruimte) afhankelijk van de functie van ruimte (11,12),

5 Auditief en visueel comfort

Installaties die hinderlijk geluid produceren - en om die reden vaak beperkt worden gebruikt - vormen een bedreiging voor het thermische en olfactieve comfort. In dit boek wordt niet ingegaan op auditief comfort en akoestische eisen. Wel wordt bij de keuze van klimaatregelsystemen steeds gestreefd naar het voorkomen van nadelige invloed op het akoestische en visuele klimaat.

6 Acceptatie van discomfort

Thermisch en olfactief discomfort hoeven niet per se tot onvrede of klachten te leiden. Hoe of waardoor bevindingen of classificaties in de reeks **discomfort** ---> **onvrede** ---> **acceptatie** ---> **klacht** in elkaar overgaan, is onduidelijk. Wel weten we dat tussen de bevindingen en classificaties drempels zitten waarvan de hoogte mede wordt beïnvloed door andere dan thermische of olfactieve aspecten (13). Mensen accepteren meer onbehagen en klagen minder snel naarmate ze meer invloed op hun omgeving kunnen uitoefenen (14). Dit pleit voor individuele regelbaarheid van temperatuur, ventilatie (o.a. te openen ramen), zonwering, verlichting etc. In de volgende hoofdstukken worden oplossingen beschreven waarvan bekend is dat ze een redelijke mate van acceptatie geven. Van een "redelijke mate" is sprake als ten minste 80% van de mensen het acceptabel vindt.

7 Woningen en woongebouwen

Klimaatseisen voor woningen zijn o.m. vastgelegd in het Bouwbesluit en in NEN-normen. In het Bouwbesluit worden minimale prestatie-eisen genoemd. Hoe deze eisen moeten worden getoetst en gerealiseerd wordt in NEN-normen, Praktijkrichtlijnen (NPR) en ISSO- of SBR-

publicaties verder uitgewerkt. NEN-normen worden fasegewijs vervangen door Europese normen.

De NEN 5066 (15) geeft temperatueisen voor *verwarming*. De NEN 1087 [16] geeft ventilatie-eisen voor gebouwen, waaronder woningen, i.v.m. *luchtverversing* en natuurlijke koeling, zonder dat maximale temperaturen worden genoemd.

In het Bouwbesluit staat per gebouwfunctie omschreven wat de minimaal benodigde luchtverversing is. Daarnaast wordt in het kader van de GIW-garantie voor woningen klimaateisen gesteld. Het Bouwbesluit en de NEN-normen geven minimum-eisen. I.v.m. de beoogde acceptatie wordt aanbevolen hogere waarden aan te houden, vooral bij risicogroepen zoals ouderen en Cara-patiënten.

Bij woningen moet volgens het Bouwbesluit minimaal 0,9 liter per seconde verse lucht per m² verblijfsgebied of verblijfsruimte worden toegevoerd. Lucht wordt toegevoerd via slaap- en woonkamer en normaliter afgevoerd via de keuken, badkamer, toilet en eventuele was- en droogruimte. De volgende luchthoeveelheden zijn minimaal benodigd:

Toevoer

- verblijfsgebied of verblijfsruimte : 0,9 l/sm²

Afvoer

- keuken $\leq 10 \text{ m}^2$: 75 m³/h

- open keuken in woning : minimaal 150 m³/h (mechanisch) of een hoeveelheid voorkomend uit het oppervlak aan verblijfsgebied

- bad-, was- en droogruimte : 50 m³/h

- toilet : 25 m³/h

Toe- en afvoer

- gemeenschappelijk trappenhuis of gang : 0,7 l/sm²

- opslagruimte huisvuil : 360 m³/h

- liftkooi : 3,6 l/sm² van het vloeroppervlak van de liftschacht

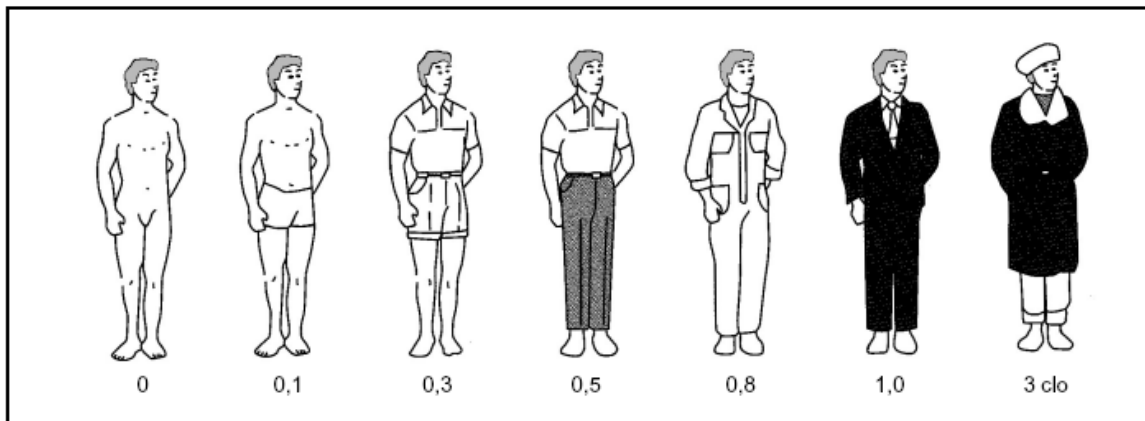
Voor gedetailleerde rekenregels wordt verwezen naar het Bouwbesluit, de NEN-norm en NPR-bladen.

8 Kantoren e.d.

Met betrekking tot het thermische comfort voor kantoren wordt vaak verwezen naar richtlijnen van de Rijksgebouwendienst (Rgd) (17) die in aanvang werden gebaseerd op de volgende beginselen [18]:

- ***ten minste 90% van de bewoners moet ten minste 90% van de tijd tevreden zijn, dat wil zeggen.:***
 - * maximaal 5% van de tijd (ca. 100 uur/jaar) mag het "te warm" zijn
 - * maximaal 5% van de tijd (ca. 100 uur/jaar) mag het "te koud" zijn
- ***niet meer dan 25% van de bewoners mag ontevreden zijn***

In de praktijk wordt het percentage (on)tevredenen vaak afgeleid met de PMV/PPD-index. Deze index, gebaseerd op het comfortmodel van Fanger is beschreven in normblad NEN-EN-ISO 7730 [19]. PMV is de afkorting van "Predicted Mean Vote" en PPD van "Predicted



figuur 3 warmte-isolatie van kleding

De luchttemperaturen die hieruit volgen, zijn:

$-1,0 < PMV < 1,0$ -----> $18,0 < \theta_{lucht} < 28,0$ °C (>75% tevredenen)

$-0,5 < PMV < 0,5$ -----> $20,0 < \theta_{lucht} < 26,0$ °C (>90% tevredenen)

Met een zogenaamde "temperatuuroverschrijdingsberekening" is na te gaan of het klimaat "90% van de tijd" binnen de aangegeven PMV-, PPD- of temperatuurgrenzen blijft. Hier volstaat om te wijzen op het voorstel om de temperatuuroverschrijding te beoordelen door één grens $PMV=0,5$ te nemen en de uren waarin deze grens wordt overschreden te wegen overeenkomstig de PMV/PPD-relatie (20, 21, 22). Recent is voorgesteld om de beoordeling afhankelijk te maken van het buitenklimaat in de periode voorafgaand aan de beoordeling (24, 25).

Voor de luchtverversing van kantoren worden vaak de volgende normen aangehouden:

kantoren	:	5 m ³ /m ² .h of 50 m ³ /h per persoon (rookverbod of onderling regelen)
kantoortuinen	:	10 m ³ /m ² .h of 100 m ³ /h per persoon (geen rookverbod)
vergaderruimten	:	20 m ³ /m ² .h of 50 m ³ /h per persoon (rookverbod)
bedrijfsrestaurant	:	20 m ³ /m ² .h
toiletten	:	35 m ³ /m ² .h
garderobe	:	9 m ³ /m ² .h

Locaal comfort

De NEN-EN-ISO 7730 stelt naast algemene eisen m.b.t. het comfort ook eisen aan lokale omstandigheden die het comfort bepalen. Het gaat hier om:

- de turbulentie-intensiteit, deze heeft invloed op de beleving van lichtsnelheid (hoe meer luchtwerveling, hoe sneller tocht)
- de verticale temperatuurgradiënt (hoe minder gelijkmatig de temperatuur, hoe onbehaaglijker)
- de stralingsasymmetrie (temperatuurverschillen tussen vlakken mogen niet te groot worden)
- de toelaatbare temperatuur van vlakken

9 Scholen

Temperatuureisen voor de **verwarming** van scholen zijn grotendeels vastgelegd in NEN 5066 (15). De NEN 1089 (23) geeft ventilatie-eisen voor verschillende ruimten in scholen. Samengevat komen de ventilatie-eisen op het volgende neer:

Lesruimte:	20 m ³ /h per leerling
werkplaats	36 m ³ /h per leerling
bureau/kantoorruimte	36 m ³ /h per persoon
vergader ruimte/docentenruimte	54 m ³ /h per persoon
gemeenschapsruimte < 1,5 m ² /persoon	22 m ³ /h per m ² vloeroppervlakte
„ > 1,5 m ² /persoon	11 m ³ /h per m ² vloeroppervlakte
sportzaal/gymzaal	3,6 m ³ /h per m ² vloeroppervlakte
zuurkast scheikundepracticum	720 m ³ /h per m ² werkopening
keuken (geen lesruimte) < 10 m ²	75 m ³ /h
toilet ruimte	25 m ³ /h per urinoir of closet
wasruimte	50 m ³ /h per douche
„	25 m ³ /h per warmwatertappunt
kleedruimte	11 m ³ /h per m ² vloeroppervlakte
liftkooi	36 m ³ /h per persoon
gang/trappenhuis/garderobe	1 m ³ /h per m ³ (enkelvoudige ventilatie)

Het Bouwbesluit gaat voor onderwijsruimten uit van 3,5 l/s per m² verblijfgebied bij een bezettingsgraad van 1 leerling per 2 m². In dat geval is minimaal 7 l/s = 25 m³/h per leerling nodig. Uit gezondheidsoverwegingen (veel personen op een klein oppervlak, meer kans op infecties) is meer luchtverversing (35 - 45 m³/h) wenselijk.

10 Andere gebouwen

Bij andere gebouwen dan woningen, kantoren, scholen e.d. worden de klimaateisen vaak per geval bepaald. Bij industriële ruimten, winkelbedrijven, sportaccommodaties e.d. wordt rekening gehouden met het tijdelijke verblijf van personen in de ruimte en met de aanwezige processen. Een deel van de eisen is aan handboeken te ontleen.

11 LITERATUUR

1. Fanger, P.O., "Thermal Comfort - Analyses and Applications in Environmental Engineering", Mc.Graw-Hill 1972.
2. Fanger, P.O. en N.K.Christensen, "Perception of draught in ventilated spaces", Ergonomics 29 (1986), 215-235.
3. Sprague, C.H. en P.E.McNall, "The effects of fluctuating temperature and relative humidity on thermal sensation (thermal comfort) of sedentary subjects", ASHRAE Trans. Vol. 76 (1970), Part 1, 76-81.
4. Berglund, L.G. en R.R.Gonzalez, "Application of acceptable temperature drifts to built environments as a mode of energy conservation", ASHRAE Trans. 84 (1978), 110-121.
5. Olesen, B.W., M.Scholer en P.O.Fanger, "Discomfort caused by vertical air temperature differences", in: P.O.Fanger en O.Valbjorn (ed.) "Indoor Climate", Danish Building Institute, Copenhagen, 1979.
6. Schalkoort, T.A.J., "Ontwikkeling en behoud van gezonde kantoorgebouwen - Studie naar het 'Sick Building Syndrome' en de mogelijkheden van het terugdringen van bewonersklachten

in kantoorgebouwen", Studierapport S124, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 1991.

7. Berglund, B. en T.Lindvall, "Sensory criteria for healthy buildings", Proc. INDOOR AIR '90, Toronto 1990, Vol.5, 65-79.

8. Molhave, L., "Volatile organic compounds, indoor air quality and health", Proc. INDOOR AIR '90, Toronto 1990, Vol. 5, 15-33

9. Bluyssen, P.M., "Air quality evaluated by a trained panel", dissertatie, Technical University of Denmark, 1990.

10. Fanger, P.O., "A comfort equation for indoor air quality and ventilation", Proc. HEALTHY BUILDINGS, Stockholm 1988, Vol. 1, 39-51.

11. Recknagel, "Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik", ed. E.R.Schramek, R.Oldenbourg Verlag München, 66.Auflage, 1992.

12. "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality", ASHRAE 62-1989, Atlanta USA 1989.

13. Schalkoort, T.A.J., "Normen voor een acceptabel binnenklimaat", TVVL-Magazine 23 (1994), 21-27.

14. Vroon, P.A., "Psychologische aspecten van ziekmakende gebouwen", Rijksuniversiteit Utrecht, ISOR, 1990.

15. "Warmteverliesberekening voor gebouwen - Berekening van het benodigde vermogen voor het verwarmen van een ruimte", Nederlandse norm NEN 5066, Nederlands Normalisatie Instituut (NNI), Delft 1992.

16. NEN 1087. Ventilatie van gebouwen. Bepalingsmethoden voor nieuwbouw. NNI. 2001.

17. Rijksgebouwendienst, "Binnenklimaatcondities in kantoorruimten van nieuwe gebouwen", Rapport E 115.1/B, afd. W&L, 1979.

18. Rijks Geneeskundige Dienst, "Aanbevelingen voor de arbeidsomstandigheden in kantoren en gelijksoortige ruimten voor de huisvesting van rijksoverheidspersoneel", 's-Gravenhage, augustus 1979.

19. NEN-EN-ISO 7730. "Klimaatomstandigheden – Analytische bepaling en interpretatie van thermische behaaglijkheid door berekening van de PMV- en PPD-waarden en lokale thermische behaaglijkheid." NNI, 2005.

20. Brouwer, G.F.M. en A.C. van der Linden, "Beoordeling van het thermisch binnenklimaat", Klimaatbeheersing 18 (1989), 257-264.

21. "Energie-efficiënte kantoorgebouwen - binnenklimaat en energiegebruik", Publicatie 300, Instituut voor Studie en Stimulering van Onderzoek op het gebied van gebouwinstallaties / Stichting Bouw Research (ISSO/SBR), Rotterdam 1994.

22. "Behaaglijkheid en energiegebruik - een scala aan goede oplossingen voor kantoren" (samenvattend overzicht van (22), uitgave van DGMR raadgevende ingenieurs, 1994.

23. "Ventilatie van schoolgebouwen", Nederlandse norm NEN 1089, Nederlands Normalisatie Instituut, Delft 1986.

24. Dear, R. de en G.Schiller-Brager, "Develloping an adaptive model of thermal comfort and preference", ASHRAE Transactions 1998.

25. Wit, M.S., "Uncertainty in predictions of thermal comfort in buildings", dissertatie, Technische Universiteit Delft, 2001.

Afgifte-Lucht-Systeemkeuze

Kennisbank Bouwfysica

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

1 Algemeen

De systeemkeuze voor de klimaatregeling wordt in ieder geval bepaald door het benodigde vermogen voor koeling, verwarming, luchtverversing en vochtregeling. Verder beïnvloeden eisen met betrekking tot energiezuinigheid, bedieningsgemak, kosten (investering en exploitatie), flexibiliteit, aanpasbaarheid, betrouwbaarheid, geluidproductie en - niet in de laatste plaats - de inpasbaarheid in het architectonische ontwerp de keuze. Technisch en economisch gezien zijn de eenvoudigste systemen meestal goede en vaak zelfs de beste keuze.

De systeemkeuze ten behoeve van het architectonisch/bouwkundig ontwerp is **indicatief** of **onderbouwd** te bepalen. De indicatieve systeemkeuze heeft plaats op grond van een typering van de ruimte en klimaatregeling, een onderbouwde systeemkeuze 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 is voor meer stadia met een indicatieve keuze te 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.

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
VII	lokale koeling met 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 m/s
			min.	max.	
A	bescherming tegen regen en wind (voorbeeld: abri)		--	--	--
B	bescherming tegen regen en wind, vorstvrij (voorbeeld: wachtruimte 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: koffiehoeek 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	NV	20	$\theta_e + 3$	< 0,15

	personen met kleding afgestemd op seizoen, langdurig verblijf (voorbeeld: kantoorvertrek)	MV	20	25 (95%)
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. klimaatregelsysteem voor verschillende ruimtefuncties

Indicatie	type			
ruimtefunctie	ruimte typering	systeem typering ¹⁾	mechanische koeling	ventilatie- voud (h ⁻¹) ²⁾
atrium	E	I+V of I+III		10 - 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	8 - 10
grootwinkelbedrijf	I	VIII	meestal	4 - 6
gymlokaal (school)	J	I+III of I+IV		2 - 6
hotelkamer	H	II+IV	soms	2 - 3
hotellobby	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	4 - 10
„ „ „ < 45 W/m ²	L	VIII+IV of VIII+XI	ja	3 - 6
„ „ „ < 75 W/m ²	L	IX	ja	2 - 3 ⁵⁾
„ „ „ < 100 W/m ²	L	VIII+X	ja	3 - 6
kerk (oud)	G	V of VI+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⁾		

vergaderruimte	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		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 verblijfruimten met een geringe interne warmtebelasting wordt de keuze van de klimaatregeling - naast de in paragraaf 1.1 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 de in paragraaf 2.12 afgeleide formule. 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 is te kiezen 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/m² vloeroppervlakte van verschillende systemen bij verschillende ruimtehoogten

systeem	ventilatievoud h ⁻¹	netto ruimtehoogte in meters						
		2,4	2,7	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
radiatoren/convectoren	¹⁾	200	200	200	²⁾			
luchtverwarming $\Delta\theta = 20^\circ\text{C}$ 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
,, $\Delta\theta = 40^\circ\text{C}$ 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 afgifte - verwarming worden besproken
²⁾ minder of niet geschikt voor hoge ruimten
³⁾ luchttoevoer vanuit plafond met tangentielle 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 verblijfruimten 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 in paragraaf 2.11 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 is te kiezen 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 meters						
		2,4	2,7	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
		$\Delta\theta = 6^\circ\text{C}$	8 °C	10 °C	12 °C	12 °C	12 °C	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 ruimtefunctie - 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"

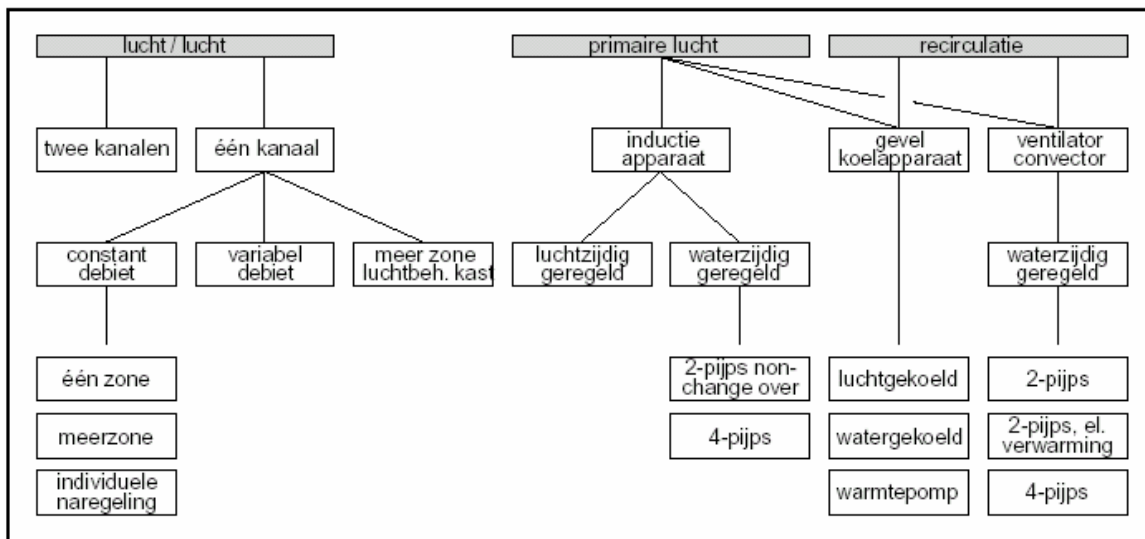
Aanvankelijk bestond in Nederland en andere Noord-Europese landen veel bezwaar tegen "**airconditioning**". Mede door berichtgeving over het "Sick Building Syndrome" bereikten de bezwaren halverwege de jaren '80 van de vorige eeuw hun hoogtepunt. Het betrof vooral grotere kantoorgebouwen met gesloten 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

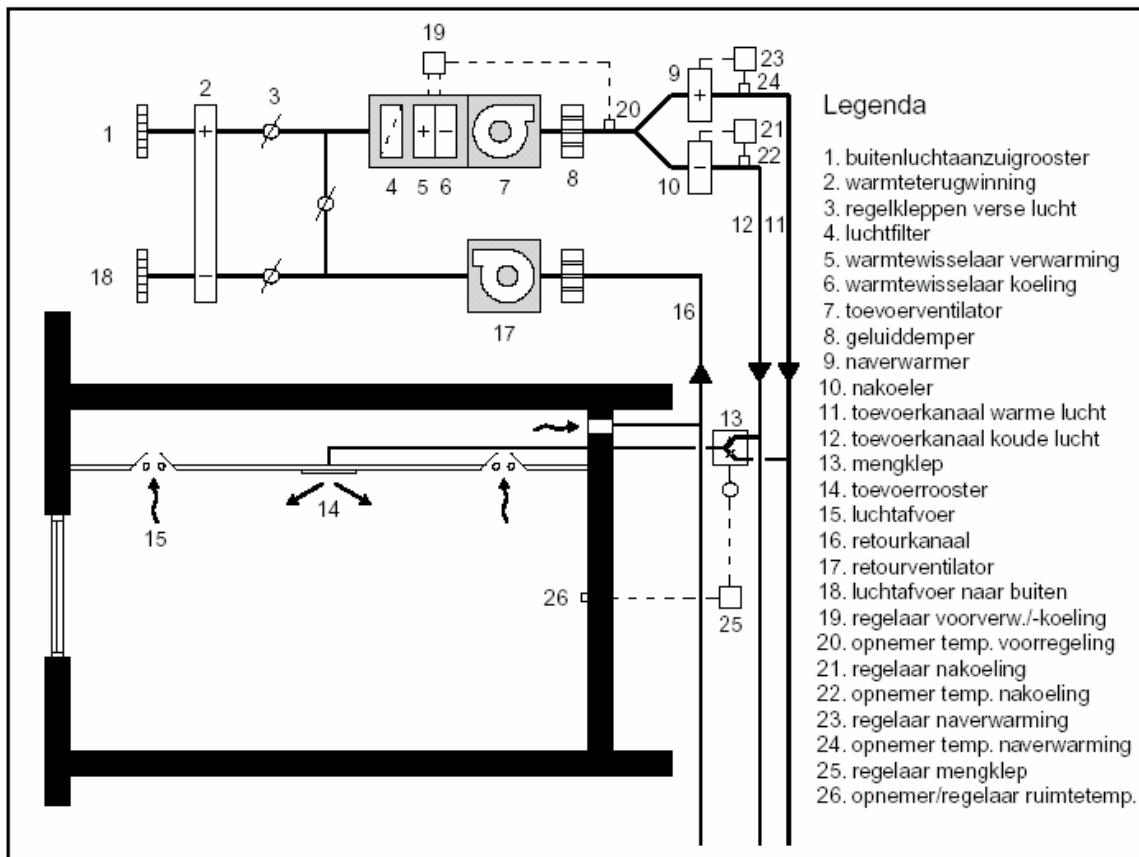
Bij “lucht/water”-systemen wordt een deel van het koel- of verwarmingsvermogen met water getransporteerd. Daardoor zijn de luchtkanalen kleiner dan bij “volledig lucht”-systemen en is voor die kanalen minder inbouwruimte nodig. Dit kan een kleinere verdiepingshoogte leiden, echter niet als de eindapparaten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

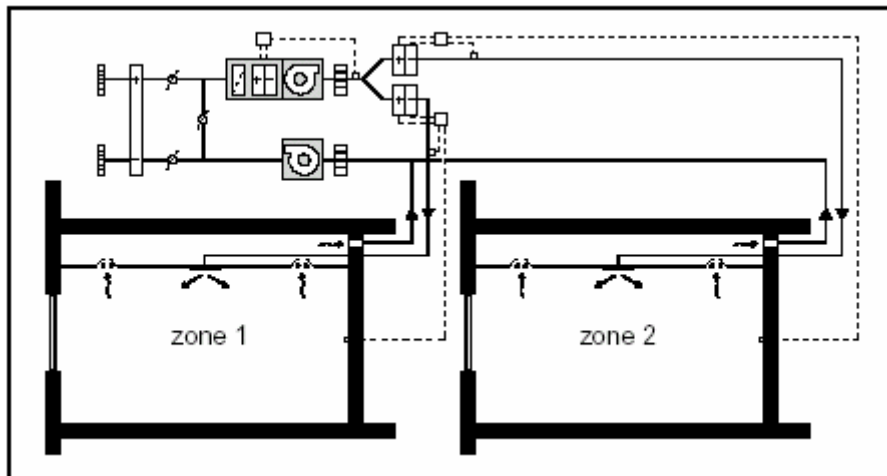
Dit systeem heeft aparte kanalen voor toevoer van warme en koude lucht. Afhankelijk van de behoefte wordt een hoeveelheid warme en koude lucht gemengd en naar de te klimatiseren ruimte gevoerd. Het mengpunt bevindt zich bij de ruimte. De luchthoeveelheden worden geregeld met kleppen in de kanalen (figuur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



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

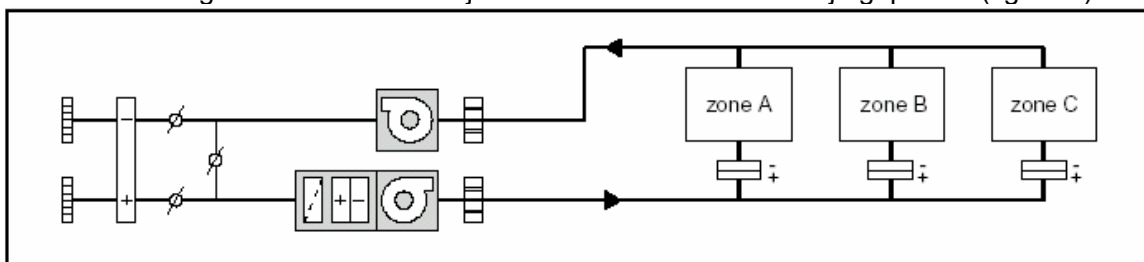
6.6 “Volledig lucht”-systemen: “Een kanaalsysteem”

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



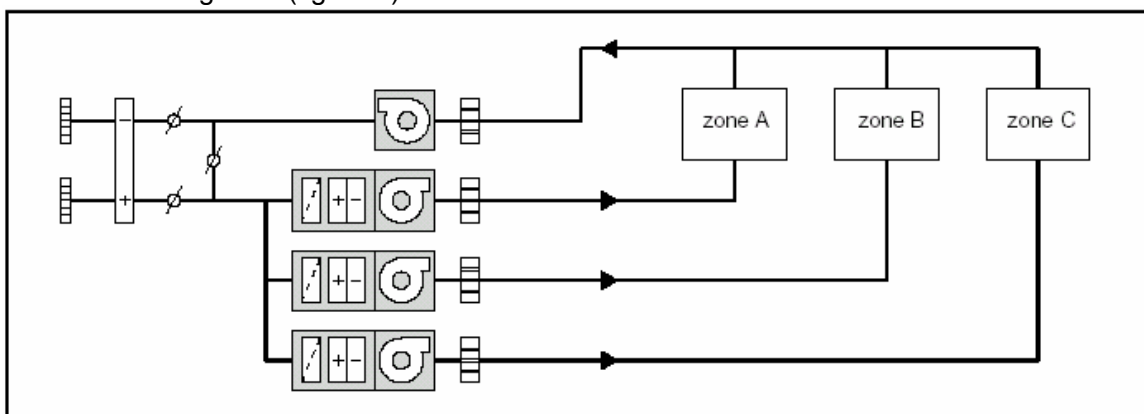
figuur 3 schema meerzone luchtbehandelingskast

Het retourkanaal van de zones wordt gecombineerd, wat tot energieverstopping 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).

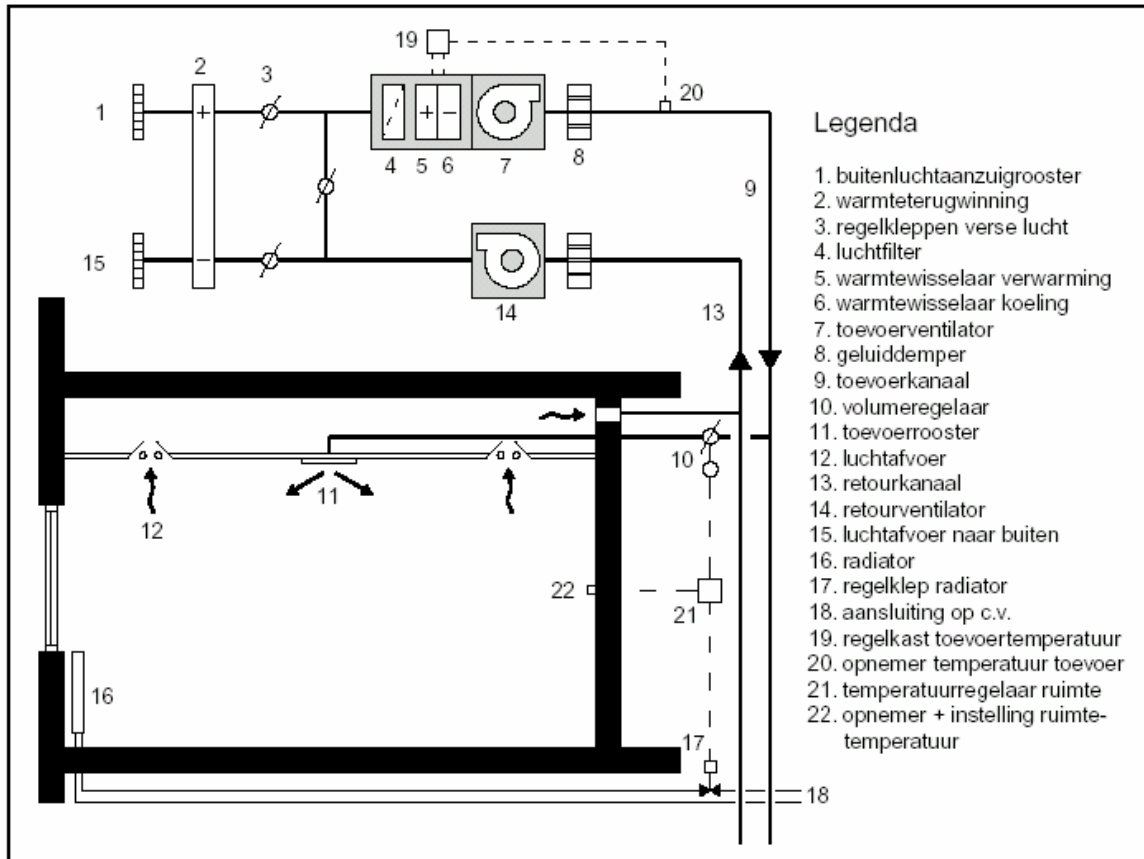


figuur 5 schema éénzone / constant debietsysteem (weergave zonder verwarmingsleidingen)

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.

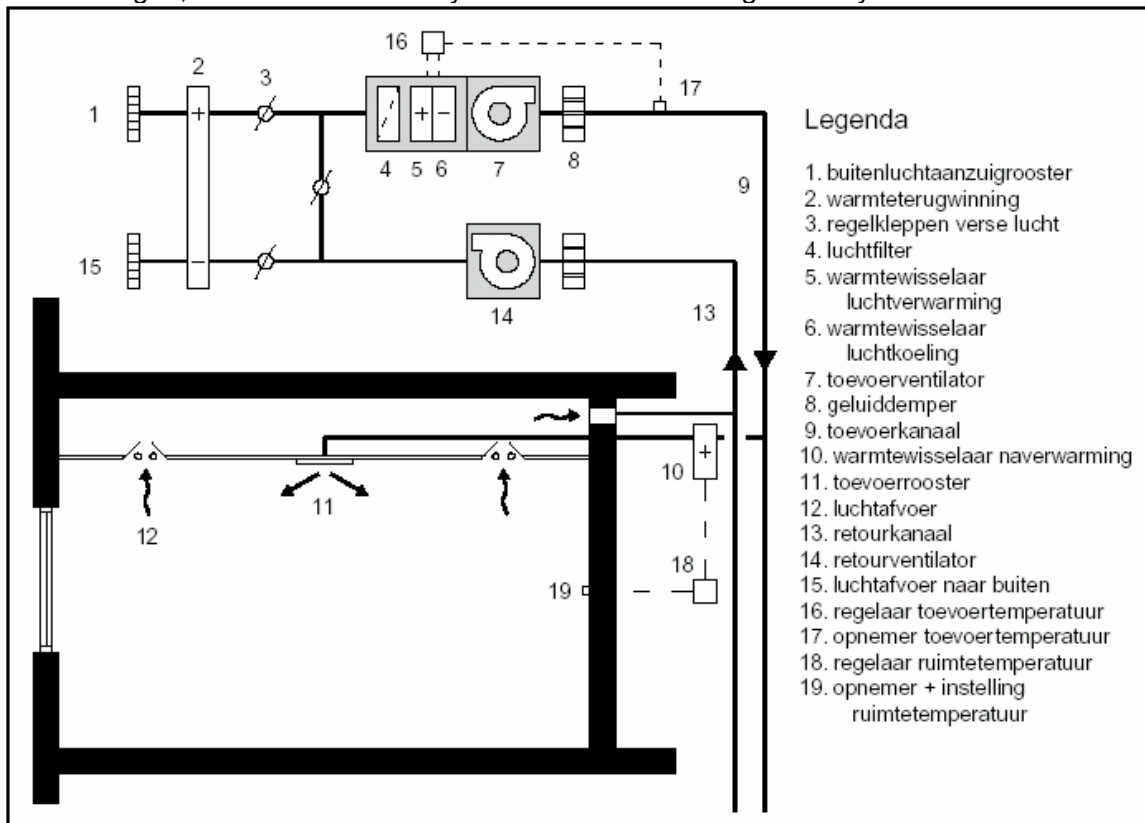
Een voordeel van het variabel debiet systeem is dat voorkomen kan worden dat het in niet-gebruikte verblijfsruimten te koud wordt als deze niet worden gebruikt. Hiermee wordt onnodig verwarmen tegengegaan. De hoeveelheid lucht wordt bij het ontbreken van koudevraag teruggeregeld, indien het systeem op 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 locale 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 dicht bij elkaar hoe energieonzuiger), 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 energieverstijping, meer nog dan bij het VAV-systeem.

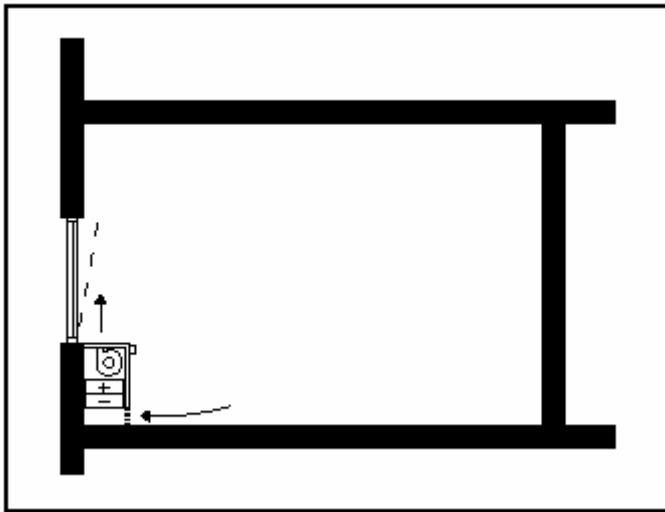
Na-verwarming en na-koeling samen (4-pijps-systeem) maken het systeem energetisch en wat betreft regelmogelijkheden bijna ideaal. Nadeel is dan alleen nog het relatief beperkte koelvermogen, een nadeel dat het systeem met alle "volledig lucht"-systemen deelt.



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

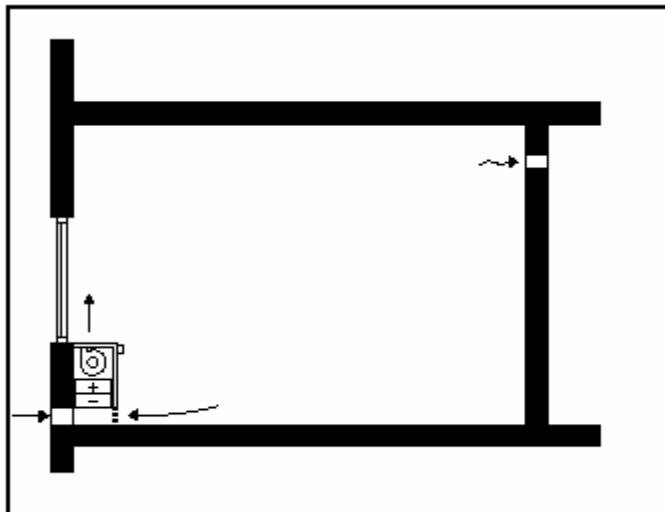
6.9 "Lucht/water"-systemen: ventilatorconvectoren ("Fan-Coil")

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).



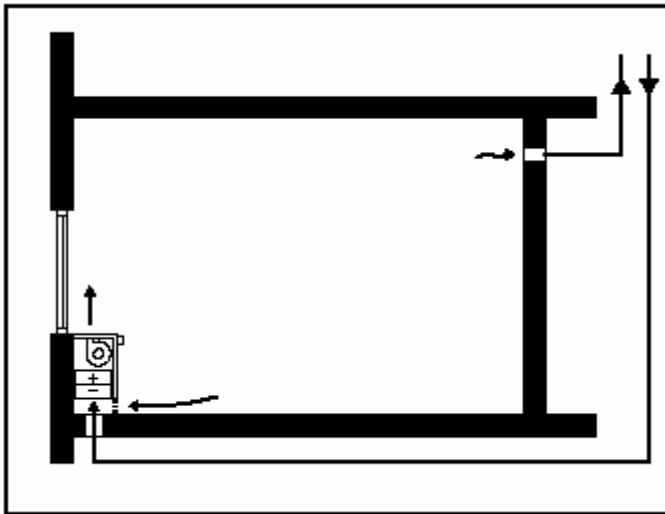
figuur 8 schema systeem met ventilatorconvectoren en te openen ramen

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).

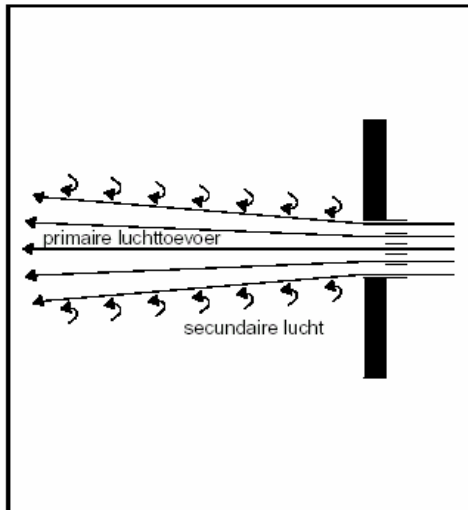


Figuur 11 Ventilatorconvector voor inbouw in het plafond

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.

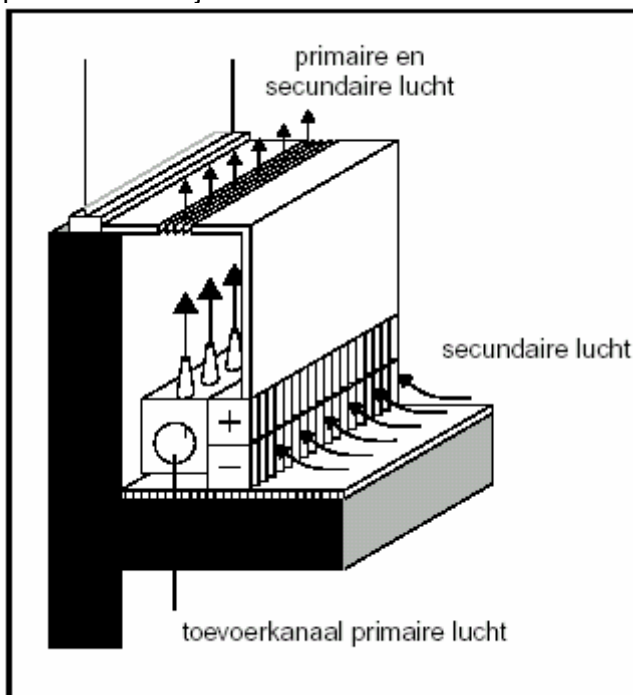
6.10 “Lucht/water”-systemen: inductiesystemen

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.



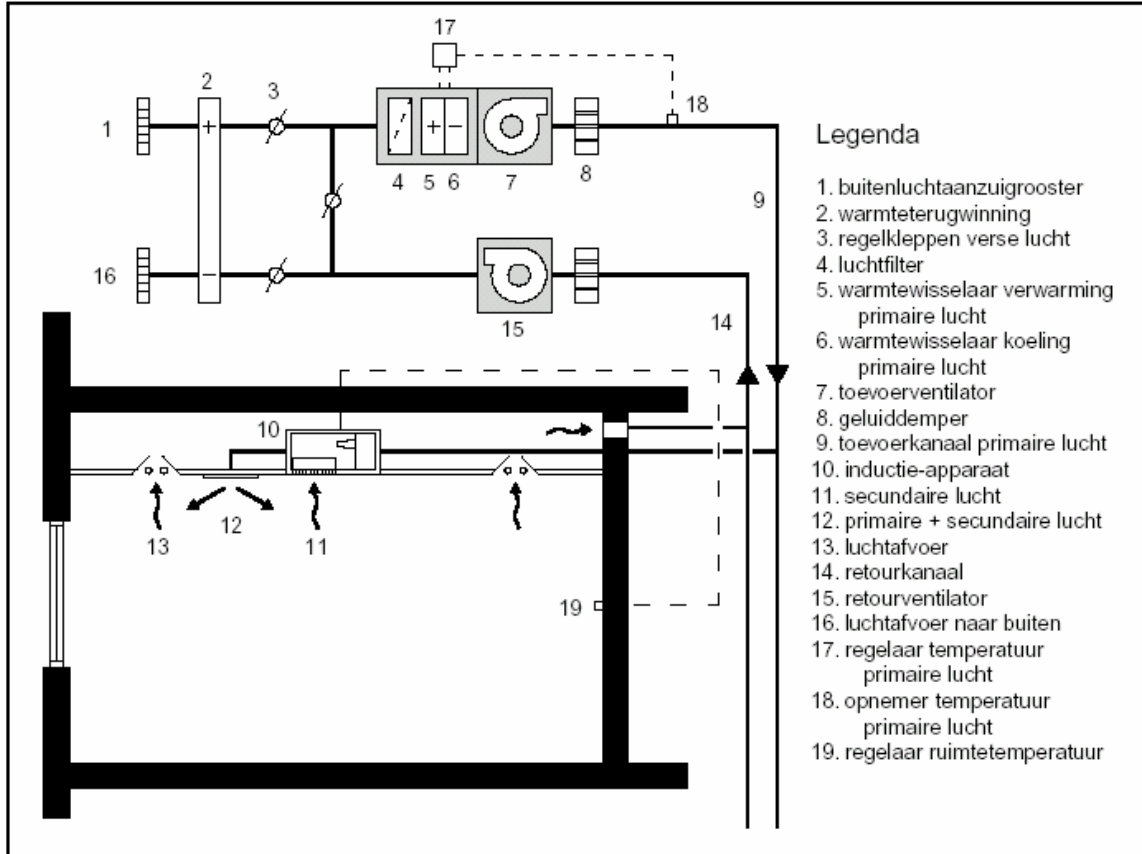
figuur 12 inductie-effect

Bij inductieapparaten wordt centraal voorbehandelde primaire lucht via kleine tuitjes (“nozzles”) met een hoge snelheid in een 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 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

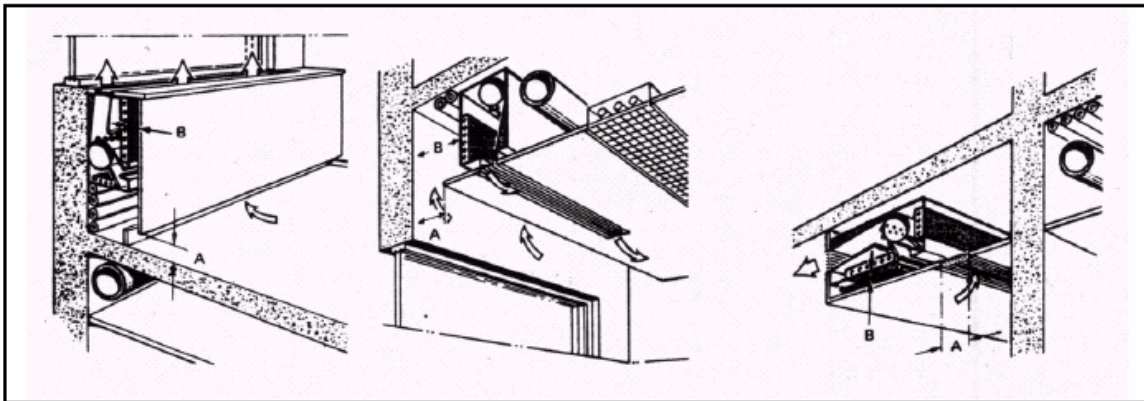
Een belangrijk voordeel van inductiesystemen - in vergelijking met ventilatorconvectoren - is het ontbreken van draaiende delen.

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:

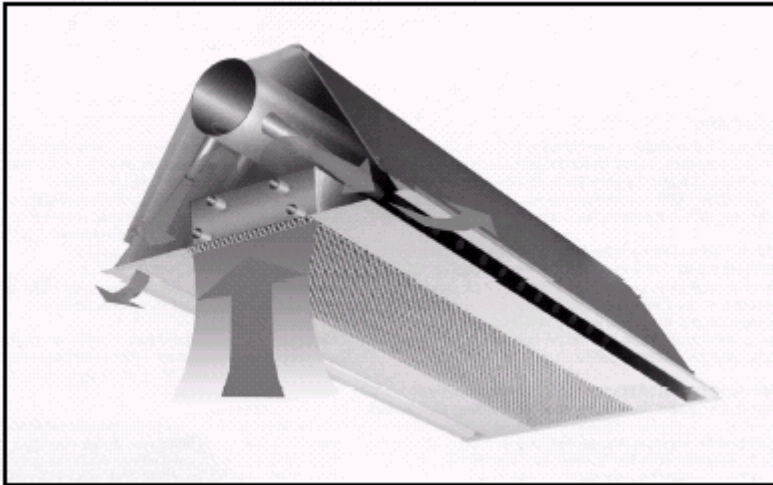
- twee-pijps - "Change Over"
- twee-pijps - "Non Change Over"
- drie-pijps
- vier-pijps

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 plafondinbouw (figuur 16).



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

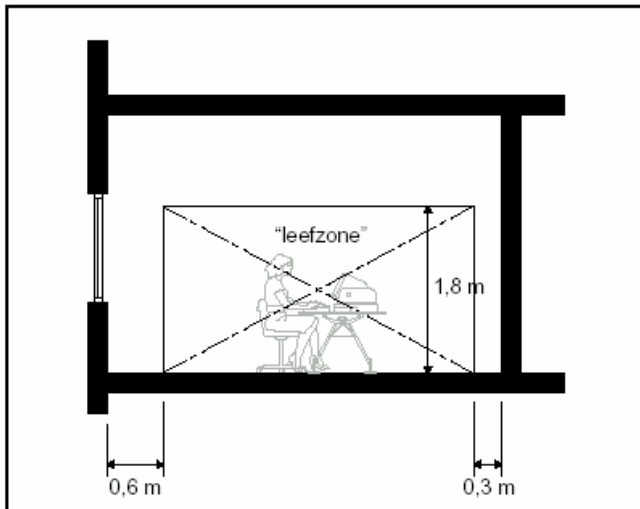
6.11 Combinaties van systemen

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, fabricage ruimten 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>
<u>m</u>	<u>°C</u>
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	$\Delta\theta$
%	°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 m² 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:

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

waarin:

q_v = volumestroom in m³/s

ρ = dichtheid van lucht $\approx 1,2$ kg/m³

c = soortelijke warmte van lucht ≈ 1000 J/(kg.K)

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

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

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

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.

3. Luchtverversing

3.1. 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 in pandige 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 keukens, toilet, badruimte en andere in pandige 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.

3.2. 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.

3.3. 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.

3.4. 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.

3.5 Mechanische ventilatie: voorkomen van tocht

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

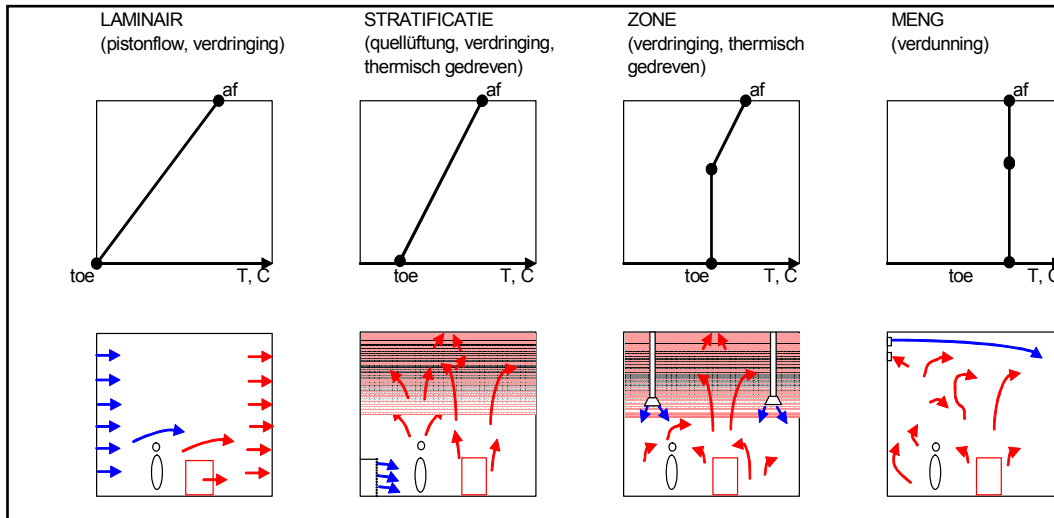
- a. de toevoertemperatuur niet te laag te kiezen (hangt mee af van b en c),
- b. de lucht op de juiste plaats en met het juiste snelheid toe- en af te voeren,
- c. te zorgen voor een dusdanige vorm van toevoer dat voldoende inductie van omringende warmere lucht plaatsvindt.

3.6 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.

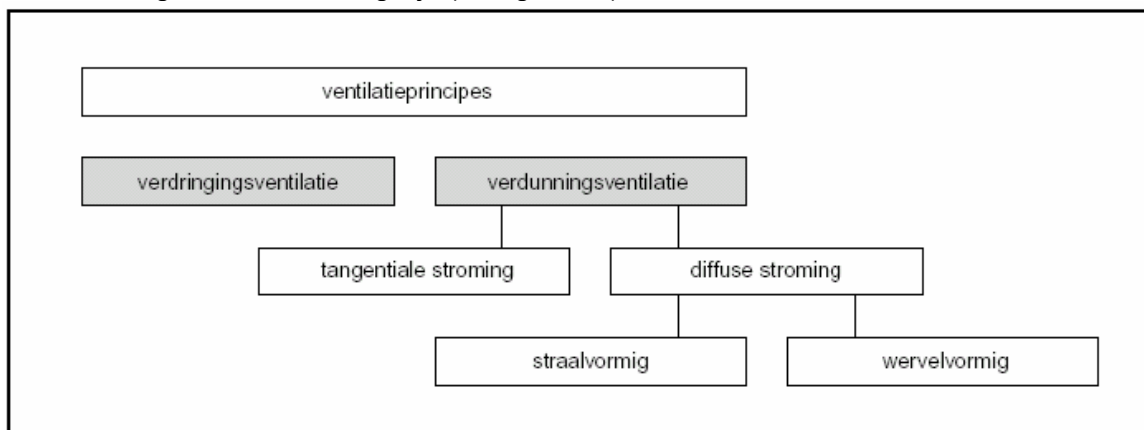


figuur 18 overzicht mogelijke ventilatiestrategieën; i de figuur (boven) is tevens aangegeven wat per ventilatiestrategie de kwaliteit van de ventilatie-effectiviteit is, d.w.z. de effectiviteit van de afvoer van vervuilde lucht

3.7 Verdunnings- of mengventilatie

Algemeen

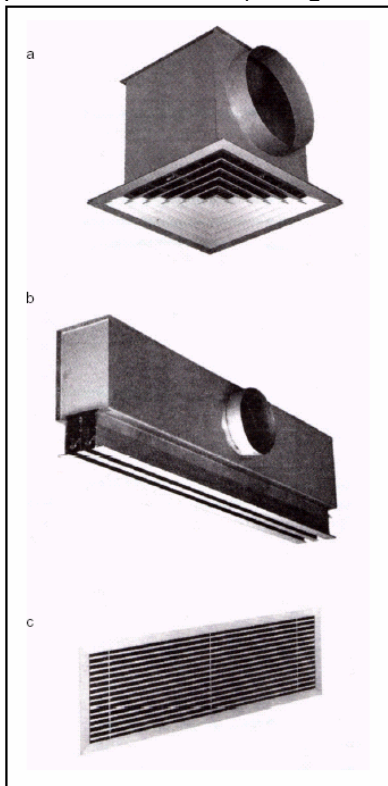
Bij verdunningsventilatie - de meest toegepaste ventilatievorm - wordt lucht met een relatief hoge snelheid ($>2,0$ m/s) toegevoerd. De turbulente toevoerstroam brengt de ruimtelucht in beweging en mengt zich daarmee waardoor relatief geringe temperatuur- en concentratieverschillen ontstaan. Voor verblijfsruimten 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 **tangentiaal** of **diffuus**. De diffuse luchtstroming kan **straal**-vormig of **wervel**-vormig zijn (zie figuur 19).



figuur 19 uitwerking indeling ventilatieprincipes/luchtstromingspatronen

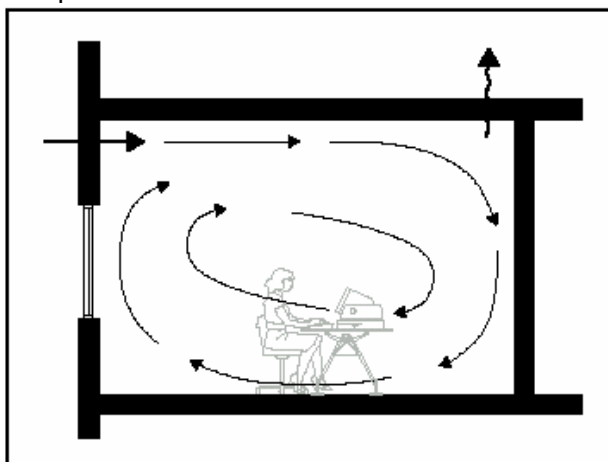
Tangentiale stroming

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

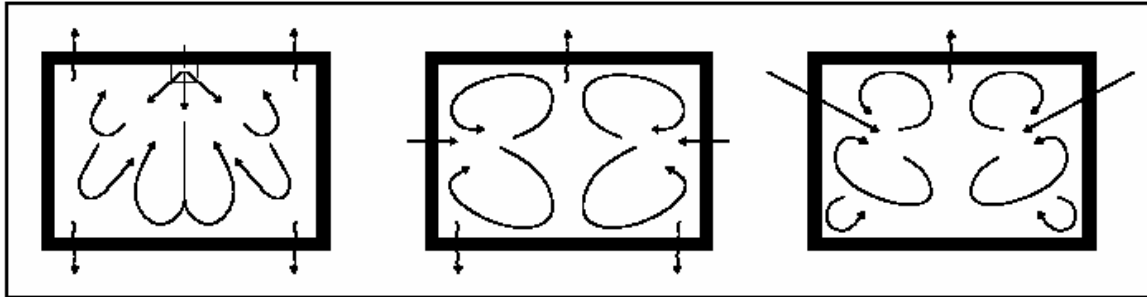
De toevoersnelheid is gemiddeld 2,5 m/s. Door de wijze van toevoer ontstaan walsvormige wervels met de hoogste lichtsnelheden langs plafond en wanden (zie figuur 21) en een lage snelheid ($<0,15$ m/s) in de leefzone. Om de lucht langs het plafond en de wanden te laten stromen wordt gebruik gemaakt van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



figuur 21 tangentiële stroming met walsvormige luchtwervels

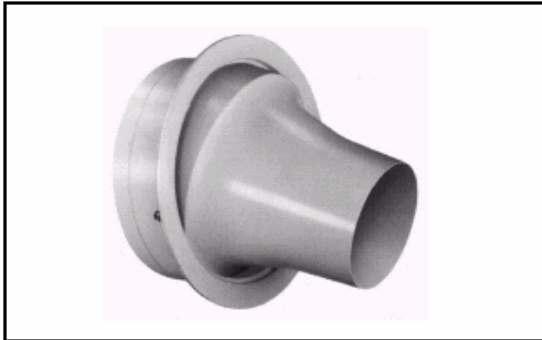
Diffuse stroming

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



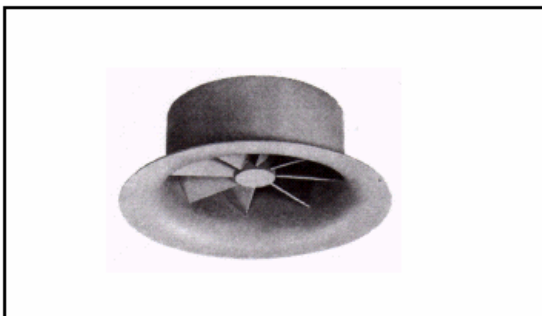
figuur 22 diffuse stroming

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

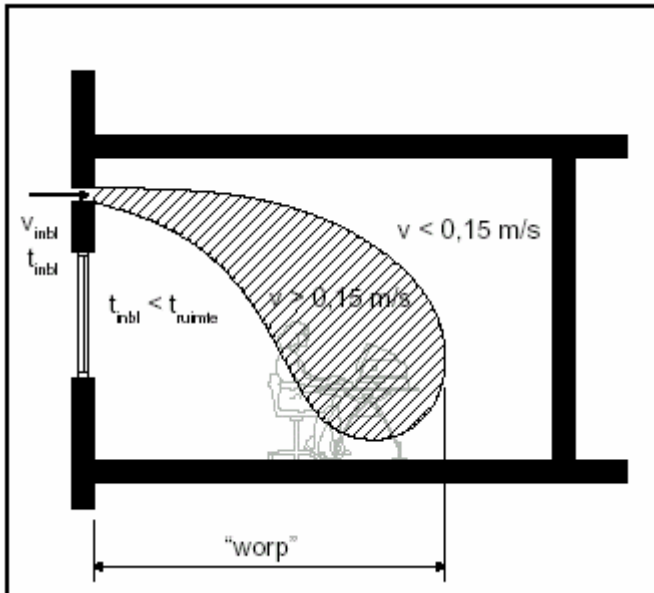
Plaats luchttoevoer en -afvoer

Om hinderlijke tocht te voorkomen moet bij tangentielle 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).

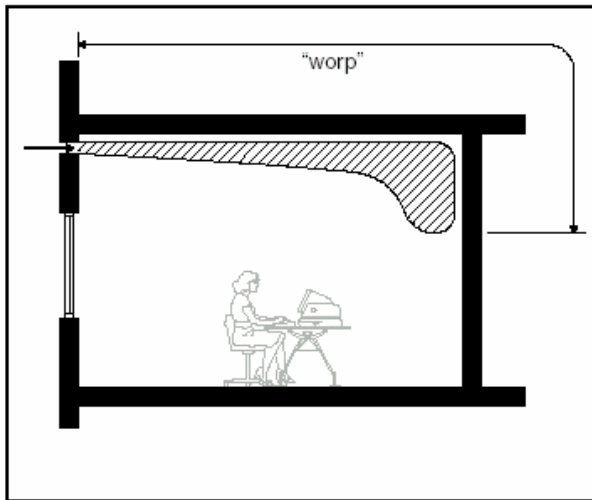


figuur 25 inblaas van koele lucht, worp

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.

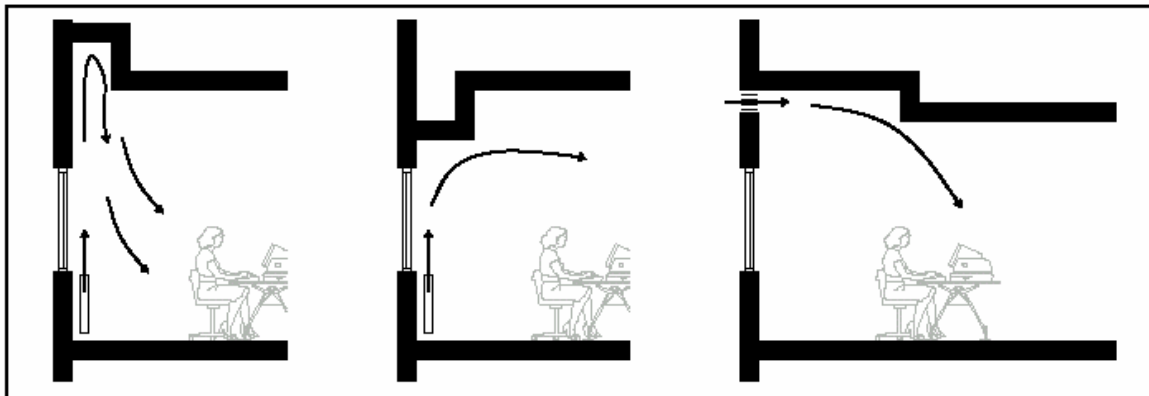
Coanda-effect

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

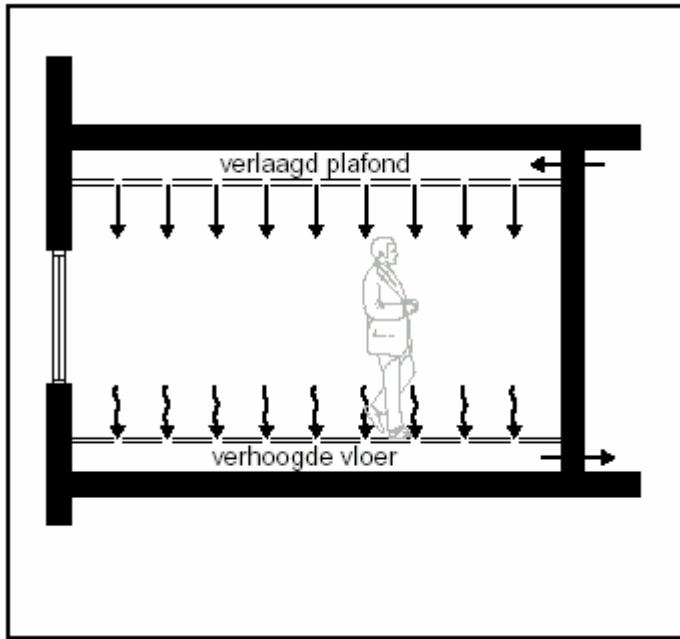
De keuze van het juiste toevoerrooster op de juiste plaats is een vraagstuk voor gespecialiseerde installatieontwerpers. Ook kan proefkameronderzoek nodig zijn. In plaats hiervan worden tegenwoordig ook wel 3-dimensionale stromingsmodellen gebruikt (CFD = Computational Fluid Dynamics). Hiermee kan in 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.

3.8. 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).

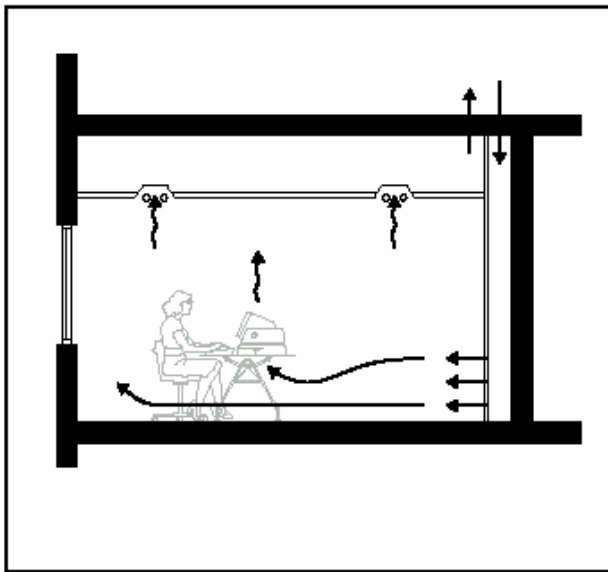


figuur 28 verdringingsventilatie
(zuivere vorm)

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 luchttoevoerluchtsnelheid 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 turbulentarme 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.

3.9 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

4 Integratie eind- of vertrekapparaten

4.1. Inbouw eindapparaten

Gevel

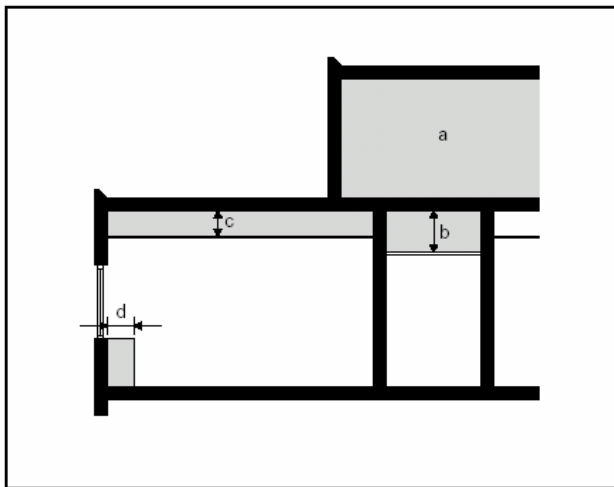
In tabel 8 is de horizontale ruimte aangegeven die globaal nodig is om de eindapparaten van de meest voorkomende klimaatregelsystemen in de gevelzone te kunnen plaatsen. Omdat er vaak vele mogelijkheden zijn, wat betreft de vorm van inductieapparaten, ventilatorconvectoren e.d. (lang, hoog en "ondiep" 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 moet hebben zoals in tabel 8 voor het gangplafond is aangegeven.



figuur 31 inbouwruimte voor verschillende klimaatregelsystemen

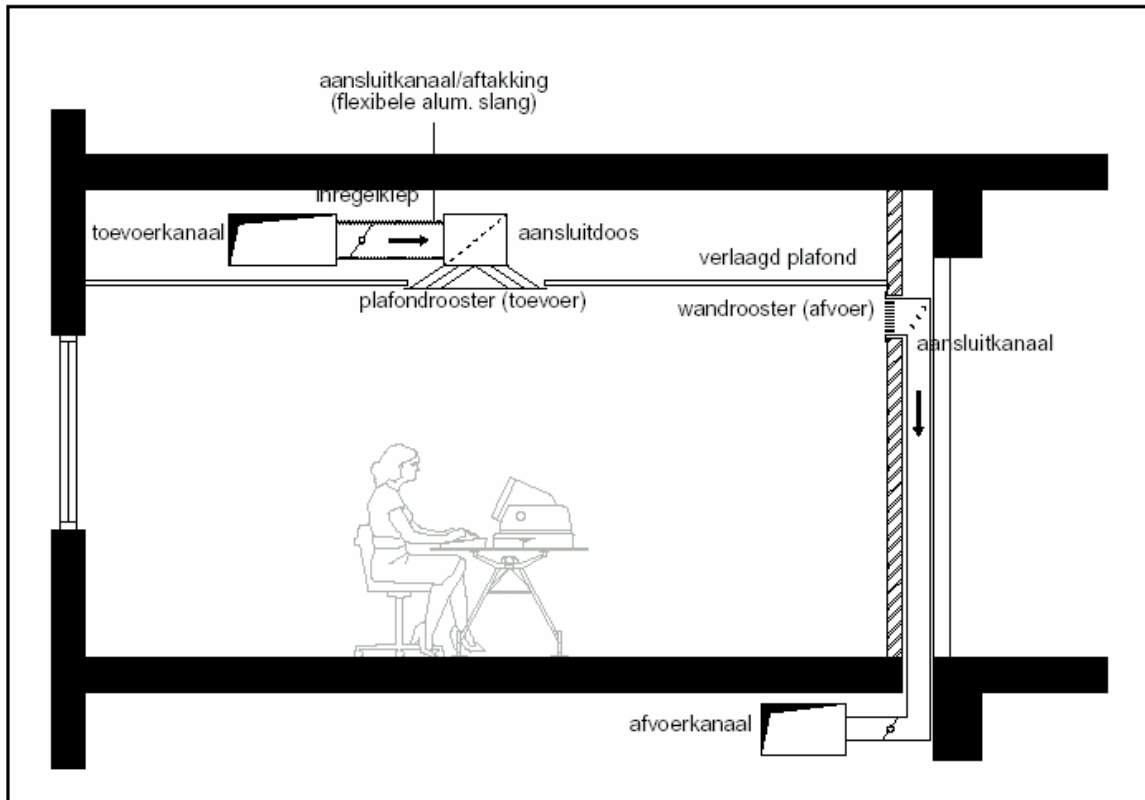
Vloer

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 na-verwarming 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.

4.2. 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 lichtsnelheid - 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.

Centrale installaties – lucht - vuistregels

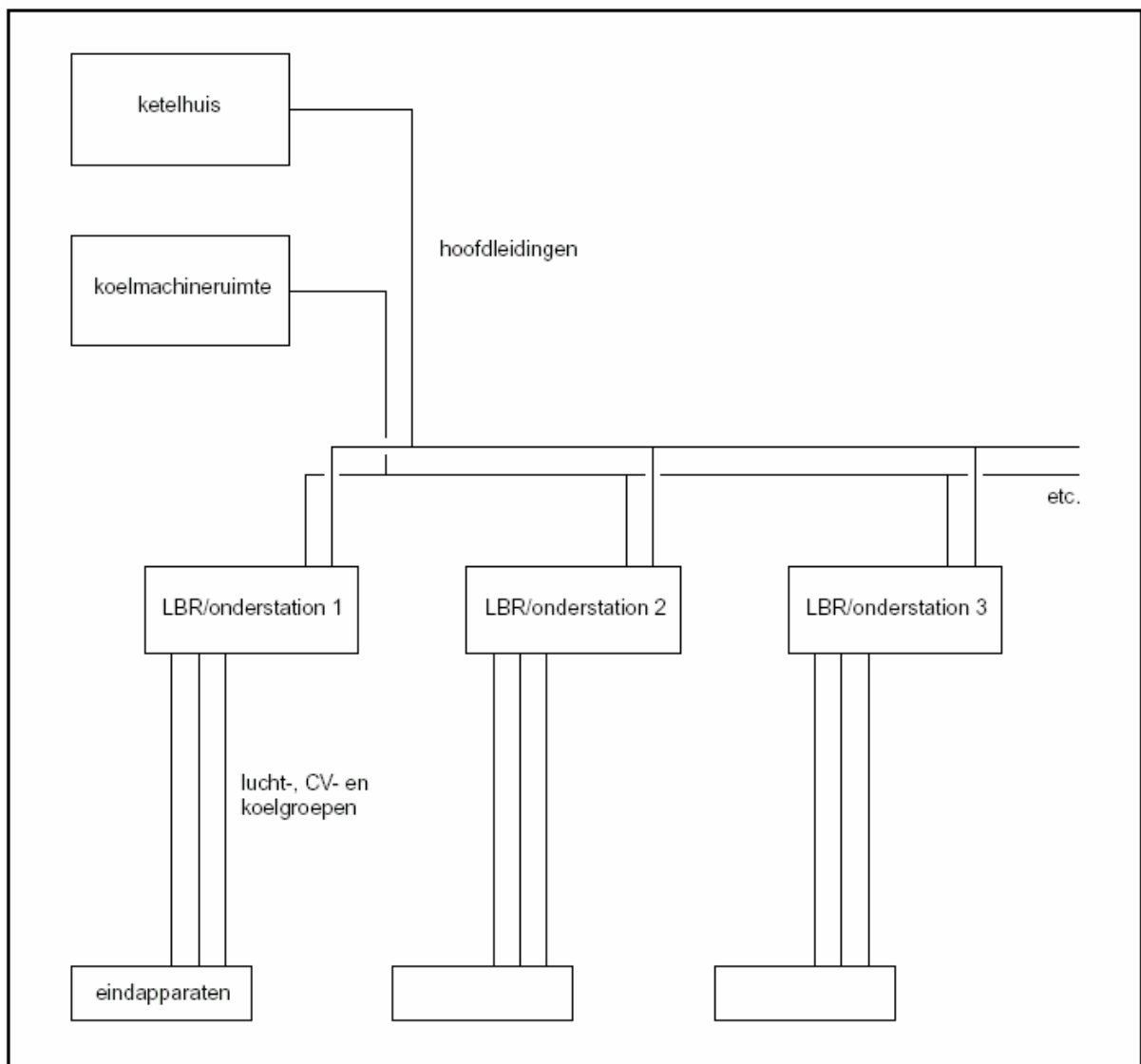
Kennisbank Bouwfysica

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

1 Ruimtelijke Integratie

1.1 Conceptuele indeling

De eerste ruimtelijke integratiestap is het maken van de "conceptuele indeling" in: a) centrale installaties, b) installaties voor distributie van warmte, koude en verse lucht in het gebouw en c) installaties voor de verdeling van warmte, koude en lucht in de te klimatiseren ruimten ("eindapparaten"). Zie figuur 1. De volgende stap is het creëren van ruimte voor deze installaties.



figuur 1 conceptuele indeling van installaties

1.2 Dimensioneren van de installatieruimte

Bij het dimensioneren van de installatieruimte bestaan twee trajecten waarin de afstemming op het gebouwontwerp kan worden verfijnd, namelijk: bij het bepalen van het vermogen van de installaties en bij het - op grond van dat vermogen - bepalen van de benodigde ruimte. De mate van de mogelijke verfijning hangt af van het ontwerpstadium. Bij het eerste Ruimtelijke Ontwerp krijgen de installaties voor het eerst aandacht en zal de dimensionering van de installatieruimte meestal "indicatief" zijn. Bij het Voorlopig Ontwerp *kan* de afstemming worden verfijnd met een "globale" bepaling. Wanneer dit *moet* is niet precies aan te geven. Het kan "indicatief" blijven als dit niet tot een ongewenste vormgeving leidt maar met het risico van over-dimensionering en daardoor onnodig hoge bouwkosten. Dat is bijvoorbeeld het geval als de ruimte in verlaagde plafonds groter is dan nodig. Een hoogteverschil van 20 cm betekent ruwweg 6% van de bouwkosten.

1.3 Technische ruimten algemene eisen

De centrale installaties moeten in zogenaamde "technische ruimten" worden ondergebracht. Deze ruimten zijn geschikt voor hun doel als ze:

- a. voldoende ruim en hoog zijn,
- b. eenvoudig toegankelijk zijn voor onderhouds- en bedieningspersoneel en voor aan- en afvoer van grote installatiedelen en apparaten,
- c. zo zijn in te richten dat er voldoende ruimte overblijft voor bediening, onderhoud en reparatie (denk aan uitwisselbaarheid en hanteerbaarheid van grote apparaten),
- d. zo in het gebouw zijn gesitueerd dat leidingen en kanalen - van en naar deze ruimten toe - eenvoudig zijn aan te brengen (in schachten, verlaagde plafonds, kruipruimten e.d.) en goed bereikbaar blijven voor controle, onderhoud en reparatie,
- e. zo geïsoleerd zijn, dat geluid- en trillingshinder in gebouw en omgeving voldoende is beperkt,
- f. een voldoende hoge vloerbelasting kunnen verdragen ($>4.000 \text{ N/m}^2$),
- g. voldoende kunnen worden geventileerd (bij calamiteiten op natuurlijke wijze),
- h. voldoen aan voorschriften en eisen betreffende brandveiligheid.

In de nu volgende paragrafen worden de situering en dimensionering van de technische ruimten besproken m.b.t. luchtbehandeling. Voor alle ruimten geldt dat ze zo moeten worden gesitueerd dat ze tijdens het ontwerp groter of hoger zijn te maken, zonder dat dit tot ingrijpende wijziging van het gebouwontwerp leidt.

2 Luchtbehandelingsruimten

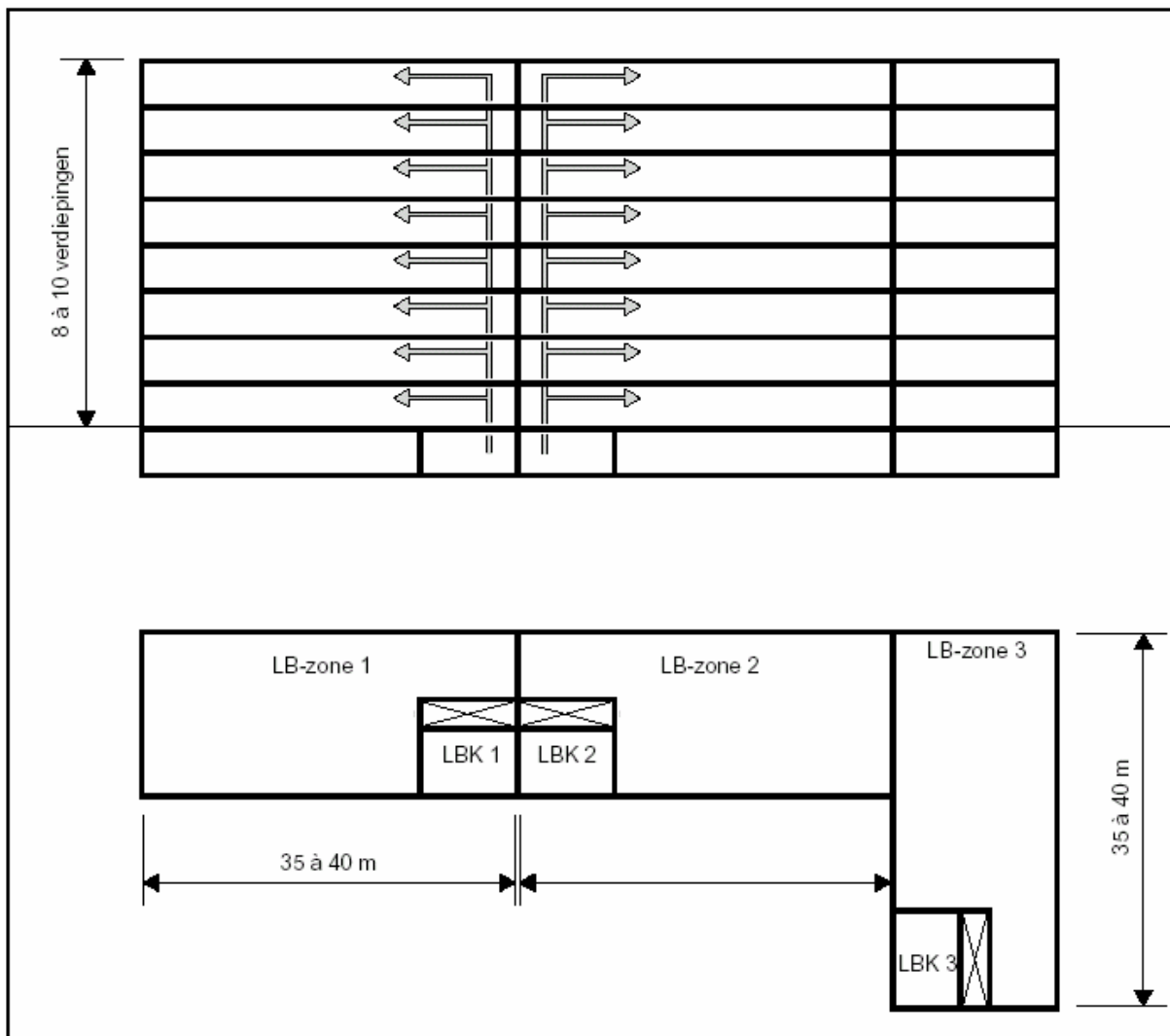
2.1 Plaats en bijzondere eisen

Luchtbehandelingskasten produceren, in vergelijking met CV-ketels en koelmachines, weinig geluid. Een luchtdichte wand, als geluidsafscherming naar een naastliggende verblijfsruimte, is vaak voldoende. Luchtkanalen zijn per definitie lek. Bovendien is de warmtecapaciteit van lucht gering waardoor de temperatuur van de lucht in kanalen snel kan veranderen. Daarom moeten luchtkanalen zo kort mogelijk worden gehouden en moeten luchtbehandelingskasten zo dicht mogelijk bij de te klimatiseren ruimten worden geplaatst. Kleine kasten ($<2.000 \text{ m}^3/\text{h}$) kunnen vaak in verlaagde plafonds worden ingebouwd terwijl kasten voor luchthoeveelheden

tot 5.000 m³/h wel in nevenruimten worden opgesteld (magazijn, werkkast e.d.). Voor grote luchtbehandelingskasten richt men meestal aparte luchtbehandelingsruimten in. Deze ruimten noemt men "onderstation" als er ook andere (centrale) installaties in zijn ondergebracht. Luchtbehandelingsruimten worden bij voorkeur op het dak of in de kelder gesitueerd. Ruimten op de begane grond of op verdiepingen kan ook maar dit zijn relatief dure m³.

Luchtbehandelingskasten worden per gebouwdeel of -zone in aparte luchtbehandelingsruimten geplaatst. Gebouwen worden in zones ingedeeld op grond van hun afmetingen. Ruimten worden tot zones geclusterd op grond van gelijke functies of gelijke belastingsprofielen. Als vuistregel geldt dat de maximale lengte en breedte van een zone 35 à 40 m is. Verticaal is een zone niet meer dan 8 à 10 verdiepingen. Bij extreme hoogbouw gaat men soms tot 15 à 20 verdiepingen (zie figuur 2).

Luchtbehandelingsruimten van dicht bij elkaar liggende zones kunnen tot één ruimte worden gecombineerd.



figuur 2 voorbeeld van zonering van luchtbehandelingsinstallaties

Als voorbeeld voor het zoneren/cluseren op grond van belastings- en functievoerschillen kan het gebouw van Bouwkunde van de TU-Delft worden genomen. De kabinetten hebben per oriëntatie, hoekvertrekken niet meegerekend, ongeveer een gelijk belastingsprofiel omdat de zonbelasting ongeveer gelijk is. Verder worden de kabinetten op ongeveer gelijke wijze en op ongeveer dezelfde tijd van de dag gebruikt. Hierdoor kunnen de kabinetten per oriëntatie in één zone worden ingedeeld (geclusterd) en op één luchtbehandelingskast worden aangesloten. De collegezalen hebben door het grote verschil in gebruik een sterk wisselende belasting, zowel ten opzichte van de kabinetten als ten opzichte van elkaar. Daardoor ligt het voor de hand om de collegezalen elk als een aparte zone te beschouwen en ze elk een eigen luchtbehandelingskast te geven.

De tekenzalen en kabinetten zouden tot één luchtbehandelingszone kunnen worden geclusterd en op één luchtbehandelingskast worden aangesloten als iedere ruimte een naregeling krijgt om de belastingsverschillen te compenseren. Dat houdt in dat per vertrek of zaal nakoelers en naverwarmers in het toevoerkanaal zouden moeten worden aangebracht. Dit vraagt om inbouwruimte voor die apparaten en hun aansluitleidingen. Een ander nadeel is, dat naverwarming van gekoelde lucht tot energieverpilling kan leiden.

2.2 Ruimtebepaling indicatief

Als bij het eerste Ruimtelijke Ontwerp nog weinig bekend is over de thermische eigenschappen van het gebouw is het slechts mogelijk de afmetingen voor luchtbehandelingsruimten indicatief te bepalen. Dat kan op grond van het gebouwvolume, zie tabel 1.

tabel 1 indicatie afmetingen luchtbehandelingsruimten

bruto volume zone(s) of gebouwdeel m ³	luchtbehandelingsruimte	
	oppervlakte m ²	hoogte m ¹
2.000	60	2,5
5.000	80	3,0
10.000	100	3,6
15.000	140	4,2
20.000	170	4,5
30.000	230	5,5
40.000	290	6,0

NB Tabel 1. geldt voor een gemiddeld ventilatievoud van 4 en heeft betrekking op het bruto gebouwvolume, inclusief verkeersruimten e.d. Voor "standaard" gebouwen is dit aan de hoge kant. Voor zeer transparante gebouwen of gebouwen met een hoge interne warmtebelasting kan een hoger gemiddeld ventilatievoud nodig zijn, bijvoorbeeld 5 à 6.

2.3 Ruimtebepaling globaal

Bij het Voorlopig Ontwerp worden de afmetingen van luchtbehandelingsruimten vaak gebaseerd op een schatting van de per zone of gebouwdeel (cluster van zones) te verplaatsen luchthoeveelheid ("debiet"). Daarvoor moet in deze fase van het ontwerp de

zonering bekend zijn. Het debiet is te schatten door een zo reëel mogelijk ventilatievoud aan te nemen.

tabel 2 globale afmetingen luchtbehandelingsruimten

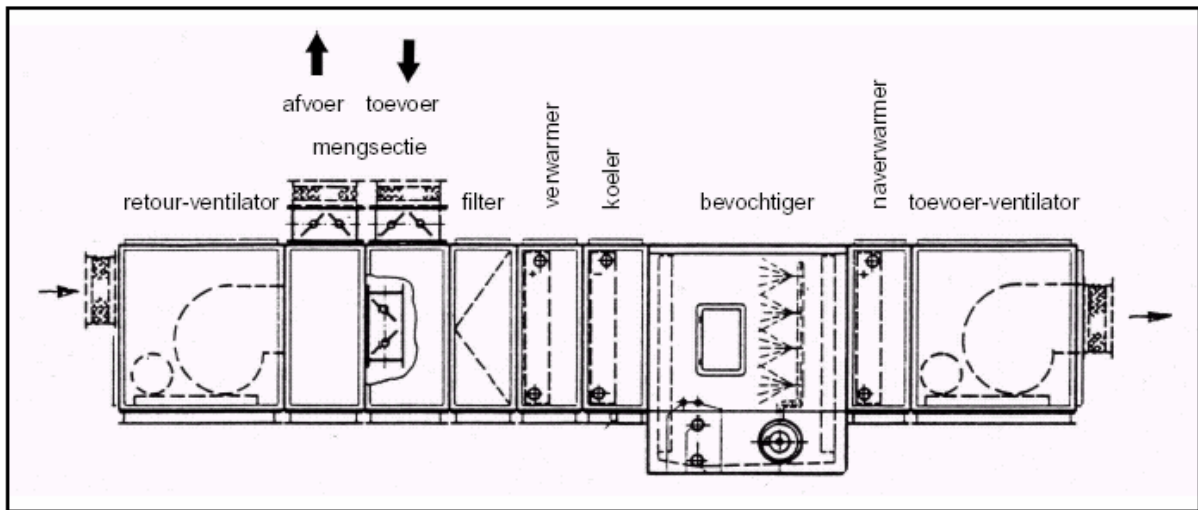
debiet zone of cluster	alleen luchtafvoer	luchttoevoer en -afvoer plus			hoogte
		FV	FVK	FVKB*)	
m ³ /h	m ²	m ²	m ²	m ²	m ¹
10.000	20	30	50-60	60-70	2,5
25.000	25	35-40	65-80	85-100	3,2
50.000	35-40	50-60	90-110	120-140	4,0
75.000	40-55	65-80	120-145	155-180	4,5
100.000	50-70	80-100	150-180	190-220	5,0
150.000	70-100	110-140	200-250	260-300	6,0

*) F=filteren V=verwarmen K=koelen B=bevochtigen

2.4 Ruimtebepaling nauwkeurig

Ook voor luchtbehandelingsruimten geldt dat het Definitief Ontwerp de laatste kans biedt om deze ruimten goed op het gebouw af te stemmen. Vooral deze ruimten kunnen voor grote inbouw- en uiteindelijk voor geluidsproblemen zorgen. Zijn de ruimten te klein dan wordt de installateur genooddaakt kleine kanalen en luchtbehandelingskasten toe te passen met hoge luchtsnelheden, waardoor hinderlijk stromingsgeluid kan ontstaan. Te grote ruimten daarentegen brengen nodeloos hoge bouwkosten met zich mee. Een redelijk nauwkeurige bepaling van de afmetingen is mogelijk door per zone van enkele representatieve ruimten de benodigde luchthoeveelheid te berekenen en hiervan het gemiddelde (per m³) te nemen voor de zone als geheel. Uit dit gegeven zijn de afmetingen van de luchtbehandelingskasten af te leiden. Zijn de kastafmetingen bekend dan kunnen daarmee de afmetingen en de indeling van de luchtbehandelingsruimte worden bepaald.

Gegevens over afmetingen van luchtbehandelingskasten kunnen in de documentatie van leveranciers worden gevonden. De afmetingen zijn redelijk goed te benaderen doordat de luchtsnelheid in de bruto doorsnedeoppervlakte een vrij constant gegeven is. Bij kasten met een debiet tot 2 m³/s is de snelheid ca. 2,0 m/s, bij grotere kasten ca. 2,5 m/s. Met uitzondering van lage/brede kasten, bedoeld voor inbouw in plafonds, is het doorsnedeoppervlak meestal vierkant. Luchtbehandelingskasten bestaan uit verschillende secties met te onderscheiden functies. Bij volledige luchtbehandeling zijn dit, gezien in de stromingsrichting van de lucht: retourventilator, mengsectie, filter, warmer, koeler, bevochtiger, naverwarmer en toevoerventilator (zie figuur 3).



figuur 3 voorbeeld van een volledige luchtbehandelingskast (schema)

In dit voorbeeld is nog geen warmteterugwinunit, zoals een warmtewiel, opgenomen. Bij toepassing van laagtemperatuurverwarming en hoogtemperatuur koeling is de inbouw lengte van de verwarmings- en koelbatterijen meestal groter. Soms worden ook twee filters toegepast, een grof en fijn filter.

De lengte van de verschillende secties uit figuur 2 is ongeveer:

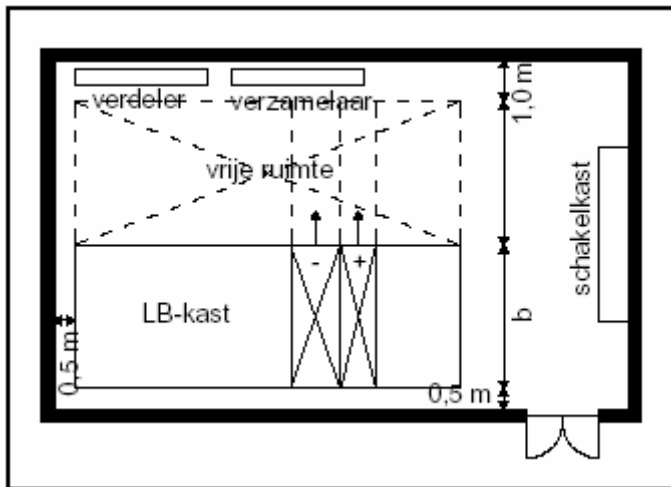
ventilator	:	1 x hoogte luchtbehandelingskast
mengsectie	:	1 x „ „
bevochtiger	:	1,5 m
filter	:	0,6 m
koeler	:	0,6 m
verwarmer	:	0,4 m

Voorbeeld gebaseerd op figuur 3

Een luchtbehandelingskast die $15 \text{ m}^3/\text{s}$ verplaatst heeft een doorsnede van ca.: $15 / 2,5 = 6 \text{ m}^2$,

$b = h = \sqrt{6} = 2,4 \text{ m}$. De lengte is ca. $2,4 + 2,4 + 0,6 + 0,4 + 0,6 + 1,5 + 0,4 + 2,4 = 10,5 \text{ m}$

Naast de luchtbehandelingskasten moet ruimte worden vrijgehouden om grote onderdelen, zoals warmtewisselaars, te kunnen uitbouwen. Deze ruimte moet iets breder zijn dan de kast zelf. Bij twee kasten kan deze "serviceruimte" worden gecombineerd. Een luchtbehandelingsruimte, ingericht als onderstation, moet tevens ruimte bieden aan verdeler/verzamelaars, schakelkasten, bedieningspanelen e.d. Daarvoor is een strook van 1 m langs een (lange) wand nodig (zie figuur 4).



figuur 4 voorbeeld indeling luchtbehandelingsruimte

In de luchtbehandelingsruimte moet vaak ook plaats zijn voor geluiddempers, één in de toevoer en één in de retour van elke luchtbehandelingskast. Ze worden direct op de luchtbehandelingskast aangesloten of in de luchtbehandelingskast zelf opgenomen, waardoor de lengte van de kast met ca. 3 maal de hoogte van de kast toeneemt. Door hun ruimtebeslag worden dempers wel in luchtkanalen ingebouwd buiten de luchtbehandelingsruimte. Uiteraard is daar ruimte voor nodig. Ook voor luchtbehandelingsruimten geldt dat een nauwkeurige bepaling van de afmetingen een taak is voor adviseurs en installateurs. Het belang is echter zo groot dat gebouwonwerpers deze taak vaak zelf op zich nemen.

Centrale installaties – lucht - systeemkeuze

Kennisbank Bouwfysica

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

1 Algemeen

1.1 Inleiding

Besproken worden een aantal belangrijke centrale componenten die vaak in luchtbehandelings-systemen voorkomen. Het doel van deze componenten is o.a. het terugwinnen van energie en vocht, het zuiveren van de lucht (stofdeeltjes, e.d.) en het realiseren van de gewenste relatieve vochtigheid.

Aan de hand van diverse warmteterugwinningssystemen wordt ingegaan op de volgende componenten:

- warmteterugwinning uit ventilatielucht, hiermee kan vaak ook vocht worden teruggewonnen
- luchtreiniging
- luchtbevochtiging of ontvochtiging

2 Warmteterugwinning uit ventilatielucht

2.1 Type warmteterugwinningssystemen

Bij mechanische ventilatie en centrale klimaatsystemen kunnen de ventilatieverliezen met 40-80% worden gereduceerd door warmteterugwinning (WTW). Hierdoor kan worden volstaan met een kleinere capaciteit voor verwarming en koeling. Hier staat tegenover het ruimtebeslag, de aanschaf- en onderhoudskosten en het elektriciteitsverbruik van ventilatoren en pompen.

De volgende systemen komen in hoofdzaak voor (zie ook figuur 1.):

- **een regeneratief warmtewiel**
Een warmtewiel bestaat uit een anorganische massa die wordt rondgedraaid met een elektromotor.
Een voordeel van een warmtewiel is dat vochtoverdracht mogelijk is. Nadelen zijn het risico van stankoverdracht, en het ruimtebeslag.
- **een platen- of buizenwarmtewisselaar, in kruis- of tegenstroom**
Een platenwarmtewisselaar is eenvoudig en goedkoop.
- **heatpipe**
Een heatpipe is een pijp gevuld met een medium dat warmte overdraagt door te verdampen en te condenseren.
Voordelen van heatpipes zijn dat ze geen verliezen hebben en per pijp een extreem hoge capaciteit.
Een nadeel van heatpipes is dat ze erg duur zijn.

Bovengenoemde systemen impliceren dat aan- en afvoer van lucht bij elkaar moet zijn gesitueerd. Een systeem waarbij dat niet nodig is, is:

- **twin coil**

Bij een twin coil systeem wordt gebruik gemaakt van twee lucht/water batterijen, verbonden met pijpen. Het warmte-overdragend medium is water/glycol, meestal ter voorkoming van bevriezing.

Zo'n systeem vergt weinig ruimte, is eenvoudig en goedkoop.

Een voordeel van een twin coil systeem is dat de aan- en afvoerkanalen niet bij elkaar gesitueerd hoeven te zijn. Dit gaat ten laste van een laag rendement en relatief hoge secundaire energiekosten.

Recirculatie van lucht is geen warmteterugwinning maar speelt in op een variabele behoefte van buitenluchtoevoer. Recirculatiesystemen leiden regelmatig tot een ongezond binnenklimaat vanwege een te hoog recirculatiedeel waardoor te weinig frisse ventilatielucht wordt toegevoerd. Het systeem vraagt om een goede controle en onderhoud van het kanalsysteem en de filters.

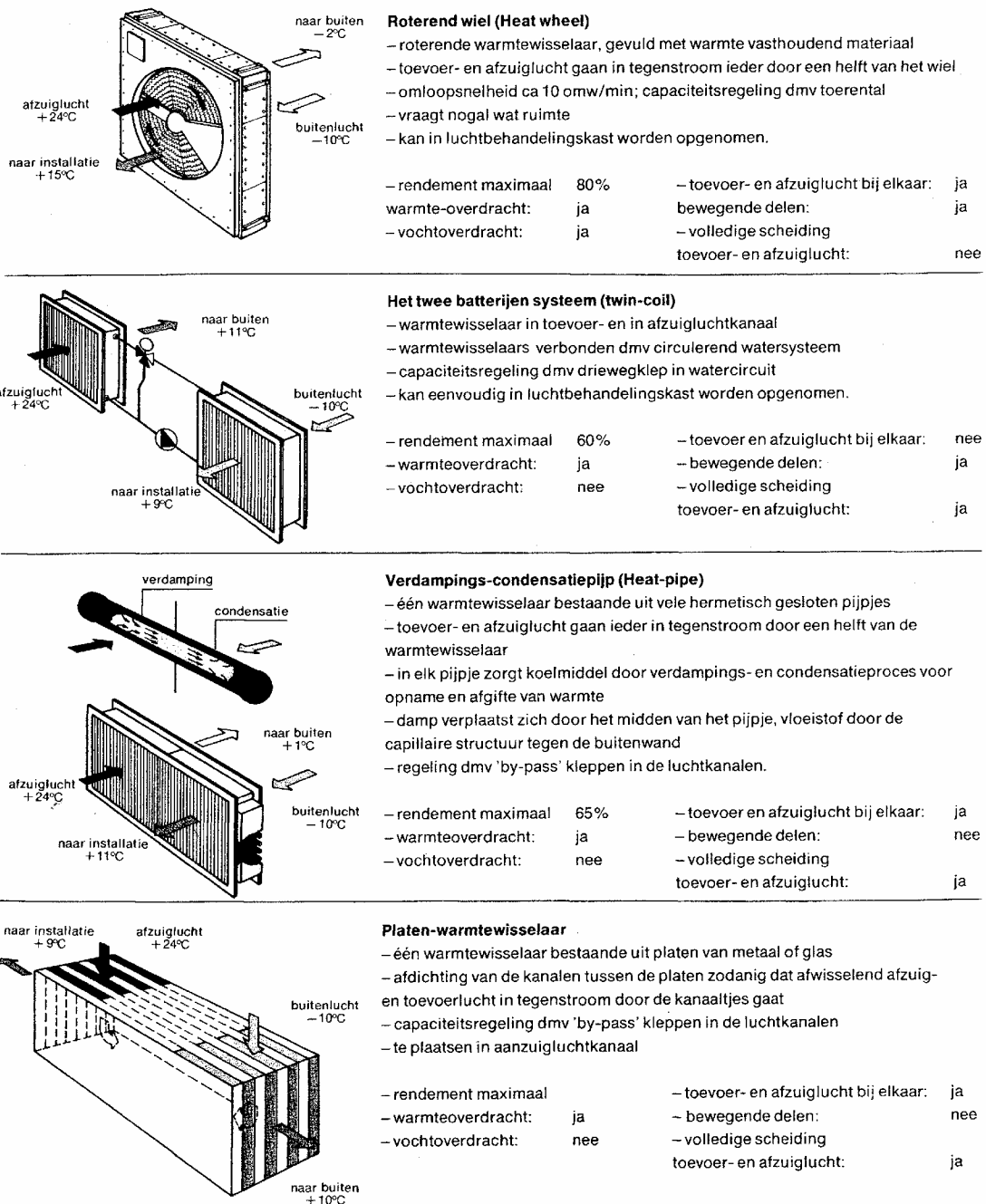


fig.1

OVERZICHT DIVERSE WARMTE-TERUG-WINNINGSSYST.

figuur 1 overzicht diverse warmteterugwinningssystemen

2.2 Warmtewiel of regeneratieve warmtewisselaar

Werking

Het actieve deel van het warmtewiel, de rotor bestaat uit een speciale geconstrueerde anorganische massa waarin een groot aantal axiale gerichte kanaaltjes zitten waardoor lucht kan stromen.

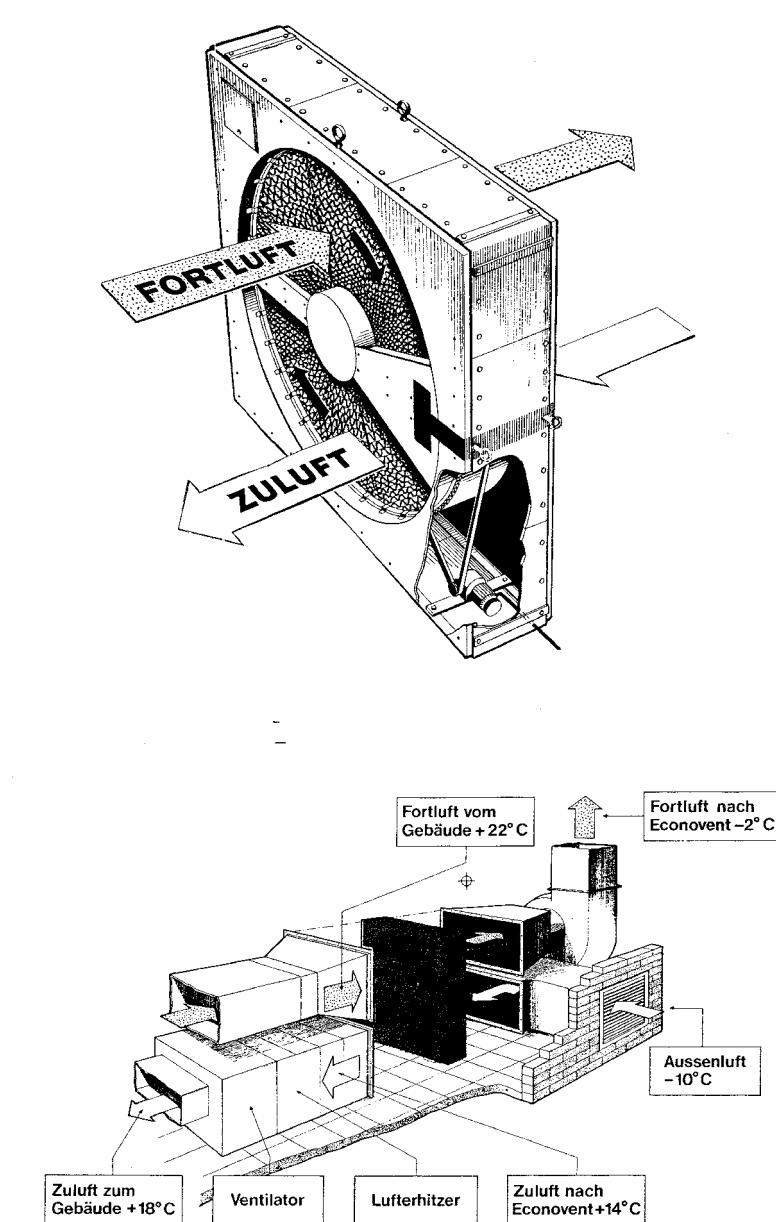
De rotor is geplaatst in een plaatstalen omkasting, waarbij deze omkasting 4 aansluitingen heeft, te weten: twee aansluitingen voor het toevoerluchtkanaal (intreezijde en uittreezijde van de rotor) en twee aansluitingen voor het afvoerluchtkanaal (intree en uittree). zie fig. 2.

De rotor wordt met behulp van een elektromotor rondgedraaid. In de wintersituatie wordt daarmee bereikt, dat een deel van de cilinder, wat door de warme afvoerlucht is opgewarmd, door de koude toevoerlucht wordt doorstroomd.

De koude toevoerlucht wordt hierbij opgewarmd.

Vochtoverdracht

Indien - naast condensatievocht - meer vochtoverdracht is gewenst kan de anorganische massa worden voorzien van lithiumchloride (LiCl_3) welke de eigenschap heeft vocht te onttrekken aan de af te zuigen lucht. De koudere en veel drogere toevoerlucht neemt dan het vocht op uit de LiCl_3 .

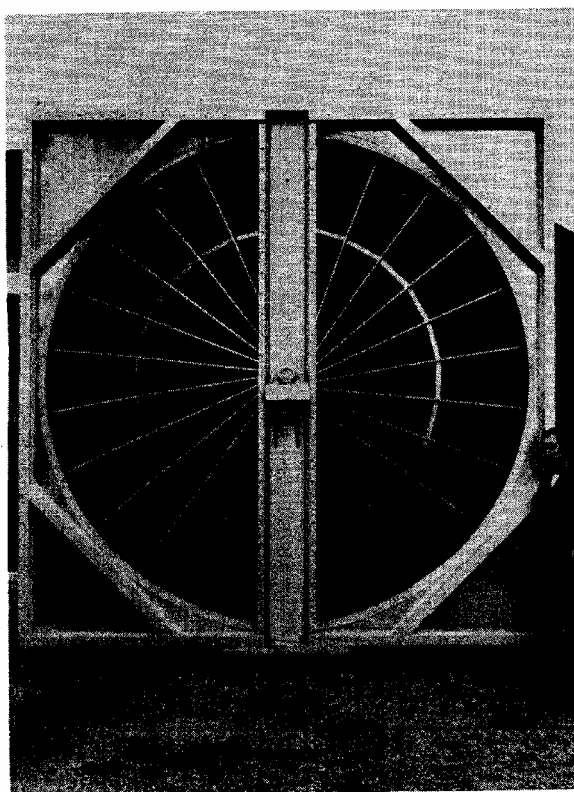
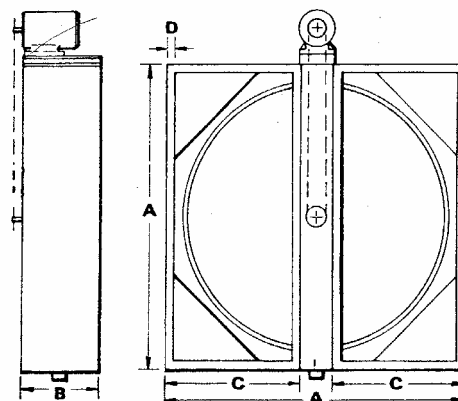


figuur 2 uitvoering warmtewiel en inbouw in een luchtbehandelingsysteem
 materiaal rotor: aluminium, roestvast staal of andere anorganische materialen

Die wichtigsten Eigenschaften:

Modell	Luftmenge (m³/h)		Abmessungen (mm)		Brutto-Gewicht (kg)
	(a)	(b)	(a)	(b)	TYP A
SW 3	1.250	2.300	864	584	230
SW 4	1.700	3.000	940	584	250
SW 5	2.150	3.800	1.016	584	275
SW 6	2.550	4.575	1.092	584	300
SW 8	3.400	6.100	1.245	584	325
SW 10	4.250	7.650	1.372	584	365
SW 14	5.950	10.700	1.575	584	410
SW 20	8.500	15.300	1.854	584	525
SW 28	11.900	21.400	2.134	584	820
SW 40	17.000	30.500	2.565	584	1.050
SW 50	21.250	38.200	2.845	635	1.370
SW 60	25.500	45.700	3.150	686	1.635
SW 80	34.000	61.200	3.607	686	2.090
SW 100	42.500	76.300	3.912	737	2.550

(a) mit einem Druckabfall von 15 mm WS
(b) mit einem Druckabfall von 40 mm WS



Figuur 3 Afmetingen van een warmtewiel

Reiniging

De opbouw van de warmtewisselaar is dusdanig dat een reinigingszone aanwezig is waarin de rotor kan worden gereinigd voordat deze komende uit de afvoerzone, in de toevoerzone draait.

Voordelen

Naast voelbare warmte (luchttemperatuur) is ook overdracht van een latente warmte (vochtoverdracht) mogelijk.

Bevochtiging binnen een luchtbehandelingkast kan dan in veel gevallen achterwege blijven. Daardoor vervalt ook het energieverbruik benodigd voor de verdamping van water om op deze wijze de ventilatielucht te bevochtigen.

Nadelen

- Toe- en afvoerluchtkanalen van de installatie bij elkaar,
- Grote afmetingen van dit warmteterugwinningssysteem. Zie fig. 3.

Bouwkundige consequenties

In verband met de grote afmetingen van dit WTW-systeem en de eis dat de toevoer- en de afvoerkanalen bij elkaar dienen te worden gebracht vraagt de toepassing van dit systeem een aanzienlijke bouwkundige opstellingsruimte.

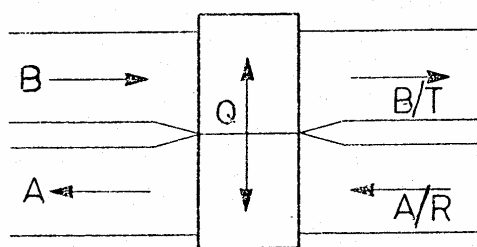
Toepassingsgebieden

Ziekenhuizen, scholen, verpleegtehuizen, hotels en motels, theaters, kantoorgebouwen, fabrieken, chemische bedrijven, droogovens en zwembaden. In het algemeen kan worden gesteld dat de warmtewisselaar daar wordt toegepast, waar grote hoeveelheden warme lucht worden afgevoerd, terwijl koude buitenlucht opgewarmd moet worden.

In installaties, die bovendien nog zijn voorzien van een bevochtiging- en koelinstallatie, is het op basis van de huidige energieprijzen interessant om langzaam roterende warmtewisselaars te overwegen.

De grootste installatie in Nederland met roterende warmtewisselaars heeft een capaciteit van 250.000 m³/h.

2.3 De lucht/lucht warmtewisselaars of platenwisselaar



figuur 4 principeschema lucht / lucht warmtewisselaar

Werking

Bij de lucht / lucht warmtewisselaar worden in de wintersituatie de warme afvoerlucht en de koude toevoerlucht door een gemeenschappelijke warmtewisselaar getransporteerd.

De beide luchtstromen worden door warmteoverdragende scheidingswanden (bijv. glas, aluminium, kunststoffen, etc.) van elkaar gescheiden.

De "warme" afvoerlucht draagt zijn warmte daarbij over aan de "koudere" toevoerlucht via deze scheidingswanden. Deze zogenaamde "recuperatieve" warmtewisselaar kunnen in tegenstroom-, meestroom- of kruisstroomuitvoering worden gefabriceerd. Zie fig. 4.

Vochtoverdracht

Bij de lucht / lucht warmtewisselaars wordt geen vocht overgedragen, doordat de luchtstromen door middel van wanden van elkaar zijn gescheiden.

Voordelen

Eenvoudige uitvoering, geen draaiende delen. Vochtoverdracht vindt niet plaats

Eenvoudig samen te bouwen in luchtbehandelingkasten tot capaciteiten van ca. 50.000 m³/h.

Zie fig. 5.

Zelfs agressieve lucht is bij de juiste materiaalkeuze door een dergelijk WTW-systeem te voeren.

Nadelen

Grote afmetingen en indien de glazen platenwisselaar wordt toegepast zeer zwaar, en breekbaar.

Geen uitwisseling van vocht (kan ook voordeel zijn, bijv. bij zwembaden, denk aan zogenaamde "chloorluchtjes").

Bouwkundige consequenties

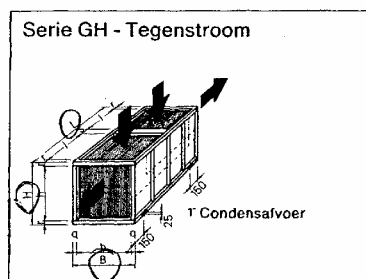
Kanalen bij elkaar, dus in ontwerp rekening mee houden.

Ook dit WTW-systeem vraagt ruimte

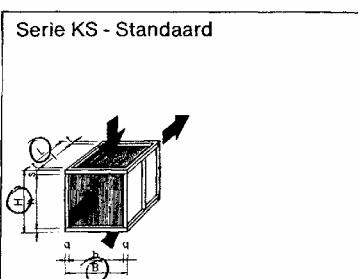
Toepassinggebieden

Zie warmtewiel.

De grootste toepassing vindt thans plaats in gebalanceerd ventilatie-systemen in woningen en in kantoren.



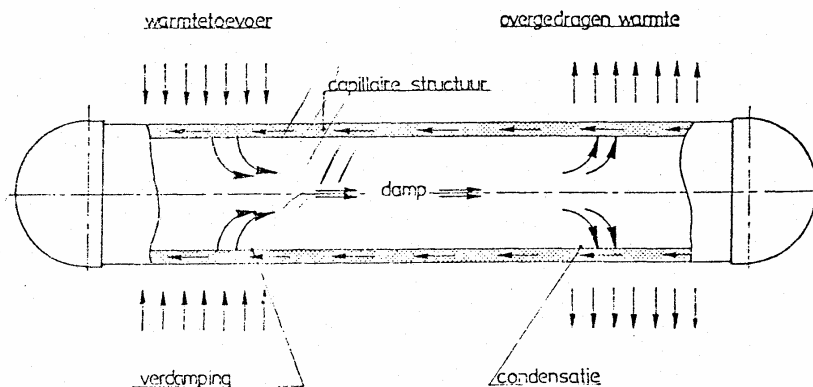
Type	Nominaal luchtdebiet m ³ /h	(H)	(B)	(L)	h	b	l	q	r	s
GH...M1	1 500	300	800	600	200	690	200	55	50	100
GH...G2	2 100	500	500	1000	400	390	400	55	50	100
GH...G4K	3 800	650	650	1300	550	540	550	55	50	100
GH...K6	5 300	800	800	1600	700	690	700	55	50	100
GH...K10	10 000	1000	1000	2000	900	890	900	55	50	100
GH...K14	13 400	1200	1200	2400	1100	1090	1100	55	50	100
GH...K18	20 000	1350	1350	2700	1250	1240	1250	55	50	100
GH...K25	26 000	1600	1600	3200	1500	1490	1500	55	50	100



Type	Nominaal luchtdebiet m ³ /h	(H)	(B)	(L)	h	b	l	q	r	s	t
KS...M1	1 500	300	800	300	200	690	200	55	50	50	50
KS...G2	2 100	500	500	500	400	390	400	55	50	50	50
KS...G4K	3 800	650	650	650	550	540	550	55	50	50	50
KS...K6	5 300	800	800	800	700	690	700	55	50	50	50
KS...K10	10 000	1000	1000	1000	880	890	900	55	70	50	50
KS...K14	13 400	1200	1200	1200	1080	1090	1100	55	70	50	50
KS...K18	20 000	1350	1350	1350	1230	1240	1250	55	70	50	50
KS...K25	26 000	1600	1600	1600	1460	1490	1500	55	90	50	50
KS...K36	41 000	1800	2000	1800	1620	1880	1680	60	120	60	60
KS...K50	54 000	2000	2400	2000	1800	2280	1880	60	140	60	60

Figuur 5 Afmetingen lucht / lucht warmtewisselaar

2.4 “Heat-pipe” systeem



Figuur 6 principeschema heat-pipe

Werking van het heat-pipe systeem

De heat-pipe is in wezen een gesloten verdamping / condensatiesysteem.

Het systeem bestaat uit een gesloten pijp met een capillaire structuur aan de verdamperzijde, welke er op gericht is het koelmiddel, dat zich normaliter op de bodem van de pijp zou bevinden, door capillaire werking voortdurend de gehele binnenwand van de pijp te doen bedekken. Zodra de warmte wordt toegevoerd aan de ene zijde van de heat-pipe zal het koelmiddel verdampen.

Door dampspanningsverschil tussen warme en koude zijde wordt het medium naar de koudere zijde verplaatst waar het door het onttrekken van thermische energie condenseert. Het condensaat, opnieuw in vloeibare toestand, keert terug naar de warme zijde van de pijp waar het opnieuw verdampt.

Zolang er dus energie wordt toegevoerd en onttrokken aan het systeem zal deze condensatie / verdampingscyclus in de heat-pipe voortduren. Dit proces vindt plaats zonder mechanische bewegendende delen en er wordt geen uitwendige hulpenergie vereist.

Verder is het heat-pipe systeem een nagenoeg isothermisch proces, hetgeen impliceert, dat er geen aanwijsbaar warmteoverdrachtverlies in het proces is.

Voordelen

- Scheiding van toevoer- en afvoerkanalen,
- Alleen warmteoverdracht, geen vochtoverdracht (let op speciale toepassingen zoals bijv. zwembaden).

Nadelen

- Toevoerlucht- en afvoerluchtkanalen dienen bij het installatieontwerp bij elkaar te worden geprojecteerd op het punt waar het “heat-pipe” systeem wordt geïnstalleerd
- Vrij groot bouwvolume
- Alleen warmte c.q. koude overdracht.

Bouwkundige consequenties

- Vrij groot bouwvolume,

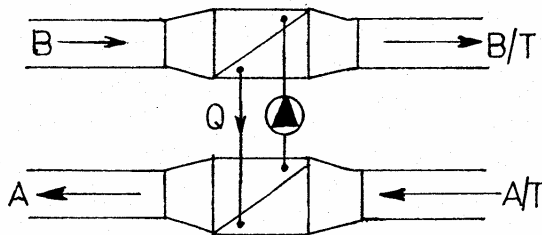
Toepassingsgebieden

Door de scheiding van de luchtstromen is het heat-pipe apparaat bij uitstek geschikt voor de recuperatie van alle afvalwarmte tot 700 °C, vooral die waar hoge eisen worden gesteld ten

aanzien van de bedrijfszekerheid, de lage exploitatiekosten en de hoge verse lucht kwaliteit. Als specifieke toepassingsgebieden komen we momenteel heat-pipe warmteterugwinning tegen in o.a.:

Ventilatie-inrichtingen, luchtbehandelingssystemen, zwembaden, drooginrichtingen, afgassen van stook- en verbrandingsprocessen, industriële toepassingen geïntegreerd in productieprocessen.

2.5 Twin coilsysteem, twee elementensysteem



Figuur 7 prinseschema twin coil warmteterugwinstelsysteem

Werking van het systeem

De warmte-uitwisseling tussen ingaande en uitgaande luchtstroom wordt gerealiseerd door, zowel in het aanvoer- als in het afvoerluchtkanaal, een lamellenblok in te bouwen (zie fig. 7).

Tussen beide recuperatoren wordt een leidingsysteem aangebracht met ingebouwde circulatiepomp, welke zorg draagt voor de circulatie van het warmtetransportmedium. In verband met de lage buitentemperaturen gedurende de winterperiode wordt als warmtetransportmedium vaak een water/ethylene-glycoloplossing toegepast om bevriezing te voorkomen.

Tijdens de winterperiode zal de aangezogen buitenlucht worden opgewarmd door de in het buitenluchtaanzuigkanaal geplaatste warmtewisselaar, terwijl als gevolg hiervan de door deze warmtewisselaar stromende glycoloplossing zal afkoelen.

De gekoelde glycoloplossing zal vervolgens in de warmtewisselaar in het afblaaskanaal warmte uit de uitstromende lucht opnemen en hierdoor worden verwarmd, om daarna het recuperatieproces op de omschreven wijze te continueren.

Voordelen

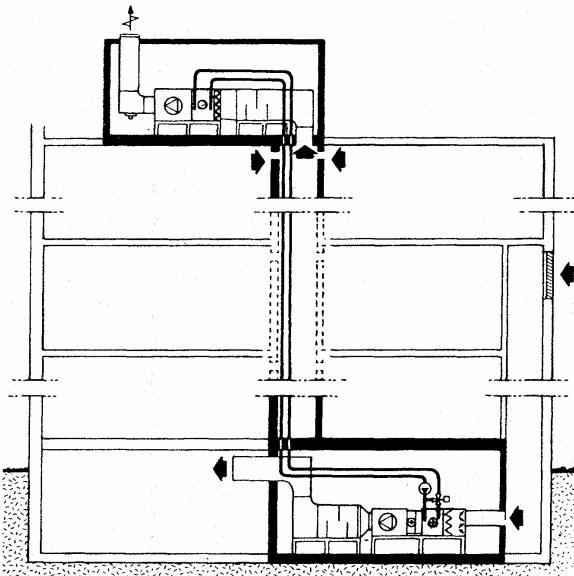
- minder plaatsruimte
- onafhankelijk van plaatsing toe- en afvoerkanaal
- geen vermenging van toevoer- en afvoerlucht
- geen bacterie- of geuroverdracht
- eenvoudige montage van standaardcomponenten
- gebruik van bestaande koelbatterij mogelijk
- eenvoudige selectie
- lage investeringskosten,
- goed toepasbaar in bestaande gebouwen.

Nadelen

- toepassing van een glycol-watmengsel.
De warmteoverdracht van dit mengsel is slechter dan van water. Om toch water in het systeem te kunnen toepassen wordt dan een extra warmtewisselaar in de kringloop opgenomen die het bevriezen moet voorkomen. Bij zeer lage buitentemperaturen gaat

hierbij het totale rendement iets omlaag, maar in de meeste gevallen is dit zeker aanvaardbaar. Bij hogere temperaturen is het rendement beter dan bij een glycol-watmengsel, hoewel bij gebruik van een dergelijk mengsel de warmteoverdragende oppervlakten uiteraard aangepast (kunnen) worden.

- in de zomer kan de terugwininstallatie niet gebruikt worden
- niet zulke hoge rendementen: η van 40 - 60 %
- geen vochtuitwisseling
- vrij hoge secundaire energiekosten



figuur 8 iibouw glycolsysteem

Bouwkundige consequenties

Luchtkanalen niet bij elkaar en inbouw eenvoudig mogelijk dus klein bouwvolume, meestal geen extra vergroting van de bouwkundige ruimten t.b.v. technische installaties. Zie fig. 1.8

Toepassingen

Daar waar in bestaande projecten of nieuwbouwprojecten nagenoeg geen bouwkundige ruimte aanwezig is en de luchtaanvoer- en afvoerkanalen niet bij elkaar zijn te leggen.

Een andere toepassingsmogelijkheid is die, waarbij de installaties in een luchtbehandelingapparaat voor buitenopstelling zijn ondergebracht.

Het aantal toe- en afvoerkanalen behoeft niet gelijk te zijn. Zo kan op meerdere plaatsen worden teruggewonnen en - bijvoorbeeld bij industriële toepassingen - de proceslucht worden gecombineerd met de klimaatinstallatie.

2.6 Rendement

Om het rendement van een warmteterugwininstallatie uit te drukken en onderling te vergelijken, zijn een tweetal grootheden gedefinieerd, nl.:

- het energetisch rendement η_{wtw}
- de prestatiefactor P_{wtw}

De definitie en de bepalingsmethode is omschreven in NEN5138 “Warmteterugwinning in woningen, bepalingsmethode voor energetisch rendement van warmteterugwinningsapparaten voor individuele ventilatiesystemen”.

Het energetisch rendement kan berekend worden middels

$$\eta_{wtw} = \frac{\theta_{in} - \theta_e}{\theta_{afz} - \theta_e} \cdot \frac{q_{m,t}}{q_{m,afz}}$$

met:

θ_i	=	entreetemperatuur ventilatielucht in °C
θ_e	=	buitenluchttemperatuur in °C
θ_{afz}	=	temperatuur afzuiglucht in °C
$q_{m,t}$	=	toevoerlucht debiet in kg/s
$q_{m,afz}$	=	afzuiglucht debiet in kg/s

De definitie van η_{wtw} gaat er vanuit dat er geen menging tussen toevoer- en afvoerlucht optreedt en dat er ook geen buitenlucht in het afzuigcircuit terechtkomt.

Dit heeft ertoe geleid dat er “lekkage”-eisen zijn gedefinieerd, nl. maximaal 2% voor de interne lekkage en maximaal 5% voor de overige lekkage.

Is het energetische rendement bekend dan kan ook de opwarming van de ventilatielucht door het toestel worden berekend.

Zo geeft dit voor balansventilatie (dat wil zeggen $q_{m,t} = q_{m,afz}$) bij $\theta_e = 5^\circ C$ en $\theta_{afz} = 18^\circ C$:

$$\eta_{wtw} = 90\% \quad \theta_t = 17,3^\circ C$$

$$\eta_{wtw} = 70\% \quad \theta_t = 14,7^\circ C$$

$$\eta_{wtw} = 50\% \quad \theta_t = 11,5^\circ C$$

De prestatiefactor P_{wtw} is een maat voor de jaarlijks teruggewonnen energie ten opzichte van de veelal elektrische energie die moet worden ingezet om de warmteterugwininstallatie zijn functie te kunnen laten vervullen.

In formule:

$$P_{wtw} = \frac{Q_{beh} \eta_{wtw}}{Q_{el}}$$

met

P_{wtw}	=	prestatiefactor
Q_{beh}	=	benodigde energie om de ventilatielucht op te warmen ($\theta_{in} - \theta_e$) (in kWh/j
Q_{el}	=	toegevoerde elektrische energie in kWh/j

Voor balansventilatie van woningen varieert P_{wtw} , afhankelijk van ventilatortype en het rendement van het warmteterugwinblok globaal tussen 3,5 en 6,5.

Voor een hoog rendement WTW met $\eta_{wtw} \approx 85\%$ leidt dit voor een woning tot een gasbesparing van circa 250 m³/jaar.

De energieprestatienormering, NEN5128 voor woningen en NEN2416 voor utiliteitsgebouwen geeft voor de diverse systemen energetische rendementen conform tabel 3.1.

tabel 1.1. energetisch rendement van de warmteterugwinapparatuur

Systeemtype warmteterugwinning	Rendement η_{wtw}
kruisstroom-warmtewisselaar	0,65
twee elementen systeem	0,60
warmtebuis-apparaten ("heat pipe")	0,60
langzaam roterende en intermitterende warmtewisselaars	0,70
tegenstroom-warmtewisselaar	0,75

3 Luchtreiniging

Buitenlucht bevat stofdeeltjes afkomstig van natuurlijke bronnen (zand, stuifmeelpollen e.d.) en kunstmatige bronnen (verkeer en industrie). Op het platteland is de lucht schoner dan in een stedelijke omgeving en in industriegebieden. In gebouwen bevinden zich verontreinigingsbronnen, waardoor de stofconcentratie binnen meestal hoger is dan buiten. Tabel 2.1 geeft een overzicht. Behoudens bij speciale stofarme ruimten, zoals operatiekamers en productieruimten voor micro-elektronische componenten, worden meestal geen eisen gesteld aan de luchtreinheid. Wel gelden er eisen voor luchtfilters en streeft men met een voorgeschreven filterklasse naar een bepaald niveau van luchtreinheid. Een veel gebruikte filterklasse-indeling is van EUROVENT, zie tabel 2.2. Voor kantoren wordt vaak EU7 gekozen, voor ziekenhuizen EU8 of EU9.

tabel 2.1 gemiddeld stofgehalte van lucht

plaats	mg/m ³
platteland	0,05 - 0,10
stedelijke omgeving	0,10 - 0,50
industriegebied	1 - 3
woonruimte	1 - 2
warenhuis	2 - 5
werkplaats	1 - 10

tabel 2.2 luchtfilterklassen

<u>filtertype</u>	<u>rendement</u> <u>in %</u>	<u>EUROVENT</u> <u>indeling</u>
groffilters	<65	EU1
(gewichtstest)	65-80	EU2
	80-90	EU3

	>90	EU4
fijnfilters	40-60	EU5
(verkleuringstest)	60-80	EU6
	80-90	EU7
	90-95	EU8
	>95	EU9

Luchtfiltering wordt vooral toegepast om vuilophoping (en daarmee de groei van micro-organismen) in klimaatinstallaties te voorkomen en de kosten van schoonmaakonderhoud te beperken. Slecht onderhouden en vervuilde installaties kunnen een bron van hinder en vooral gezondheidsklachten zijn. Anders dan vaak wordt gedacht komen de meeste hinder en gezondheidsklachten van bronnen binnen het gebouw, waartegen filtering niet helpt. Ventilatie met buitenlucht, waardoor verontreinigingen worden verdund en naar buiten afgevoerd, heeft wel effect. De meest effectieve aanpak is het zoveel mogelijk voorkomen of elimineren van verontreinigingsbronnen. Gebruik daarom alleen bouw- en inrichtingsmaterialen waarvan bekend is dat ze geen hinderlijke of ongezonde stoffen of gassen in het binnenmilieu brengen. Werk ruimten zo af dat stof zich niet kan ophopen en zorg ervoor dat de ruimten eenvoudig zijn schoon te houden. Vermijd om die reden horizontale vlakken waarop stof kan blijven liggen en pas geen gordijnen en vloerbedekking toe die stof aantrekken.

4 Vochtregeling

4.1 Luchtbevochtiging

Voordat wordt gekozen voor luchtbevochtiging moet eerst worden nagegaan in hoeverre dit echt wenselijk is en welke alternatieven er voorhanden zijn. Voor bepaalde functies zoals operatiekamers, intensive care afdelingen en musea is bevochtiging essentieel. In het algemeen is bevochtiging bovendien comfortverhogend.

In kantoren is bevochtiging echter niet altijd nodig. Klachten over te droge lucht zijn vaak te herleiden tot stoffige lucht. Indien een warmtewiel wordt toegepast kan de noodzaak tot bevochtiging worden verkleind en de hoeveelheid bevochtiging sterk worden teruggebracht. Dit is mede afhankelijk van de vochtterugwineigenschappen van het gekozen warmtewiel en de vochtabsorberende eigenschappen van de bouw- en inrichtingsmaterialen. Het ventilatievoud is medebepalend voor de keuze voor al dan niet bevochtigen. Hoe hoger het ventilatievoud, hoe droger de lucht in de winter wordt en hoe eerder zal worden gekozen voor bevochtiging.

Buitenlucht van -10 °C bevat maximaal 1,6 gram water per kilogram lucht, zie het Mollier-diagram. Wordt deze lucht aan een ruimte toegevoerd en tot 20 °C verwarmd dan wordt de relatieve vochtigheid in de ruimte theoretisch 11%. Zo droog zal het in werkelijkheid niet worden omdat de vochtaccumulerende gebouwmassa en de in de ruimte aanwezige personen, planten e.d. vocht afgeven. Desondanks zal de relatieve vochtigheid in gebouwen tijdens perioden met lage buitentemperaturen vaak niet hoger zijn dan 20 à 30% en kan luchtbevochtiging wenselijk zijn. Luchtbevochtiging kan met water of verzadigde stoom plaatsvinden. Bij klimaatregeling gebeurt dit meestal centraal in een luchtbehandelingskast, het kan ook plaatselijk met losse apparaten. Bij luchtbevochtiging is speciale aandacht voor het voorkomen van hoge concentraties legionellabacteriën gewenst. Bij stoombevochtiging is het risico daarop het kleinst. Een nadeel van bevochtiging is het extra onderhoud dat nodig is

om bacteriegroei te beperken. Indien dit onderhoud onvoldoende is, is het effect op de luchtkwaliteit negatief. Het recirculeren van bevochtigingswater levert daarbij een extra legionellarisico op en moet zo veel mogelijk worden voorkomen (tenzij dit apart gereinigd wordt). Veel toegepaste vormen van waterbevochtiging zijn infrasone en ultrasone bevochtiging. Bij deze systemen wordt water in de lucht verstoven d.m.v. geluid en is er weinig condens; bij ultrasone bevochtiging blijft de kast vrijwel droog.

4.2 Lucht drogen door middel van koeling

Lucht van 28 °C kan maximaal 24 gram water per kg lucht bevatten. Buitenlucht van 28 °C bevat zelden meer dan 16 gram water per kg lucht. Wordt deze lucht gekoeld tot (bijvoorbeeld) 16 °C dan condenseert een deel van de waterdamp uit de lucht op de koelbatterij en neemt de absolute luchtvochtigheid af tot 10,6 g/kg. Dit proces noemt men "luchtdroging met koeling onder het dauwpunt". Na toevoer van deze gekoelde lucht aan een ruimte, waarin door warmtebelasting een temperatuur van 24 °C heerst, ontstaat theoretisch een relatieve vochtigheid van 57%. In werkelijkheid zal de luchtvochtigheid door vocht afgifte van personen en vochtaccumulatie van bouw- en inrichtingsmaterialen iets hoger worden.

Transport – lucht – integratie-aspecten

Kennisbank Bouwfysica

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

1 Inleiding, luchtkanalen

Besproken wordt de integratie van luchtkanalen met andere leidingen en met het gebouw. Doordat luchtkanalen meestal de grootste afmeting hebben zijn deze het meest bepalend. Dit is van invloed in zowel horizontale als verticale richting.

1.1 Horizontaal en verticaal transport

Warmte, koude en verse lucht worden getransporteerd via leidingen en luchtkanalen. Horizontale leidingen en kanalen kunnen in verlaagde plafonds, kruipruimten, verhoogde vloeren, borstweringen e.d. worden aangebracht. Verticale leidingen en kanalen in schachten. Uiteraard kunnen leidingen en kanalen ook "in het zicht" lopen.

1.2 Bereikbaarheid

Leidingen en luchtkanalen kunnen ruimtelijk in gevels en scheidings- en draagconstructies worden opgenomen. Er zijn ook voorbeelden waarbij ze functioneel zijn geïntegreerd. Installaties moeten kunnen worden aangebracht en bereikbaar moeten blijven voor onderhoud, vervanging e.d.. In de praktijk wordt niet altijd aan deze voorwaarden te voldaan. In de volgende paragrafen wordt een vorm van ruimtelijke integratie besproken die niet ten koste gaat van de maakbaarheid en bereikbaarheid van de installaties.

1.3 Eigenschappen en aandachtspunten

Luchtkanalen worden vaak gemaakt van verzinkte staalplaat: ronde spiraal-gefelste buis voor kleine luchthoeveelheden en rechthoekige kanalen voor grote hoeveelheden (zie tabel 3-transport – lucht- dimensionering). Spiraal-gefelste buis is er eveneens in ovale vorm. Kanalen en buizen maakt men ook wel van aluminium of roestvast staal, bijvoorbeeld als condensatie wordt verwacht, zoals bij keukens en badruimten. Kunststof wordt weinig gebruikt omdat bij verwarming een hinderlijke geur ontstaat. Ronde en ovale buizen verbindt men met popnagels en dicht de naden met aluminiumtape of met weefsel versterkte kunstoftape. Kleine rechthoekige kanalen worden ook wel zo gemonteerd. Het is beter om ze - net als grote kanalen - met flenzen, pakkingen en bouten luchtdicht te verbinden. Luchtkanalen hangt men meestal met draadeinden en beugels op, zo dat ze vrij kunnen uitzetten en krimpen.

Kanalen voor verwarming en koeling worden meestal thermisch geïsoleerd. Isolatie kan ook nodig zijn om te voorkomen dat ventilator- en stromingsgeluid tot verblijfsruimten doordringt. Isolatie wordt aan de buitenzijde van de kanalen aangebracht. Vaak gebruikt men hiervoor glaswol of minerale wol in de vorm van dekens of geperste platen die zijn afgedekt met een dampremmende laag van aluminium- of kunststoffolie. Is er kans op uitwendige condensatie, zoals bij kanalen voor gekoelde lucht of buitenlucht, dan past men ook wel kunststofschuim

met gesloten celstructuur als isolatiemateriaal toe. Een jaar of twintig geleden werden kanalen vaak inwendig geïsoleerd om ventilator- en stromingsgeluid in het kanaal te absorberen. Tegenwoordig gebeurt dit niet meer vanwege het risico dat vezels uit het isolatiemateriaal losraken en in verblijfsruimten terecht komen waar ze hinder en zelfs gezondheidsklachten kunnen veroorzaken.

2 Relatie met andere gebouwinstallaties

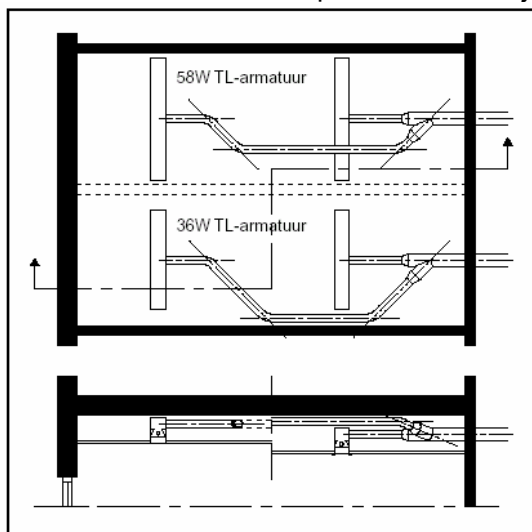
2.1 Elektrotechnische en communicatie-installaties

De voor leidingen en luchtkanalen gereserveerde ruimte is in de regel voldoende om daarin ook leidingen voor elektrotechnische en communicatie-installaties onder te kunnen brengen. Het in een schacht onderbrengen is niet altijd logisch door de plaats van schakel- en verdeelkasten en de loop van de leidingen en de plaats van aansluitpunten in het gebouw. Bovendien moeten kracht- en communicatiebekabeling ruimtelijk voldoende zijn gescheiden om interferentieverschijnselen te voorkomen.

2.2 Inbouw-verlichtingsarmaturen

Worden inbouw-verlichtingsarmaturen toegepast, terwijl boven het verlaagde plafond luchtkanalen lopen, dan kan een grotere hoogte nodig zijn dan alleen voor kanaalinbouw wordt aangehouden. Als kanalen de aansluitdozen van op een stramienmaat van 1,8 m aangebrachte armaturen van 58W "TL"-buizen moeten kruisen is een vrije hoogte nodig van ten minste 0,5 m.

Worden kortere armaturen met 36W "TL"-buizen toegepast dan kunnen de kanalen langs en naast de aansluitdozen lopen en is een vrije hoogte van 0,4 m voldoende.



figuur 1 inbouw verlichtingsarmaturen met luchtafzuiging

Als de armaturen nicht rechtstreeks op het luchtafvoersysteem zijn aangesloten kan met een vrije hoogte van 0,3 m worden volstaan. In dat geval moet de ruimte boven het plafond als "plenum" zijn uitgevoerd en de lucht vanuit de ruimte via de armaturen en het plenum worden afgevoerd. De armaturen een kwartslag draaien (haaks op de gevel) om ruimte voor de

aansluitkanalen te creëren is geen goede oplossing, omdat de lichtsituatie daardoor nadelig wordt beïnvloed.

2.3 Binnenriolering, waterleiding etc.

Voor binnenriolering, waterleiding, (droge) brandleiding, sprinklerinstallatie etc. moet ruimte aanwezig zijn in schachten, verlaagde plafonds, e.d..

Omdat de "horizontale" leidingen van de binnenriolering op afschot moeten liggen vraagt de plaatsbepaling van deze leidingen en andere kanalen en leidingen in gezamenlijke installatieruimten om afstemming. De lucht uit toiletruimten, keukens, badruimten e.d. moet bovendaks worden afgevoerd (niet in de directe nabijheid van aanzuigroosters van de luchtbehandelingsinstallatie!). Voor de afvoerkanalen zijn schachten nodig. Vaak worden deze schachten tevens gebruikt voor de standleiding van de binnenriolering. Om het aantal schachten te beperken is het nodig om toiletten en andere "natte" groepen zoveel mogelijk boven elkaar te situeren. Voor de binnenriolering kan in eerste instantie van een standleiding met een uitwendige diameter van 200 mm worden uitgegaan (incl. isolatie). Alle andere hier genoemde leidingen hebben kleinere diameters waarvoor meestal wel plaats in leidingschachten is te vinden.

3 Integratie in de gevelzone

3.1 Schachten en leidingkokers

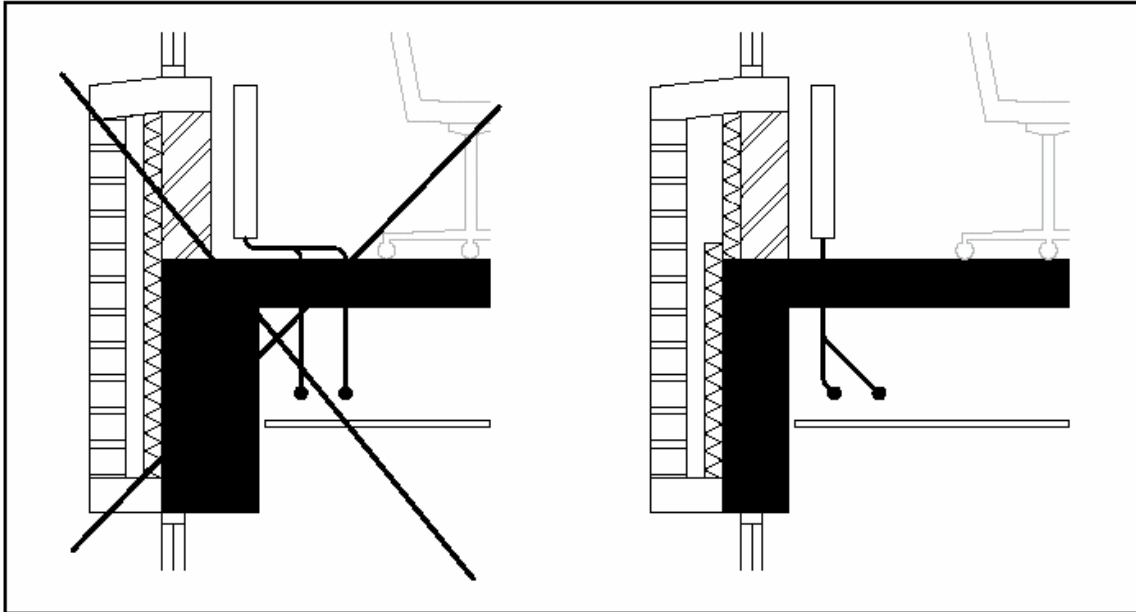
Horizontale en verticale leidingen en kanalen kunnen zowel vóór (buitenzijde) als achter de constructieve gevel lopen en soms in de gevel zelf worden opgenomen. Het laatste is minder gunstig omdat de bereikbaarheid wordt beperkt en bediening, onderhoud of vervanging moeilijk uitvoerbaar zijn. Deze vorm van integratie wordt hier dan ook niet bepleit. Leidingen en kanalen die vóór de gevel komen, kunnen in lichte niet-constructieve elementen worden aangebracht. Deze elementen vormen in dat geval horizontale of verticale schachten die het gevelbeeld sterk beïnvloeden. Kanalen kunnen ook, zoiets als goed geïsoleerd en voorzien van een stevige buitenmantel, in het zicht lopen en zeer dominant het gevelbeeld bepalen. Een extreem voorbeeld hiervan is het Centre Pompidou in Parijs.

3.2 Horizontale leidingen en kanalen

Horizontale leidingen en kanalen, die achter de gevel lopen, zijn - bijvoorbeeld ter plaatse van de borstwering - in een speciale omkasting aan te brengen. Zie bijvoorbeeld de kabinetten van de faculteit Bouwkunde bij de TU-Delft. Zo'n oplossing vraagt om een vlakke binnenzijde van de constructieve gevel en eventuele gevelkolommen die voldoende moeten terug liggen, zoals bij Bouwkunde. De relatief dunne aansluitleidingen van radiatoren worden, voorzover ze niet in de afwerklaag van de vloer worden opgenomen, vaak "in het zicht" gelegd. De horizontale leidingen kunnen onder of achter de radiatoren lopen. Bij convectoren legt men de leidingen vaak in de convectorput of schacht. De noodzaak van horizontale leidingen en kanalen ter plaatse van de borstwering, in een omkasting of in het zicht, is vaak het gevolg van een beperkte bruto verdiepingshoogte en het daardoor ontbreken van voldoende inbouwruimte in het verlaagde plafond of het ontbreken van verlaagd plafond.

3.3 Randbalken

Bij de aansluiting van radiatoren of convectoren op leidingen die onder de vloer lopen, bijvoorbeeld in verlaagde plafonds, kunnen randbalken dwingen tot het laten verspringen van de aansluitleidingen boven de vloer. Randbalken waarvan de binnenkant ongeveer in hetzelfde verticale vlak ligt als de binnenkant van de buitenwand kunnen dit probleem voorkomen (figuur 2).

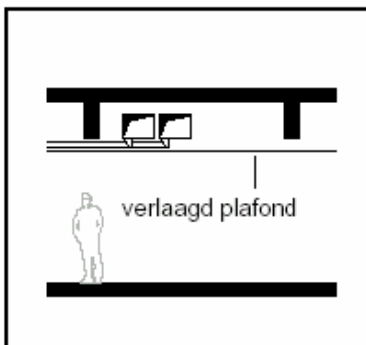


figuur 2 voorbeeld van gewenste afstemming van draag- en gevelconstructie op leidingen (of kanalen)

4 Integratie met de draagconstructie

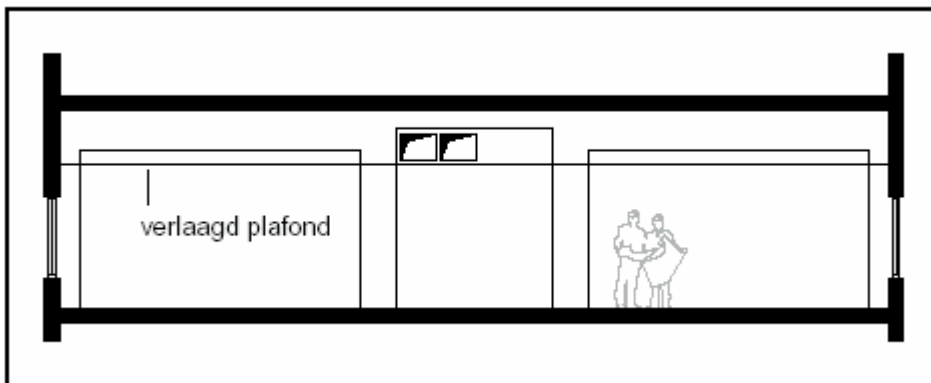
4.1 Balken

Een traditionele draagconstructie bestaat uit vloeren, balken en kolommen. Vaak wordt om een vlak plafond te krijgen onder de balken een verlaagd plafond aangebracht. Daardoor is bij deze constructie "van nature" reeds ruimte aanwezig voor horizontale leidingen en luchtkanalen. Die ruimte is voldoende als tussen de balken en het verlaagde plafond ruimte zit voor passage van leidingen en kanalen. Veel ruimte en daarmee bouwhoogte is bij dit type draagconstructie te sparen als de hoofdbalken en de hoofdkanalen evenwijdig lopen. De grootste kanalen liggen dan **tussen** de balken, terwijl alleen kleinere aftakkende kanalen de balken kruisen (figuur 3).



figuur 3 ruimtebesparing door situering van hoofdkanalen tussen de hoofdbalken

Luchtkanalen kunnen zonder vrije ruimte aan wanden of vloeren worden bevestigd. CV-leidingen moeten, om te kunnen krimpen en uitzetten, flexibel worden opgehangen. Dat vraagt hoogte. Zonder eraan te zijn bevestigd, kunnen leidingen met een minimale speling balken kruisen. Ook kunnen kanalen en leidingen balken kruisen via sparingen in de neutrale zone of met extra wapening versterkte zones van die balken. Soms kan het verhogen en/of verbreden van balken, speciaal voor het maken van sparingen, uiteindelijk tot ruimtewinst leiden. Ook is door het beperken van balkhoogten ter plaatse van korte overspanningen is vaak ruimte en - daarmee - bouwhoogte te sparen (figuur 4)



figuur 4 ruimtebesparing door het plaatselijk beperken van balkhoogte

4.2 Vlakke plaatvloeren

Vlakke plaatvloeren - vaak met grote overspanningen - en liggers die nauwelijks hoger zijn dan de vloer ("hoed-liggers") zijn een modern alternatief voor de traditionele draagconstructie. Vlakke plaatvloeren worden aantrekkelijk gevonden, mede omdat ze verlaagde plafonds overbodig zouden maken. Dit is maar ten dele waar. Vooral geprefabriceerde (kanaal-)plaatvloeren kunnen de verticale loop van leidingen en kanalen sterk beperken. Ook vloerroosters zijn niet overal te plaatsen door de (on)mogelijkheid van het aanbrengen van sparingen, in het bijzonder in de nabijheid van opleggingen. Bij in het werk gestorte vloeren (tunnelbekisting, breedplaatvloeren) kunnen meestal wel doorvoerhulzen voor CV- en koelleidingen worden aangebracht.

Een oplossing voor het sparingenprobleem in vloeren, is het zoveel mogelijk **horizontaal** verdelen van water en lucht. Kanalen en leidingen kunnen in een omkasting ter plaatse van de borstwering lopen. Op die manier ontstaat een brede "vensterbank" en kan luchttoevoer plaatsvinden via roosters in die vensterbank. Zijn de vertrekken echter meer dan twee maal hun hoogte diep, dan valt aan de toepassing van verlaagde plafonds vrijwel niet te ontkomen. Voor de toevoer en/of afvoer van lucht moet dan namelijk plafonduitlaten ("anemostaten") of lijnroosters in het plafond worden gebruikt. Ook bij minder diepe ruimten kan een verlaagd plafond nodig zijn, bijvoorbeeld als de vertreklucht (i.v.m. beperking van de koelbehoefte) via de verlichtingsarmaturen moet worden afgevoerd.

Bij kanaalplaatvloeren worden de holle ruimten wel gebruikt als luchtkanaal om geen verlaagd plafond te hoeven toepassen. Het wordt ook wel gedaan om het warmteaccumulerend vermogen van de vloermassa beter te benutten. Dit laatste kan als het om lucht-**afvoer** gaat.

Lucht-**toevoer** via de kanaalplaatvloer is ongunstig omdat de holle ruimten in de vloer niet zijn te reinigen.

4.3 Verhoogde vloeren

Verhoogde vloeren worden vaak gekozen als "flexibel" alternatief voor kabelgoten. Ten opzichte van kabelgoten langs de borstwering zijn ze dat zeker. Het verschil in flexibiliteit ten opzichte van kabelgoten in de afwerklaag van de vloer of in het (verlaagde) plafond is veel kleiner. Soms kiest men verhoogde vloeren uit gemakzucht, bijvoorbeeld om bij het ontwerp niet te hoeven uitzoeken hoe de leiding- en kanalenloop enerzijds en de draagconstructie anderzijds op elkaar zijn af te stemmen. Eventuele ruimte in verlaagde plafonds blijft dan onbenut. Een nadeel van verhoogde vloeren is de vermindering van de specifiek werkzame massa (SWM) waardoor mechanische koeling nodig is of het vermogen van zo'n voorziening groter wordt. Uiteraard kunnen verhoogde vloeren ook goede diensten bewijzen, bijvoorbeeld bij computerruimten en andere ruimten met een grote hoeveelheid aansluitkabels, leidingen en kanalen.

5 Integratie met de scheidingsconstructie

Een belangrijk gevolg van leiding- en kanaalpassage door scheidingswanden is de doorbreking van de akoestische scheiding tussen de ruimten. Daarom is het gunstiger hoofdkanalen in gangen te leggen en vanuit de gang per ruimte een aansluiting te maken. Liggen de hoofdkanalen in de ruimte zelf, dan moet extra aandacht worden besteed aan de geluidsoverdracht via de kanalen. Roosters moeten worden aangesloten met dubbelwandige geluiddempende slangen met daarin een paar bochten. Vanwege geluidsoverdracht mag de afvoer van lucht via verlichtingsarmaturen en een als "plenum" uitgevoerd verlaagd plafond slechts plaatsvinden als de scheidingswanden van vloer tot vloer lopen. Passage van scheidingswanden met CV- en koelleidingen is minder kritisch, mits de ruimte tussen de leidingen en de doorvoeropeningen voldoende wordt opgevuld met isolatiemateriaal (bijvoorbeeld minerale wol). Afhankelijk van de wijze van brandcompartimentering worden er ook brandwerendheidseisen aan de doorvoeren gesteld.

6 Inbouwruimte in verlaagde plafonds, en dergelijke

6.1 Ruimtebepaling Indicatief

Bij het eerste Ruimtelijke Ontwerp is weinig bekend over de thermische eigenschappen van het gebouw. De afmetingen voor inbouwruimten van leidingen en kanalen zijn slechts ruwweg te bepalen, zoals op basis van een systeemindicatie en ervaringscijfers. Deze gegevens hebben betrekking op kantoorgebouwen:

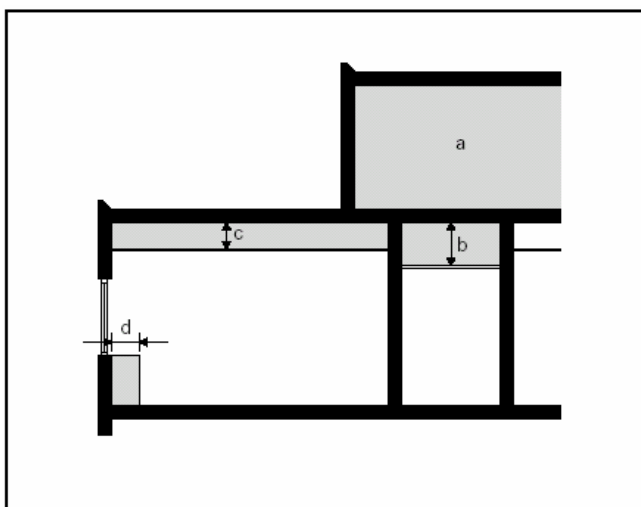
tabel 1 inbouwruimte voor verschillende klimaatregelsystemen (zie figuur 5)

Installatiesysteem	vrije hoogte in gangplafond (b) m	vrije hoogte in plafond kantoren (c) m ¹⁾	verloren vloerstrook (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 aansluitdozen bij direct afgezogen verlichtingsarmaturen

²⁾ bij inbouw van units in plafond

NB Tabel 1 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 hoofdleidingen en hoofdkanalen. Bij grote niet ingedeelde verdiepingsvloeren, zoals bij kantoorruimten, moet de gehele ruimte boven het verlaagde plafond een vrije hoogte moet hebben zoals in tabel 1 voor het gangplafond is aangegeven.



figuur 5 inbouwruimte voor verschillende klimaatregelsystemen

6.2 Ruimtebepaling Globaal

Bij het Voorlopig Ontwerp is de benodigde ruimte voor inbouw van horizontale leidingen en kanalen vaak te bepalen op basis van te schatten leiding- en kanaalafmetingen. Van luchtkanalen is de inwendige diameter of (bij rechthoekige doorsnede) de inwendige hoogte te schatten. Zie hiervoor de tabellen 2 en 3 en voorbeeld 1. In deze tabellen zijn de **inwendige** maten aangegeven. Toevoerkanalen voorziet men meestal van uitwendige thermische isolatie, waardoor de **uitwendige** maten ca. 50 mm groter worden. Verder is ten minste 100 mm nodig voor de ophanging (isolatie valt hier binnen). Voor kruisende aftakkingen moet ten minste 250 mm bij de inwendige diameter of hoogtemaat van het (hoofd)kanaal worden opgeteld. De ruimte voor de ophanging en isolatie valt daarbinnen.

6.3 Ruimtebepaling Fijn

Het Definitief Ontwerp biedt de laatste kans om de inbouwruimte voor de horizontale kanalen en leidingen goed op het gebouwontwerp af te stemmen. Te kleine inbouwruimte geeft vaak montageproblemen of er moeten kleinere kanalen worden toegepast dan noodzakelijk, met als gevolg hoge luchtsnelheden en hinderlijk stromingsgeluid. Stromingsgeluid is niet afdoende te dempen als inbouwruimte voor dempers ontbreekt of toevoer- en afvoerroosters van de te ventileren ruimten dicht bij de hoofdkanalen zitten. Te veel inbouwruimte, bij voorbeeld in verlaagde plafonds, kan tot een onnodig grote verdiepingshoogte en daardoor onnodig hoge bouwkosten leiden. Een redelijk nauwkeurige bepaling van de inbouwruimte is mogelijk door de diameters van leidingen en kanalen te berekenen op basis van de warmte-, koel- en verselucht-behoefte. Dit is feitelijk een taak voor adviseurs en installateurs. Omdat de inbouwruimte mede de verdiepingshoogte bepaalt en de verdiepingshoogte de bouwkosten sterk beïnvloeden, zien gebouwontwerpers het bepalen van de inbouwruimte in verlaagde plafonds vaak als hun eigen taak.

7 Schachtruimte

7.1 Ruimtebepaling Indicatief

Bij het eerste Ruimtelijke Ontwerp, als nog weinig bekend is over de thermische eigenschappen van het gebouw, zijn de afmetingen van schachten voor kanalen en leidingen slechts indicatief te bepalen. Voor de doorsnedeoppervlakte van schachten voor kanalen wordt als vuistregel meestal 2% van de vloeroppervlakte van één verdieping genomen. Voor 8 à 10 verdiepingen is 1% van de vloeroppervlakte vaak voldoende. In die schachten is, naast de kanalen, meestal plaats voor verwarmings- en koelleidingen. Rekening houdend met de zonering van de luchtbehandeling, moet de schachtruimte over de oppervlakte van het gebouw worden verdeeld. Dat betekent in het algemeen dat schachten niet meer dan twee maal 35 à 40 m van elkaar verwijderd mogen liggen.

7.2 Ruimtebepaling Globaal

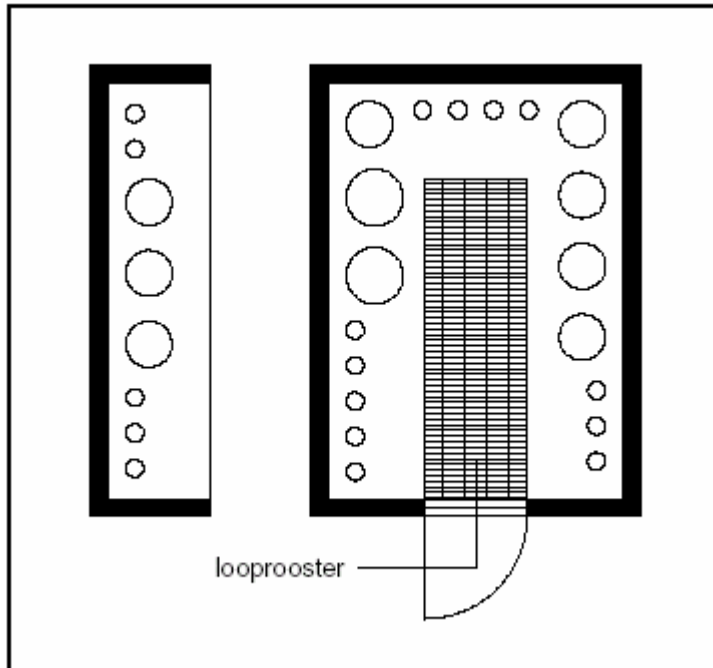
Bij het Voorlopig Ontwerp worden de afmetingen van schachten voor leidingen en kanalen meestal niet nauwkeuriger bepaald dan bij het eerste Ruimtelijke Ontwerp. Mede omdat de afmetingen geen grote invloed hebben op de indeling van het gebouw. Wel moet de plaats van de schachten nauwkeuriger op de dan bekende gebouwindeling zijn afgestemd en moet de zonering van de luchtbehandeling bekend zijn.

7.3 Ruimtebepaling Fijn

Het Definitief Ontwerp biedt de laatste kans voor een goede afstemming van de schachten op het gebouwontwerp. Daarvoor moeten de leiding- en kanaaldiameters bepaald zijn op basis van de berekening van de warmte-, koel- en verselucht-behoefte.

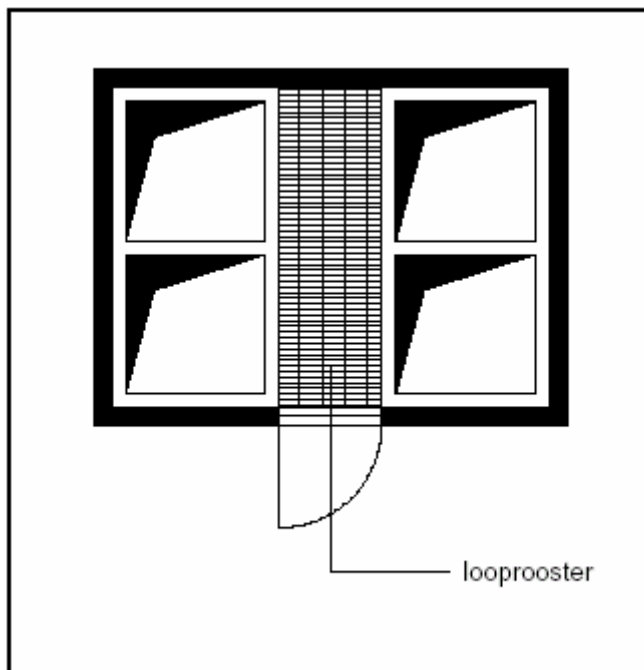
Voor een schacht voor **CV- en koelleidingen** is de horizontale doorsnede voldoende nauwkeurig te bepalen door de "**diepte**" van de schacht gelijk te stellen aan de benodigde vrije hoogte van de grootste leiding. De breedte van de schacht moet gelijk zijn aan de som

van de benodigde vrije hoogten van de afzonderlijke leidingen. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de leidingen naast elkaar liggen en de schacht ten minste aan één lange zijde over de volle breedte toegankelijk is, bijvoorbeeld met een deur of met een eenvoudige te verwijderen paneel. Wordt de schachtbreedte, in verhouding tot de "diepte", hierdoor te groot dan kan een schachtvorm worden gekozen waarbij de leidingen langs twee of drie zijden van de schacht komen te liggen. In dat geval moet tussen de tegenover elkaar liggende leidingen ten minste 0,5 m ruimte overblijven voor montage en isolatiewerkzaamheden en voor het bereikbaar blijven van de leidingen voor inspectie, reparatie en vervanging (zie figuur 6).



figuur 6 voorbeeld indeling schacht voor CV- en koelwaterleidingen

De vorm van schachten voor **luchtkanalen** is te beïnvloeden met de breedte/hoogte-verhouding van de kanalen. Verder kunnen de kanalen langs één wand of langs twee wanden tegenover elkaar worden aangebracht. I.v.m. montage en latere bereikbaarheid moet tussen de kanalen een ruimte worden vrijgehouden die gelijk is aan de hoogte van het grootste kanaal + 0,1 m of ten minste 0,6 m is (zie figuur 7).



figuur 7 voorbeeld indeling schacht voor luchtkanalen

Bij zeer grote kanalen is de tussenruimte te verkleinen met verbindingen in het kanaal. Dit wordt niet aangeraden omdat vervanging van de kanalen vrijwel onmogelijk wordt. Een nauwkeurige bepaling van de schachtruimte is zinvol als het ruimtegebruik zeer kritisch is of met ruimte moet worden gewoekerd, zoals bij hoogbouw.

Transport – lucht – dimensionering leidingen en luchtkanalen

Kennisbank Bouwfysica

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

1 Inleiding

Met leidingen wordt water verplaatst, met kanalen lucht. Feitelijk zijn water en lucht media voor warmtetransport. Met lucht zijn ook gassen en stof, zoals zuurstof, kooldioxide en binnenluchtverontreinigingen te transporteren. Het dimensioneren van kanalen kan daardoor complex zijn, maar is dat niet omdat we weten dat bij klimaatregeling het warmtetransport voor koeling meestal maatgevend is. Bij een intensieve ruimtebezetting, zoals bij gehoorzalen, kan het verse luchttransport maatgevend zijn

2. Dimensionering leidingen en luchtkanalen

2.1. Theoretische grondslagen

Bij warmtetransport is het per tijdseenheid te verplaatsen volume (q_v):

$$(1) \quad q_v = \frac{\Phi_w}{(\rho \cdot c \cdot \Delta\theta)} \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

waarin:

Φ_w = te transporteren hoeveelheid warmte in W

ρ = dichtheid van het medium in kg/m^3 ($\rho_{\text{lucht}} \approx 1,2 \text{ kg/m}^3$, $\rho_{\text{water}} \approx 1000 \text{ kg/m}^3$)

c = soortelijke warmte in J/kg ($c_{\text{lucht}} \approx 1000 \text{ J/kgK}$, $c_{\text{water}} \approx 4200 \text{ J/kgK}$)

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

bij luchtkanalen, afhankelijk van ruimtehoogte en plaats toevoer, $4\text{-}15^{\circ}\text{C}$

„ koelleidingen, meestal 6°C

„ CV-leidingen, meestal 20°C of 10°C (bij lage temperatuurverwarming)

„ heetwaterleidingen, meestal 40°C

De benodigde doorsnede-oppervlakte (A) van de leiding of het kanaal is:

$$(2) \quad A = q_v / v \quad (\text{m}^2)$$

waarin v = snelheid van het medium,

$\approx 0,5 - 1,2 \text{ m/s}$ (CV-leidingen, afhankelijk van diameter)

$\approx 2,0 - 3,0 \text{ m/s}$ (transportleidingen voor CV, heetwater en koelwater)

$\approx 3,0 - 20 \text{ m/s}$ (luchtkanalen, afhankelijk van diameter en druk)

Voor ronde leidingen en kanalen geldt:

$$(3) \quad A = \pi \cdot d^2 / 4 \quad (\text{m}^2)$$

Wordt uitgegaan van de te transporteren hoeveelheid warmte (Φ_w), dan is de diameter:

$$(4) \quad d = \sqrt{4 \cdot \Phi_w / (\pi \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta\theta \cdot v)} \quad (\text{m})$$

Wordt uitgegaan van het te transporteren volume (q_v), dan volgt de diameter uit:

$$(5) \quad d = \sqrt{4 \cdot q_v / (\pi \cdot v)} \quad (\text{m})$$

Vaak past men rechthoekige kanalen toe. De afmetingen worden dan meestal zo gekozen dat de hydraulisch equivalente diameter (d_{eq}) van het kanaal gelijk is aan de diameter van het ronde kanaal. Tabel 2 geeft voor rechthoekige kanalen de equivalente diameter berekend volgens ASHRAE:

$$(6) \quad d_{eq} = 1,3 (a \cdot b)^{0,625} / (a+b)^{0,25} \quad (\text{m})$$

waarin:

a = hoogte van het kanaal in m

b = breedte „ „ „ „ m

2.2. Dimensioneringsmethoden

In de klimaatregeltechniek worden bij het dimensioneren van leidingen en kanalen verschillende methoden toegepast. De ene ontwerper werkt met constante snelheden in de leidingen of kanalen, de volgende gaat uit van een constante wrijvingsweerstand, terwijl een derde snelheden toepast die afhankelijk zijn van de leiding- of kanaaldiameter. Meestal wordt evenwel van de methode van constante snelheid uitgegaan.

Bij extreme hoogbouw, als met schachtruimte in de kernen moet worden gewoekerd, voert men de luchtkanalen vaak uit als hogedruksysteem met hoge snelheden in de hoofdkanalen. ISSO propageert een methode waarbij de snelheid in het leiding- of kanalsysteem geleidelijk wordt gereduceerd: bij de pomp of ventilator is de snelheid het hoogst en bij de eindapparaten het laagst. De methode is gepresenteerd in de vorm van een grafiek, ook wel "nomogram" genoemd (zie figuur 1). Om minder te hoeven rekenen gebruiken installatieontwerpers vaak grafieken waaruit de leiding- en kanaaldiameters direct zijn af te lezen. In de volgende paragrafen worden deze grafieken - en de tabellen die hierop zijn gebaseerd - toegelicht.

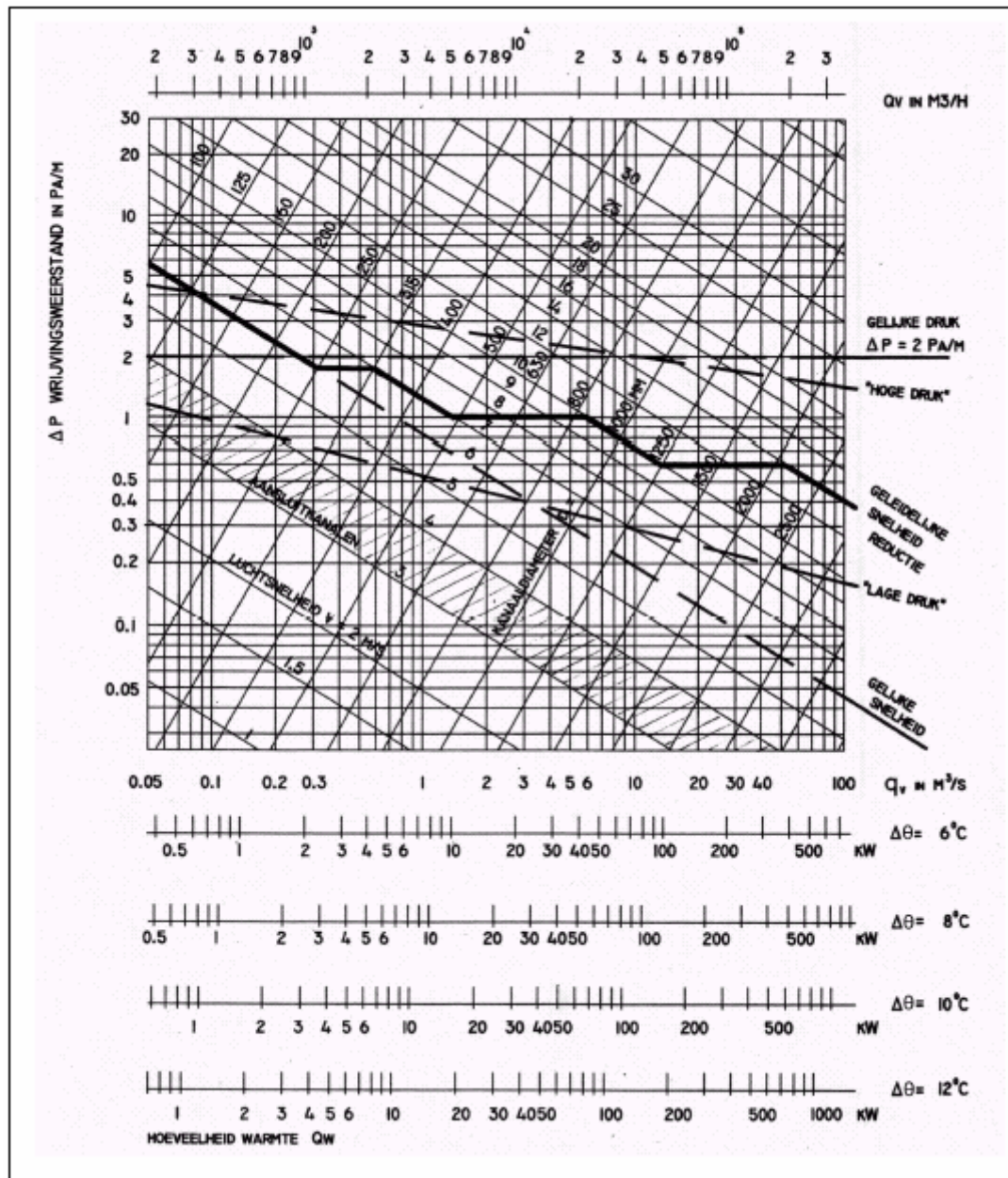
2.3. Luchtkanalen

Globale bepaling kanaaldiameter

Om een kanaaldiameter globaal te bepalen kan worden uitgegaan van een geschat ventilatievoud of van een geschat koelvermogen. Met dit gegeven en tabel 1 kan voor ruimten met een netto hoogte van 2,7 en 3,0 m de kanaaldiameter worden gevonden. Voor andere hoogten moet er worden gerekend. De afmetingen van de met de ronde kanalen overeenkomende rechthoekige kanalen zijn uit tabel 2 af te leiden. Voor utiliteitsgebouwen is het koelvermogen gemiddeld 50 W/m^2 vloeroppervlakte. Het koelvermogen voor een ruimte of een gebouwdeel (vloeroppervlakte $\times 50 \text{ W}$) kan in een van de drie rechtse kolommen worden opgezocht en is de kanaaldiameter in de derde of vierde kolom te vinden. Voor het temperatuurverschil tussen aanvoer en afvoer kan voor een eerste schatting 8°C worden genomen.

Nauwkeuriger bepaling kanaaldiameter

Een nauwkeuriger bepaling van de kanaaldiameter is mogelijk door eerst de warmte- en koel-behoefte te berekenen. Met die gegevens is de systeemkeuze te bepalen. Is sprake van een "lucht/water"-systeem dan moet het deel van het totale verwarmings- en koelvermogen worden bepaald dat via de luchtkanalen wordt getransporteerd. Vervolgens moet het temperatuurverschil tussen de luchttoevoer en -afvoer worden gekozen, dit is medeafhankelijk van de hoogte van de ruimte. Hierna is de kanaaldiameter te bepalen met de in paragraaf 2.1 beschreven berekening. De diameter is veel sneller te vinden met behulp van een grafiek of tabel. Voor de grafische methode is een nomogram ontwikkeld, zie figuur 1. Tabel 1 geldt voor de dikke ontwerplijn in het nomogram.



figuur 1 nomogram t.b.v. de dimensionering van luchtkanalen

Nomogram voor dimensioneren luchtkanalen

In figuur 1 is op de horizontale as de luchtverplaatsing (het debiet) aangegeven, onder in m^3/s en boven in m^3/h . Op de verticale as staat de wrijvingsweerstand in Pa/m kanaallengte. De wrijvingsweerstand neemt evenredig toe met het kwadraat van de luchtsnelheid. De schuin, van linksonder naar rechtsboven, lopende lijnen geven de kanaaldiameters in mm aan. Van linksboven naar rechtsonder lopen de lijnen die de luchtsnelheid in de kanalen in

m/s aangegeven. Onder het nomogram staan vier schalen die aangeven hoeveel warmte in kW via het kanaal wordt getransporteerd, afhankelijk van het verschil tussen de toevoer- en afvoertemperatuur van de lucht ($\Delta\theta$), namelijk voor 6, 8, 10 en 12 °C. Deze schalen corresponderen met de debietschalen.

In het nomogram zijn verschillende ontwerplijnen getrokken. Sommige installatieontwerpers passen in alle kanalen een **gelijke luchtsnelheid** toe, zie hiervoor de lijn "gelijke snelheid". Dit is meestal 3 - 5 m/s. 3 m/s wordt meestal aangehouden bij de toe- en afvoerpunten i.v.m. beperking van geluid. 5 m/s is een goede richtlijn voor dimensionering van kanalen. In hoofdschachten zijn soms hogere snelheden toelaatbaar. Andere ontwerpers nemen liever een **gelijk wrijvingsverlies** (meestal 2 Pa/m). Zie hiervoor de lijn "gelijke druk". Deze methode heeft als voordeel dat door de hogere luchtsnelheden bij grote luchthoeveelheden de kanalen fors kleiner uitvallen dan bij "gelijke snelheid".

Nadeel is dat met de luchtsnelheid ook het stromingsgeluid toeneemt. Het stromingsgeluid neemt evenredig toe met het vermogen dat nodig is om de lucht via de kanalen te transporteren, namelijk met de *derde macht van de snelheid*. Dit is ook van belang om te weten hoe energie kan worden bespaard bij mechanische ventilatie. 10 % minder lucht door de kanalen betekent dat het energiegebruik voor ventilatoren daalt tot $(90\% \cdot 90\% \cdot 90\%) = 73\%$ van het oorspronkelijke gebruik. Behoeftaafhankelijk ventileren - zoals op basis van de CO₂-concentratie van de binnenlucht - kan daarom energetisch heel gunstig zijn.

Door ISSO is voorgesteld om tussen de luchtbehandelingskast en de luchtroosters een **geleidelijke snelheidsreductie** toe te passen. Hiervoor geldt de dikke geknikte lijn in het nomogram. Volgens ISSO geeft deze ontwerplijn de meest economische kanalen. Bij de aansluiting van roosters ("aansluitkanalen") is het beter om geen hogere luchtsnelheden te nemen dan 3 à 4 m/s. Zie hiervoor het gearceerde gedeelte in het nomogram. Verder is in het nomogram nog een **"lage druk"** ontwerplijn aangegeven. Deze is bedoeld voor geluidsgevoelig objecten, zoals concertzalen. Ten slotte is er de **"hoge druk"** ontwerplijn die wel gebruikt wordt als het geluid er minder toe doet en het stromingsgeluid in de kanalen wegvalt tegen het achtergrondgeluid, zoals bij sportzalen. In dit boek wordt de dikke ISSO-lijn gebruikt.

Voorbeeld: Via een hoofdkanaal moet 1 m³/s lucht worden verplaatst. De lijn voor dit debiet snijdt de dikke ontwerplijn tussen D=400 en D=500 mm. Naar boven afgerond is voor dit debiet een kanaaldiameter nodig van 500 mm.

Voorbeeld: Via een rooster wordt $1000 = 10^3 \text{ m}^3/\text{h}$ lucht toegevoerd. De diameter van het aansluitkanaal kan worden gevonden door vanaf de m^3/h -schaal boven het nomogram een lijn omlaag te trekken evenwijdig aan de verticale lijnen in het nomogram. Deze lijn snijdt de ontwerplijn dichtbij $D=250 \text{ mm}$.

Voorbeeld: Via een hoofdkanaal moet een koelvermogen van 20 kW worden getransporteerd. Het verschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur is 8°C . Vanaf de schaal $\Delta\theta=8^\circ\text{C}$ wordt een lijn omhoog getrokken evenwijdig aan de verticale lijnen in het nomogram. Deze lijn snijdt de dikke ontwerplijn tussen $D=500$ en $D=630 \text{ mm}$. Naar boven afgerond moet het kanaal een diameter van 630 mm hebben.

Tabellen voor het dimensioneren van luchtkanalen

Tabel 1 is gebaseerd op het toegelichte nomogram, waarbij voor de aansluitkanalen een luchtsnelheid van 3 à 4 m/s is genomen en voor de overige kanalen de dikke ISSO-ontwerplijn is gevolgd. De kolommen links in de tabel geven het debiet aan in m^3/s en in m^3/h . De kolommen daarnaast vermelden de bijbehorende kanaaldiameters voor hoofd- en aansluitkanalen. De volgende kolommen noemen het aantal m^2 vloeroppervlakte dat met het betreffende debiet kan worden geventileerd, afhankelijk van het ventilatievoud en de vrije hoogte van de ruimte. De kolommen geheel rechts geven het koelvermogen aan dat met het betreffende debiet kan worden verplaatst, afhankelijk van het temperatuurverschil tussen aanvoer en retour.

tabel 1 Luchtkanalen, afmetingen, debiet en koelvermogen

lucht- verplaatsing (debiet)		diameter hoofd- kanaal aansluit- kanaal		te ventileren vloeroppervlakte								koelvermogen		
				bij $h = 2,7 \text{ m}$				bij $h = 3,0 \text{ m}$				bij $\Delta\theta$ van		
				ventilatievoud				ventilatievoud						
				3	4	5	6	3	4	5	6	8°C	10°C	12°C
m^3/s	m^3/h	mm	mm	m^2	m^2	m^2	m^2	m^2	m^2	m^2	m^2	kW	kW	kW
0,05	170	100	125	21	16	14	11	19	14	11	9	0,45	0,56	0,68
0,07	260	125	160	33	25	20	16	29	22	18	15	0,70	0,88	1,06
0,12	430	160	200	54	40	32	27	48	36	29	24	1,15	1,44	1,73
0,19	680	200	250	84	63	50	42	75	57	45	38	1,8	2,3	2,7
0,29	1060	250	315	130	100	80	65	118	88	71	59	2,8	3,5	4,2
0,55	1960	315	400	240	180	145	120	217	163	130	109	5,3	6,6	7,9
0,88	3200	400	500	400	300	230	200	350	260	210	180	7,7	9,6	12
1,37	4900	500	630	600	460	370	300	550	410	330	270	13	17	20
2,65	9500	630	1000	1150	880	700	590	1060	800	640	530	25	32	38
5,00	18000	800	1250	2200	1670	1300	1100	2000	1500	1200	1000	48	60	72
7,90	28000	1000	1600	3500	2600	2100	1750	3100	2400	1900	1600	75	94	113
12,30	44000	1250	2000	5400	4100	3300	2700	4900	3700	2900	2500	118	147	177
23,10	83000	1600	2500	10200	7700	6200	5100	9200	6900	5500	4600	222	278	333

Tabel 2 geeft een overzicht van de rechthoekige kanalen die, hydraulisch gezien, het equivalent zijn van de in de tabel genoemde ronde kanalen.

tabel 2 rechthoekige luchtkanalen met gelijke hydraulisch equivalente diameter

rond kanaal	rechthoekig kanaal				
mm	hoogte x breedte in mm				
100	70 x 170 *)				
125	80 x 170 *)				
160	150 x 150	125 x 175	100 x 200		
200	200 x 200	150 x 250	125 x 300	100 x 400	
250	250 x 250	200 x 300	175 x 350	150 x 400	125 x 500
315	300 x 300	250 x 350	200 x 400	175 x 500	150 x 600
400	400 x 400	250 x 500	200 x 800		
500	500 x 500	350 x 700	300 x 800	250 x 1000	
630	600 x 600	500 x 700	400 x 800	350 x 1000	300 x 1200
800	800 x 800	500 x 1000	400 x 1600		
1000	1000 x 1000	700 x 1400	500 x 2000		
1250	1200 x 1200	800 x 1600	600 x 2400		
1600	1600 x 1600	1200 x 2400	800 x 3200		

*) bedoeld voor opname in vloeren (o.a. woningen), anders een rond kanaal gebruiken

Voorbeeld

Via een hoofdkanaal moet 1 m³/h lucht worden verplaatst. Volgens tabel 1 is voor dit debiet, naar boven afgerond, een kanaaldiameter nodig van 500 mm. Hiervoor kan volgens tabel 2 ook een rechthoekig kanaal worden genomen, bijvoorbeeld 250 x 1000 mm.

Voorbeeld

Via een rooster moet 1000 m³/h lucht worden toegevoerd. Het aansluitkanaal moet volgens tabel 1, naar boven afgerond, een diameter hebben van 315 mm. Volgens tabel 2 kan ook een rechthoekig kanaal van 150 x 600 mm worden genomen.

Voorbeeld

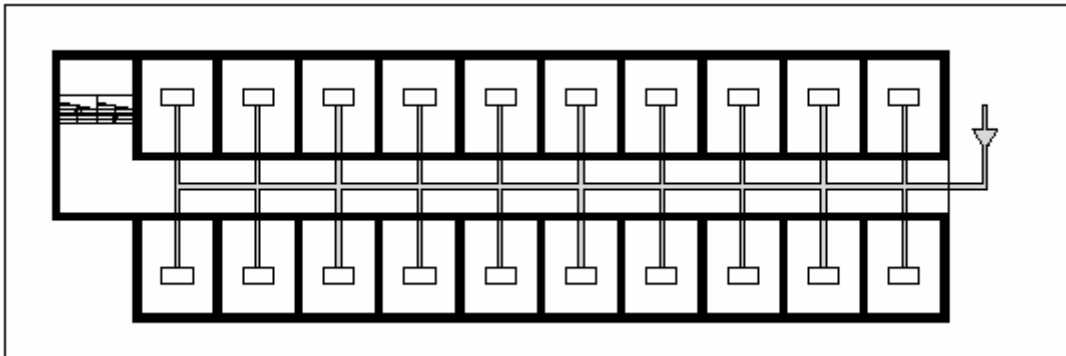
Via een hoofdkanaal moet een koelvermogen van 20 kW worden getransporteerd. Het verschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur is 8 °C. Uit tabel 1, derde kolom van rechts, blijkt hiervoor (naar boven afgerond) een kanaal met een diameter van 630 mm nodig te zijn. Ook kan een rechthoekig kanaal van 300 x 1200 mm worden genomen (zie tabel 3).

Voorbeeld

Een ruimte met een vloeroppervlakte van 1000 m² en een hoogte van 2,7 moet 4-voudig worden geventileerd. Uit de betreffende kolom in tabel 1 blijkt (naar boven afgerond) dat hiervoor een kanaal nodig is met een diameter van 800 mm. Volgens tabel 2 is het ook mogelijk om een rechthoekig kanaal van 400 x 1600 mm toe te passen.

Voorbeeld, dimensioneren kanalen van variabel debiet systeem

Het voorbeeld betreft een vleugel van een kantoorgebouw met zes identieke verdiepingen, zie figuur 2.



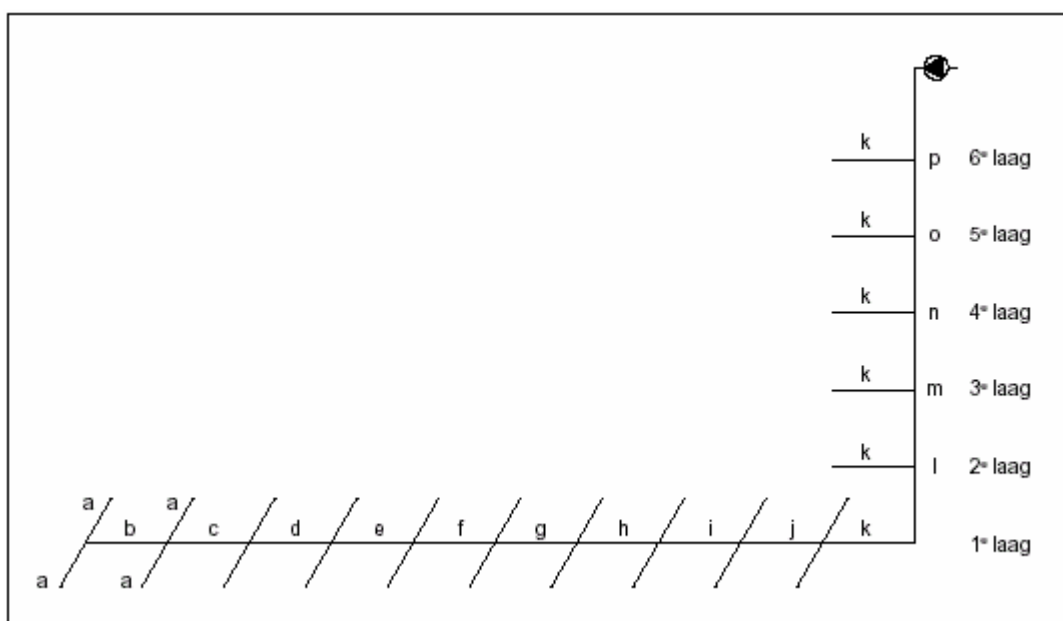
figuur 2 kantoorvleugel met variabel volumesysteem (plattegrond)

Per verdieping bevinden zich - gescheiden door een gang - tweemaal tien vertrekken, elk met een vloeroppervlakte van 20 m^2 . De netto ruimtehoogte is $2,7 \text{ m}$. De ontwerptemperatuur voor de ruimten is 20°C (verwarming) en 25°C (koeling). De warmtebehoefte van elk vertrek is 2000 W (100 W/m^2) en de koelbehoefte is 800 W (40 W/m^2). Op grond van de koelbehoefte wordt een VAV-systeem gekozen waarmee gekoelde lucht aan de vertrekken wordt toegevoerd. Voor de verwarming worden radiatoren genomen. Op grond van de hoogte van de ruimte wordt een temperatuurverschil tussen luchttoevoer en -afvoer gekozen van 8°C . De hoeveelheid gekoelde lucht die aan elk vertrek moet worden toegevoerd is daardoor (vergelijking 1):

$$q_v = \Phi_k / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) = 800 / (1,2 \cdot 1000 \cdot 8) = 0,083 \text{ m}^3/\text{s} = 300 \text{ m}^3/\text{h}$$

Voor de grafische bepaling van de kanaaldiameter moet in figuur 8 het snijpunt worden gezocht van de berekende luchthoeveelheid en de ontwerplijn die men wil gebruiken. Bij dit voorbeeld wordt het gearceerde deel in het ISSO-nomogram gekozen. De op het nomogram gebaseerde tabel 2 is in dit geval ook te gebruiken. Voor $300 \text{ m}^3/\text{h}$ volgt uit het nomogram en uit de tabel een diameter van 200 mm (naar boven afgerond) voor de aansluitleiding van elk vertrek.

De kanaaldiameter kan ook direct uit het berekende koelvermogen worden afgeleid, namelijk door in figuur 1 het snijpunt van $\Phi_k=800 \text{ W}$ (op de schaal $\Delta\theta=8^\circ\text{C}$) en de gekozen ontwerplijn te bepalen. Ook kan tabel 2 worden gebruikt. De kolom voor $\Delta\theta=8^\circ\text{C}$ geeft namelijk het koelvermogen per kanaaldiameter aan. Op beide manieren zijn de diameters van de overige kanaalstukken te bepalen, zie schema figuur 3 (toevoer en afvoer zijn gelijk).



figuur 3 schema luchttoevoerkanalen (axonometrie)

tabel 3 resultaat rekenvoorbeeld

kanaal-deel	aantal ruimten	vloeroppervl. m ²	koeling W	diameter mm	rechthoekig*) mm x mm
a	1	20	800	200	100 x 200
b	2	40	1600	200	100 x 400
c	4	80	3200	315	150 x 600
d	6	120	4800	315	150 x 600
e	8	160	6400	400	200 x 800
f	10	200	8000	400	200 x 800
g	12	240	9600	500	250 x 1000
h	14	280	11200	500	250 x 1000
i	16	320	12800	500	250 x 1000
j	18	360	14400	630	250 x 1000
k	20	400	16000	630	300 x 1200
l	40	800	32000	800	400 x 1600
m	60	1200	48000	800	400 x 1600
n	80	1600	64000	1000	450 x 1800
p	120	2400	96000	1250	500 x 2000

*) zo "plat" mogelijk (verhouding 1:4)

Afgifte – Lucht - Vuistregels

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

1 Inleiding

Ingegaan wordt op enkele veel voorkomende functies met bijbehorende eigenschappen en standaardoplossingen. In hoofdzaak wordt ingegaan op klimaatbeheersing met lucht, maar de relatie met verwarming en koeling wordt eveneens aangegeven. Bij klimaatbeheersing van hoge en grote ruimten worden luchtstromingen gedetailleerder besproken, maar de kennis hiervan is nog sterk in ontwikkeling, zodat de bespreking een globaal niveau heeft.

2. Standaard oplossingen

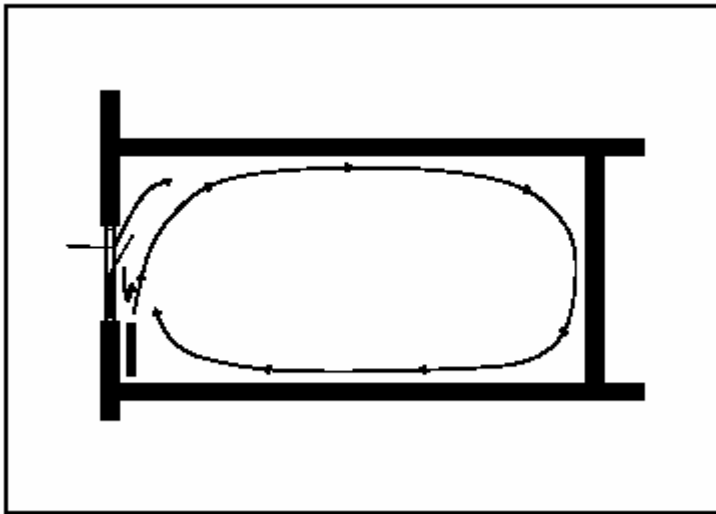
2.1. Woningen

Voor woningen is centrale verwarming met radiatoren of convectoren, eventueel aangevuld met vloerverwarming, het meest gebruikelijk. Het aantal woningen dat (vrijwel) alleen wordt voorzien van vloerverwarming neemt evenwel toe. Bij luxere woningen wordt ook wel luchtverwarming toegepast, vaak in combinatie met vloerverwarming. Luchtverversing vindt bij woningen meestal plaats met gevelroosters; koeling heeft plaats door middel van ventilatie via te openen ramen. Daarnaast wordt gebalanceerde mechanische ventilatie met warmteterugwinning toegepast. Als de warmtewisselaar wordt voorzien van een "bypass" wordt de toevoerlucht bij een koelbehoefte niet onnodig opgewarmd. Mechanische koeling is bij woningen nog niet gebruikelijk maar kan nodig zijn, bij voorbeeld als grote glasvlakken zonder adequate (buiten)zonwering zijn toegepast.

Daarnaast neemt door de toegenomen isolatie en warme, vochtige zomers de koelbehoefte toe. Niet voor niets worden door bewoners steeds vaker locale airco's aangeschaft. Bij woningen die zijn voorzien van warmtepompen aangesloten op energieopslag in de bodem is koeling meestal standaard aanwezig. Het gekoelde water uit de koude bron dat naar de woning wordt gevoerd wordt tijdens het koelen opgewarmd en naar de warme bron geleid. Tijdens het stookseizoen wordt dit warmere water nuttig gebruikt om een warmtepomp te voeden die het warme water op een hoger temperatuurniveau brengt. De warmtepomp produceert hierbij tegelijkertijd gekoeld water dat naar de koude bron wordt gevoerd.

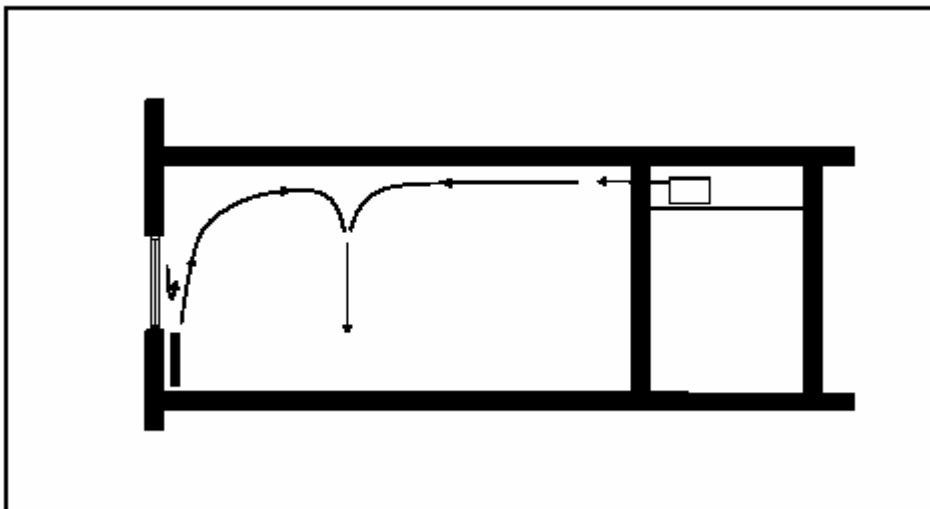
2.2. Kantoren met een geringe thermische belasting

Een standaard kantoorvertrek (breedte x diepte x hoogte = 3,6 x 5,4 x 2,7m) wordt meestal door één of twee personen gebruikt. Een traditionele systeemkeuze is: Verwarming met radiatoren in combinatie met natuurlijke ventilatie via gevelroosters en natuurlijke koeling via te openen ramen. Dit is een bruikbare oplossing als de Specifiek Werkzame Massa niet minder is dan 70 kg/m², niet meer dan één gevel voor 30% uit ramen met buitenzonwering bestaat, niet meer dan twee PC's worden gebruikt en de ramen open kunnen zonder hinder door stank of lawaai van verkeer of industrie (figuur 1).



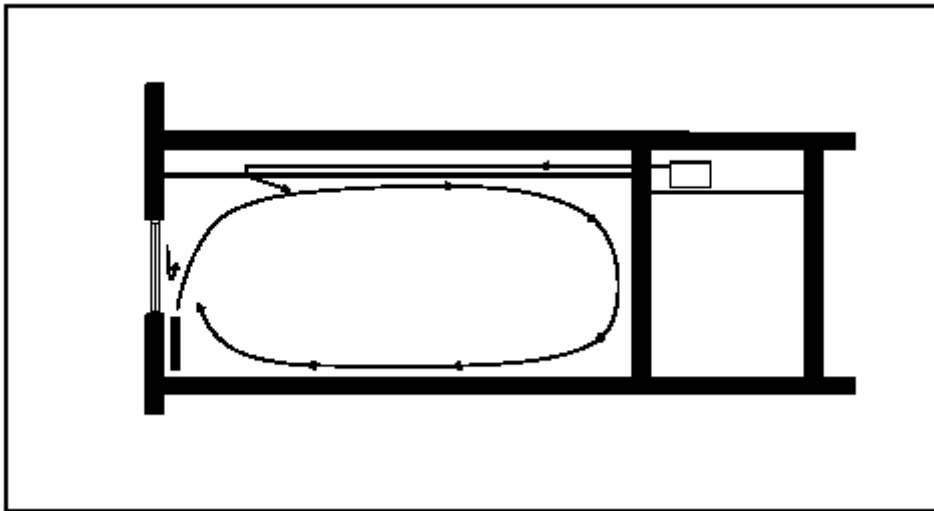
figuur 1 standaard kantoorvertrek met radiatorverwarming en natuurlijke ventilatie via te openen ramen; dit is een oplossing die in bestaande situaties nog voorkomt. In dit voorbeeld wordt lucht via dezelfde opening toe- en afgevoerd. Voor nieuwbouw is een aparte goed regelbare luchttoevoer en een aparte luchtafvoer noodzakelijk (Bouwbesluit). De luchttoevoer mag daarbij geen tocht veroorzaken. De wijze van luchttoevoer vraagt daarom speciale aandacht.

Kunnen de ramen niet open dan moet - als aanvulling op dit systeem - mechanische ventilatie worden toegepast. In het begin van de opkomst van mechanische ventilatie werd bij kantoren meestal lucht vanaf de gangzijde toegevoerd. Hierdoor ontstond vaak tocht op de plaats waar de toevoerstream en de door de radiator veroorzaakte luchtstroom elkaar ontmoetten (figuur 2).



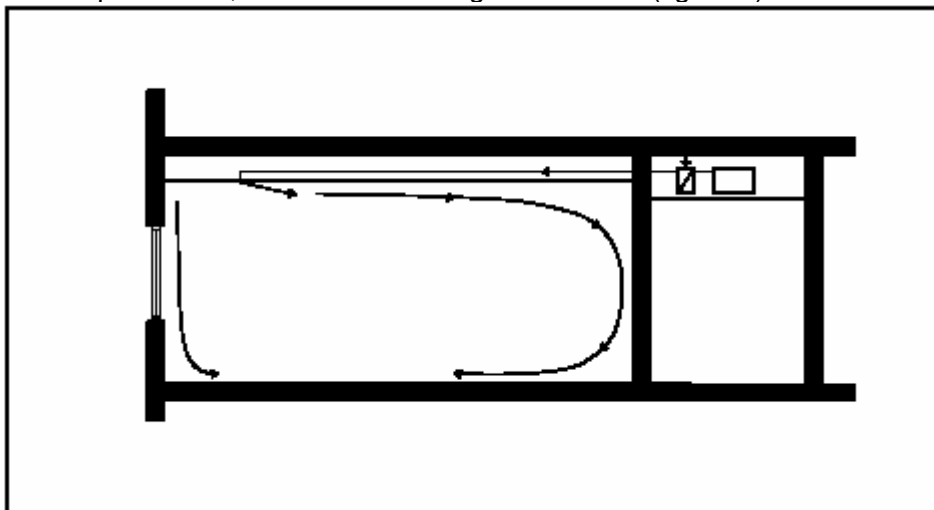
figuur 2 kantoorvertrek met mechanische luchttoevoer, radiatorverwarming en bijbehorend tochtprobleem

Men ontdekte dat het beter is om de lucht zo toe te voeren dat de beide luchtstromen elkaar versterken, bij voorbeeld door met een lijnrooster of een eenzijdig uitblazende plafonduitlaat ("anemostaat") op ca. 1 m vanaf de gevel de lucht horizontaal langs het plafond in de gangrichting te laten inblazen (figuur 3).



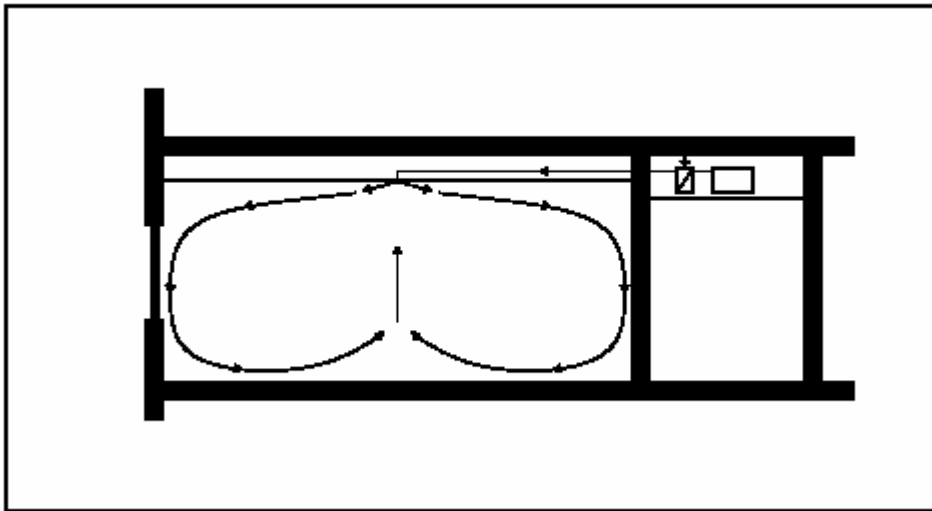
figuur 3 kantoorvertrek met radiatorverwarming en met mechanische luchttoevoer met een lijnrooster

De volgende stap in de ontwikkeling was het weglaten van de radiator en het - in plaats daarvan - toepassen van een warmtewisselaar in het luchttoevoerkanaal. Hierdoor ontstonden nieuwe problemen, zoals koudestraling en koudeval (figuur 4).



figuur 4 kantoorvertrek met mechanische luchttoevoer met naverwarmer en koudeval bij de gevel

De oplossing hiervoor was toepassing van minder glas, HR-glas of een klimaatraam of klimaatgevel. Een belangrijk nadeel bleef de tochtstroom die ontstaat als bij lage buitentemperaturen een raam wordt geopend. Een ander nadeel van het weglaten van de radiator was dat de mechanische ventilatie 's nachts en in het weekend in bedrijf moest blijven om de ruimte in de winter op temperatuur te houden. Verder bleek de werp van het rooster een probleem te zijn omdat deze bij toevoer van warme en koude lucht ongelijk is. Bij toevoer van warme lucht moet, om het ontstaan van een warme deken onder het plafond tegen te gaan en de werp de leefzone te laten bereiken, met een - relatief - hoge snelheid worden ingeblazen. Een zelfde snelheid heeft bij toevoer van koude lucht een grotere werp en daardoor tocht in de leefzone tot gevolg. Het beste wat in een situatie zonder radiator mogelijk is, is het toevoeren van de lucht vanuit het midden van de ruimte, bij voorbeeld met een vierzijdig uitblazende plafonduitlaat of met een tweezijdig uitblazend lijnrooster (figuur 5). De verschillen in werp bij koeling en verwarming zijn dan het kleinst.



figuur 5 kantoorvertrek met goede gevelisolatie en plafonduitlaat of tweezijdig uitblazend lijnrooster

2.3 Kantoren met mechanische koeling

Het systeem dat in de vorige paragraaf is besproken, is meestal eenvoudig aan te vullen met mechanische koeling waarbij de ruimtetemperatuur is te regelen met de hoeveelheid of met de temperatuur van de toevoerlucht. De *hoeveelheids*-regeling heeft een luchtregelklep (VAV-systeem, VAV = Variable Air Volume). De *temperatuur*-regeling heeft een na-verwarmer (CAV-systeem, CAV = Constant Air Volume) in het toevoerkanaal. In beide gevallen wordt een ruimtethermostaat gebruikt om de temperatuur individueel te kunnen instellen.

Een grote koelbehoefte kan het gevolg zijn van warmtebelasting door computers, personen, verlichting (vooral gloeilampen en indirecte verlichting), veel glas zonder adequate (buiten)-zonwering, ontbreken van luchtafvoer via de verlichtingsarmaturen, etc.. Hierdoor kan het koelvermogen van het in vorige paragraaf beschreven systeem ontoereikend zijn. De eenvoudigste manier om het vermogen te vergroten is toevoer van meer gekoelde lucht, bij voorbeeld tot maximaal 6 maal de inhoud van de ruimte per uur. Het specifieke koelvermogen is dan 45 W/m^2 vloeroppervlakte. Met inductieapparaten of ventilatorconvectoren kan 75 W/m^2 vloeroppervlakte aan koelvermogen worden bereikt. Combinatie met een gekoeld plafond geeft een vermogen van maximaal 100 W/m^2 . Deze getallen gelden voor een netto ruimtete hoogte van 2,7 m.

2.4 Hoge ruimten

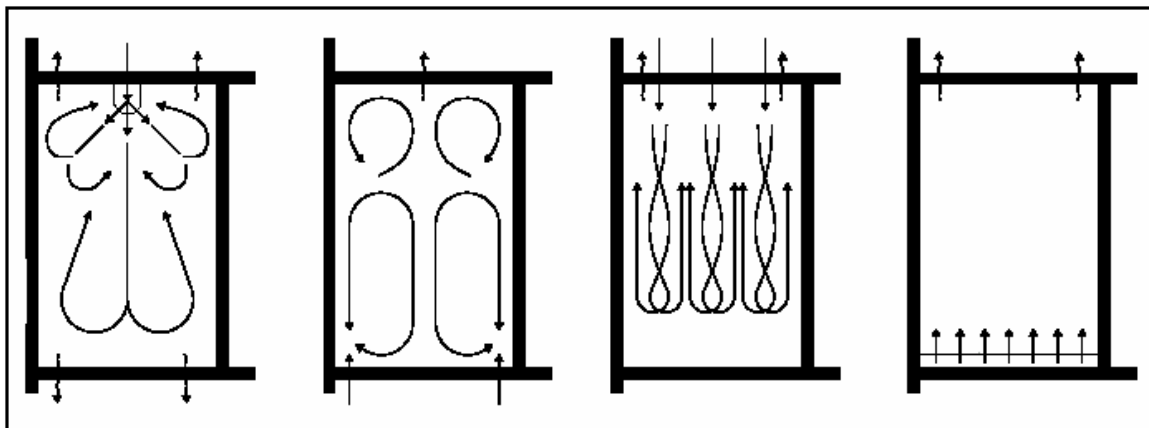
Door dichtheidsverschillen van warme en koele lucht ontstaan temperatuurverschillen; de verticale gradiënt is vaak $0,5$ tot $1,0 \text{ }^\circ\text{C/m}$. Daardoor kan bij hoge ruimten de temperatuur op vloer- en plafondhoogte tientallen graden verschillen. Dit verschijnsel is nuttig te gebruiken, zoals bij kwel- en verdringingsventilatie. Er zijn ook nadelen, zoals de beperkte bruikbaarheid van hoger gelegen delen van de ruimte door de hoge temperatuur ter plaatse. Een ander verschijnsel dat zich bij hoge ruimten sterker voordoet dan bij lage ruimten is tocht over de vloer door koudeval langs wanden die koeler zijn dan de lucht in de ruimte. Bij koeling ontstaat langs relatief warme wanden en ter plaatse van warmtebronnen een convectiestroom omhoog. Deze stroom stimuleert dat op andere vlakken of plaatsen lucht naar beneden gaat en zorgt eveneens voor tocht over de vloer. Daarom is het beter om ruimten van meer dan 4 m hoogte niet voor permanent verblijf te gebruiken. Hogere ruimten zijn niet bezwaarlijk als ze

voor kortdurend verblijf zijn bedoeld of door personen worden gebruikt die meer in beweging zijn, zoals verkeersruimten, sportzalen e.d.

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

Als belastingsverschillen met luchtsnelheidsregelingen worden gecorrigeerd, zijn bij diffuse luchtstroming en toevoer via nozzles, geen aparte voorzieningen voor verwarming en koeling nodig.

Hoge ruimten kunnen van verdringingsventilatie worden voorzien als ze thermisch goed zijn geïsoleerd en zoninstraling en interne warmtebelasting beperkt zijn. De koele of warme lucht kan gelijkmatig verspreid vanuit de vloer worden toegevoerd en hoog worden afgevoerd. De ruimte leent zich dan ook voor een wat langer verblijf, zoals een theaterzaal. Figuur 6 toont verschillende wijzen van luchttoevoer en -afvoer.



figuur 6 klimaatbeheersing bij hoge ruimtes, voorbeelden van luchttoevoer en -afvoer

Hoge ruimten zijn door de gradiënten en luchtstromingen die in de ruimte ontstaan niet voor alle ruimtefuncties even geschikt. Expositieruimten voor schilderijen en hallen voor assemblage van temperatuurgevoelige meetinstrumenten moeten bij voorbeeld een zo homogeen mogelijke temperatuur hebben.

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

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

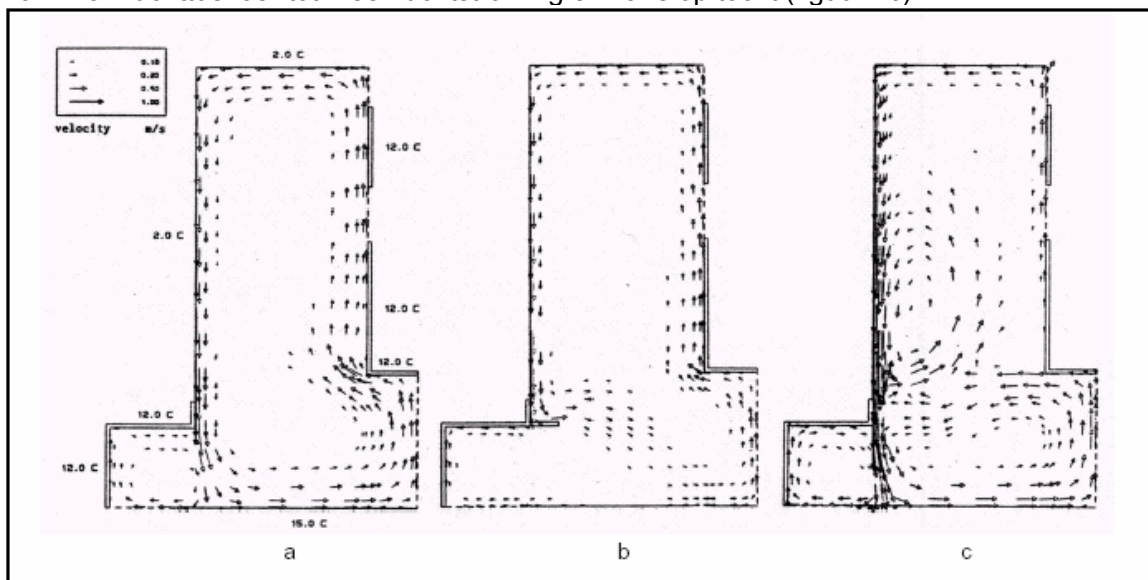
Voor de verwarming van hoge ruimten, zoals sportzalen, veilinghallen, fabriekshallen, e.d. worden ook wel hoog geplaatste stralingspanelen toegepast. Dit is minder gunstig vanwege het "warm hoofd en koude voeten"-effect en de hoge benodigde temperaturen.

2.5 Grote glasoverkapte ruimten (serres, atria, e.d.)

Grote/hoge glasoverkapte ruimten, zoals die in Nederland en qua klimaat vergelijkbare landen worden gebouwd, zijn meestal niet geschikt voor langdurig verblijf. Het is zelfs al lastig om ze aan de klimaateisen van verkeersruimten in gebouwen te laten voldoen. Daarom is het beter

om aan dergelijke ruimten lagere eisen te stellen of ze een andere bestemming te geven. Door eisen en mogelijkheden op elkaar af te stemmen zijn glasoverkapte ruimten aanvaardbaar te maken voor beperkte of tijdelijke gebruiksdoelen. Om de kans op klachten te beperken moet met de opdrachtgever en - als dat mogelijk is met toekomstige bewoners - zorgvuldig overleg plaatsvinden over de gebruiksmogelijkheden. **Atria** (alleen glas in het dak) zijn minder problematisch dan **serres**.

Naast de comfortproblemen die aan hoge ruimten kleven komen bij hoge glasoverkapte ruimten als extra complicatie de meestal geringe thermische isolatie (verwarmingsprobleem) en de vaak grote zonbelasting (koelprobleem). Een geringe thermische isolatie zorgt bij hoge verticale glasvlakken in de winter voor koudeval. Een krachtige warme luchtstroom vanuit de vloer langs het glas - convectoren helpen nauwelijks - kan de koudeval beperken, maar veroorzaakt ook een tochtstroom over de vloer in de richting van de gevel. Feitelijk leidt elke vorm van luchttoevoer tot meer luchtstroming en kans op tocht (figuur 7c).



figuur 7 luchtstromingen in een serre

Vloerverwarming heeft als nadeel dat vanuit het midden van de ruimte een verticale luchtbeweging ontstaat die de koudeval langs gevels versterkt. Uit onderzoek met 3-dimensionale stromingsmodellen blijkt dat een horizontaal vlak (een balustrade of iets dergelijks) als koudeval-breker kan dienen en de kans op tocht kan beperken (figuur 7b). Accepteert men enige tocht en temperatuurverschillen dan is het mogelijk om in serres een voor verkeersruimten aanvaardbare temperatuur van minimaal 10 à 12 °C te bereiken met beperkte bouwkundige middelen als enkel glas en beperkte verwarming. Een voorbeeld hiervan zijn de serres van het Ministerie van VROM. Om in de zomer een aanvaardbaar klimaat te realiseren, kan het gehele dak open.

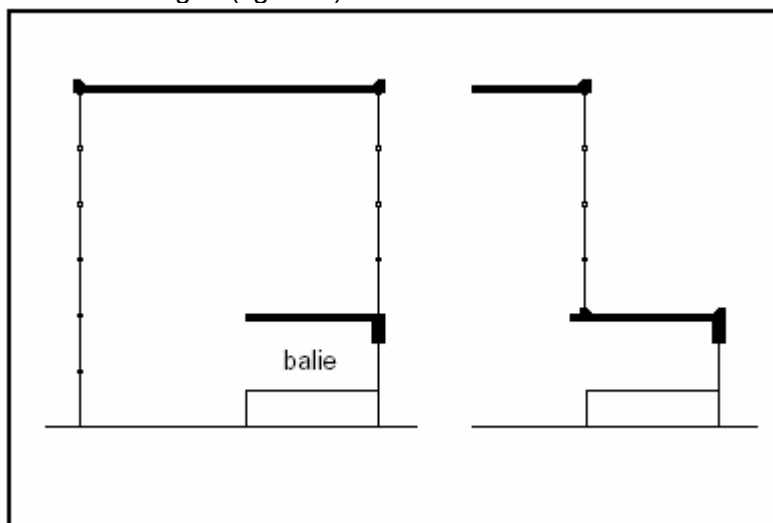
Doorgaans is het economisch niet verantwoord om zonbelaste **serres** te koelen, anders dan op een natuurlijke manier. De benodigde hoeveelheid buitenlucht is in dat geval echter zo groot dat enige tocht onvermijdelijk is. Tocht accepterend, kan in de zomer een **aanvaardbaar** klimaat worden gerealiseerd als de luchttemperatuur niet meer dan 3-5 °C boven de buitentemperatuur komt. Voor de natuurlijke ventilatie zijn openingen in de gevel in combinatie met openingen in het dakvlak het beste. Om ervoor te zorgen dat luchtbewegingen niet te sterk tot de serrevloer doordringen mogen de gevelopeningen niet te laag zitten en moeten

deze klein van oppervlak zijn. Hoger gelegen openingen moeten zo worden gesitueerd dat mensen niet te dicht in de buurt daarvan komen, bij voorbeeld bij loopbruggen en bordessen. De zomerventilatie van **passages** kan op gelijke wijze plaatsvinden. **Atria** kunnen - indien buitenwanden ontbreken - alleen op natuurlijke wijze via openingen in het dak worden geventileerd.

Indien de zonwerendheid van de gevel of het dak kan worden verbeterd, kan de hoeveelheid ventilatie van het atrium in de zomer worden beperkt.

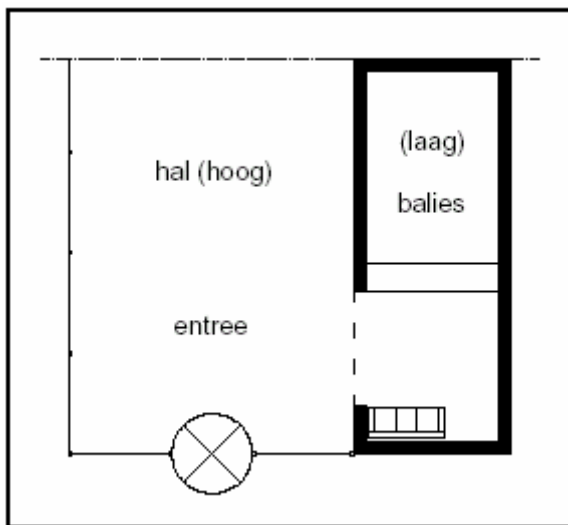
2.6 Balieruimten, kassa's, loketten, e.d.

Bankgebouwen, gemeentehuizen en dergelijke hebben publieksruimten met balies. Door toegangsdeuren, grote hoogte of grote glasoppervlakten kunnen deze ruimten niet altijd aan hoge klimaatseisen voldoen. Het publiek, gekleed op het buitenklimaat, heeft daar geen last van omdat men kort in die ruimten verblijft. Baliepersoneel klaagt vaak over koude en tocht, net als personeel bij **kassa's** in supermarkten, e.d.. In publieksruimten geplaatste balies worden om die reden vaak al enkele maanden na ingebruikname afgeschermd. Dit soort verbouwingen kan worden voorkomen door balies zo ver mogelijk vanaf toegangsdeuren te plaatsen. Verder kan tocht worden te beperken door hoge publieksruimten ter plaatse van de balies te verlagen (figuur 8).



figuur 8 voorbeelden van balies in hoge ruimten

Grenst een balieruimte met een open verbinding aan een grote open ruimte dan kan een overgangsgebied ervoor zorgen dat eventuele tochtstromen worden beperkt, bij voorbeeld door balies haaks op de richting van de te verwachten tochtstroom te plaatsen (figuur 9).

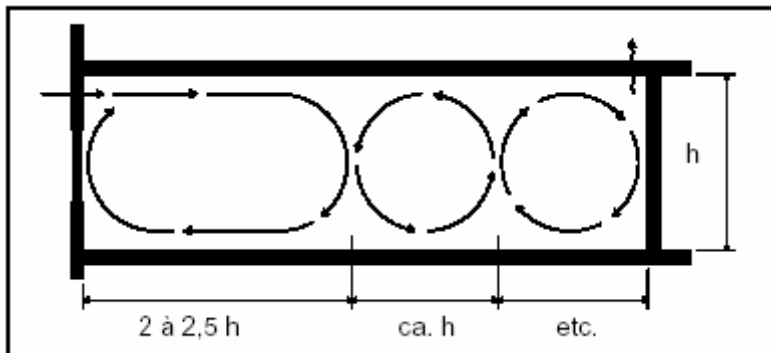


figuur 9 voorbeeld van een balie in een overgangsgebied

Loketten met kleine openingen zijn geen goede oplossing voor het tochtprobleem bij balies. Ze kunnen het probleem verergeren omdat in en direct achter de openingen hoge luchtsnelheden kunnen optreden door drukverschillen als gevolg van onbalans in de ventilatie, winddrukken op de gevel, open ramen of deuren, etc..

2.7 Ruimten met grote vloeroppervlakten

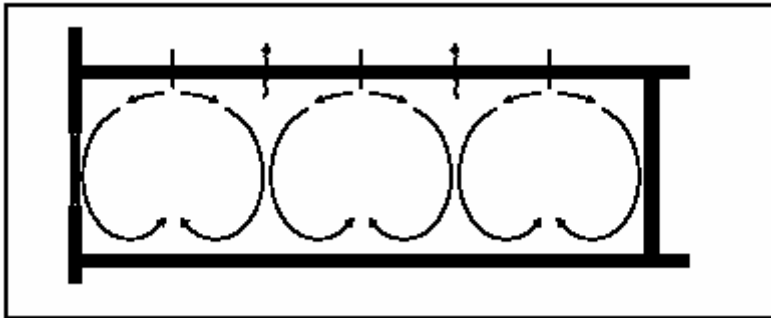
Het stromingsbereik (de worp) van wandroosters is beperkt. Daardoor ontstaan in uitgestrekte relatief lage ruimten ($< 3,0$ m) bij dwarsventilatie met wandroosters primaire, secundaire en tertiaire wervels (figuur 10).



figuur 10 dwarsventilatie van relatief lage ruimten met grote vloeroppervlakten

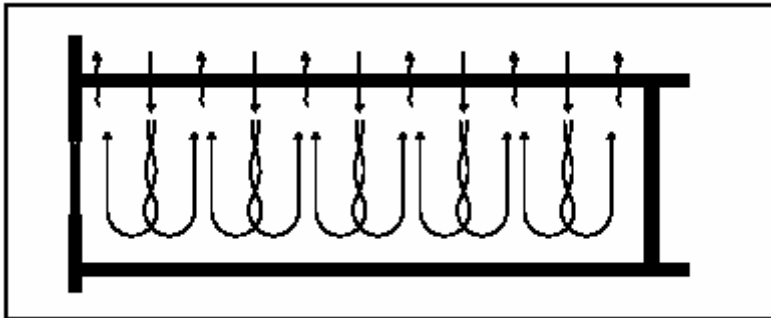
Als de roosters goed zijn gedimensioneerd en geplaatst, hoeft dit niet tot tocht te leiden. Wel kan door interne warmtebelasting een horizontaal temperatuurverschil ontstaan, waardoor het in de ruimte op enige afstand vanaf de toevoerroosters steeds warmer en benauwder wordt. Om een gelijkmatiger temperatuur te bereiken is het beter om bedoelde ruimten in verticale richting te ventileren. Plaatsing van toevoer- en afvoerroosters in het plafond is daarbij het gunstigst omdat de inrichtingsmogelijkheden van de ruimte dan niet worden beperkt. Toevoerroosters in de vloer hebben, voor zover ze zich in de leefzone bevinden, als nadeel dat het temperatuurverschil waarmee lucht kan worden toegevoerd (bij koeling maximaal 4°C) geringer is dan bij toevoer vanuit het plafond. Om een gelijk koelvermogen te bereiken moet via vloerroosters vaak twee maal zoveel gekoelde lucht worden toegevoerd als via

plafondroosters. Als toevoerroosters kunnen horizontaal langs het plafond inblazende lijnroosters of "anemostaten" worden gebruikt (figuur 11).



figuur 11 verticaal georiënteerde ventilatie met anemostaten of lijnroosters

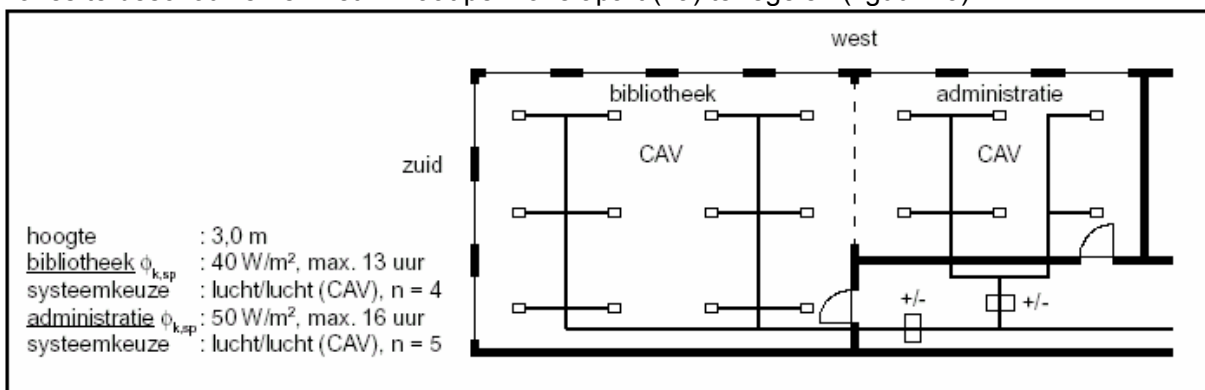
Bij ruimten van >3,5m hoog zijn verticaal naar beneden blazende wervelroosters zeer bruikbaar (figuur 12).



figuur 12 verticaal georiënteerde ventilatie met wervelroosters

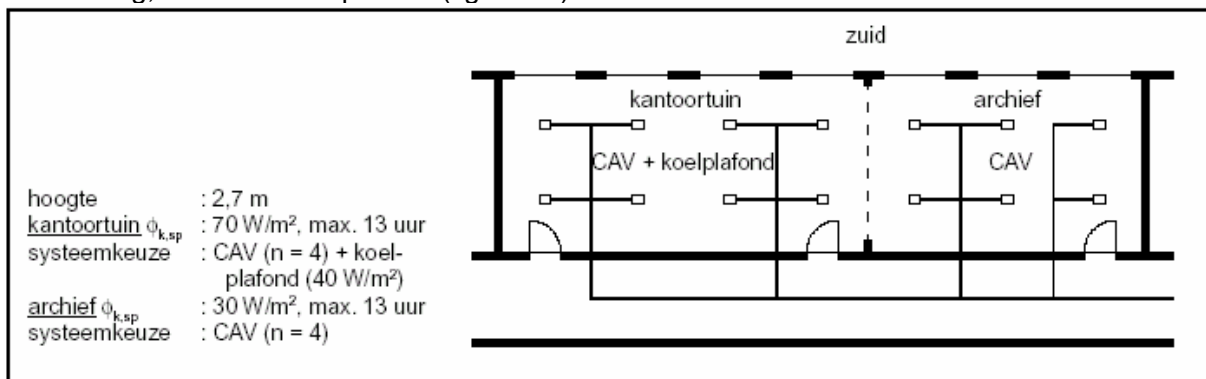
2.8 Gekoppelde ruimten

Bij gekoppelde ruimten kan worden gedacht aan ruimten die via grote openingen of via de klimaatinstallaties met elkaar in verbinding staan. Bij een **ruimtelijke** koppeling van ruimten die wat betreft hun functie, gebruik en specifieke warmte- en koelbehoefte ongeveer gelijk zijn, is het vanzelfsprekend dat die ruimten een identiek klimaatregelsysteem krijgen en tot dezelfde luchtbehandelingszone kunnen behoren. Zijn er verschillen in gebruik of verschilt het tijdstip waarop de maximale belasting optreedt dan is het beter om de ruimten als aparte zones te beschouwen en het klimaat per zone apart (na) te regelen (figuur 13).



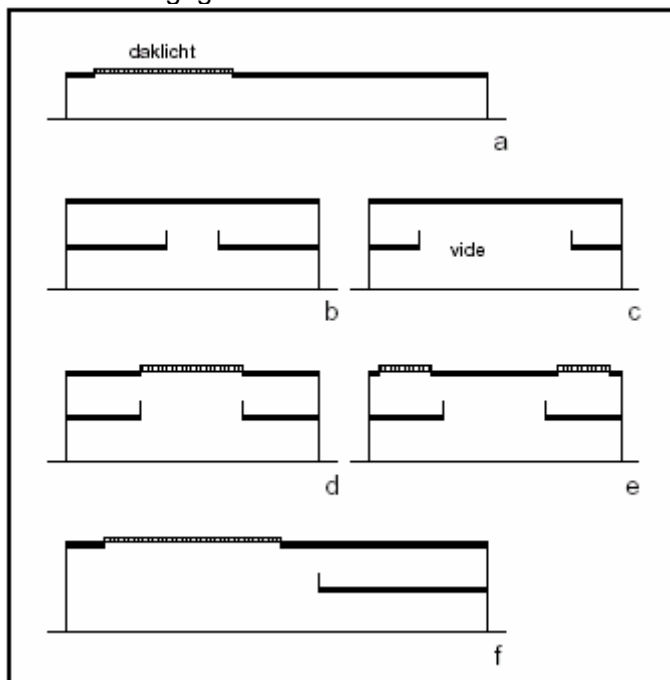
Figuur 13 Gekoppelde ruimten, verschil in gebruik of belastingsprofiel

Zijn de verschillen in de maximale warmte- of koelbehoefte groot, dan kan het nodig zijn de ruimten van verschillende systemen met verschillende specifieke vermogens te voorzien. Vaak is het mogelijk om delen van de installatie identiek te maken. Bij voorbeeld als alleen de maximale koelbehoefte sterk verschilt, kunnen de ruimten van een identiek ventilatiesysteem worden voorzien en krijgt alleen de ruimte met de hogere koelbehoefte een aanvullende voorziening, zoals een koelplafond (figuur 14).



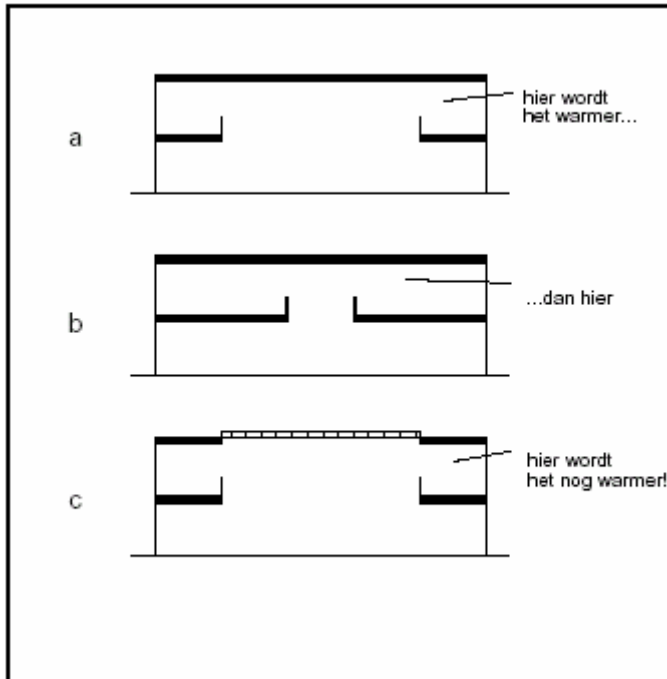
figuur 14 gekoppelde ruimten, verschil in maximale koelbehoefte

Bij een ruimtelijke koppeling kan zich ook een situatie voordoen waarbij de verschillen in gebruik en belasting klein zijn maar waarbij de vorm van de ruimten sterk verschilt. In dat geval kan één systeem worden toegepast met verschillende uitvoeringen, bij voorbeeld wat betreft de wijze waarop lucht wordt toe- en afgevoerd omdat de ene ruimte meer oppervlakte aan plafond heeft dan de andere ruimte. Vooral bij verticale koppelingen doet deze situatie zich voor, zoals bij ruimten die via een vide met elkaar in verbinding staan. In figuur 15 zijn voorbeelden gegeven.



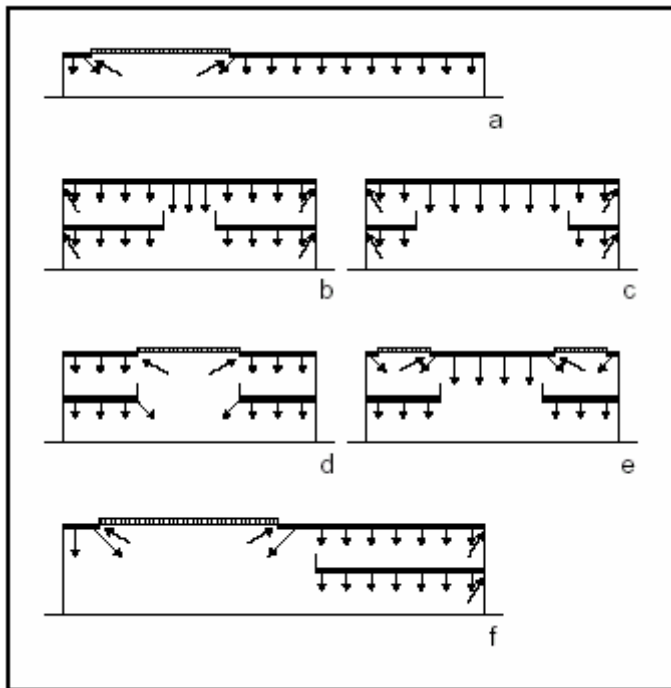
figuur 15 verticaal gekoppelde ruimten

Bij verticaal gekoppelde ruimten kunnen de hoogte en hoogteverschillen tot onderlinge beïnvloeding leiden en de temperatuurregeling minder eenvoudig maken. Figuur 16 laat zien wat er gebeurt door temperatuurgradiënten.



figuur 16 wat in verticaal gekoppelde ruimten gebeurt

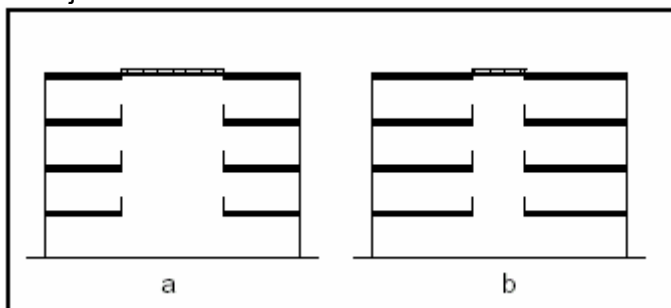
Oplossingen worden ingewikkelder als er eveneens belastingsverschillen zijn. Verder kunnen de verschillen in mogelijkheden om lucht of warmte toe of af te voeren de systeemkeuze complex maken en ertoe leiden dat het thermisch comfort niet wordt wat men ervan verwacht. In zo'n situatie bestaat er een conflict tussen de ruimtelijke kwaliteit en het comfort en is het nodig om tussen beiden een afweging te maken. Figuur 17 toont voorbeelden voor de plaatsing van luchttoevoer- en afvoerroosters die tot het best mogelijke resultaat kunnen leiden.



figuur 17 suggestie voor plaatsing van roosters

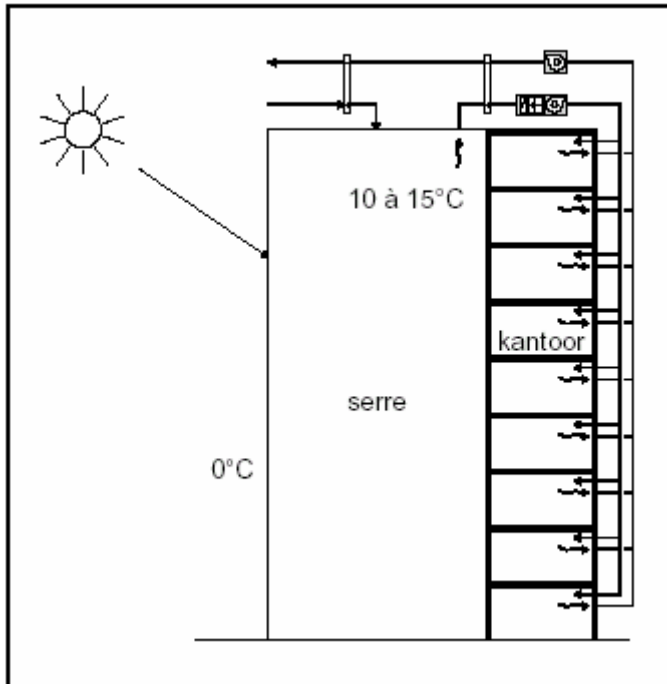
Zijn er belastingverschillen dan kan het koelvermogen - als er ruimte voor is - plaatselijk worden vergroot met koelplafonds.

Voorgaande alinea's beschrijven de koppeling van verblijfsruimten. Ruimten met verkeers- en andere dan gebruiksfuncties, zoals serres en atria, kunnen veel meer invloed op het klimaat in aangrenzende ruimten hebben als ze met die ruimten in open verbinding staan. De invloed is groter naarmate de vloeroppervlakte van de serre of het atrium groter is. De systeemkeuze van de aangrenzende ruimten wordt daardoor mede bepaald door de belasting van de serre of het atrium. Vooral bij ruimten die via een serre of atrium over een groot aantal verdiepingen zijn gekoppeld kan zich een complexe situatie voordoen, mede omdat in de serre of het atrium op zich al grote temperatuurverschillen ontstaan. Uit oogpunt van klimaatregeling is het daarom het beste om dergelijke situaties te vermijden. Is er een open verbinding met aangrenzende verblijfsruimten, zoals hiervoor omschreven, dan is de consequentie dat die ruimten minder comfortabel zijn. Alleen als de vloeroppervlakte van de serre of het atrium klein is, in vergelijking met de vloeroppervlakte van de aangrenzende verblijfsruimten, kunnen die ruimten aan redelijk strenge eisen voldoen, zie figuur 18b. De delen van de ruimten dichtbij de serre of het atrium blijven kritisch en kunnen beter voor een andere functie dan verblijfsruimte worden bestemd.



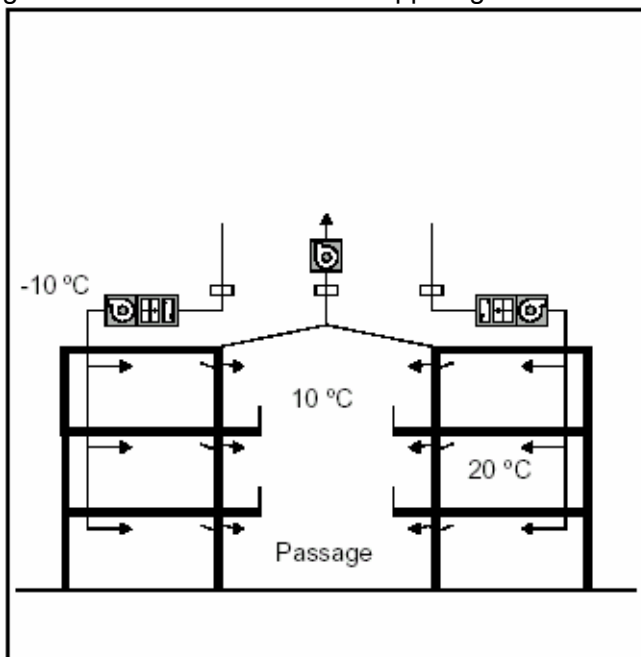
figuur 18 door middel van vides en atria gekoppelde ruimtes

Bij een koppeling van ruimten **via de klimaatinstallatie** kan worden gedacht aan het gebruik van lucht die vanuit de ene ruimte wordt afgevoerd om er een andere ruimte mee te ventileren, te verwarmen of te koelen. Een voorbeeld is een hoog kantoorgebouw met een grote hoge serre, zie figuur 19.



figuur 19 door middel van serre gekoppelde ruimte en kantoorvertrekken

De koppeling via de installatie dient om de voor de kantoren benodigde verse lucht in de winter te kunnen voorverwarmen met in de serres geabsorbeerde zonnewarmte. Figuur 20 geeft een voorbeeld van een koppeling tussen kantoren en een winkelpassage.

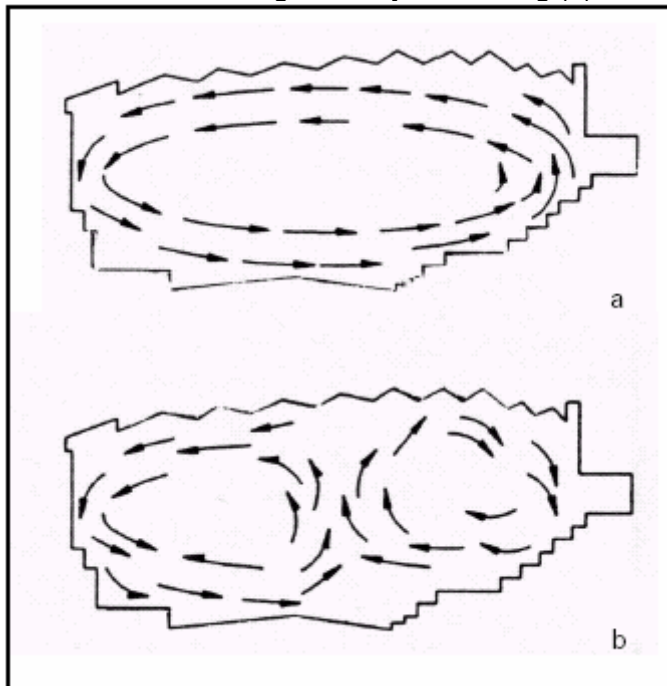


figuur 20 door middel van installaties gekoppelde winkels en passage

Met de warmte uit de lucht die uit de passage wordt afgevoerd wordt de toevoerlucht naar de winkels voorverwarmd.

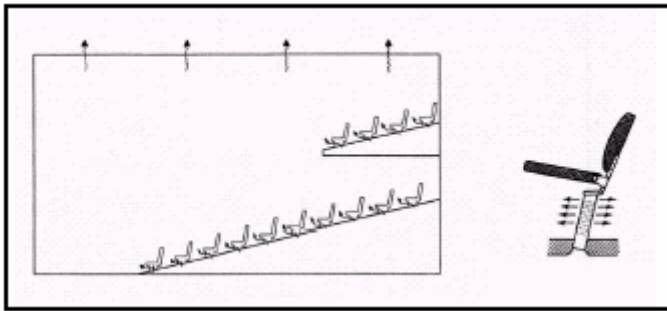
2.9 Theaterzalen

Theaterzalen zijn doorgaans hoog, o.a. om boven in de zaal een buffer met verse lucht te hebben. Vaak is de hoogte ook nodig vanwege belichting, projectie e.d. Omdat de luchtbuffer onvoldoende is voor een langdurige hoge zaalbezetting, is mechanische ventilatie nodig. In het verleden werden de toevoerroosters van theaters meestal in de wanden of het plafond aangebracht. Ondanks een zorgvuldige plaatsing bleek steeds tocht te ontstaan. Dit is, naast de hoogte van de ruimte, mede toe te schrijven aan de hoge interne warmtebelasting en de vaak ongelijkmatige zaalbezetting. Door de warmtebelasting van het publiek - en de convectiestroom die daarvan het gevolg is - kan een luchtstroming ontstaan die het beoogde stromingspatroon overheerst. Figuur 21 laat het verschil zien tussen een vol amfitheater (a) en hetzelfde theater met gedeeltelijke bezetting (b).



figuur 21 luchtstroming in een theater als gevolg van de thermische belasting van het publiek

Bij moderne theaterzalen voert men de verse lucht vaak laag en met een geringe snelheid toe, bij voorbeeld via de poot of rugleuning van fauteuils of via vloerroosters onder de fauteuils. De lucht wordt hoog afgevoerd, bij voorbeeld via de verlichtingsarmaturen. Dit is een onzuivere vorm van verdringingsventilatie (figuur 22).



figuur 22 theaterzaal met luchttoevoer via fauteuilpoten

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

2.10 Multifunctionele zalen

Zalen voor toneel, film, sport, feesten e.d. zijn nooit voor alle toepassingen even goed te klimatiseren, althans niet met een enkelvoudig systeem. Luchttoevoer, zoals bij theaters, kan niet omdat de zaalvloer voor een aantal functies volledig beschikbaar en vlak moet zijn. Door de mogelijkheid van een grote bezetting is een systeem met toe- en afvoerroosters in het plafond, eventueel aangevuld met lage afvoer (wand- of vloerroosters), het best denkbare. Verticaal naar beneden blazende wervelroosters zijn meestal een goede keus (zie figuur 6c). Voor het bij lage buitentemperaturen op temperatuur brengen en - bij geringe bezetting - op temperatuur houden van de zaal is vloerverwarming een goede aanvulling op dit systeem. In welke mate mechanische koeling nodig is, hangt af van de specifiek werkzame massa (SWM) van de zaal, van de maximale bezetting en van de temperatuureisen die bij verschillende bezettingen worden gesteld.

2.11 Sportzalen/tentoonstellingszalen e.d.

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

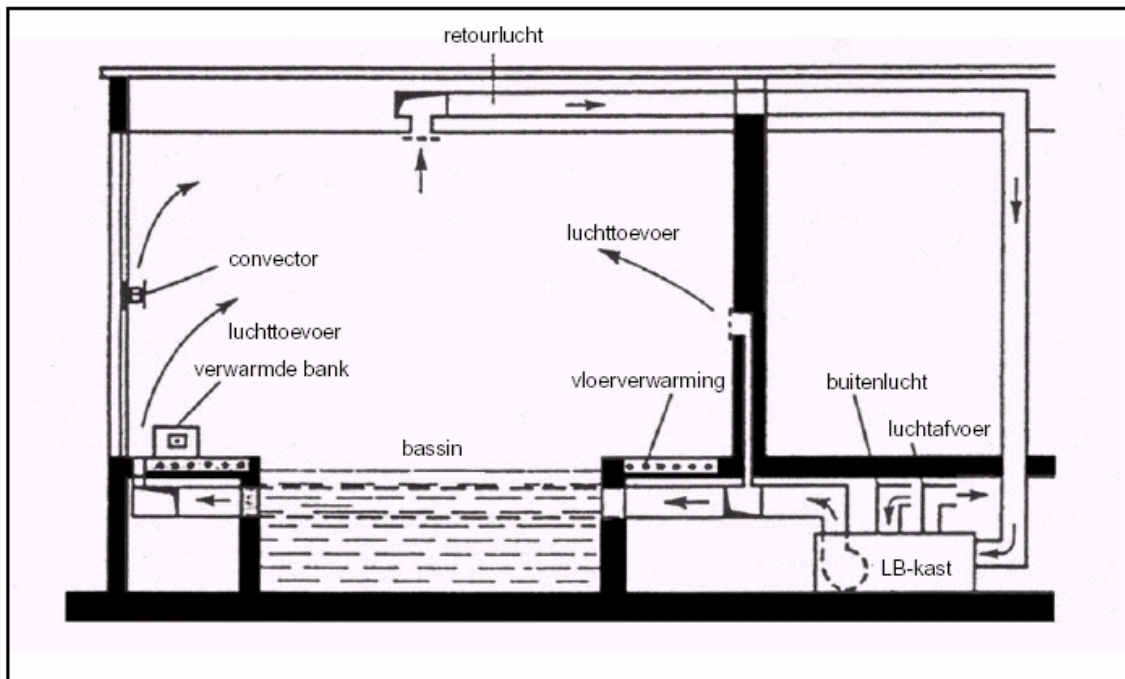
Verwarming die het meest tegemoetkomt aan de temperatuurbehoeften van sporters en toeschouwers is stralingsverwarming. Bij stralingsverwarming kan, bij gelijkblijvend comfort, een lagere luchttemperatuur worden toegepast dan bij luchtverwarming. Dat is gunstig omdat

bewegende sporters meer afkoeling van de koelere lucht ondervinden dan stilzittende toeschouwers. Bij tribunes kan plaatselijk meer warmte worden toegevoerd. Stralingsverwarming voor sportzalen kan bestaan uit een *middelhoog*- of een *laag*-temperatuursysteem. Bij middelhoge-temperatuur-systemen gebruikt men smalle stralingspanelen bestaande uit stevige metalen platen die aan watervoerende buizen zijn gelast. Bij lage-temperatuursystemen worden grote delen van het plafond als verwarmingsplafond uitgevoerd. Omdat deze plafonds bestaan uit dunne metalen platen of stroken zijn ze kwetsbaarder.

In Nederland is mechanische koeling voor sportzalen niet gebruikelijk. Sportzalen bij het onderwijs zijn meestal voorzien van hoog geplaatste klepramen waarmee, door ze tegen elkaar open te zetten, de temperatuur in de zomer redelijk is te beheersen. Tocht is daarbij niet uit te sluiten. Zalen van commerciële sportcomplexen met veel bezoekers (AHOY e.d.) hebben meestal wel mechanische koeling. Koeling van dergelijke ruimten is mogelijk met toevoer- en afvoerroosters in het plafond (zie figuur 6a en 6c). De luchtstroom mag niet op de toeschouwers zijn gericht. Horizontale luchttoevoer met nozzles in de wanden wordt ook wel toegepast, maar is - door de grotere kans op tocht - minder gunstig en bij sommige sporten, zoals badminton, ongewenst.

2.12 Zwembaden

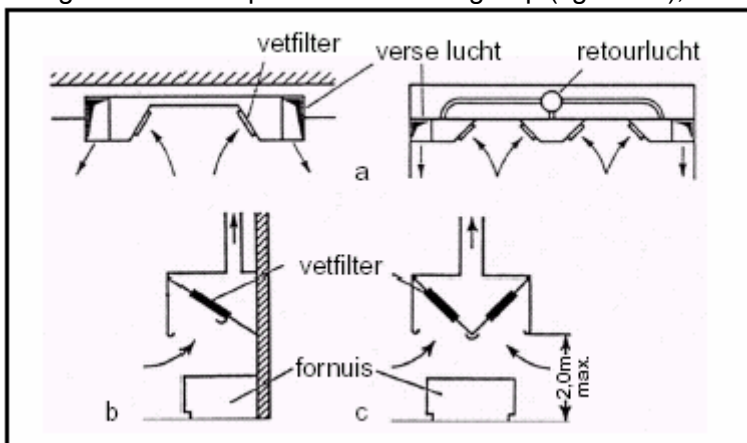
Bij zwembaden hebben natte zwemmers op de kant andere temperatuurbehoeften dan toeschouwers en personeel. Met name personeel bij overdekte zwembaden klaagt vaak over warmte, zelfs in het winterseizoen. Net als bij sportzalen is verwarming met stralingspanelen het meest ideaal omdat naar behoefte plaatselijk extra kan worden verwarmd. Bij moderne binnenbaden zijn de perrons meestal voorzien van vloerverwarming. Om de kans op condensatie op ramen en wanden te beperken worden zwembaden doorgaans ten minste 3-voudig geventileerd, bij lage buitentemperaturen met verwarmde buitenlucht en bij hoge buitentemperaturen met ongekoelde buitenlucht. Condensatie op ramen is eveneens te beperken met ribbenbuizen of convectorelementen of door warme lucht onder de ramen toe te voeren (figuur 23).



figuur 23 klimaatbeheersing in zwembaden

2.13 Bedrijfskeukens

In bedrijfskeukens ontstaat tijdens koken, bakken, braden, vaatwassen e.d. warmte en stoom. Bovendien komen vette dampen en kookluchtjes vrij. Warmte en stoom kunnen een thermische belasting vormen. De beste methode om deze belasting te beperken is het plaatsen van de afvoer zo dicht mogelijk bij de bron (kooktoestellen, vaatwassers e.d.). Doordat warmte en stoom komen zeer wisselend vrijkomen, zou een installatie gebaseerd op de maximale warmte- en stoomproductie zeer omvangrijk worden. Met een bufferruimte, zoals een grote wasemkap boven een kookgroep (figuur 24), kan de omvang worden beperkt.



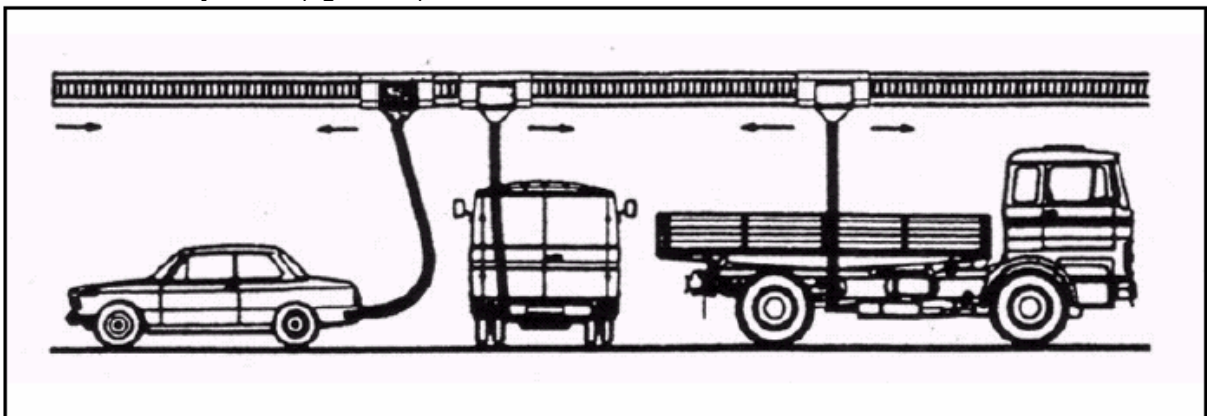
figuur 24 ventilatie van bedrijfskeukens

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

Afhankelijk van de warmte- en vochtbelasting worden bedrijfskeukens 15- tot 20-voudig geventileerd. Bij verblijfsruimten zouden dergelijke ventilatievouden tot tochtklachten leiden. Bij keukens gebeurt dit minder snel omdat keukenpersoneel veel in beweging is en bovendien meer accepteert. Toevoer van grote luchthoeveelheden via open ramen zou tocht veroorzaken, zeker als de diepte van de keuken meer dan tweemaal de hoogte is (vuistregel). Daarom is bij grotere keukens mechanische ventilatie altijd en mechanische koeling vaak nodig. De benodigde verse lucht wordt vaak langs de rand van een afzuigkap toegevoerd om te voorkomen dat kooklucht zich verspreidt (figuur 24a). Om dezelfde reden wordt in keukens daarom ook meer lucht afgevoerd dan toegevoerd.

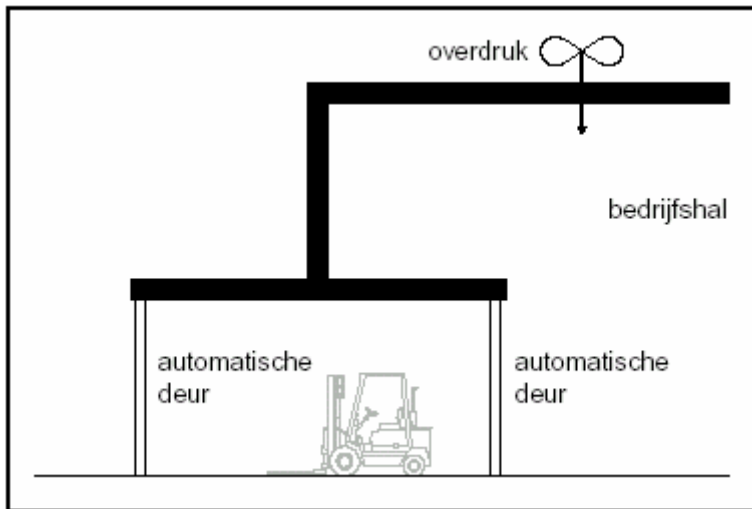
2.14 Industriële ruimten

Bij industriële ruimten moet de klimaatregeling op de processen zijn gericht. Industriële processen kunnen hoge eisen stellen aan het thermische klimaat en de luchtreinheid. De productie van micro-elektronische componenten in zogenaamde “clean rooms” is hiervan een voorbeeld. Anderzijds kunnen processen de ruimte thermisch en chemisch zwaar belasten. Deze belasting is het meest effectief te bestrijden door warmte en verontreinigingen zo dicht mogelijk bij de bron af te voeren. Een goed voorbeeld is de afvoer van uitlaatgassen in garagebedrijven. Bij proefdraaiende auto's wordt de uitlaat met een slang aangesloten op een centraal afvoersysteem (figuur 25).



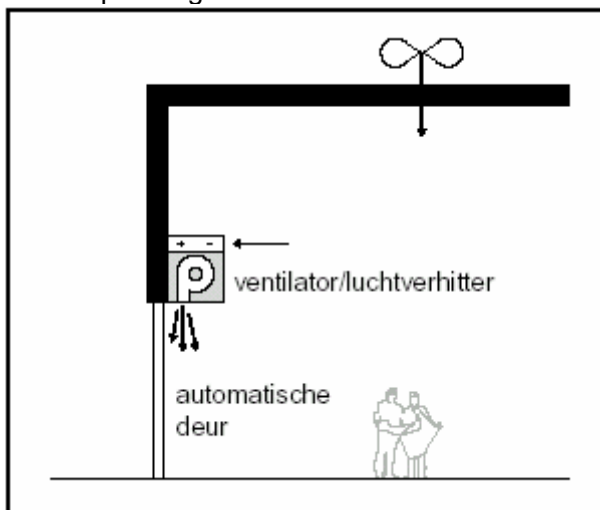
figuur 25 directe afvoer van uitlaatgassen bij proefdraaien

Bij industriële ruimten vraagt transport vaak bijzondere aandacht. Voor het transport van grote voorwerpen, zoals bij de scheeps- en apparatenbouw, zijn zulke grote toegangsdeuren nodig dat bij lage buitentemperaturen door het openen van deuren veel tocht en warmteverlies kan ontstaan. Een simpele methode om dit tegen te gaan, echter met een beperkt effect, is het plaatsen van plastic stroken in de deuropening. Een luchtsluis in combinatie met automatische deuren (figuur 26) is nagenoeg ideaal, maar ook kostbaar en het vraagt ruimte.



figuur 26 luchtsluis met automatische deuren

Automatische deuren in combinatie met een luchtgordijn (figuur 27) zijn vaak een bruikbare tussenoplossing.



figuur 27 automatische deur met luchtgordijn

Hoewel in industriële ruimten vaak een ruw klimaat heerst, is het niet zo dat er geen hoge op mensen gerichte klimaateisen aan worden gesteld. Moeten fysieke inspanningen worden geleverd die vergelijkbaar zijn met kantoorarbeid of moeten nauwkeurige handelingen worden verricht, dan gelden vergelijkbare klimaateisen. Echter, de omstandigheden staan niet altijd toe dat aan die eisen wordt voldaan. Vaak is het gebouw daarvan de oorzaak. Het voert te ver om hier in te gaan op alle aspecten van een geïntegreerd ontwerp van industriële gebouwen met hun processen en klimaatinstallaties. Duidelijk is dat ook hier een taak ligt voor gebouwonwerpers.

2.15 Winkels/winkelcentra

Bij winkels in winkelcentra kunnen zeer uiteenlopende koelbehoeften voorkomen. De koelbehoefte is vooral hoog als veel gloeilampen of halogeenlampen worden gebruikt. Deze lampen produceren veel warmte en hebben een relatief geringe lichtopbrengst. Tabel 1 geeft de lichtopbrengst van verschillende lampen. Gloeilampen en halogeenlampen gebruikt men

voor sfeer of om de vorm en glans van voorwerpen goed te kunnen zien. Lampen met een goede kleurweergave maken het natuurgetrouw zien van kleuren mogelijk. Fluorescentielampen (TL) hebben een goede kleurweergave maar ze geven ook vrij diffuus licht waardoor vormen minder goed zijn waar te nemen. Tabel 2 geeft voor verschillende winkels de meest toegepaste verlichting. Verder vermeldt de tabel het gemiddelde koelvermogen, het aandeel van de verlichting hierin en de vloeroppervlakte per persoon.

Indien bekend is voor welk type winkel een ruimte is bedoeld, dan is daarmee ook ongeveer bekend op welke thermische belasting moet worden gerekend; er kan een klimaatregelsysteem worden gekozen. Bij winkelcentra van beleggingsmaatschappijen is meestal niet meer bekend dan de branche die in delen van het centrum komt. Is precies bekend welke winkel waar komt, dan nog moet rekening worden gehouden met verhuisbewegingen. Daarom is het gebruikelijk winkelcentra te voorzien van leidingen en kanalen waarmee een standaard hoeveelheid warmte, koude en lucht kan worden toe en afgevoerd. Hebben winkels meer nodig dan moeten aanvullende voorzieningen worden aangebracht, zoals compacte koelunits. Dergelijke units mogen winkeliers vaak in eigen beheer installeren, wat te zien is aan de condensors aan de achterzijde van het pand. Dit niet fraaie verschijnsel is tegen te gaan door de koelcentrale en de koelleidingen ruimer te dimensioneren dan op basis van de standaard koelbehoefte. Voor winkelcentra neemt men vaak een koelvermogen van 80 W/m^2 . Uit tabel 2 valt af te leiden dat soms 200 W/m^2 nodig is. Het is een investerings- en exploitatievraagstuk waar verschillende projectontwikkelaars en beleggingsmaatschappijen verschillend over denken.

tabel 1 prestatie van verschillende typen lampen

type lamp	licht opbrengst lm/W	kleur weergave
gloeilamp		
- "gewoon"	8 - 17	uitstekend
- halogeen	13 - 25	uitstekend
fluorescentie		
- compact ("PL")	50 - 88	goed
- buislamp ("TL")	50 - 104	uitstekend
natrium		
- hoge druk	66 - 138	(middel)matig
- lage druk	100 - 200	geen

tabel 2 thermische belasting winkels

type winkel	Totaal W/m²	verlichting W/m²	type	m²/persoon
café	80	20	gloeilamp	1 - 2
geschenken	90	30	TL	5
huishoudelijke artikelen	90	30	TL	5
juwelier	100	60	halogeen	5
kleding	80	30	TL	5
lederwaren	100	60	halogeen	5
passage	--	10	HD-natrium	5
restaurant	80	30	gloeilamp	2 - 3
schoenen	100	60	halogeen	5
suikerwaren	100	50	halogeen/TL	3 - 5
supermarkt	120	30	TL	5
TV/elektrische apparaten	150	50	halogeen/TL	5
verlichting	200	150	diverse	5
warenhuis	80	30	TL	5
woninginrichting	50	30	TL	20

2.16 Musea

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

Lucht met een temperatuur van $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en een relatieve vochtigheid (RV) van 55% geeft bij een temperatuurverhoging van $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ een RV-verlaging van 5%. In een ruimte met een gemiddelde temperatuur van $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en een verticale temperatuurgrediënt van $1\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{m}$ verandert de RV daardoor $5\%/ \text{m}$. In die situatie kunnen schilderijen van meer dan 2 meter hoogte zich nooit

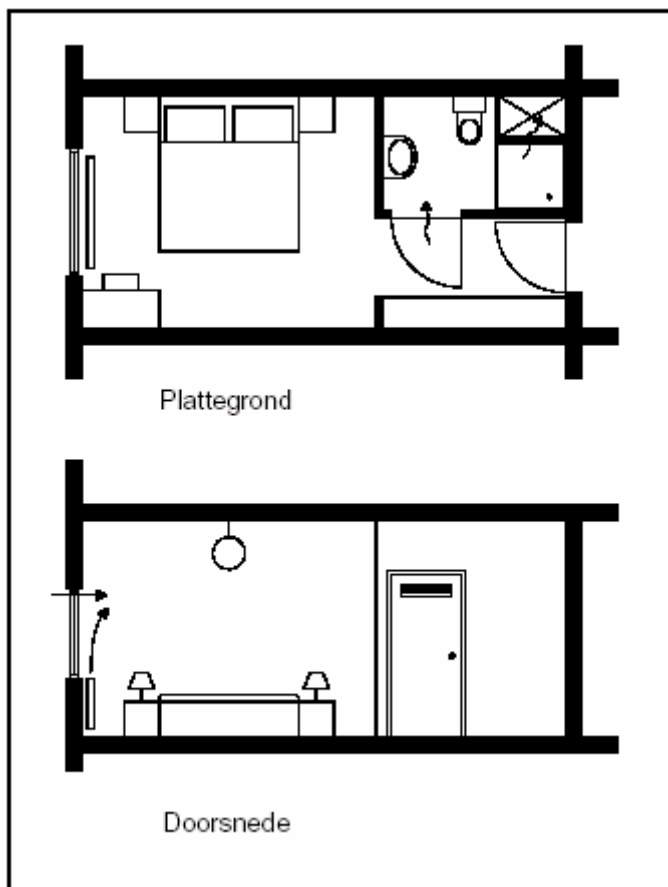
geheel in het voorgeschreven thermische klimaat bevinden. Daarbij komt dat het onmogelijk is om de temperatuur zo te regelen dat deze ter plaatse van het midden van alle schilderijen altijd de vereiste waarde heeft. Om die reden moet bij schilderijen een klimaatregeling worden toegepast die een zo klein mogelijke temperatuurgradiënt geeft, zoals verdunningsventilatie. Verdringingsventilatie of kwelventilatie komen om deze reden niet in aanmerking. Transparante ruimten met veel direct zonlicht hebben vaak een grote temperatuurgradiënt en daardoor grote verschillen in relatieve vochtigheid. Dat maakt transparante ruimten slechts geschikt voor een beperkt aantal expositiedoelen en in ieder geval niet voor schilderijen.

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

Wandkleden, tapijten en kleding verkleuren door licht en vooral door ultraviolette straling. Etsen, waterverf, pen- en potloodtekeningen zijn extreem gevoelig voor ultraviolet. Sommige prenten zijn gevoelig voor violet of zelfs voor blauw licht en moeten om die reden in gedempt licht van speciale lampen worden tentoongesteld. Om vormen goed te kunnen zien, zoals van beelden, is veel meer licht en zijn vooral contrasten nodig. Direct zonlicht kan een bijzonder effect geven, maar is ongeschikt voor houten beelden. Om de lichtovergang niet onaangenaam groot te laten zijn en bezoekers aan het gedempte licht van een prentenkabinet te laten wennen moeten deze ruimten niet direct aan beeldenzalen grenzen. Beide typen expositieruimte moeten door een gematigd verlicht overgangsgebied van elkaar zijn gescheiden. Olieverfschilderijen kunnen meer licht verdragen dan prenten maar geen direct zonlicht. Zalen met veel horizontaal glas (daklichten) of ramen op zuidelijke oriëntaties waardoorheen direct zonlicht kan toetreden zijn ongeschikt als expositieruimte voor schilderijen. Ruimten met diffuus daglicht van op het noorden gerichte ramen of speciale lichtkappen zijn ideaal.

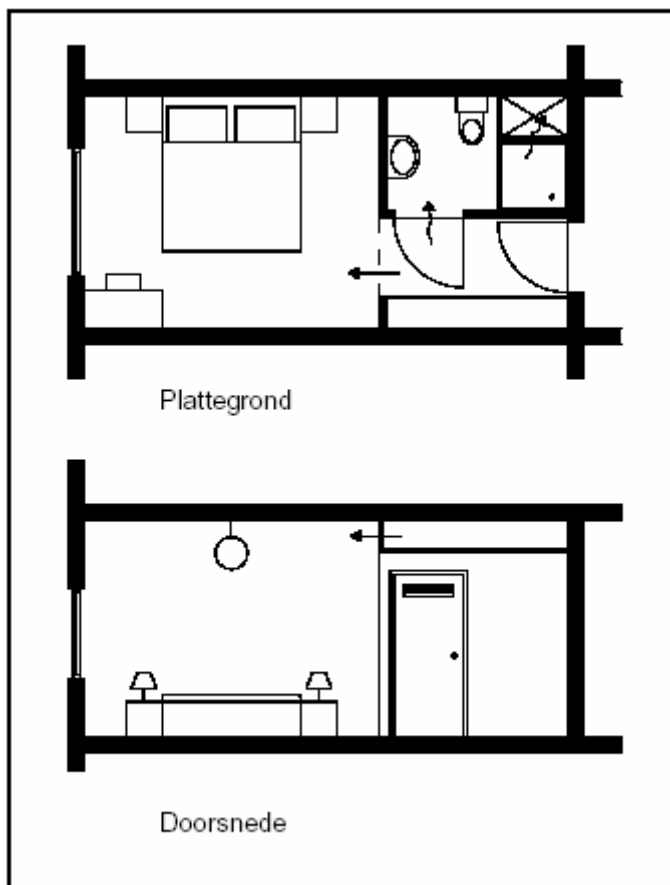
2.17 Hotels

Aan hotelkamers worden dezelfde eisen gesteld als aan woon/slaapvertrekken. Hotelkamers krijgen vaak elk een badruimte met daarin een bad of douche, wastafel en toilet. De badruimte bevindt zich dan meestal direct naast de hal/garderobe bij de toegangsdeur (figuur 28 en 29).



figuur 28 hotelkamer met radiator en natuurlijke luchttoevoer

Badruimten van naast elkaar gelegen kamers worden vaak naast elkaar gesitueerd om het aantal schachten te beperken. Een standaard hotelkamer wordt verwarmd met een radiator. Sommige ontwerpers willen dat niet en passen liever een convector of luchtverwarming toe. De aansluitleidingen van radiatoren en convectoren kunnen in het zicht lopen en aangesloten worden op eveneens in het zicht lopende verticale leidingen ("strangen"). Steeds vaker legt men de aansluitleidingen, net als bij woningen, in de afwerklaag. De verticale hoofdleidingen lopen dan in de schacht van de badkamer of in een aparte schacht in de hal (bij voorbeeld naast de garderobekast). De badruimte wordt mechanisch geventileerd. Lucht stroomt vanuit de kamer via een spleet onder of een rooster in de deur naar de badruimte. De hotelkamer zelf wordt meestal natuurlijk geventileerd via een rooster in of boven het (te openen) raam. Het te openen raam is nodig om de kamer bij zomerse omstandigheden niet te warm te laten worden. Als de kamer een zeer transparante gevel heeft, kan mechanische koeling nodig zijn. De hal/garderobe krijgt dan een verlaagd plafond met daarboven de luchtkanalen (figuur 29).



figuur 29 hotelkamer met mechanische luchttoe- en afvoer, luchtverwarming en luchtkoeling

Dit is eveneens een goede plaats voor de kanalen als voor luchtverwarming is gekozen. Het toevoerrooster wordt in beide gevallen in het verticale deel van het verlaagde plafond tussen hal en kamer geplaatst en blaast de lucht horizontaal in, in de richting van de gevel. Het bed moet zo worden geplaatst dat gasten niet op de tocht komen te liggen.

Hotels hebben voor het maken van ontbijt en bereiding van lunches en diners meestal aparte keukens. Met name keukens, waarin veel warmte en stoom vrijkomen van kooktoestellen en afwasmachines, moeten fors worden geventileerd en ten minste 3 m hoog zijn (zie ook paragraaf 2.13). Aan de lounge, de bar, het restaurant e.d. worden gebruikseisen gesteld die zijn afgestemd op de vaak hoge bezetting. Voor de lounge en het restaurant kan met 1 persoon per 3 m² worden gerekend, voor de bar van een hotel met één persoon per 2 m².

2.18 Monumentale gebouwen/restauratie

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

gewenst zijn. Je moet jezelf in die situatie daarom afvragen of die eisen niet te hoog zijn en of er niet een beetje geschipperd mag worden. Is het bij voorbeeld nodig om te eisen dat de hoogste gebruiksbelasting bij de hoogste ontwerp buitentemperatuur wordt gehaald? Bewoners en publiek accepteren het vaak als vanzelfsprekend dat het klimaat in monumentale gebouwen niet aan moderne comforteisen voldoen.

Bij restauratie wil men vaak weinig van de installaties zien. De opvattingen hierover verschillen. Sommigen vinden dat installaties een toevoeging zijn waarvan het onvermijdelijk is dat die worden gezien. Ze accepteren de installaties, laten ze zien, duidelijk zien of gebruiken ze zelfs als vormgevende elementen. Er zijn verschillende mogelijkheden om installaties niet te laten zien. Kanalen, leidingen e.d. kunnen worden ingebouwd. Anders is het met eindapparaten. Een licht schoepenrooster valt op door de donkere ruimte tussen de schoepen. Een dergelijk rooster is bijna niet waarneembaar als deze donkerbruin of zwart is en wordt opgenomen in een vlak met dezelfde kleur, vooral als zo'n rooster hoog in de ruimte is geplaatst.

Afgifte – Lucht – Energetische en Bouwfysische Optimalisatie

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

1 Inleiding

Ingegaan wordt op energiebesparende en comfortverbeterende maatregelen bij gevels.

2 Bouwkundige klimaatregelende voorzieningen

2.1 Mogelijkheden en beperkingen

Met bouwkundige voorzieningen kan het klimaat in gebouwen op “natuurlijke” wijze worden beïnvloed. 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 installatietechnische voorzieningen die tot een optimum leidt.

2.2 Te openen ramen

Met te openen ramen kunnen ruimten op een natuurlijke wijze worden geventileerd en gekoeld.

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

- Het ventilatievoud*) voor luchtverversing niet meer is dan 2 (anders ontstaan tochtklachten bij buitentemperaturen lager dan 12 °C).
- De van buiten komende lucht door een radiator, convector of luchtstroom tot ten minste 18 °C wordt verwarmd.
- De ruimte niet dieper is dan 2 maal de hoogte van de ruimte.
- Open ramen geen onaanvaardbare geluidsbelasting of verontreiniging van de ruimtelucht (door verkeer of industrie) tot gevolg hebben.

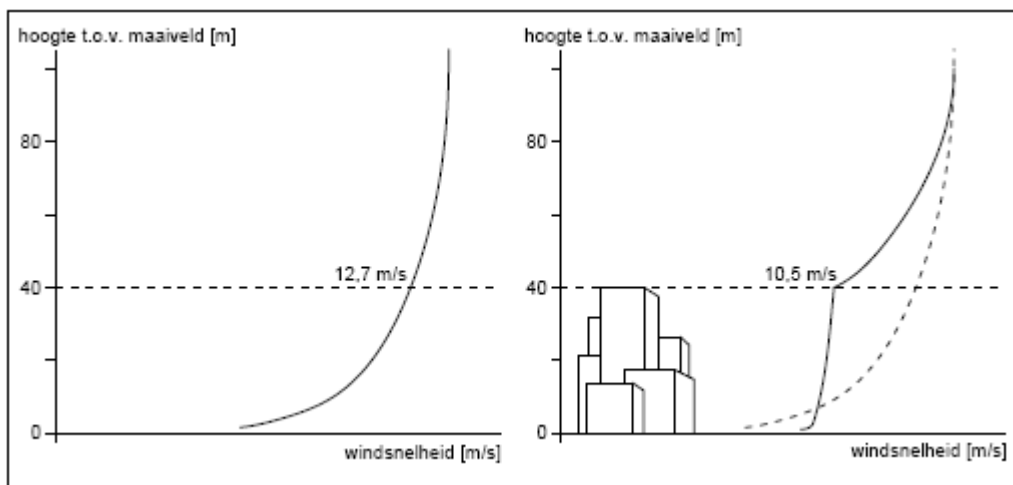
*) "Ventilatievoud" is een aanduiding voor de mate waarin ruimten worden geventileerd. "Ventilatiefrequentie" en "luchtwisselingen per uur" betekenen hetzelfde. De dimensie is: m^3 lucht per uur per m^3 ruimte ($m^3/h.m^3 = h^{-1}$). "Circulatievoud" wordt wel gebruikt om aan te geven dat de lucht waarmee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

Omdat de buitentemperatuur in Nederland gemiddeld 10 °C is [1] kunnen gebouwen een groot deel van de tijd op natuurlijke wijze met buitenlucht worden gekoeld.

Bij buitentemperaturen boven 18 °C kunnen verblijfruimten via te openen ramen op natuurlijke wijze 10-voudig worden geventileerd en dus ook op natuurlijke wijze worden gekoeld. Als vuistregel voor verblijfruimten geldt dat natuurlijke koeling kan ontstaan als de binnentemperatuur niet meer dan 3°C hoger wordt dan de buitentemperatuur. Hieruit volgt dat verblijfruimten natuurlijk worden gekoeld als hun koelbehoefte niet meer is dan **25 à 30 W/m²** vloeroppervlakte. Bij ruimten voor kortdurend verblijf, zoals sportzalen en verkeersruimten, zijn grotere ventilatievouden mogelijk en worden grotere temperatuurverschillen toegestaan zodat bij dergelijke ruimten met natuurlijke koeling aan grotere koelbehoeften is te voldoen.

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 1 toont de windsnelheid in het vrije veld bij verschillende hoogten.

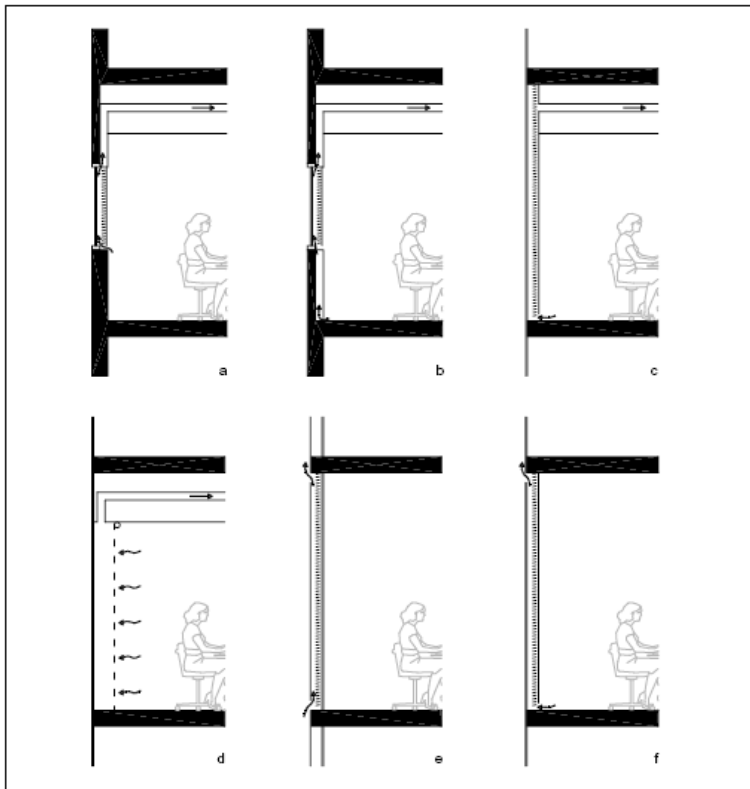


Figuur 1 Windsnelheid boven het maaiveld in het open veld en met bebouwing

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.

2.3 Klimaatramen

Klimaatramen hebben dubbel glas aan de buitenzijde, een geventileerde spouw - met daarin regelbare zonwering - en enkel glas aan de binnenzijde (figuur 2a).



Figuur 2 Verschillende typen klimaatramen en -gevels

Klimaatramen kunnen zonnearmte bijna even goed weren ($ZTA \approx 0,15$ à $0,20$) als dubbel glas met buitenzonwering. Bij lage buitentemperaturen zijn klimaatramen eveneens gunstig omdat de spouw met lucht uit het vertrek wordt geventileerd waardoor de glastemperatuur aan de binnenzijde bijna even hoog wordt als de vertrektemperatuur. Hierdoor blijven de "koudestraling" en "koudeval" beperkt. Ook de warmtedoorgangscoefficiënt is laag ($U \approx 1,2$ W/m²K bij toepassing van helder glas).

Het "oorspronkelijke" klimaatraam heeft blank dubbel glas aan de buitenzijde, een geventileerde spouw (met daarin beweegbare zonwering) en enkel blank glas aan de binnenzijde, zie figuur 2a.

Klimaatramen hebben gunstige eigenschappen voor omstandigheden met een hoge buitentemperatuur in combinatie met een hoge zonbelasting, maar ook voor omstandigheden met een lage buitentemperatuur zonder zonbelasting. Tabel 1 laat zien dat de ZTA-waarde van een klimaatraam afhankelijk is van het type zonwering in de spouw en van de spouwventilatie. Deze tabel geldt voor klimaatramen met een hoogte van 1 tot 2 m en spouwdiepten van 0,06 tot 0,2 m.

Tabel 1 ZTA-waarde van klimaatramen, afhankelijk van de via spouw afgezogen luchthoeveelheid

zonwering	luchthoeveelheid (m ³ /h.m ¹ raambreedte)			
	20	40	60	80
geen	0,53	0,51	0,50	0,48
doek	0,23	0,19	0,18	0,17

lamel/licht	0,15	0,12	0,10	0,09
lamel/donker	0,20	0,15	0,13	0,11

Doordat de spouw van het klimaatraam wordt geventileerd met lucht uit het vertrek, benadert de temperatuur van het glas de vertrektemperatuur en blijft het warmteverlies via dit glasvlak beperkt. Dit blijkt uit de lage warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde) van het klimaatraam, die afhankelijk blijkt te zijn van de raamhoogte en de spouwventilatie, zie tabel 2.

Tabel 2 U-waarde van klimaatramen, afhankelijk van de via spouw afgezogen luchthoeveelheid

raamhoogte	luchthoeveelheid ($\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^1$ raambreedte)			
m	20	40	60	80
1,0	1,10	0,85	0,65	0,6
1,5	1,25	0,95	0,85	0,7
2,0	1,35	1,10	0,90	0,8

Om een effectieve spouwventilatie te bereiken mag de spouwdiepte niet te groot zijn. Bovendien moeten de luchttoevoer- en afvoeropeningen goed gedimensioneerd zijn, zie tabel 3.

Tabel 3 Diverse afmetingen van klimaatramen

lucht-hoeveelheid	maximale spouwdiepte	maximale spleetbreedte	afvoer-openingen
$\text{m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^1$	mm	mm	cm^2/m^1
20	60	4	10
40	110	7	20
60	170	11	30
80	200	15	40

De gegevens uit de tabellen zijn ontleend aan [2]. De lucht wordt per raam afgevoerd. Extrapolatie van de tabelgegevens naar klimaatramen met een grotere hoogte dan 2 m of ramen waarvan de spouw over meerdere verdiepingen doorloopt, leidt tot verkeerde conclusies. Bovendien kunnen ongewenst hoge temperaturen in de spouw en - daardoor - warmteschade aan de constructie ontstaan.

2.4. Klimaatgevels

Het transparante deel van klimaatgevels heeft een opbouw als klimaatraam. De spouwhoogte is gelijk aan de vertrekhoogte (figuur 2b). De gevel kan ook geheel transparant zijn (figuur 2c). De klimaatgevel wordt mechanisch geventileerd met lucht uit het vertrek die via een spleet aan de onderzijde de spouw instroomt en aan de bovenzijde de spouw weer verlaat. De stroming kan ook van boven naar beneden gericht zijn. Om in dat geval de interne circulatie te beperken mag de luchtsnelheid in de spouw niet lager zijn dan 0,1 m/s. Stroming van boven naar beneden heeft als voordeel dat in het vertrek een gelijkmatiger temperatuur ontstaat omdat lucht hoog uit de ruimte wordt afgevoerd, bovendien vervuult de spouw minder. Voor het berekenen van de benodigde spouwventilatie en de temperatuurtoename in de spouw kan

een warmtebalans worden gebruikt. Zie [3] voor de afleiding van een vereenvoudigde warmtebalans en rekenvoorbeelden.

Voor effectieve afvoer van warmte moet lucht hoog uit de ruimte worden afgevoerd, bij voorbeeld via de verlichtingsarmaturen.

Een zelfde luchthoeveelheid moet samen met de hoeveelheid die via de spouw wordt afgevoerd ook aan de ruimte worden toegevoerd. Een rekenvoorbeeld in [3] laat zien dat voor een temperatuurverhoging van 20 °C in de spouw een spouwventilatie nodig is van 82 m³/h per strekkende meter gevel. Bij een vertrekdiepte 5,4 m en luchtafvoer via de armaturen van 3 m³/h per m² vloeroppervlakte (enkelvoud) moet per meter gevel $82 + 5,4 \times 3 = 98,2$ m³/h lucht worden toegevoerd. Dat komt neer op ruim 6-voudige ventilatie, veel meer dan de 2-voud die meestal bij “lucht/water”-systemen (inductieapparaten, ventilatorconvectoren) of “lucht+water”-systemen (VAV in combinatie met een koelplafond) wordt toegepast. Met andere woorden: klimaatgevels en “lucht/water”- of “lucht+water”-systemen zijn geen voor de hand liggende combinatie. Wordt de combinatie wel toegepast, moet rekening worden gehouden met een hogere ZTA-waarde, een hogere spouwtemperatuur en een reële kans op warmteschade aan de gevelconstructie. Of er moet meer lucht worden toegevoerd dan gebruikelijk is bij “lucht/water”- en “lucht+water”-systemen. De belangrijkste voordelen van deze systemen - geringe luchttoevoer en kleine luchtkanalen - vervallen daardoor.

2.5. Vereenvoudigde klimaatgevel

TU-Eindhoven experimenteerde met een klimaatgevel waarvan de binnenruit en de zonwering tot één element zijn gecombineerd [4] (zie figuur 4.43d). Voor dit element nam men licht- en lucht-doorlatend doek. Voor een goede werking van de gevel moet dit doek altijd aanwezig zijn en daarom goed doorzicht geven. Geëxperimenteerd werd met doek met verlopende doorzichtigheid. De spouw tussen het doek en de beglazing wordt geventileerd door mechanisch afvoer. De lucht stroomt via het doek vanuit het vertrek naar de spouw. Zie bijlage 6 voor meer gegevens. De praktijk laat zien dat mensen het vervelend vinden om via het doek naar buiten te kijken, ze draaien het doek om die reden vaak omhoog. De gevel heeft dan niet meer de gunstige U- en ZTA-waarde en daardoor ook niet het lage energiegebruik en de hoge energieprestatie zoals bedoeld. De vereenvoudigde gevels zijn - kijkend naar de tekenzalen/ateliers bij Bouwkunde - niet nieuw. Ook hier zorgt een doek achter de gevel voor de vorming van een spouw en wordt lucht aan de bovenzijde afgezogen. Het verschil is dat het doek bij Bouwkunde vrij dik is waardoor het geen doorzicht biedt. Omdat het doek de hoogte van de gevel over twee verdiepingen beslaat kan, als het doek naar beneden is, alleen op de even verdiepingen onder het doek door naar buiten worden gekeken.

2.6 Vereenvoudigde klimaatgevel

Bij TU Eindhoven werd geëxperimenteerd met een klimaatgevel waarvan het binnenraam en de zonwering tot één element zijn gecombineerd [4], zie figuur 2d. Voor dit element nam men licht- en luchtdoorlatend screendoek. Voor een goede werking van de gevel moet het doek altijd aanwezig zijn en om die reden goed doorzicht bieden. Geëxperimenteerd werd met oprolbaar screendoek met een verlopende doorzichtigheid. Bij bewolkt weer kan het deel met de grootste doorzichtigheid worden gekozen. De spouw tussen het screendoek en de beglazing wordt geventileerd door middel van mechanisch afvoer. De lucht stroomt via het doek vanuit het vertrek in de spouw.

De zonweringsfactor (ZTA) en de equivalente U-waarde van deze constructie zijn in tabel 4 en 5 samengevat. Uit deze tabellen blijkt dat de raamhoogte vrijwel geen invloed heeft op deze waarden.

Tabel 4 ZTA-waarde vereenvoudigde klimaatgevel, afhankelijk van via de spouw afgezogen luchthoeveelheid

raamhoogte m	luchthoeveelheid ($\text{m}^3/\text{h.m}^1$ raambreedte)					
	20	40	60	80	100	120
1,0	0,165	0,146	0,136	0,131	0,126	0,123
2,0				0,132		
3,0				0,132		

Tabel 5 U-waarde vereenvoudigde klimaatgevel, afhankelijk van via de spouw afgezogen luchthoeveelheid

raamhoogte m	luchthoeveelheid ($\text{m}^3/\text{h.m}^1$ raambreedte)					
	20	40	60	80	100	120
1,0	0,409	0,264	0,231	0,207	0,189	0,173
2,0				0,203		
3,0				0,198		

In de tabellen 4 en 5 zijn voor andere luchthoeveelheden dan $80 \text{ m}^3/\text{h.m}^1$ raambreedte geen waarden aangegeven bij raamhoogten van 2,0 en 3,0 m omdat de invloed van de raamhoogte net zo gering is als bij $80 \text{ m}^3/\text{h.m}^1$.

2.7 Tweede-huid façades

Tweede-huid façades worden vaak “klimaatgevel” genoemd of als variant daarvan gezien. Overeenkomst is de geventileerde spouw met daarin de regelbare zonwering. Verder is het een andere constructie met andere eigenschappen en andere toepassingen. Bij tweede-huid façades (figuur 2e) bevindt het dubbele glas zich aan de vertrekzijde en het enkele glas aan de buitenzijde. Hiermee wordt condens van binnenlucht op het glas voorkomen.

De spouw wordt via openingen in het buitenspouwblad op natuurlijke wijze met buitenlucht geventileerd. Tweede-huid façades hebben - in vergelijking met klimaatgevels - als voordeel de eenvoudiger constructie en het ontbreken van mechanische ventilatie van de spouw. Het laatste is ook een nadeel omdat de in de spouw geabsorbeerde warmte niet kan worden gebruikt, bij voorbeeld voor lange termijn energieopslag of warmteterugwinning. Voor het globaal dimensioneren van de instroom- en uitstroomopeningen van de tweede-huid façade kan een warmtebalans worden gebruikt. Zie [3] voor de afleiding van een vereenvoudigde warmtebalans en rekenvoorbeelden.

Tweede-huid façades hebben een energiebesparend effect door opwarming van lucht in de spouw bij ventilatie via de spouw. Zelfs bij bewolkt weer zorgt hemelstraling voor temperatuurverhoging.

Er wordt vooral op verwarmingsenergie bespaard als een tweede-huid façade **met** ventilatie via de spouw wordt vergeleken met een tweede-huid façade **zonder** die ventilatie.

Enkelvoudige gevels - waarbij zonnewarmte direct via isolatieglas tot het vertrek toetreedt – zijn vergelijkbaar van kwaliteit wat besparing op transmissiewarmte betreft als de U-waarde gelijk is.

Een belangrijk voordeel van tweede-huid façades is daarnaast de geringere kans op tocht door de hogere temperatuur van de lucht als die vanuit de spouw in de ruimte stroomt en door de beperking van de windinvloeden. Gebruikers kunnen daardoor een aanzienlijk deel van het jaar hun werkruimte – aanvullend - natuurlijk ventileren.

Met de in de spouw van een tweede-huid façade opgewarmde buitenlucht kan in principe minder worden gekoeld dan met buitenlucht die rechtstreeks via ramen naar binnen stroomt omdat de spouwluchttemperatuur hoger is dan de buitentemperatuur. Door de minder grote invloed van de wind en regen kan daarentegen wel langer met buitenlucht worden gekoeld (ook in de nacht).

Is natuurlijke koeling niet toereikend - wat bij kantoren al gauw het geval is - dan is mechanische koeling nodig. Anders gezegd: tweede-huid façades leiden niet tot minder, kleinere of geen installaties voor de klimaatregeling.

Met een tweede-huid façade kan een strak gevelbeeld kan worden gecreëerd terwijl de kosten weinig hoger hoeven te zijn dan van een enkelvoudige gevel met vergelijkbare thermische eigenschappen. Zo kan in de spouw een veel lichtere en goedkopere zonwering worden toegepast die bovendien eenvoudig is schoon te maken en te vervangen.

Installaties bieden de mogelijkheid om het klimaat in ruimten met een tweede-huid façade comfortabel te regelen. Bij zeer transparante façades is voor de klimaatregeling meestal een koelplafond nodig. Net als bij “gewone” enkelvoudige gevels moeten de ventilatieopeningen gesloten blijven om te voorkomen dat condensatie op het koelplafond ontstaat, tenzij het vermogen van het koelplafond bij condensatierisico's wordt verkleind d.m.v. een dauwpuntsregeling.

2.8. Hybride gevels

Er zijn ook hybride vormen van klimaatgevels en tweede-huid façades. Een voorbeeld is een klimaatgevel waarbij de lucht uit de ruimte via de spouw naar buiten wordt afgevoerd (figuur 2f). Het werkt alleen - zoals bedoeld - als de luchtdruk in de ruimte hoger is dan de druk op de gevel. Bevindt de gevel zich aan de loefzijde van het gebouw, dan stroomt buitenlucht via de spouw naar binnen. Dit kan zeer ongewenst zijn, zoals bij zonbelasting en hoge buitentemperaturen.

Het naar binnen stromen van lucht kan worden beperkt of voorkomen door:

- De ruimte met mechanische ventilatie op overdruk te houden.
- Lage gebouwen in beschutte bouwlocaties (minder last van de wind) als uitgangspunt te nemen.
- Het aanbrengen van een terugslagklep in de spouw.
- Het boven het dak laten uitmonden van de spouw, bij voorbeeld met een doorlopende spouw of met een kanaal, waardoor de spouw ten opzichte van de ruimte nooit op overdruk komt te staan. Met een speciale constructie is het zelfs mogelijk de spouw ten opzichte van de ruimte permanent op onderdruk te houden (figuur 3 en 4).



figuur 3 windvaan of “gek”; de kappen draaien met de windrichting mee zodat er altijd onderdruk heerst

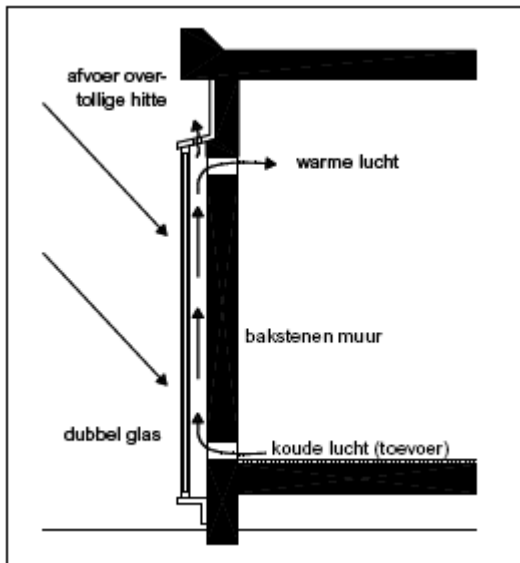


figuur 4 deze ventilatiekappen zijn ongevoelig voor de windrichting

De “overdruk”-gevel is een mogelijke oplossing bij hergebruik van monumentale gebouwen. Het bestaande raam blijft daarbij vrijwel intact en aan de binnenzijde wordt extra glas aangebracht. De oppervlaktetemperatuur van het glas stijgt waardoor koudeval wordt voorkomen.

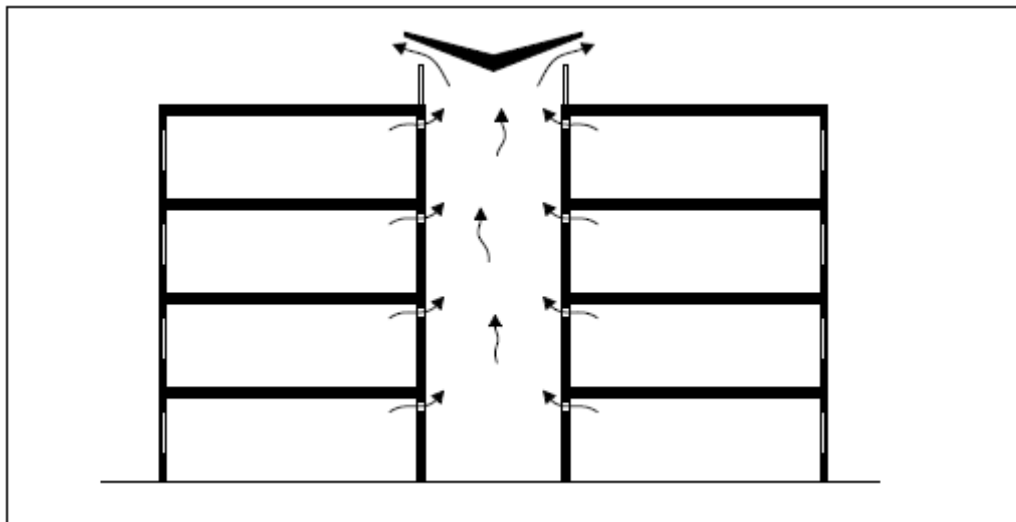
Er zijn ook constructies te bedenken die de klimaatgevel of tweede-huid façade als toe- en afvoerluchtkanaal gebruiken, afhankelijk van de stand van kleppen en in- of uitgeschakelde ventilatoren die de stroming en de stromingsrichting in de constructie bepalen. Bij dergelijke constructies moet het buitenspouwblad bij voorkeur uit isolerende beglazing bestaan om te voorkomen dat bij lage buitentemperaturen condensatie van warme vochtige binnenlucht in de spouw optreedt.

Zonnecollectoren zijn wel voor ruimteverwarming te gebruiken, bij voorbeeld met lucht als transportmedium. Een “Trombewand” is zo’n toepassing (zie figuur 5).



figuur 5 trombewand

Een ander voorbeeld is een zonneschoorsteen waarmee onderdruk in een gebouw wordt gecreëerd en het effect van natuurlijke ventilatie wordt versterkt (zie figuur 6).



figuur 6 principe werking schoorsteen gebaseerd op gebruik van thermische trek

Bij een zonneschoorsteen wordt ook zonnewarmte in de nok van de schoorsteen of aan de wand van de schoorsteen (als deze zich aan een gevel bevindt) benut om de trek te versterken. Benutting van thermische trek en wind kan ook worden gecombineerd.

3 Literatuur

1. KNMI. Klimatologische gegevens van Nederlandse weerstations - Normalen en extreme waarden van de 15 hoofdstations, tijdvak 1961-1990. De Bilt 1992.

2. NOVEM. Toepassingsmogelijkheden voor klimaatgevels en klimaatramen. Sittard, juli 1989.
3. Schalkoort TAJ. Modelleren van warmte-, vocht-, lucht- en lichtstromen. TU-Delft, Faculteit Bouwkunde, voorlopige uitgave oktober 2001.
4. Leijendekkers, P.H.H., "De GEO-testsite van de TU-Eindhoven", In P.G. Luscure, syll. Themadag "De integratie van technische voorzieningen in gebouwen op systeem-, bouwtechnologisch- en architectonisch niveau", Vakgroep Bouwtechnologie, Faculteit der Bouwkunde, TU-Delft, 12 maart 1998.

Centrale installaties – Lucht – Globale- en Handberekeningen

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

1 Inleiding

Het Mollier-diagram voor vochtige lucht (figuur 1) geeft de samenhang weer tussen de absolute vochtigheid (x) en de enthalpie (h). Per definitie is de enthalpie (warmte-inhoud) van droge lucht bij 0 °C gelijk aan 0 kJ/kg.

De enthalpie van vochtige lucht is:

$$h = c_{pl} \cdot \theta + c_{pw} \cdot x \cdot \theta + x \cdot r \quad \text{kJ/kg}$$

waarin:

- c_{pl} = soortelijke warmte van lucht bij constante druk = 1,007 kJ/(kg.K) bij 20°C
- c_{pw} = soortelijke warmte van waterdamp bij constante druk = 4,18 kJ/(kg.K) bij 20°C
- r = verdampingswarmte van water = 2454 kJ/kg bij 101325 Pa
- x = absolute vochtigheid in kg water per kg lucht
- θ = droge luchttemperatuur ("droge bol") in °C

De absolute vochtigheid is:

$$x = 0,622 \cdot p_d / (B - p_d) \quad \text{kg/kg}$$

waarin:

- p_d = partiele dampspanning van de waterdamp in Pa
- B = atmosferische druk in Pa

De absolute vochtigheid (x) is in het Mollier-diagram op de horizontale as uitgezet, schaal in g/kg bevindt zich aan de bovenzijde. De enthalpie (h) is niet op de verticale as uitgezet maar op een as die een hoek met de verticale as maakt. Dit is gedaan om het diagram uit elkaar te trekken en het daardoor beter te kunnen aflezen. De waarde van de enthalpie staat bij de lijn RV = 100%.

De relatieve vochtigheid is gedefinieerd als:

$$\phi = p_d / p_s \quad \text{fractie}$$

of in procenten:

$$RV = 100 \cdot p_d / p_s \quad \%$$

waarin:

- p_d = partiele dampspanning van waterdamp in Pa
- p_s = partiele dampspanning van waterdamp bij volledige verzadiging in Pa

De gebogen lijnen in het Mollier-diagram zijn de lijnen van gelijke relatieve vochtigheid. De onderste lijn is de verzadigingslijn (RV=100%). De hoeveelheid waterdamp die lucht kan bevatten is afhankelijk van de luchtdruk. Het Mollier-diagram (figuur 1) geldt voor een barometerdruk van 101.325 Pa.

De partiele dampspanning bij verzadiging is:

$$p_s = \exp(23,561 - 4030,18 / (\theta + 235)) \quad \text{Pa}$$

De partiele dampspanning is op de schaal bovenaan het diagram af te lezen.

De soortelijke massa van vochtige lucht bedraagt:

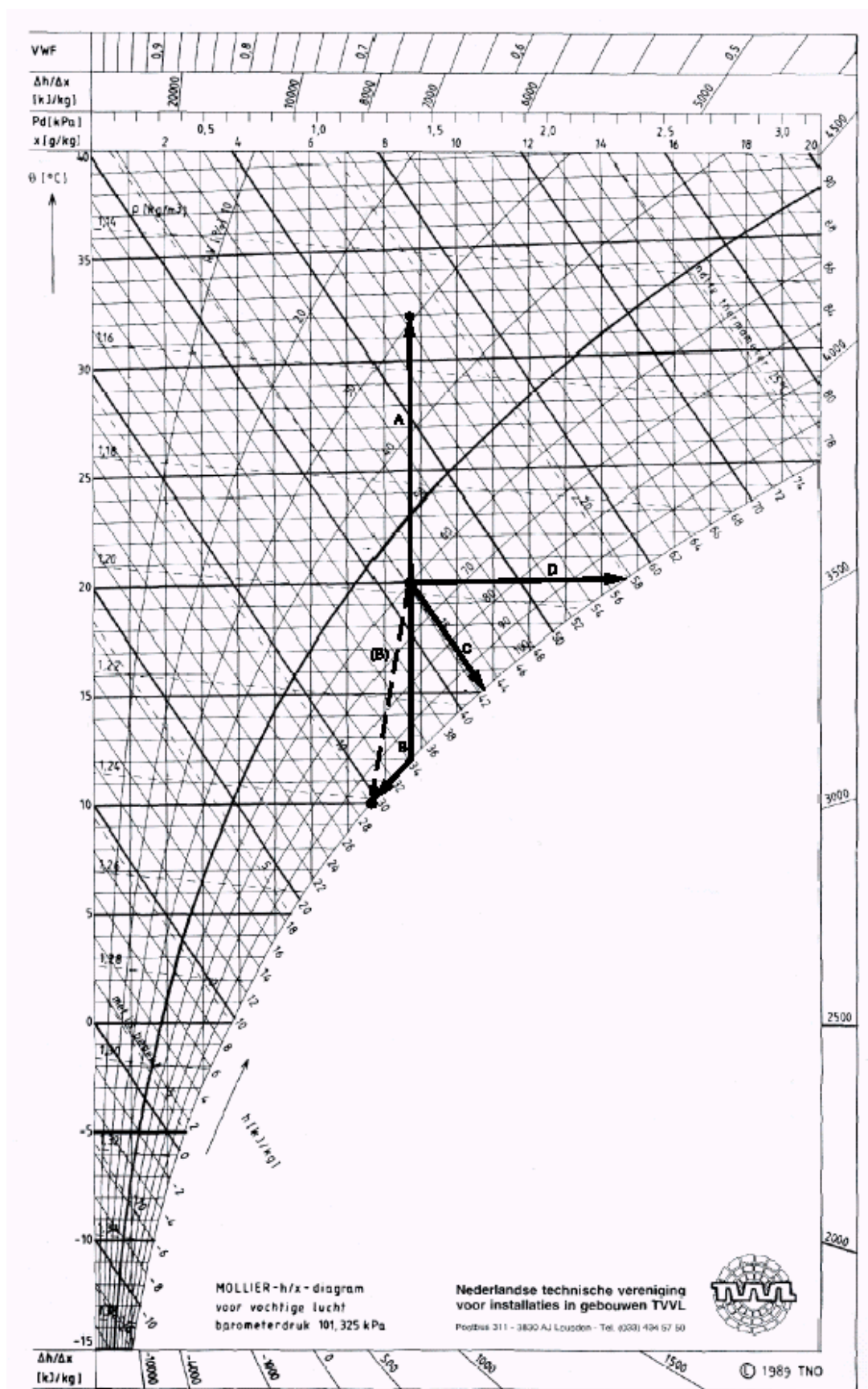
$$\rho = 273 (1,273 \cdot B - 0,48 \cdot p_d) / (100000 \cdot (\theta + 273)) \quad \text{kg/m}^3$$

Het dauwpunt is de temperatuur waarbij condensatie gaat optreden als lucht wordt gekoeld, zonder dat vocht wordt toe- of afgevoerd. De dauwpunttemperatuur wordt berekend met:

$$\theta_{dp} = 4030,18 / (23,561 - \ln p_d) - 235 \quad ^\circ\text{C}$$

De dauwpunttemperatuur wordt gevonden op het snijpunt van de verticale lijn van de absolute vochtigheid (x) (in het diagram in g/kg) en de lijn RV = 100%.

De in het Mollier-diagram (figuur 1) aangegeven "natte thermometer" is de *psychrometrische* natte luchttemperatuur (θ_n). De waarde wordt gevonden door vanuit het beschouwde punt in het diagram (dat de conditie van de lucht karakteriseert) een lijn te trekken evenwijdig aan de gestippelde "natte thermometer"-lijnen. Op het snijpunt van deze lijn met de verzadigingslijn (RV = 100%) is de waarde af te lezen op de schaal van de droge luchttemperatuur (verticale as). Voorbeeld: lucht met een droge luchttemperatuur van 20 °C en RV van 60% heeft een natte luchttemperatuur van bijna 14 °C.



figuur 1 Mollierdigram

2 Karakteriseren van de toestand van de lucht (conditie van de lucht)

De toestand van vochtige lucht is met twee grootheden uit het Mollier-diagram te karakteriseren, bijvoorbeeld met een droge luchttemperatuur $\theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en een relatieve vochtigheid van 60%. De conditie van deze lucht is ook met andere grootheden te karakteriseren:

$$\theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ en } x = 8,8 \text{ g/kg}$$

$$\theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ en } \theta_n = 15,2\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ en } h = 42,5 \text{ kJ/kg}$$

$$\theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ en } \theta_{dp} = 12,0\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\theta = 20\text{ }^{\circ}\text{C} \text{ en } p_d = 1400 \text{ Pa}$$

3 Toestandverandering

Wordt lucht die een temperatuur heeft van $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ en relatieve vochtigheid van 60% ($\theta=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $RV=60\%$) verwarmd tot $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan verandert de toestand van de lucht in het Mollier-diagram verticaal langs de lijn $x=8,8 \text{ g/kg}$ (proceslijn A). Bij $32\text{ }^{\circ}\text{C}$ is de relatieve vochtigheid bijna 30% ($\theta=32\text{ }^{\circ}\text{C}$, $RV=30\%$).

Bij het koelen van lucht ($\theta=20\text{ }^{\circ}\text{C}$, $RV=60\%$) tot $\theta=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ verandert de toestand van de lucht in het Mollier-diagram verticaal langs de lijn $x=8,8 \text{ g/kg}$ tot het dauwpunt $\theta_{dp}=12,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ is bereikt. Daarna verloopt de verandering langs de lijn $RV = 100\%$ tot $\theta=10\text{ }^{\circ}\text{C}$ waarbij waterdamp op de koeler condenseert en de absolute vochtigheid $7,6 \text{ g/kg}$ wordt (proceslijn B). In werkelijkheid zal het proces meer de stippellijn volgen omdat niet alle lucht homogeen gemengd met het koeloppervlak in contact komt.

Het bevochtigen van lucht door het vernevelen van water verloopt bij benadering langs de lijnen met gelijke natte luchttemperatuur (θ_n) (proceslijn C). Het bevochtigen van lucht met droge verzadigde stoom verloopt bij benadering langs de lijnen van gelijke droge luchttemperatuur (θ) (proceslijn D).

Bij gelijktijdig toe- of afvoer van warmte en vocht kan voor het bepalen van de nieuwe toestand de $\Delta h/\Delta x$ -schaal worden gebruikt.

De VWF-schaal, bovenaan het diagram, geeft de verhouding weer tussen de hoeveelheid voelbare en totale (voelbaar + latent) warmte die bij koeling wordt afgevoerd. De VWF is te bepalen door in het Mollier-diagram een lijn te trekken tussen het begin- en eindpunt van het koelproces en, evenwijdig hieraan, een lijn vanuit het nulpunt naar de VWF-schaal. De betekenis van deze factor is dat de koelmachine $1/VWF$ maal de berekende koellast aan warmte moet afvoeren.

4 Mengen van lucht

Bij het mengen van gelijke hoeveelheden lucht met verschillende temperatuur en vochtigheid is de conditie van het mengsel te bepalen door in het Mollier-diagram (figuur 1) de karakteristieke punten met een rechte lijn te verbinden. Het midden van die lijn karakteriseert de toestand van het mengsel. Bij het mengen van ongelijke hoeveelheden lucht is de conditie van het mengsel te bepalen door de verbindingslijn verhoudingsgewijs te verdelen.

5 Meten van luchtcondities

De **droge luchttemperatuur** (θ) is te meten met een droge voor straling afgeschermd thermometer.

De psychrometrische **natte luchttemperatuur** (θ_n) wordt gemeten met een voor straling afgeschermd thermometer met een vochtig kousje om het gevoelige gedeelte. Tijdens de meting moet de lucht met een snelheid van ten minste 3 m/s langs het kousje stromen. Het apparaat waarmee deze meting kan worden uitgevoerd heet "psychrometer". Hierin is een kleine ventilator ingebouwd die voor de lucht-stroming zorgt.

De **dauwpunttemperatuur** (θ_{dp}) is te meten met een apparaat waarin een metalen spiegeltje elektrisch wordt gekoeld. De temperatuur van het spiegeltje wordt elektronisch gemeten. Als het spiegeltje beslaat wordt dit door een optisch instrument in het apparaat waargenomen en de bijbehorende spiegeltemperatuur uitgelezen.

Omdat de psychrometer een kostbaar en kwetsbaar instrument is wordt de luchtvochtigheid vaak met een haar-hygrometer bepaald. Het is een instrument waarin enkele paardenharen met een metalen veertje en een hefboompje onder spanning worden gehouden. Bij een hoge luchtvochtigheid worden de haren langer, waardoor het hefboompje beweegt. Aan het hefboompje zit een wijzer die langs een schaal beweegt met daarop de **relatieve vochtigheid**. Het is geen nauwkeurig instrument.

De overige grootheden, zoals **enthalpie** (h), **absolute vochtigheid** (x), **natte luchttemperatuur** (θ_n) en **dampspanning** (p_d) worden niet gemeten maar berekend of uit het Mollier-diagram afgeleid.

6 Meten van andere klimaatgrootheden

De stralingstemperatuur (θ_r) is nauwkeurig te meten met een warmtestralingsmeter. Iets minder nauwkeurig - maar doorgaans nauwkeurig genoeg - is de **gemiddelde stralingstemperatuur** af te leiden uit de globetemperatuur (θ_g), de luchttemperatuur (θ) en de luchtsnelheid (v). Voor de luchtsnelheden zoals die normaal in verblijfsruimten voorkomen geldt bij benadering:

$$\theta_r = [(\theta_g + 273)^4 + 0,4 \cdot 10^8 \times |\theta_g - \theta|^{1/4} \times (\theta_g - \theta)]^{1/4} - 273 \quad ^\circ\text{C}$$

De **globetemperatuur** of zwartebol-temperatuur, wordt gemeten met een thermometer in het hart van een holle metalen globe. De standaardglobe heeft een diameter van 0,15 m en is voorzien van een laag mat-zwarte verf die een absorptiecoëfficiënt voor straling heeft van ten minste 0,95.

De **luchtsnelheid** is het beste met een hittedraad-anemometer te meten. Met dit instrument kunnen vrij nauwkeurig zowel hoge (>10 m/s) als lage (0,05 m/s) snelheden worden gemeten.

Er zijn apparaten waarmee alle hier besproken grootheden gelijktijdig zijn te meten. Verder zijn er instrumenten waarin een microprocessor ervoor zorgt dat uit de meetgegevens en een

aantal in te voeren mensgebonden gegevens, zoals activiteit en kleding, de comfortindices zoals PMV en PPD worden berekend.

Afgifte – Koeling - Systeemkeuze

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

1 Systeemkeuze op basis van koelbehoefte

1.1 Algemeen

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 1 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 in paragraaf 1.2 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 is te kiezen 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 1 Specifiek koelvermogen in W/m² vloeroppervlakte van verschillende systemen en combinaties van systemen bij verschillende ruimtehoogten

systeem	h ⁻¹	ventilatievoud			ruimtehoogte in meter			
		2,4	2,7	3,0	3,5	4,0	5,0	6,0
		$\Delta\theta = 6^\circ\text{C}$	8°C	10°C	12°C	12°C	12°C	12°C
A VAV of CAV ¹⁾	3	15 ²⁾	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 ruimtefunctie - 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

1.2 Bepaling specifiek koelvermogen

De voor luchtkoeling aangegeven waarden zijn bepaald met hieronder weergegeven vergelijkingen. Andere waarden zijn ontleend aan handboeken.

"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 m² vloeroppervlakte.

Het koelvermogen van lucht is:

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

waarin:

- q_v = volumestroom in m^3/s
 ρ = volumieke massa 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 K

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

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

waarin:

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

De volumestroom kan ook worden geschreven als:

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

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:

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

1.3 Bepaling afgiftevermogen

Om een snelle indruk te krijgen welk vermogen een bepaald vlak ongeveer bij een bepaalde oppervlaktetemperatuur heeft kan gebruik worden gemaakt van de volgende vergelijking:

$$\Phi = \alpha \cdot \Delta\theta \quad (\text{W}) \quad (5)$$

waarin:

Φ = warmtestroom in W/m^2

$\Delta\theta$ = temperatuurverschil tussen oppervlak en ruimtelucht in K

α = warmteoverdrachtscoëfficiënt (straling + convection) in $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$

Voor een gekoeld plafond is de alpha-waarde (α) vrij hoog, ca. $10 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$. Dit komt omdat koude lucht van nature naar beneden stroomt als de omgeving warmer is. Bij een gekoelde vloer of verwarmd plafond is de alpha-waarde lager omdat koude lucht moeilijker naar bovenstroomt en warme lucht slecht naar beneden stroomt. De alpha-waarde is in dat geval

ca. $6 \text{ W/m}^2\text{K}$. Bij een gekoelde wand stroomt de lucht eveneens gemakkelijk naar beneden met een α -waarde van ca. $10 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Uiteraard wordt e.e.a. beïnvloed door de totale ventilatie- of convectiestroom bij het vlak.

Bij een temperatuurverschil tussen plafond en ruimte van 5 K is de koudeafgifte $\alpha \cdot \Delta\theta = 10 \cdot 5 = 50 \text{ W/m}^2$.

Om na te gaan hoeveel water hiervoor nodig is bij welk temperatuurverschil kan de al eerder genoemde vergelijking opnieuw worden gebruikt, maar nu voor water:

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

waarin:

Φ = warmtestroom in W/m^2

q_v = volumestroom in m^3/s

ρ = volumieke massa van water $\approx 1.000 \text{ kg/m}^3$

c = soortelijke warmte van water $\approx 4.200 \text{ J/(kg.K)}$

$\Delta\theta$ = temperatuurverschil tussen toevoer en afvoer in K

Een koudeafgifte van 30 W/m^2 en een temperatuurverschil van 1 K tussen toe- en afgevoerd water leidt in bovenstaande vergelijking tot de volgende volumestroom: $0,0000071 \text{ kg/sm}^2 = 0,0071 \text{ l/sm}^2 = 25 \text{ l/hm}^2$. Indien in een vloer verwarmingsbuizen zijn opgenomen en de inwendige diameter van de buis is 15 mm , is de stroomsnelheid:

$$U = q_v / A =$$

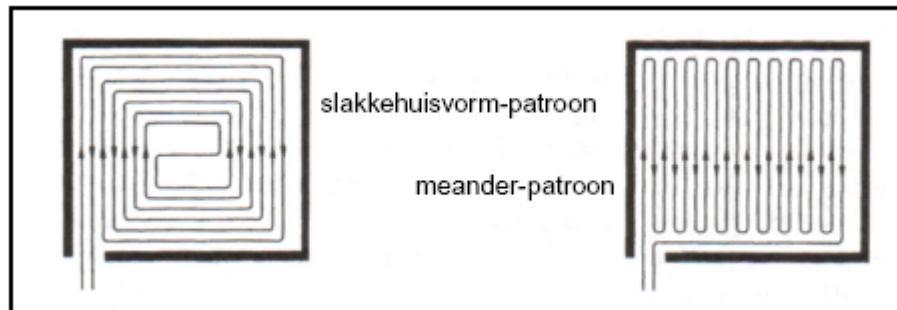
U = stroomsnelheid in m/s

q_v = volumestroom in m^3/s

A = inwendig oppervlak buis in m^2

$$U = 0,0000071 / ((\pi \cdot 0,0015/2)^2) = 0,04 \text{ m/s}$$

De stroomsnelheid is erg laag. Als meerdere m^2 via dezelfde buis aan elkaar worden gekoppeld tot een vloerveld of groep (zie figuur 1) en alle warmte stroomt door deze buis neemt de stroomsnelheid toe.



figuur 1 spiraalvormen bij vloerverwarming

Bij 10 m^2 is dit al $0,4 \text{ m/s}$ bij een totale $\Delta\theta$ van 10 K . Bij meer warmteafgifte wordt de stroomsnelheid hoger, evenredig met de warmtetoeename. Om pompenergie te beperken moet de stroomsnelheid zo laag mogelijk zijn en bij voorkeur onder de 1 m/s blijven.

2 Afgiftesystemen

2.1 Natuurlijke koeling

Omdat de buitentemperatuur in Nederland gemiddeld 10°C is [39] zijn gebouwen een groot deel van de tijd op natuurlijke wijze met buitenlucht te koelen. Paragraaf 4.3.2 geeft de beperkingen aan voor natuurlijke ventilatie van verblijfsruimten. Deze beperkingen gelden ook voor natuurlijke koeling.

Bij buitentemperaturen boven 18°C zijn verblijfsruimten via te openen ramen op natuurlijke wijze 10-voudig te ventileren en dus ook op natuurlijke wijze te koelen. Als vuistregel voor verblijfsruimten geldt dat natuurlijke koeling kan volstaan als de binnentemperatuur niet meer dan 3°C hoger wordt dan de buitentemperatuur. Hieruit volgt dat verblijfsruimten natuurlijk zijn te koelen als hun koelbehoefte niet meer is dan **$25 \text{ à } 30 \text{ W/m}^2$** vloeroppervlakte. Bij ruimten voor kortdurend verblijf, zoals sportzalen en verkeersruimten, zijn grotere ventilatievouden mogelijk en worden grotere temperatuurverschillen toegestaan zodat bij dergelijke ruimten met natuurlijke koeling aan grotere koelbehoeften is te voldoen. In paragraaf 8.3.6 wordt ingegaan op het dimensionering van ventilatieopeningen.

2.2 Mechanische koeling

Noodzaak van toepassing

Als natuurlijke koeling via ramen onvoldoende effect heeft is mechanische ventilatie het eerste waaraan moet worden gedacht omdat hiermee beter gebruik is te maken van het warmteaccumulerende vermogen van gebouwen en ventilatie doelgerichter kan plaatsvinden. Mechanische ventilatie met ongekoelde buitenlucht kan voor ruimtekoeling volstaan als de interne warmtebelasting beperkt is en effectief gebruik is te maken van de gebouwmassa voor **korte termijn** warmteopslag. De massa moet toegankelijk zijn door zo

weinig mogelijk afscherming door verhoogde vloeren, lambriseringen, verlaagde plafonds e.d.

3 Eindapparaten

3.1 Algemeen

Bij mechanische koeling zijn de warmtewisselaars ("koelbatterijen") in luchtbehandelingskasten, inductieapparaten en ventilatorconvectoren de eindapparaten. Ook koelconvectoren, koelradiatoren, koelplafonds, koelvloeren e.d. zijn eindapparaten. Door de opkomst van de informatietechnologie, met z'n steeds krachtiger computers en randapparatuur, is de interne warmtebelasting van utiliteitsgebouwen sterk toegenomen. Mede daardoor zijn de laatste decennia eindapparaten ontwikkeld waarmee hoge koelvermogens zijn te realiseren. Vaak combineren deze apparaten de functies van verschillende eindapparaten, bij voorbeeld een koelplafond dat plaatselijk is voorzien van koelribben waarlangs lucht wordt toegevoerd waardoor de convectieve warmteoverdracht van het plafond wordt versterkt. Technisch is veel mogelijk, maar niet alles wat mogelijk is, is wenselijk vanwege de bij-effecten zoals tocht. Voor verblijfsruimte van 2,7 m hoog is een specifiek koel-vermogen van 100 W/m^2 vloeroppervlakte haalbaar.

3.2 Koelplafond / klimaatplafond

Koelplafonds worden net zo uitgevoerd als verwarmingsplafonds. Het enige verschil is dat, om condensatie te voorkomen, bij koelplafonds de aansluitleidingen zijn geïsoleerd met dampremmende isolatie. Het koelvermogen van het plafond wordt geregeld met een set bestaande uit een ruimtethermostaat, een regelklep in de toevoerleiding en een regelkastje. Een plafond voor zowel koeling als verwarming is een "4-pijps klimaatplafond".

Op een koelplafond ontstaat condensatie als de temperatuur van het oppervlak onder het dauwpunt van de lucht komt. Hierdoor is het koelvermogen van vlakke metalen plafonds meestal beperkt tot **ca. 60 W/m^2** . Door perforatie neemt het koelvermogen af. Buitenlucht bevat bij hoge temperaturen meer vocht dan lucht in mechanisch gekoelde ruimten, daardoor is het vermogen van koelplafonds in natuurlijk geventileerde ruimten niet meer dan **ca. 30 W/m^2** . In de buurt van open ramen en op plaatsen waar het plafond de laagste temperatuur heeft (bij de aansluiting op de toevoerleiding) is de kans op condensatie en daardoor een druppelend plafond het grootst. Overigens is het wel een beetje vreemd om bij hoge buitentemperaturen de ramen open te zetten als met het plafond wordt gekoeld omdat natuurlijke ventilatie tot een grotere warmtebelasting kan leiden dan het plafond aan koelvermogen kan leveren. Om die reden voorziet men ramen van ruimten met koelplafonds vaak van contacten die ervoor zorgen dat het koelplafond bij geopende ramen wordt uitgeschakeld.

Voor vrij hangende of geprofileerde plafonds vermelden sommige leveranciers koelvermogens tot 2 maal zo hoge waarden als in dit boek. Het genoemde koelvermogen van 60 en 30 W/m² heeft betrekking op vlakke gelakte metalen plafonds met een geringe perforatiegraad. Lak heeft een emissiecoëfficiënt voor straling van 0,92, dat wil zeggen dat 92% van de straling wordt uitgewisseld die een zwart oppervlak met de omgeving zou wisselen. Tabel 2 geeft een overzicht van de emissiecoëfficiënten van verschillende materialen en afwerkingen, de totale warmte-uitwisseling is vermeld als deel van de totale warmte-uitwisseling van gelakte plafonds. Hierbij is voor lak uitgegaan van een warmteoverdrachtsfactor voor convectie $\alpha_c = 3,3 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ en voor straling $\alpha_r = 5,5 \text{ W/(m}^2\text{K)}$.

tabel 2 emissiecoëfficiënt voor straling van verschillende materialen

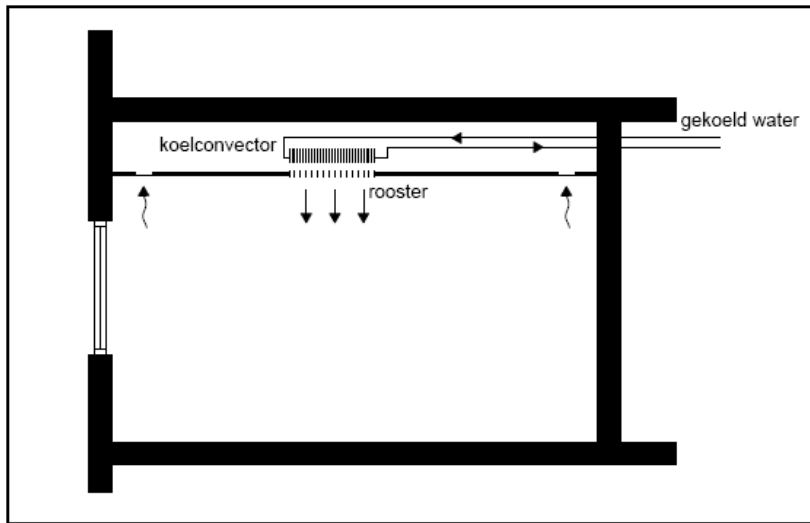
materiaal	emissiecoëfficiënt	totale warmte-uitwisseling ¹⁾
staal		
- onbewerkt	0,80	0,92
- verzinkt nieuw	0,08	0,43
- verzinkt verweerd	0,26	0,55
- gelakt/gemoffeld	0,92	1,00
aluminium		
- onbewerkt	0,07	0,42
- gepolijst	0,05	0,41
- geanodiseerd, glanzend	0,10	0,44
- „ „ „ mat	0,60	0,78
verf		
- aluminiumverf	0,35	0,61
- moffellak	0,92	1,00
stuc, gips, marmer, beton	0,94	1,01

¹⁾ ten opzichte van moffellak

Voorbeeld Een verzinkt stalen plafond heeft een koelvermogen van: $0,43 \times 60 = 25,8 \text{ W/m}^2$. Na verwerking neemt het vermogen toe tot: $0,55 \times 60 = 33 \text{ W/m}^2$. Een verzinkt stalen plafond in een ruimte met te openen ramen heeft een half zo groot koelvermogen, namelijk 12,9 tot 16,5 W/m².

3.3 Koelconvectoren

Koelconvectoren zijn - net als verwarmingsconvectoren - buizen waarvan de uitwendige oppervlakte met lamellen is vergroot. Ze worden gevoed met gekoeld water waarvan, om condensatie te voorkomen, de temperatuur net boven het dauwpunt van de ruimte ligt (>18 °C). Door convectie stroomt lucht van boven naar beneden langs de convector. Koelconvectoren plaats je daarom hoog in de ruimte, eventueel boven een verlaagd plafond met daarin een rooster waardoorheen de koele lucht naar de ruimte kan stromen. Via een ander rooster of via vrijgehouden randen ("eilandplafond") stroomt lucht terug naar de plafondruimte, zie figuur 2.



figuur 2 koelconvectoren

Bij de situering van koelconvectoren moet rekening worden gehouden met de inrichting van de ruimte om te voorkomen dat personen in de koude luchtstroom onder een convector komen te zitten. Is dit niet te vermijden dan moet een minder lage watertemperatuur worden toegepast ($>21^{\circ}\text{C}$).

3.4 Koelradiatoren

Elke radiator is voor koeling te gebruiken. Figuur 3 laat zien hoe in een Japanse kliniek design-radiatoren werden toegepast voor koeling en tevens voor separatie van behandelruimten.



figuur 3 ruimtescheidende koelradiatoren

Het koelvermogen van radiatoren is per m^2 iets groter dan van koelplafonds maar beduidend lager dan het verwarmingsvermogen, namelijk ongeveer 10 % van de in tabel 3 aangegeven waarden.

tabel 3 verwarmingsvermogen radiatoren en paneelconvectoren per m² aanzichtsoppervlakte

type		W/m ²
10	éénplaats paneelradiator	1300
11	één „ paneelconvector	1900
20	twee „ paneelradiator	2200
21	twee „ paneelconvector	2700
22	twee „ „	3300
33	drie „ „	4500
110LR	tweekoloms ledenradiator	2400
160LR	drie „ „	3300
220LR	vier „ „	5000

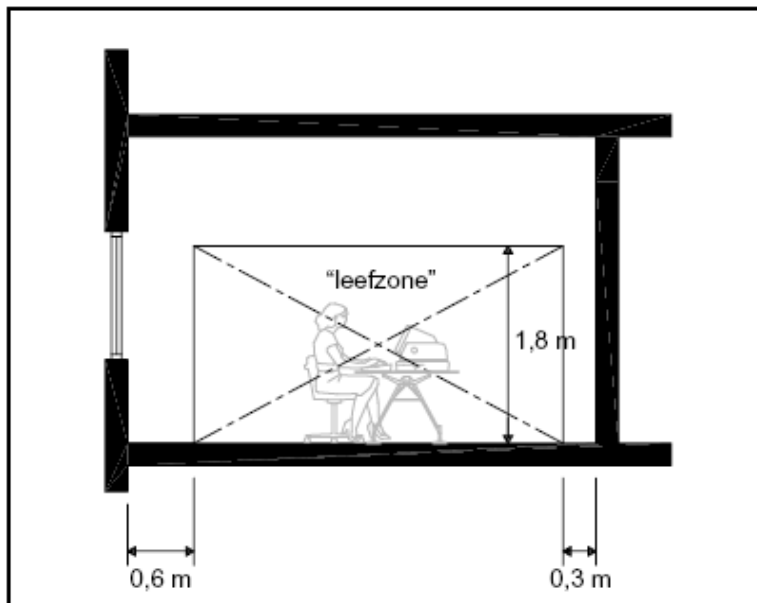
3.5 Koelvloeren

Met vloerverwarming, bestaande uit metalen of kunststofbuizen die in de deklaag van de vloer zijn opgenomen, kan ook worden gekoeld. Ter voorkoming van klachten over koude voeten is het praktisch haalbare koelvermogen van vloeren maximaal ca. 20 W/m².

3.6 Toevoertemperatuur bij luchtkoeling

Bij luchtkoeling kan de kans op tocht worden beperkt 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 plaatsheeft, kan tabel 4 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 4). Een buitenwand zonder ramen is als binnenwand te beschouwen.



figuur 4 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 4 maximaal temperatuurverschil bij toevoer van gekoelde lucht

hoogte van de ruimte	$\Delta\theta$
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 5.

tabel 5 maximaal temperatuurverschil bij toevoer van gekoelde lucht afhankelijk van relatieve vochtigheid

RV	$\Delta\theta$
%	°C
30	18
40	14
50	11
60	8
70	5

4 Kostenkentallen

Bij de keuze voor een bepaalde klimaatinstallatie om te koelen spelen de investeringskosten uiteraard een grote rol. In tabel 6 worden de indicatieve kosten per m² bvo weergegeven [1]. Deze kunnen hierbij worden vergeleken met de kosten voor ventilatie en verwarming.

tabel 6 indicatie gemiddelde kosten verschillende klimaatinstallaties in euro/m² bvo

	verwarming		mechan.	beperkte	uitgebreide	lucht/water	lucht +
	standaard	luxe	ventilatie	koeling	koeling	systeem¹⁾	watersyst²⁾
				30 W/m²	45 W/m²	70 W/m²	90 W/m²
woningen	33	40	13				
gezondheidscentra	58		13				
kantoren	62	70	30	100	166	219	280
basisscholen	40		2				
MBO-scholen	55		10				
HBO-scholen	41	55	52	85			
hallen/magazijnen	25	44					
parkeergarages			7				

¹⁾ inductiesysteem of ventilatorconvectoren

²⁾ luchtkoeling in combinatie met koelplafonds

5 Literatuur

1. Olst K. Vuistregels voor installatiekosten - kostenindicatoren voor gebouwgebonden installaties. Uitgave O&S consultants, Colmschate 2000.

Centrale installaties – Koeling - Vuistregels

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

1 Algemeen

1.1 Inleiding

Mechanische koeling is nodig als koeling met ongekoelde buitenlucht niet toereikend is. Het kan ook voorkomen dat in een gebouw slechts enkele ruimten mechanisch moeten worden gekoeld.

Eerst wordt kort ingegaan op de noodzaak tot koelen, achtereenvolgens worden kleine en grote koeleenheden besproken met bijbehorende methoden om warmte af te voeren (condensors, droge en natte koelers). Tenslotte wordt ingegaan op de ruimtelijke en bouwkundige eisen voor centrale koelinstallaties.

1.2 Natuurlijke koeling

Omdat de buitentemperatuur in Nederland gemiddeld 10 °C is, kunnen gebouwen een groot deel van de tijd op natuurlijke wijze met buitenlucht worden gekoeld.

Bij buitentemperaturen boven 15 - 18 °C kunnen verblijfruimten via te openen ramen op natuurlijke wijze worden geventileerd en dus ook op natuurlijke wijze worden gekoeld. Bij natuurlijke ventilatie via te openen ramen kan tot ca. 10-voudig worden geventileerd. Als vuistregel voor verblijfruimten geldt dat natuurlijke koeling kan volstaan als de binnentemperatuur niet meer dan 3°C hoger wordt dan de buitentemperatuur en hun koelbehoefte niet meer is dan **25 à 30 W/m²** vloeroppervlakte. Bij ruimten voor kortdurend verblijf, zoals sportzalen en verkeersruimten, zijn grotere ventilatievouden mogelijk en worden grotere temperatuurverschillen toegestaan. Bij dergelijke ruimten kan met natuurlijke ventilatie aan grotere koelbehoeften worden voldaan.

1.3 Mechanische koeling, noodzaak van toepassing

Als natuurlijke koeling via ramen onvoldoende effect heeft is mechanische ventilatie het eerste waaraan moet worden gedacht omdat hiermee beter gebruik is te maken van het warmteaccumulerende vermogen van gebouwen en ventilatie doelgerichter kan plaatsvinden. Mechanische ventilatie met ongekoelde buitenlucht kan voor ruimtekoeling volstaan als de interne warmtebelasting beperkt is en effectief gebruik is te maken van de gebouwmassa voor *korte termijn* warmteopslag. De massa moet toegankelijk zijn door zo weinig mogelijk afscherming zoals door verhoogde vloeren, lambriseringen en verlaagde plafonds.

Bij **lange termijn** opslag wordt het warmteaccumulerende vermogen van de bodem gebruikt. Doordat de temperatuurverschillen tussen de seizoenen veel groter zijn dan tussen dag en nacht en het accumulerend vermogen van de bodem bovendien veel groter is dan die van een gebouw zijn met lange termijn warmteopslag zeer lichte en transparante gebouwen te realiseren zonder dat omvangrijke mechanische koeling nodig is terwijl aan strenge wettelijke energieprestatie-eisen is te voldoen.

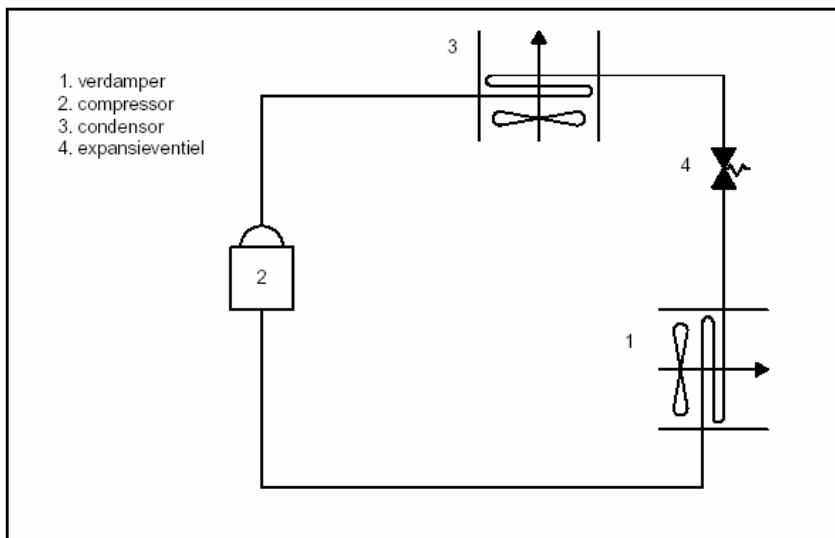
Andere methoden die kunnen voorkomen dat omvangrijke mechanische koeling met koelmachines nodig is zijn adiabatische koeling en koeling met koeltorens. Beide systemen maken gebruik van het koelend effect van verdampend water. Ze hebben om die reden - en omdat ze vaak minder energie vragen - een “natuurlijk” imago.

2 Weringsprincipes

2.1 Weringsprincipes koelmachines

Met een koelmachine wordt warmte verplaatst van een laag naar een hoog temperatuurniveau. Hiervoor bestaan verschillende systemen.

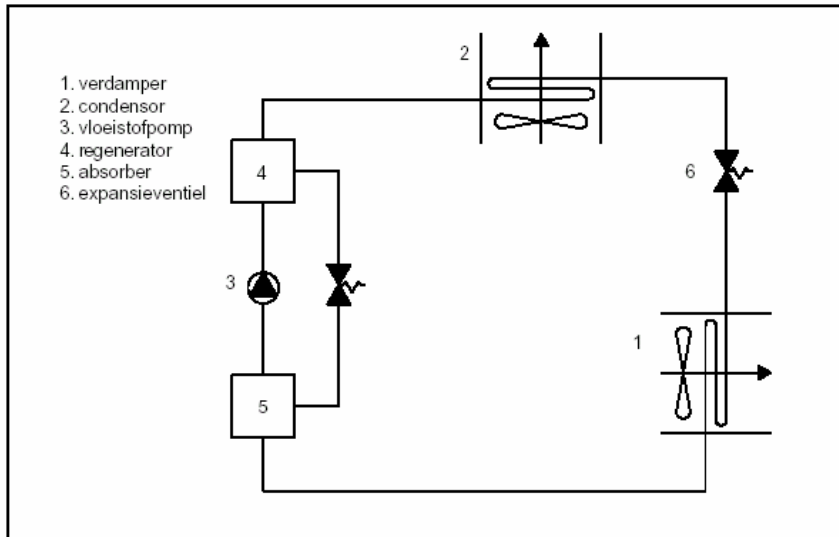
Het **compressiesysteem** maakt gebruik van het principe dat bij verdamping van vloeistoffen warmte wordt opgenomen en bij condensatie van dampen warmte wordt afgegeven. Bij dit proces circuleert in een gesloten systeem een koelmiddel dat onder atmosferische druk dampvormig is en onder iets hogere druk vloeibaar. Figuur 1 geeft dit proces schematisch weer. De compressor zuigt het dampvormige koelmiddel aan, verhoogt de druk en perst het in de richting van de condensor. In de condensor geeft het middel warmte af en wordt vloeibaar. Na het expansieventiel is de druk lager en kan het koelmiddel in de verdamper, door onttrekking van warmte aan de - te koelen - omgeving, weer in dampvorm overgaan. Bij kleinere vermogens (tot 500 kW) past men bij dit koelproces meestal zuigercompressoren toe, bij grotere vermogens (vanaf 400 kW) centrifugaalcompressoren.



figuur 1 compressiekoelproces

Bij het compressiekoelproces kan de verdampert zich in een te koelen luchtstroom bevinden. Dit wordt “directe expansie” genoemd en wordt toegepast bij kleinere decentrale koelsystemen. Bij grotere systemen bevindt de verdampert zich in een waterstroom en produceert “gekoeld water” (6 °C). Dit water wordt via leidingen naar eindapparaten gevoerd en na warmteopname (tot 12 °C) naar de koelmachine teruggevoerd. Vaak mengt men bij de eindapparaten het gekoelde water met retourwater uit het apparaat. Dit wordt gedaan voor een betere regelbaarheid, een gelijkmatiger temperatuur in het eindapparaat of om condensatie tegen te gaan.

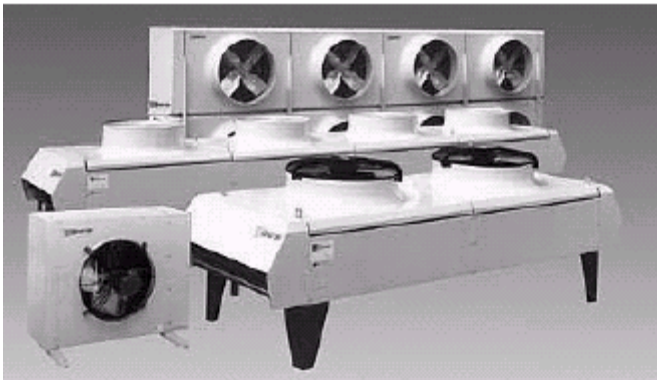
Het **absorptiesysteem** maakt gebruik van het natuurkundige principe dat warmte vrijkomt bij absorptie en warmte wordt opgenomen bij resorptie van water in hygroscopisch zout. Dit principe, opgenomen in een werkend koelproces, is in figuur 2 schematisch weergegeven. Toepassing van het absorptie koelproces is aantrekkelijk als "gratis" warmte beschikbaar is, zoals zonnewarmte of afvalwarmte van elektriciteitscentrales.



figuur 2 schema absorptiekoelproces

2.2 Werkingsprincipes condensors

In de condensor van een compressorkoelinstallatie wordt het gecomprimeerde dampvormige koelmiddel met lucht of water gekoeld. Bij **luchtgekoelde** condensors wordt het koelmiddel direct met lucht gekoeld. De condensor wordt buiten en bij voorkeur op het dak geplaatst.



figuur 3 voorbeeld van condensors of droge koelers

Bij **watergekoelde** condensors wordt het koelmiddel met water i.p.v. lucht gekoeld. Het koelmiddel is meestal gescheiden van de plek waar deze zijn warmte aan de omgeving afstaat. Hierdoor kan de lengte van het koelmiddel traject klein blijven en is er minder risico van lekkage. Normaliter wordt de warmte door een droge koeler aan de lucht afgestaan (zie figuur 3). In deze koeler bevindt zich meestal een water-glycolvloeistof om bevriezing te voorkomen.

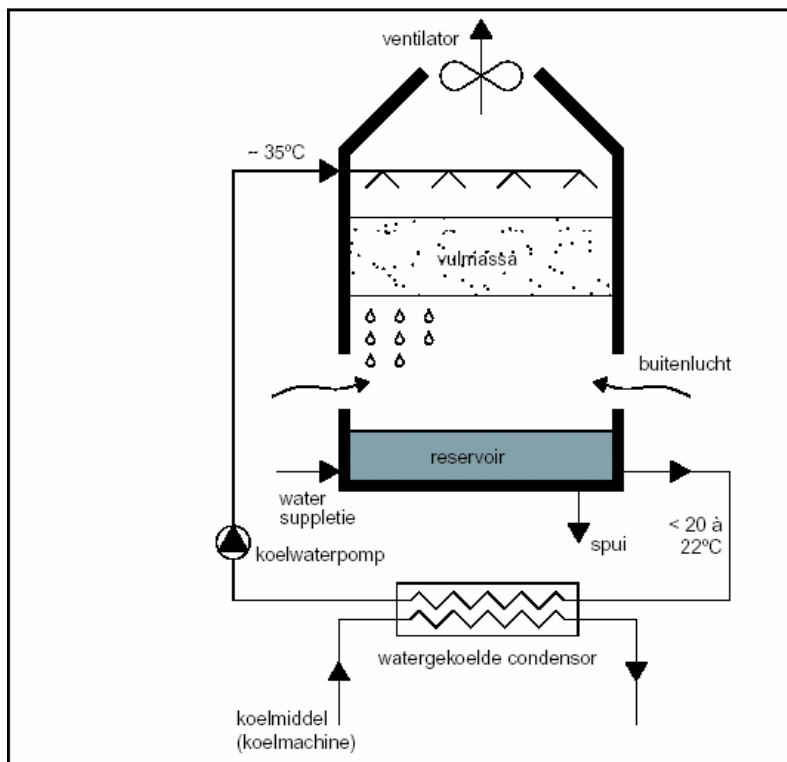
- Als koelwater kan daarnaast leidingwater, grondwater, oppervlaktewater of koeltorenwater dienen. Leidingwater is uit milieu-overwegingen ongewenst en bovendien kostbaar.
- Toepassing van grondwater neemt af omdat voor lozen op de riolering of op het oppervlaktewater nauwelijks nog vergunningen worden gegeven.
- In toenemende mate wordt bronwater toegepast dat na gebruik wordt teruggepompt (aquifers).
- Grote industriële installaties en elektriciteitscentrales gebruiken vaak oppervlaktewater. Bij utiliteitsgebouwen kan dit ook als het gebouw bij een rivier staat, maar het is niet populair vanwege de snel vervuilende condensors. Bovendien wordt thermische opwarming van oppervlaktewater door de overheid beperkt (o.a. om botulisme tegen te gaan).
- Bij grote benodigde koelcapaciteiten worden vaak koeltorens toegepast.

2.3 Werkingsprincipes koeltorens

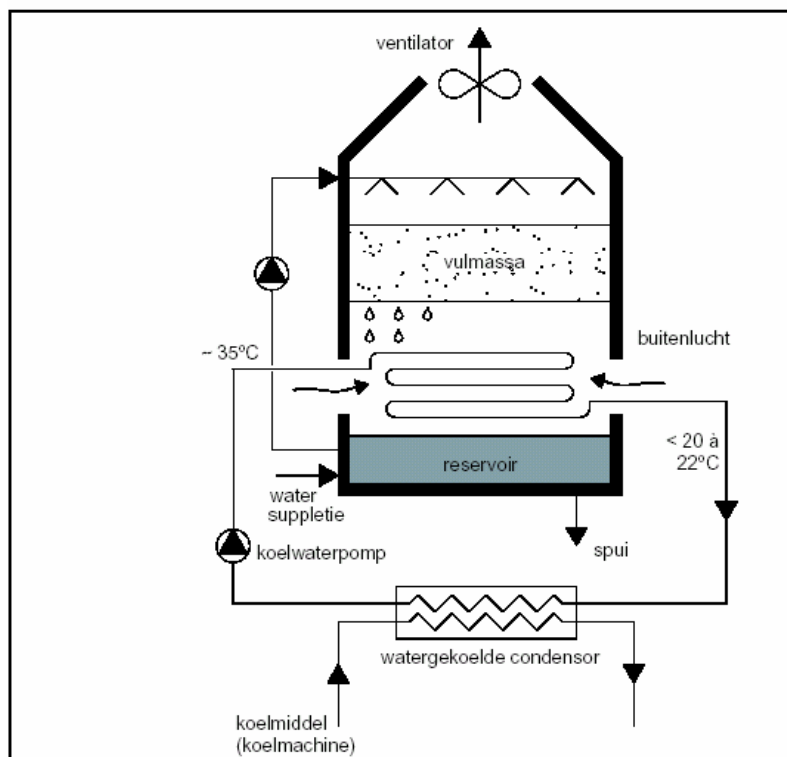
Het in watergekoelde condensors opgewarmde koelwater is te koelen door het boven in een koeltoren te sproeien. Tijdens het vallen van de druppels verdampen ze een beetje waardoor warmte aan de druppels wordt onttrokken. Onderin de koeltoren wordt het water opgevangen en naar de condensor teruggevoerd (figuur 4). Er zijn ook “hybride” of gesloten koeltorens waarbij het koelwatercircuit waarin de condensor is opgenomen is gescheiden van het koeltorenwater (figuur 5). In koeltorens kan het water een temperatuur krijgen die de psychrometrische natte luchttemperatuur van de buitenlucht benadert. In Nederland is deze temperatuur meestal lager dan 20°C en zelden hoger dan 22°C. Daarom worden koeltorens ook wel in combinatie met koel-plafonds gebruikt, dus zonder koelmachine. Bij koeltorens verdampt water en wordt water gespuid om te voorkomen dat in het koelwater te hoge concentraties kalk en zout ontstaan. Het koelwater wordt aangevuld met onthard leidingwater. Het totale watergebruik van koeltorens is maar een fractie van de hoeveelheid die wordt gebruikt bij toepassing van grond- of oppervlaktewater als koelwater. Enkele aandachtspunten voor koeltorens zijn:

- Het voorkomen van de ontwikkeling van legionellabacteriën in koeltorens vanwege de productie van waterdruppels (aërosolen). Met waterbehandeling kan dit worden tegengegaan.
- De meestal hoge geluidproductie.

Koeltorens worden om deze reden bijna altijd op het dak geplaatst.



figuur 4 schema werking open koeltoren of natte koeler



figuur 5 schema werking hybride koeltoren met gesloten koelwatersysteem



figuur 6 koeltoren

Centrale installaties – Koeling – Vuistregels – Ruimtelijke integratie

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

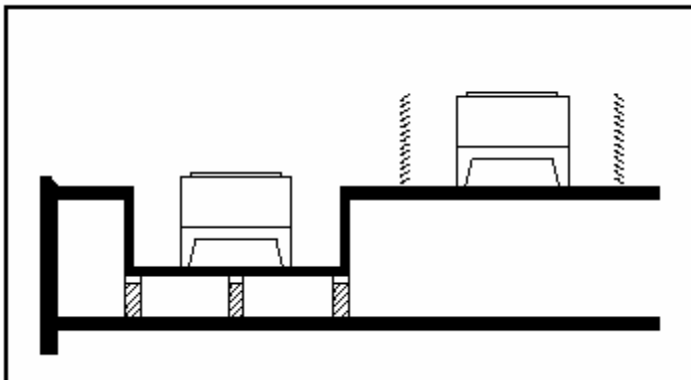
1 Algemeen

1.1 Inleiding

Naast het kiezen van een koelsysteem (zoals besproken in Centrale Installaties – Koeling-Energetische Optimalisatie) is het van groot belang te kijken naar de indeling van de ruimte met betrekking tot de koelinstallaties en de daarbij behorende toepassingen. In deze module zal worden ingegaan op de ruimtelijke indeling en bouwkundige eisen van koelmachines.

1.2 Ruimtelijke integratie centrale koelmachines en koelmachineruimte, conceptuele indeling

Bij gebouwen die grotendeels worden gekoeld past men meestal centrale koelmachines toe. Deze machines produceren veel lawaai zodat ze in een geluid- en trillinggeïsoleerde ruimte moeten worden geplaatst, op het dak, in de kelder of in een apart gebouw. Het ketelhuis is *geen* goede plaats in verband met de brandbaarheid en schadelijkheid van koelvloeistoffen. Hoewel gekoeld water over vele honderden meters kan worden getransporteerd is vanwege energieverlies een centrale plaats voor de koelmachineruimte het gunstigst. Grote koelmachines worden vergezeld door luchtgekoelde condensors of watergekoelde condensors in combinatie met droge koelers of koeltorens. Luchtgekoelde condensors en koeltorens moeten in de buitenlucht worden geplaatst, condensors *bij voorkeur* op het dak, koeltorens - vanwege de waternevel die ze produceren - *altijd* op het dak. Op het dak kunnen deze apparaten aan het oog worden onttrokken met lamellenroosters. Verdiepte plaatsing op het dak - bij voorbeeld op een vloer onder het niveau van het dak - is ook mogelijk maar kan negatieve invloed hebben op de werking van het apparaat. Daarom moet bij deze opstelling altijd veel ruimte rondom de apparaten aanwezig blijven voor een onbelemmerde toestroming van lucht (figuur 1).

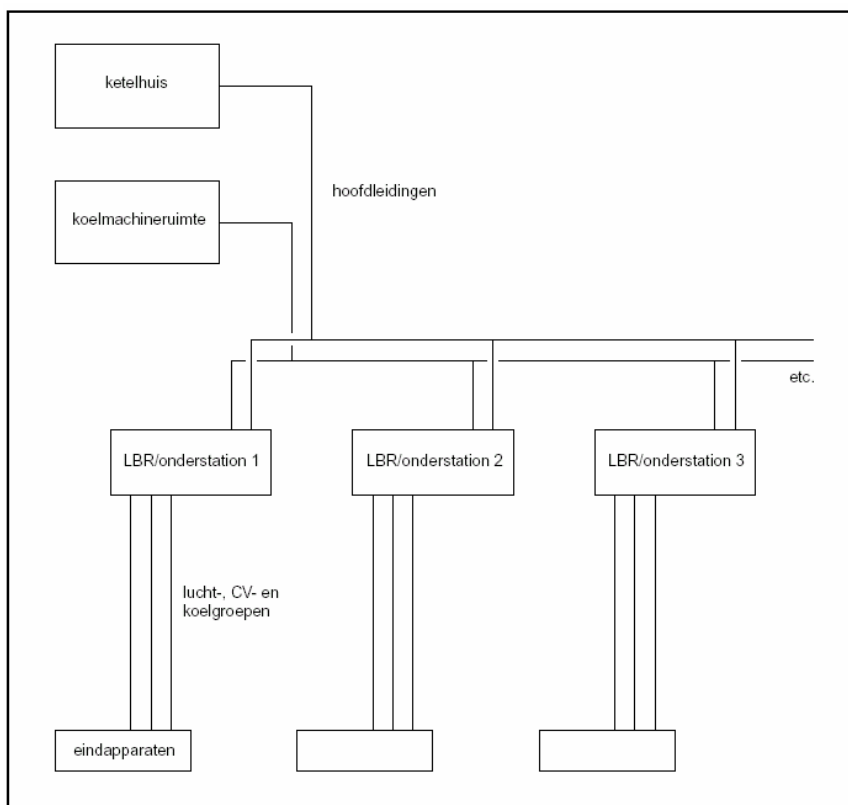


figuur 1 opstellingsmogelijkheden van condensors of droge koelers

Als de lucht rondom vrij kan stromen (rechts), is de capaciteit van de condensor of droge koeler hoger. Een hoge temperatuur van een donkere dakbedekking kan een zeer negatief effect hebben op de capaciteit. Als noodoplossing wordt in dat geval bij tropische dagen het dak soms natgehouden.

Voor gebouwen waar grote koelmachines worden toegepast volgt eerst een korte beschrijving van de relatie met andere centrale installaties.

De eerste ruimtelijke integratiestap is het maken van de "conceptuele indeling" in: a) centrale installaties, b) installaties voor distributie van warmte, koude en verse lucht in het gebouw en c) installaties voor de verdeling van warmte, koude en lucht in de te klimatiseren ruimten ("eind-apparaten"). Zie figuur 2. De volgende stap is het creëren van ruimte voor deze installaties.



figuur 2 conceptuele indeling van installaties

1.3 Ruimtelijke integratie, dimensioneren van de installatieruimte

Bij het dimensioneren van de installatieruimte bestaan twee trajecten waarin de afstemming op het gebouwontwerp kan worden verfijnd, namelijk: bij het bepalen van het vermogen van de installaties en bij het - op grond van dat vermogen - bepalen van de benodigde ruimte. De mate van de mogelijke verfijning hangt af van het ontwerpstadium. Bij het eerste Ruimtelijke Ontwerp krijgen de installaties voor het eerst aandacht en zal de dimensionering van de installatieruimte meestal "indicatief" zijn. Bij het Voorlopig Ontwerp *kan* de afstemming worden verfijnd met een "globale" bepaling. Wanneer dit *moet* is niet precies aan te geven. Het kan "indicatief" blijven als dit niet tot een ongewenste vormgeving leidt maar met het risico van overdimensionering en daardoor onnodig hoge bouwkosten. Dat is bij voorbeeld het geval als

de ruimte in verlaagde plafonds groter is dan nodig. Een hoogteverschil van 20 cm betekent ruwweg 6% van de bouwkosten.

1.4 Technische ruimten algemene eisen

De centrale installaties moeten in zogenaamde "technische ruimten" worden ondergebracht. Deze ruimten zijn geschikt voor hun doel als ze:

- Voldoende ruim en hoog zijn.
- Eenvoudig toegankelijk zijn voor onderhouds- en bedieningspersoneel en voor aan- en afvoer van grote installatiedelen en apparaten.
- Zo zijn in te richten dat er voldoende ruimte overblijft voor bediening, onderhoud en reparatie: denk aan uitwisselbaarheid en hanteerbaarheid van grote apparaten.
- Zo in het gebouw zijn gesitueerd dat leidingen en kanalen van en naar deze ruimten toe eenvoudig zijn aan te brengen in schachten, verlaagde plafonds en kruipruimten. Bovendien moeten deze leidingen en kanalen goed bereikbaar blijven voor controle, onderhoud en reparatie.
- Zo geïsoleerd zijn, dat geluid- en trillingshinder in gebouw en omgeving voldoende is beperkt.
- Een voldoende hoge vloerbelasting kunnen verdragen ($>4.000 \text{ N/m}^2$),
- Voldoende kunnen worden geventileerd (bij calamiteiten op natuurlijke wijze).
- Voldoen aan voorschriften en eisen betreffende brandveiligheid.

In de nu volgende paragrafen worden de situering en dimensionering van de technische ruimten besproken m.b.t. koeling. Voor alle technische ruimten geldt dat ze zo moeten worden gesitueerd dat ze tijdens het ontwerp groter of hoger zijn te maken, zonder dat dit tot ingrijpende wijziging van het gebouwontwerp leidt.

1.5 Ruimtebepaling indicatief

Als bij het eerste Ruimtelijke Ontwerp nog weinig bekend is over de thermische eigenschappen van het gebouw, dan kunnen de afmetingen voor centrale koelmachineruimten slechts indicatief worden bepaald. Dat kan op basis van het gebouwvolume. Zie tabel 1.

tabel 1 indicatie afmetingen centrale koelmachineruimte

gebouwvolume	oppervlakte	hoogte
m^3	m^2	m^1
800	8	2,2
2.000	12	2,3
4.000	17	2,5
8.000	25	2,8
20.000	45	3,2
40.000	70	3,4
80.000	90	3,8
200.000	200	4,2
400.000	350	4,5

NB Tabel 1 geldt globaal voor een gelijktijdige koelbehoefte van ca. 25 W/m^3 gebouwvolume. Bij zeer transparante gebouwen en gebouwen met een hoge interne warmtebelasting kan de gelijktijdige koelbehoefte meer dan het dubbele zijn.

De afmetingen van luchtgekoelde condensors/droge koelers en koeltorens zijn eveneens indicatief te bepalen. Dat geldt ook voor compacte, decentraal geplaatste, koelunits. Zie tabel 2.

tabel 2 indicatie afmetingen compacte koelunits, condensors en koeltorens

te koelen gebouwvolume m ³	compacte koelunit	luchtgekoelde condensor l x b x h in m	koeltoren
200	0,6 x 0,7 x 0,4		
400	1,3 x 1,0 x 0,5		
800	2,0 x 1,5 x 1,5	1,8 x 1,5 x 1,5	
2.000	2,3 x 2,0 x 1,0	2,3 x 2,0 x 1,5	
4.000	3,0 x 2,3 x 1,5	2,5 x 1,0 x 2,0	
8.000		2,5 x 1,9 x 2,0	
20.000		5,5 x 2,2 x 1,5	2,5 x 1,8 x 3,2
40.000		8,0 x 2,5 x 2,5	3,4 x 2,5 x 3,8
80.000			3,4 x 3,4 x 4,6
200.000			6,8 x 6,3 x 5,4
400.000			9,9 x 8,6 x 7,4

1.6 Ruimtebepaling globaal

Bij het Voorlopig Ontwerp kunnen de afmetingen van de koelmachineruimten worden gebaseerd op een geschat koelvermogen. Hiervoor wordt in de Nederlandse situatie wel 0,5 à 1,0 maal het verwarmingsvermogen genomen. Met het geschatte koelvermogen en tabel 3 is de vloeroppervlakte en de hoogte van de koelmachineruimte globaal te bepalen. De afmetingen van watergekoelde condensors of koeltorens, die elders een plaats moeten krijgen, zijn in tabel 4 te vinden. Bij toepassing van compacte decentrale koelunits kan de koelbehoefte gelijk worden gesteld aan de warmtebehoefte van de ruimte. Bij zeer transparante ruimten is het beter het dubbele te nemen. De afmetingen van compacte koelunits zijn eveneens in tabel 4 te vinden.

tabel 3 globale afmetingen centrale koelmachineruimte

koelvermogen kW	type compressor		hoogte m ¹
	zuiger	centrifugaal	
	oppervlakte m ²	m ²	
20	8		2,2
50	12		2,3
100	17		2,5
200	25		2,8
500	45		3,2
1.000	70	60	3,4
2.000		90	3,8
5.000		200	4,2
10.000		350	4,5

tabel 4 globale afmetingen compacte koelunits, condensors en koeltorens

koelvermogen kW	compacte koel-unit	luchtgekoelde condensor l x b x h in m	koeltoren
5	0,6 x 0,7 x 0,4		
10	1,3 x 1,0 x 0,5		
20		2,0 x 1,5 x 1,5	1,8 x 1,5 x 1,5
50		2,3 x 2,0 x 1,0	2,3 x 2,0 x 1,5
100	3,0 x 2,3 x 1,5	2,5 x 1,0 x 2,0	
200		2,5 x 1,9 x 2,0	
500		5,5 x 2,2 x 1,5	2,5 x 1,8 x 3,2
1.000		8,0 x 2,5 x 2,5	3,4 x 2,5 x 3,8
2.000			3,4 x 3,4 x 4,6
5.000			6,8 x 6,3 x 5,4
10.000			9,9 x 8,6 x 7,4

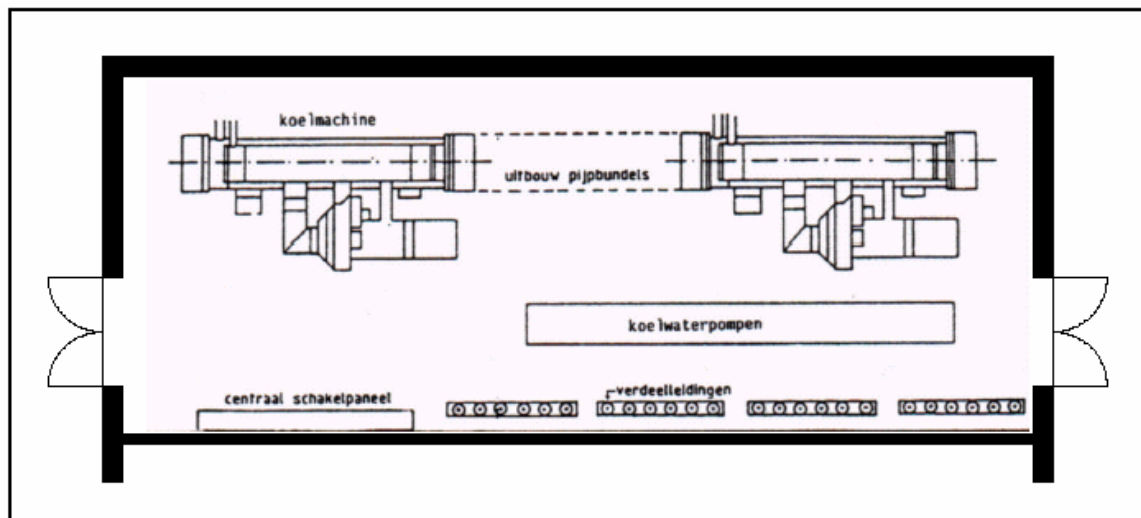
Indien er sprake is van strenge geluidseisen naar de omgeving toe, betekent dit dat er voor de afvoer van warmte ventilatoren met een veel lagere snelheid, dus lagere geluidsproductie, nodig zijn. In dat geval is het benodigde oppervlak aan luchtgekoelde condensors of droge koelers hoger en kan in sommige gevallen zelfs een heel dakoppervlak beslaan. Koeltorens komen dan nauwelijks meer in aanmerking vanwege hun hoge geluidsproductie. Dit kan een reden zijn om in dat geval over te stappen op energieopslag in de bodem.

Een andere reden om meer oppervlak aan droge koelers toe te passen kan zijn om dat daarmee een energiezuiniger koelsysteem mogelijk is. Hoe lager de condensortemperatuur, hoe gunstiger het rendement (COP) van de koelmachine.

1.7 Ruimtebepaling nauwkeurig

Ook voor koelmachineruimten geldt dat het Definitief Ontwerp de laatste kans biedt om de afmetingen goed op het gebouw af te stemmen. Een te kleine ruimte plaatst de installateur voor inbouwproblemen, een te grote ruimte brengt onnodige bouwkosten met zich mee. Een nauwkeurige bepaling van de afmetingen is alleen mogelijk op basis van een berekening van het maximale gelijktijdige koelvermogen. Zo'n berekening is lastig, omdat de koelbehoefte van verschillende ruimten - in de tijd gezien - sterk verandert. Bovendien moet rekening worden

gehouden met het koelvermogen dat nodig is voor het drogen van buitenlucht. Een redelijk nauwkeurige benadering is mogelijk door de koelbehoefte per m^3 van een aantal - qua gebruik en oriëntatie - representatieve ruimten te berekenen en het gemiddelde daarvan voor het gebouw als geheel te nemen. Met dit gegeven en de documentatie van leveranciers van koelmachines e.d. is vervolgens een ruimte-indeling te maken. Zie figuur 3 als voorbeeld. Het is niet gebruikelijk dat gebouwonwerpers zo gedetailleerd de koelmachineruimte bepalen. Dit is een taak voor adviseurs en installateurs.



figuur 3 voorbeeld van een indeling van een koelmachineruimte
Weergegeven zijn twee koelmachines, koelwaterpompen, verdeelringen en een centraal schakelpaneel.

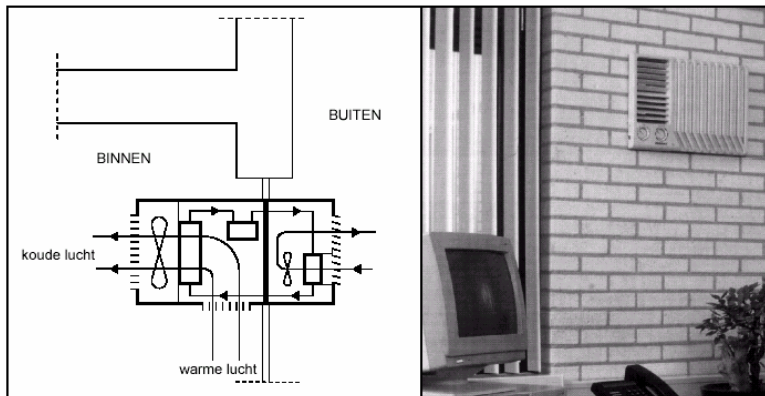
2 Decentrale of kleine koelunits

2.1 Algemeen

Indien er sprake is van een locale of zeer beperkte koudevraag worden vaak decentrale koelunits toegepast die in of dicht bij de te koelen ruimten worden geplaatst (dak, kelder of nevenruimte).

2.2 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^3/s buitenlucht ventileren. 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.

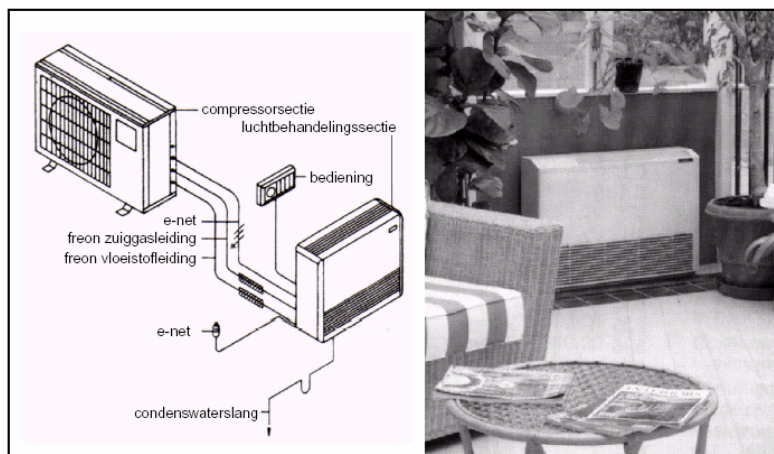


figuur 4 schema van een lokale koelmachine, een raamkoeler (links); ook is weergegeven hoe een lokale koeler in de buitenmuur kan worden ingebouwd (rechts).

Het vermogen van een lokale koeler wordt vooral bepaald door de wijze waarop warmte aan een ander medium buiten de ruimte wordt afgestaan (buitenlucht of iets anders). Een koelkast waarvan de deur wordt opengezet zal om die reden een ruimte niet koelen omdat zowel warmte als koude aan de ruimte wordt afgestaan.

2.3 Gedeeld koelsysteem ("Split"-systeem)

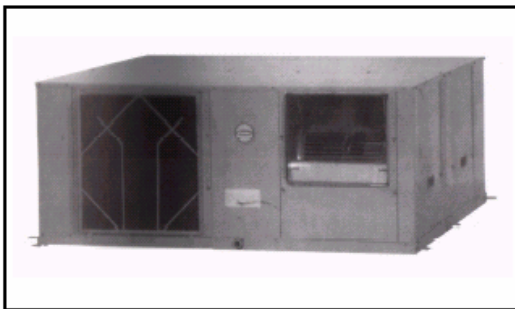
Het gedeelde koelsysteem - meestal aangeduid met "split"-systeem - bestaat uit een binnenunit (verdampers) en een buitenunit (condensor), zie figuur 5. De buitenunit, het meest lawaaiige deel, staat op het dak of op consoles tegen de buitengevel, hetgeen een minder fraai beeld kan opleveren. "Split"-units 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 (mogelijk) verstoren van het gevelbeeld heeft het gedeelde koelsysteem dezelfde nadelen als de raamkoeler.



figuur 5 schema splitsysteem met een binnen- en buitenunit (links) en een voorbeeld van een opstelling van een binnenunit (rechts)

2.4 "Packaged" koelunit

Een "packaged" koelunit is in principe een grote raamkoeler waarop een kanaal met luchtroosters is aangesloten waarmee koele lucht over een aantal ruimten is te verdelen (figuur 6). De luchtverdeling 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 ook grote "packaged" koelunits voor plaatsing op het dak 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.



figuur 6 compacte kleine koelmachines (packaged units); voor inbouw boven het plafond (links) en voor dakopstelling (rechts)

Globale Koelbehoefteberekening

Kenniskbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

1 Berekeningsmethoden

De warmte- en koelbehoefte van ruimten kan met “dynamische” of “stationaire” methoden worden berekend.

Bij dynamische methoden wordt met behulp van wiskundige beschrijvingen van de eigenschappen van een ruimte - een fysisch model - nagegaan hoe die ruimte reageert op in de tijd variërende omstandigheden.

Bij stationaire berekeningen wordt verondersteld dat de omstandigheden constant zijn. De dynamische effecten worden in rekening gebracht door tabellen te gebruiken waarin die effecten zijn verwerkt. Tot nu toe zijn alleen stationaire methoden in NEN-normen vastgelegd.

Bij het architectonische ontwerpproces gaat het bij de klimaatregeling vooral om inzicht in de orde van grootte. Belangrijke vragen zijn:

“Welke afmetingen krijgen de installaties?” en “Hoeveel ruimte is nodig voor inbouw van centrale installaties, distributie-installaties en eindapparaten?”

De benodigde inbouwruimte wordt primair bepaald door het toe te passen klimaatregelsysteem en dat systeem is weer afhankelijk van het verwarmings- en koelvermogen dat nodig is om de ruimten in het gebouw op de gewenste temperatuur te kunnen houden.

De gebouwonwerper beperkt zich met de systeemkeuze meestal tot het detailniveau van een Voorlopig Ontwerp, waarbij globale berekeningen volstaan.

De in NEN-normen beschreven stationaire methoden, zoals die door installatieontwerpers worden toegepast, zijn daarvoor te gedetailleerd. Wel vormden ze de basis voor de ontwikkeling van meer op het architectonische ontwerpdoel afgestemde globale berekeningen.

Met dynamische berekeningen kan de invloed van het warmteaccumulerend vermogen van ruimten beter worden nagegaan dan met stationaire methoden. Dat geldt ook voor de invloed van de sterk wisselende meteorologische omstandigheden, omdat bij dynamische berekeningen gebruik wordt gemaakt van reële waarden voor zonnestraling, wind en temperatuur. Omdat diverse differentiaalvergelijkingen tegelijkertijd moeten worden opgelost - wat slechts numeriek kan - is voor dynamische berekeningen een computer nodig. Een goed voorbeeld van een voor dit doel bruikbaar computerprogramma is VA114 van de Vereniging tot Automatisch Berekenen van Installaties in gebouwen (VABI).

Bij het door TNO ontwikkelde VA114-programma moeten de geometrische en fysische eigenschappen van de ruimte, het verwarmings- en koelvermogen van de installatie, de gebruikstijden van de ruimte en de interne belasting door personen, verlichting en apparatuur als gegeven worden ingevoerd. Het programma berekent voor elk uur van een op te geven meteorologisch jaar de binnentemperatuur en het energiegebruik. Een overzicht wordt

gegeven van het aantal uren dat de binnentemperatuur in dat jaar een op te geven waarde over- of onderschrijdt. Een berekening met het programma wordt om die reden ook wel “temperatuuroverschrijdingsberekening” of kortweg TO-berekening genoemd.

Door “trial and error” kan met het programma een koelvermogen worden gevonden waarvoor geldt dat in jaar x een binnentemperatuur y niet meer dan z uren wordt overschreden.

In de beginperiode, toen deze methode in Nederland populair werd, nam men twee temperatuurgrenzen y_1 en y_2 die respectievelijk niet meer dan z_1 en z_2 uur mochten worden overschreden.

Later werd voorgesteld om één temperatuurgrens y te nemen en elk uur dat de berekende temperatuur deze grens overschrijdt te vermenigvuldigen met een waarde die afhankelijk is van de mate waarin y wordt overschreden. Dit werd de “Gewogen Temperatuur Overschrijding” of GTO-berekening genoemd. Recent is bedacht dat de waarde y afhankelijk is te stellen van de effectieve temperatuur van de buitenlucht in de periode voorafgaand aan het te berekenen tijdstip en van de aanwezigheid van te openen ramen. Dit is de ATG of “Adaptieve Temperatuur Grenswaarde”. Koelvermogens die met TO-, GTO- en ATG-berekeningen zijn bepaald wijken onderling af van de vermogens die uit stationaire berekeningen volgen. De verschillen zijn te verklaren uit het gebruik van verschillende overschrijdingscriteria en verschillende meteorologische gegevens.

Een veel gestelde ontwerp vraag is: “Welke vorm, thermische eigenschappen en gebruik moet een gebouw krijgen om met natuurlijke koeling te kunnen volstaan?”

Beantwoording van deze vraag is met TO-berekeningen en varianten daarop mogelijk. Ook is met deze berekeningen na te gaan welk effect vorm, thermische eigenschappen en gebruik hebben op de energieconsumptie van het gebouw.

Evident is dat natuurlijke koeling eerder mogelijk is en het energieverbruik beperkter wordt naarmate een milder meteorologisch jaar en hogere waarden voor y en z worden genomen. Helaas bestaat er anno 2007 nog geen consensus over deze waarden en het te gebruiken meteorologisch jaar om te kunnen spreken van een gebouw met een “redelijk comfort”. Sommige ontwerpers koppelen - voor het voldoen aan een bepaalde gebouwprestatie - hoge y - en z -waarden aan het meteorologisch gemiddelde jaar 1964-1965. Voorspelbaar is dat gebouwen die niet meer dan deze prestatie kunnen leveren tijdens warmere jaren, zoals tijdens de zomers van 1994 of 1995, een groot deel van de tijd onbehaaglijk warm en door velen onaanvaardbaar gevonden zullen worden. Een bijkomend nadeel is dat niet kan worden gecontroleerd of een gebouw de berekende prestatie ook werkelijk levert. Zo is het bijna ondoenlijk om een jaar lang te meten en vervolgens onmogelijk om uit de meetgegevens af te leiden of in jaar x aan de criteria y en z wordt voldaan omdat ieder jaar, meteorologisch gezien, uniek is. De jaren verschillen niet alleen in het aantal uren dat luchttemperatuur, zonnestraling, windsnelheid en luchtvochtigheid bepaalde waarden hebben, ook het verloop van die waarden verschilt terwijl juist dat verloop een grote invloed heeft. Zo laat een periode van 4 dagen met een bepaalde hoge buitentemperatuur meer uren overschrijding en een hogere maximale binnentemperatuur zien dan twee perioden van 2 dagen met dezelfde buitentemperatuur.

Dynamische berekeningen zijn vooral geschikt om na te gaan welke invloed bouwkundige en installatietechnische ontwerpkeuzes hebben op het binnenklimaat en het energieverbruik. NEN 5067 biedt die mogelijkheden niet. Wel kan met deze norm op gestandaardiseerde

wijze de koelbehoefte worden berekend die ontstaat na 5 warme dagen met 75% van de maximaal mogelijke intensiteit van de zonnestraling. Tijdens de ontwikkeling van de norm was er consensus over het redelijk comfortabele binnenklimaat dat ontstaat als een klimaatinstallatie aan deze prestatie beantwoordt. Betrekkelijk eenvoudig is te controleren of deze prestatie ook werkelijk wordt geleverd, namelijk door na te gaan of de vertrektemperatuur na 5 warme dagen aan de gestelde temperatuur-eis voldoet.

Het maken van dynamische berekeningen met programma's zoals VA-114 vraagt de kennis van een ervaren installatieontwerper en de routine van een regelmatige gebruiker van het programma. Daarom is dit programma niet direct geschikt voor gebruik door architecten en andere bouwkundige ontwerpers. Onderzocht is hoe VA114 inzetbaar is te maken zodat architecten hun ontwerp zelf *globaal* kunnen optimaliseren wat betreft comfort en energiegebruik. Voor dat doel worden interfaces ontwikkeld waarmee de voor het architectonisch ontwerp relevante parameters kunnen worden beïnvloed; het programma Orca is een voorbeeld van een dergelijke interface.

2 Koelbehoefte (koellast)

2.1 NEN 5067 en ISSO-8

Voor berekening van de koelbehoefte van ruimten - door installatieontwerpers meestal aangeduid met "koellast" - zijn verschillende methoden met verschillende nauwkeurigheden beschikbaar. De Nederlandse norm op dit gebied is NEN 5067 [1]. Deze berekening werd door installatieontwerpers evenwel te ingewikkeld gevonden waarna een vereenvoudigde versie verscheen ISSO-8 [2]. Ook deze is voor het beginstadium van het ontwerpproces nog te gedetailleerd en is daarom verder vereenvoudigd in de hier gepresenteerde berekening.

3 Globale koelbehoefteberekening

3.1 Algemeen

Hoe een globale koelbehoefte berekening kan worden opgezet wordt stapsgewijs toegelicht. In de bijlagen zijn de vergelijkingen met de daarbij gebruikte tabellen samengevat (Bijlage 4.1) en is ook een handzaam invulformulier aanwezig (Bijlage 4.2).

De "globale koelbehoefte" wordt hier gedefinieerd als de koelbehoefte van een ruimte berekend op het tijdstip met de hoogste warmtebelasting. Dit tijdstip verschilt per oriëntatie, zie tabel 1.

Tabel 1 convectieve warmte t.g.v. zonnestraling (q_{conv})

oriëntatie	tijdstip ¹⁾ maximum	zonwering	"lichte" bouw SWM=50 kg/m ² W/m ²	"zware" bouw SWM=80 kg/m ² W/m ²
Noord	13	binnen	140	130
		buiten/geen	110	100
N-O	8	binnen	490	460
		buiten/geen	330	240
Oost	9	binnen	680	650
		buiten/geen	470	350
Z-O	10	binnen	650	610
		buiten/geen	450	340
Zuid	13	binnen	560	530
		buiten/geen	400	310
Z-W	16	binnen	650	620
		buiten/geen	460	360
West	16 ²⁾	binnen	650	620
		buiten/geen	440	340
N-W	16 ²⁾	binnen	350	340
		buiten/geen	240	200
Horizontaal	13	binnen	800	760
		buiten/geen	590	480

¹⁾ zonnetijd²⁾ werkelijke tijdstip is later en heeft geen betekenis omdat dit buiten de dagelijkse gebruiksperiode van de ruimte valt

Met behulp van tabel 2 kan worden nagegaan wat de convectieve warmte t.g.v. zonnestraling op andere tijdstippen dan tijdens het maximum is:

tabel 2 convectieve warmte (q_{conv}) op verschillende tijdstippen, als deel van het maximum (f_d)

oriëntatie	tijdstip (zonnetijd)				
	8	9	10	13	16
Noord	0,7	0,8	0,9	1,0	0,9
N-O	1,0	0,9	0,8	0,6	0,5
Oost	0,9	1,0	0,9	0,6	0,5
Z-O	0,7	0,9	1,0	0,8	0,6
Zuid	0,3	0,5	0,7	1,0	0,8
Z-W	0,3	0,3	0,4	0,7	1,0
West	0,3	0,3	0,4	0,5	1,0
N-W	0,4	0,4	0,5	0,6	1,0
Hor.	0,5	0,6	0,8	1,0	0,9

3.2 Koelbehoefte totaal

De koelbehoefte (Φ_k) wordt volgens ISSO-8 bepaald door:

$$\Phi_k = \Phi_i + \Phi_e \quad (\text{W}) \quad (1)$$

waarin:

Φ_i = interne warmtebelasting in W

Φ_e = externe warmtebelasting in W

3.3 Interne warmtebelasting

De interne warmtebelasting is:

$$\Phi_i = \Phi_p + \Phi_l + \Phi_a \quad (\text{W}) \quad (2)$$

waarin:

Φ_p = warmtebelasting door personen in W

Φ_l = warmtebelasting door verlichting in W

Φ_a = warmtebelasting door apparatuur in W

De warmtebelasting door personen bedraagt:

$$\Phi_p = p \cdot q_p \quad (\text{W}) \quad (3)$$

waarin:

p = aantal personen in de ruimte

q_p = warmteafgifte per persoon in W, zie tabel 3

tabel 3 warmteafgifte van personen

activiteit	W/persoon *)
rustig zitten	80
zittend kantoorwerk	100
staand kantoorwerk	110
laboratoriumwerk	110
zittend licht montagewerk	115
staand licht montagewerk	150
kuieren (0,5 m/s)	110
wandelen (0,8 m/s)	120
lopen (1,2 m/s)	150
gymnastiek	160
tennis	240
squash/basketbal	300

*) geldend voor lichte kleding (0,6 clo)

De warmtebelasting door verlichting is volgens ISSO-8:

$$\Phi_l = l_1 \cdot l_2 \cdot N_l \quad (W) \quad (4)$$

waarin:

l_1 = reductiefactor in verband met afzuiging via armaturen

l_2 = vereffeningsfactor in verband met de accumulatie van verlichtingswarmte

N_l = geïnstalleerd verlichtingsvermogen inclusief voorschakelapparatuur in W

Deze warmtebelasting is, uitgaande van gemiddelde waarden voor l_1 en l_2 , te vereenvoudigen tot:

$$\Phi_l = q_l \cdot A_{vl} \quad (W) \quad (5)$$

waarin:

q_l = convectieve warmteafgifte verlichting per m² vloeroppervlakte, zie tabel 4

A_{vl} = vloeroppervlakte van de ruimte in m²

tabel 4 convectieve warmteafgifte van verlichting

soort verlichting	W/m ² vloeroppervlakte
werkplekverlichting (TL/PL)	2,5
algemene verlichting 400 à 500 lux	
luchtafvoer via armaturen	5
armaturen zonder luchtafvoer	10
halogeenspots 200 lux	20

De warmtebelasting door apparatuur is volgens ISSO-8:

$$\Phi_a = N \cdot a_1 \cdot a_2 \quad (W) \quad (6)$$

waarin:

N = nominaal aansluitvermogen in W

a_1 = benuttingsgraad

a_2 = gelijktijdigheidsfactor

Worden voor a_1 en a_2 gemiddelde waarden ingevuld en wordt het aansluitvermogen betrokken op de vloeroppervlakte van de ruimte dan ontstaat de vereenvoudigde vergelijking:

$$\Phi_a = q_a \cdot A_{vl} \quad (W) \quad (7)$$

waarin:

q_a = convectieve warmteafgifte apparatuur in W/m² vloeroppervlakte, zie tabel 5

A_{vl} = vloeroppervlakte van de ruimte in m²

tabel 5 convectieve warmte-afgifte van kantoorapparatuur

apparatuur	W	W/m ² vloeroppervlakte
1 PC/persoon	100	10
1 printer/persoon	100	10
meer apparatuur/persoon	200 - 300	20 - 30

Vaak kan in het beginstadium van het ontwerp nog geen interne warmtebelasting worden aangegeven omdat personele bezetting, type verlichting en gebruikte apparatuur nog niet bekend zijn of omdat de opdrachtgever een flexibel gebouw wil. Voor kantoorgebouwen zijn dan de volgende belastingklassen te gebruiken:

"laag" : 20 W/m² vloeroppervlakte

"gemiddeld" : 35 W/m² „

"hoog" : 50 W/m² „

"markt" (verhuur) : 40 W/m² „

3.4 Externe warmtebelasting

De externe warmtebelasting (Φ_e) wordt bepaald door:

$$\Phi_e = \Phi_{z,gl} + \Phi_{tr,gl} + \Phi_{z,w} + \Phi_{inf} \quad (W) \quad (8)$$

waarin:

$\Phi_{z,gl}$ = warmtebelasting door zoninstraling via de beglazing van gevel en dak

$\Phi_{tr,gl}$ = warmtebelasting door transmissie via het glas

$\Phi_{z,w}$ = warmtebelasting door zonbelasting van gesloten buitenwanden en het dak

Φ_{inf} = warmtebelasting door infiltratie

De warmtebelasting door zoninstraling via de beglazing is volgens ISSO-8:

$$\Phi_{z,gl} = z \cdot A_{gl} \cdot ZTA [q_{z,gl}(0) + \{q_{z,gl}(100) - q_{z,gl}(0)\} \cdot SWM / 100] \quad (W) \quad (9)$$

waarin:

z = zonweringsfactor luifel

A_{gl} = glasoppervlakte in m^2

ZTA = zontoetredingsfactor zonwering/beglazing

$q_{z,gl}(100)$ = koellast door zonbelasting via ramen bij $ZTA = 1$ en $SWM = 100 \text{ kg/m}^2$

$q_{z,gl}(0)$ = koellast door zonbelasting via ramen bij $ZTA = 1$ en $SWM = 0 \text{ kg/m}^2$

Wordt $[q_{z,gl}(0) + \{q_{z,gl}(100) - q_{z,gl}(0)\} \cdot SWM / 100]$ vervangen door q_{conv} , dan ontstaat:

$$\Phi_{z,gl} = z \cdot A_{gl} \cdot ZTA \cdot q_{conv} \quad (W) \quad (10)$$

waarin:

z = zonweringsfactor luifel, zie tabel 6

A_{gl} = glasoppervlakte in m^2

ZTA = zontoetredingsfactor beglazing/zonwering, zie tabel 7

q_{conv} = convectieve warmte door zonnestraling via glas in W/m^2 , zie tabel 1

NB. De "convectieve warmte door zonnestraling" (q_{conv}) is de zonnewarmte die via ramen in de ruimte komt en - na door de zon te zijn beschenen - door binnenzonwering, vloeren, wanden en meubilair convectief wordt afgegeven. De warmteafgifte is positief zolang wanden en vloeren warmer zijn dan de lucht in de ruimte. Afkoeling duurt vele uren en soms dagen. Daardoor verandert q_{conv} en is deze maximaal op het in tabel 1 aangegeven tijdstip. Het verloop gedurende dag is uit tabel 2 af te leiden.

tabel 6 zonweringsfactor (Z) van luifels ¹⁾

b	 	oriëntatie a/b ---->	0,25	0,5	1,0	1,5	2,0	3,0	4,0	5,0
=====	 --- 	-----								

	 a	Zuid	0,05	0,10	0,22	0,35	0,40	0,65	0,75	0,82
	 --- 	Z-O en Z-W ²⁾	0,17	0,28	0,45	0,60	0,70	0,85	0,90	0,92

¹⁾ Tabelwaarden gelden voor een luifel direct boven het raam. Zit de luifel hoger dan moet de verhouding a/b worden gecorrigeerd.

²⁾ Bij noordelijker oriëntaties hebben luifels weinig of geen effect omdat de zon op die oriëntaties onder de luifel doorschijnt (Z = 1).

tabel 7 eigenschappen van zonwering en beglazing

beglazing	zonwering	LTA	ZTA	U W/(m².K)
		-	-	
enkel glas	blank	0,9	0,85	6,0
	binnen zonwering		0,55	5,5
	buitenzonwering		0,17	5,0
dubbel glas	blank	0,8	0,7	3,2
	binnen zonwering		0,5	3,0
	buitenzonwering		0,15	3,0
	tussen-zonwering			
	- gesloten spouw		0,3	3,0
	- klimaatraam/-gevel ¹⁾		0,2	1,2
	- tweede-huid façade ²⁾		0,2	2,2
isolatieglas	HR	0,81	0,73	1,8
	HR ⁺	0,80	0,70	1,5
	HR ⁺⁺	0,79	0,67	1,2
zonwerend glas	Cool Lite 172	0,66	0,38	1,3
	Cool Lite 165	0,60	0,30	1,2
	Stopray Safir	0,61	0,32	1,2
	Stopray Silver	0,43	0,25	1,3
	Stopray Emeraldal	0,36	0,20	1,3
	Stopray Goud	0,20	0,13	1,5

¹⁾ spouwventilatie met binnenlucht

²⁾ spouwventilatie met buitenlucht

De warmtebelasting door transmissie via het glas is:

$$\Phi_{tr,gl} = U \cdot A_{gl} \cdot (\theta_e - \theta_i) \quad (W) \quad (11)$$

waarin:

- U = warmtedoorgangscoefficiënt in $W/(m^2.K)$
 A_{gl} = glasoppervlakte in m^2
 θ_e = ontwerp-buitentemperatuur in $^{\circ}C$ (meestal $28^{\circ}C$).
 θ_i = ontwerp-binnentemperatuur in $^{\circ}C$

Een deel van de op buitenwanden en daken vallende zonnestraling wordt geabsorbeerd. Een deel van die warmte wordt direct aan de buitenlucht afgestaan, het andere deel stroomt door geleiding via de constructie naar binnen. Deze warmtestroom varieert en kan zelfs negatief zijn. Bij de globale koelbehoefteberekening wordt de warmtestroom berekend voor het moment waarop de externe warmtebelasting het grootst is. De warmtebelasting door transmissie laat zich dan als volgt bepalen:

$$\Phi_{z,w} = a \cdot A_{wi} \cdot q_w \quad (W) \quad (12)$$

waarin:

- a = absorptiecoëfficiënt voor zonnestraling
 A_{wi} = inwendige oppervlakte van de buitenwand (of het dak) in m^2
 q_w = warmtestroom via wanden en daken in W/m^2 , zie tabel 8

De absorptiecoëfficiënt a van gepolijste metalen is minimaal 0,05 en van verweerd beton maximaal 0,95. De geabsorbeerde zonnewarmte die door geleiding via wanden en daken tot de ruimte doordringt is ten opzichte van de andere belastingen gering, zodat geen grote fout gemaakt als met een gemiddelde coëfficiënt van 0,7 wordt gerekend. $\Phi_{z,w}$ wordt - om dezelfde reden - ook wel verwaarloosd.

tabel 8 warmtestroom door zonbelasting van wanden en daken (q_w) *)

oriëntatie	massa wand of dak		
	<120 kg/m^2	220 kg/m^2	>300 kg/m^2
Noord	1,5	-0,9	-0,8
N-O	1,7	-1,1	0,1
Oost	7,0	1,1	1,3
Z-O	8,2	1,6	1,6
Zuid	11,2	4,0	1,6
Z-W	14,4	6,8	2,4
West	11,3	4,9	1,9
N-W	6,2	2,4	0,5

Horizontaal	met verlaagd plafond	zonder verlaagd plafond
staalplaat	5,9	16,4
beton	-3,9	-0,5
licht beton	-5,0	-1,6
isolerend dakbeschot	-3,4	-2,2

licht isolerende
dakplaat -3,6 -0,4

De warmtebelasting door infiltratie is:

$$\Phi_{\text{inf}} = q_{\text{inf}} \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_e - \theta_i) \quad (\text{W}) \quad (13)$$

waarin:

q_{inf} = volumestroom buitenlucht door infiltratie in m^3/s
 ρ = dichtheid van lucht $\approx 1,2 \text{ kg/m}^3$
 c = soortelijke warmte van lucht $\approx 1000 \text{ J/(kg.K)}$
 θ_e = ontwerp-buitentemperatuur in $^{\circ}\text{C}$
 θ_i = ontwerp-binnentemperatuur in $^{\circ}\text{C}$

Bij een globale koelbehoefteberekening kan worden uitgegaan van 0,2 à 0,3-voudige infiltratie, zodat:

$$q_{\text{inf}} = 0,2 \text{ à } 0,3 \cdot V / 3600 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (14)$$

waarin:

V = volume van de ruimte in m^3

4 Invloed warmteaccumulatie en vrije koeling

4.1 Invloed gebouwmassa

Bij de koelbehoefteberekening wordt aangenomen dat een deel van de via de ramen toetredende zonnewarmte en een deel van de door lampen en apparatuur afgegeven warmte door straling aan de bouwmassa wordt afgegeven en dat de rest convectief door de ruimtelucht wordt opgenomen. Verder wordt aangenomen dat de warmte van personen geheel door de ruimtelucht wordt opgenomen. Bij ruimten met een beperkte bezetting is deze benadering bruikbaar. Wordt de koelbehoefte grotendeels door de warmteafgifte van personen bepaald, zoals bij theaters, dan kan deze benadering tot niet realistische hoge waarden leiden omdat de warmte van personen voor een deel direct (via straling) en indirect (via convectie) door wanden, vloeren en plafond wordt opgenomen. Overdimensionering van de koelinstallatie kan worden voorkomen door de warmtestroom door accumulatie als negatieve warmtebelasting in rekening te brengen.

$$\Phi_{\text{acc}} = \alpha \cdot A_w (\theta_{\text{opp}} - \theta_i) \quad (\text{W}) \quad (15)$$

waarin:

α = warmteoverdrachtscoëfficiënt $\approx 5,5 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$
 A_w = gezamenlijke oppervlakte accumulerende delen van vloer, wanden en plafond in m^2
 θ_{opp} = gemiddelde oppervlaktemperatuur van vloer, wanden en plafond in $^{\circ}\text{C}$
 θ_i = temperatuur van de ruimte in $^{\circ}\text{C}$

De totale hoeveelheid warmte die tijdens het ruimtegebruik wordt geaccumuleerd is afhankelijk van de warmtecapaciteit van de bouwmasa. De maximaal mogelijke warmteaccumulatie is:

$$\Phi_{\text{acc, max}} = \text{SWM} \cdot A_w \cdot c (\theta_1 - \theta_2) / dt \quad (\text{W}) \quad (16)$$

waarin:

SWM = specifiek werkzame massa in kg/m²

A_w = gezamenlijke binnenoppervlakte van vloer, wanden en plafond in m²

c = soortelijke warmte van de massa (ca. 840 J/(kg.K) voor steenachtige materialen)

θ₁ = gemiddelde temperatuur van de massa bij aanvang gebruik in °C

θ₂ = gemiddelde temperatuur van de massa bij einde gebruik in °C

dt = gebruiksduur in s

Wordt aangenomen dat de temperatuur van de wanden homogeen is en dat de aanvangstemperatuur (θ₁) en eindtemperatuur (θ₂) respectievelijk 22 en 24 °C is, dan is de gemiddelde temperatuur 23 °C. Bij deze aanname - die dient om de orde van grootte van de accumulatie te bepalen - kan verder worden uitgegaan van een gemiddelde ruimtetemperatuur (θ_i) van 24 °C en een gemiddeld temperatuurverschil (θ_{opp} - θ_i) over de gebruikstijd van ongeveer -1 °C.

4.2 Vrije koeling

Indien de gebouwmasa voor toegevoerde lucht bereikbaar is en daarnaast voldoende accumulerend vermogen beschikbaar is, kan via te openen ramen of via het ventilatiesysteem de gebouwmasa worden afgekoeld, zonder dat een koelmachine hoeft te worden ingezet. Dit is het geval indien de temperatuur van de buitenlucht lager is dan die van de binnenlucht, zoals in de nacht. Ook is het een optie om de gebouwmasa buiten gebruikstijd met water te koelen. Hiermee kan 10 – 35 W/m² worden gekoeld, met weinig of een beperkt energiegebruik, zoals uitsluitend ventilator- of pompenergie. Bij koeling met buitenlucht is een ventilatievoud van 3 - 10 of meer nodig. Deze mogelijkheden worden in een aparte module besproken.

5 Vertrekken met ramen in meer dan één gevel

Bij hoekvertrekken kan, als de ramen in beide gevels ongeveer gelijk zijn, worden volstaan met een koelbehoefteberekening voor het tijdstip van het maximum van de oriëntatie met het hoogste maximum (zie tabel 1). Voor hoekvertrekken met verschillende ramen, vertrekken met ramen in meer dan twee gevels of ramen in gevel en dak, moeten meer tijdstippen worden berekend. De hoogste waarde is de koelbehoefte. Omdat de convectieve zonnewarmte (q_{conv}) op verschillende tijdstippen verschillend is moet de waarde uit tabel 1 worden gecorrigeerd met een factor f_d (zie tabel 2).

Zie voor verdere toelichting de rekenvoorbeelden in de betreffende module.

6 Invloed van de schaduw

Balkons en overstekende gebouwdelen kunnen, voor zover ze boven ramen zitten, bij de globale koel-behoefteberekening als luifel worden beschouwd. De in NEN 5067 beschreven methode - waarbij schaduw door diepliggende ramen, uitstekende gebouwdelen en gebouwen in de omgeving in rekening wordt gebracht - is voor een globale berekening te omslachtig. Om te voorkomen dat de berekening tot een niet realistisch koelvermogen leidt, moet de convectieve zonnearmte (q_{conv}) worden gecorrigeerd. Voor ramen die de hele dag geen zon krijgen kan de waarde voor Noord worden genomen. Voor ramen met gedeeltelijke schaduw kan een waarde worden genomen tussen die van de betreffende oriëntatie en Noord. Het is een kwestie van schatten waarbij een bezonningsdiagram kan helpen.

7 Ventilatieopeningen bij natuurlijke koeling

Ruimten kunnen op natuurlijke wijze worden gekoeld door ze via raamopeningen te ventileren. Anders dan bij mechanische koeling is het niet mogelijk om een bepaalde temperatuur te handhaven. Wel kan op deze manier de toename van de vertrektemperatuur - ten opzichte van de buitentemperatuur - worden beperkt. Voor verblijfsruimten wordt vaak een toename van 3°C toegestaan en voor serres, passages en andere verkeersruimten 5°C. Omdat koele buitenlucht in de ruimte naar beneden stroomt is de temperatuuroptename onderin de ruimte - waar zich de leefzone bevindt - minder hoog dan de genoemde waarden. De voor natuurlijke koeling benodigde luchthoeveelheid is:

$$q_v = \Phi_k / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (17)$$

waarin:

Φ_k = koelbehoefte in W

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

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

$\Delta\theta$ = maximale temperatuurverschil tussen binnen en buiten in °C

Voor het effectief ventileren van ruimten zijn toevoer- en afvoeropeningen nodig. Bij verticale openingen stroomt koele buitenlucht aan de onderzijde naar binnen en opgewarmde lucht aan de bovenzijde naar buiten. Voor het bepalen van de benodigde oppervlakte van de openingen is een indicatieve methode te gebruiken die is afgeleid uit metingen bij natuurlijk geventileerde industriële ruimten. Hier werden in de ventilatieopeningen luchtsnelheden gemeten tussen 0,5 - 1,5 m/s, de laagste waarden bij ruimten tot ca. 3,0 m en de hoogste waarden bij ruimten van 9 m en hoger. Op grond hiervan kan als benadering bij atria, serres en passages met een snelheid van 1,0 m/s gerekend. Bij ruimten van 3,0 m en lager is het beter om een snelheid van 0,5 m/s of 0,4 m/s te nemen. Heeft de ruimte aparte toevoer- en afvoeropeningen op verschillende hoogten dan moeten die openingen elk een oppervlakte hebben van:

$$A = q_v / v \quad (\text{m}^2) \quad (18)$$

De benodigde oppervlakte voor de toevoer- en afvoeropeningen samen wordt dan bij benadering:

$$A_{\text{tot}} = 2 \cdot q_v / v \quad (\text{m}^2) \quad (19)$$

Bij toevoer en afvoer via dezelfde opening moet de oppervlakte 1,2 tot 1,4 maal zo groot worden genomen.

Een betere benadering is mogelijk met het in [3] afgeleide model:

$$A_{\text{o,tot}} = y \cdot \Phi_k / (130 \cdot \Delta\theta^{1,5} \cdot h^{0,5}) \quad (\text{m}^2) \quad (20)$$

waarin:

$A_{\text{o,tot}}$ = netto gezamenlijke oppervlakte voor toevoer- en afvoeropeningen in m^2

y = situeringsfactor ventilatieopening (dimensieloos)

2,9 bij één enkele opening in verticale wand

2,4 bij meer openingen in verticale buitenwand

2,2 bij één enkele opening in dakvlak

2,0 bij openingen op verschillende hoogte (en gelijke oppervlakte toevoer en afvoer)

Φ_k = koelbehoefte in W

$\Delta\theta$ = maximale verschil tussen binnen- en buitentemperatuur in $^{\circ}\text{C}$

h = de hoogte van de ventilatieopening in m

Is de gezamenlijke netto oppervlakte van de ventilatieopeningen bekend, dan kan het maximale temperatuurverschil tussen binnen en buiten (temperatuuroptename van de lucht) worden berekend:

$$\Delta\theta = \exp [2/3 \ln \{ \Phi_k \cdot y / (130 \cdot h^{0,5} \cdot A_{\text{o,tot}}) \}] \quad (^{\circ}\text{C}) \quad (21)$$

8 Overige aandachtspunten koelbehoefteberekening

Het resultaat van de berekening kan een goed beeld geven van de totale *voelbare* koelbehoefte van een gebouw.

Voor de bepaling van de capaciteit van een koelmachine is dit evenwel nog onvoldoende. Dan moet ook rekening worden gehouden met:

- de invloed van eventuele ontvochtiging van de buitenlucht (*latente koelbehoefte*)
- de mate van gelijktijdigheid in het gebruik (bezettingsgraad) en de werkelijke zonbelasting op een bepaald tijdstip op de verschillende gevels

De invloed van ontvochtiging is hierbij aanzienlijk:

$$\Phi_{k, \text{ontvochtiging}} = Q \cdot \tilde{\alpha} (h_1 - h_2) \quad (\text{W}) \quad (22)$$

Waarin:

$\Phi_{k, \text{ontvochtiging}}$ = koelbehoefte t.b.v. ontvochtiging

Q	= volumestroom toegevoerde ontvochtigde lucht in m ³ /s
□	= volumieke massa lucht in kg/m ³
h	= enthalpie (energie-inhoud) lucht in J/kg

Moet bijvoorbeeld 1 m³/s lucht (= Q = 3.600 m³/h) worden ontvochtigd van een buitentemperatuur van 28°C en 60% relatieve vochtigheid (hoge enthalpie) naar een binnentemperatuur van 24°C en 50% relatieve vochtigheid (lage enthalpie) is de volgende hoeveelheid koelenergie nodig (zie Mollier-diagram):

28°C, 60% RV = 65.000 J/kg lucht = h₁

24°C, 50% RV = 47.900 J/kg lucht – = h₂
 17.100 J/kg lucht = □h

= 1 (m³/s) . 1,2 (kg/m³) . 17.100 J/kg = 20.520 J/kg = 27 W/m² bij een minimaal benodigde hoeveelheid verse lucht van 1,3 dm³/sm² voor kantoren volgens het Bouwbesluit.

9 Literatuur

NNI. NEN 5076 Koellastberekening voor gebouwen. 1985.

1. ISSO 8. Berekening van het thermisch gedrag van gebouwen bij zomer-ontwerpcondities. 1985.
2. Schalkoort TAJ. Modelleren van warmte-, vocht-, lucht- en lichtstromen. TU-Delft, 2001 (voorlopige uitgave).

10 BIJLAGEN

10.1 Samenvatting vergelijkingen en globale koelbehoefteberekening

Globale koelbehoefte

$$\Phi_k = \Phi_i + \Phi_e \quad (W)$$

Interne belasting:

$$\Phi_i = \Phi_p + \Phi_l + \Phi_a \quad (W)$$

Warmtebelasting personen:

$$\Phi_p = p \cdot q_p \quad (W)$$

waarin:

p = aantal personen in de ruimte

q_p = warmte-afgifte per persoon in W -----> tabel 3

Warmtebelasting verlichting:

$$\Phi_l = q_l \cdot A_{vl} \quad (W)$$

waarin:

q_l = convectieve warmte-afgifte verlichting in W/m^2 -----> tabel 4

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

Warmtebelasting apparatuur (kantoren):

$$\Phi_a = q_a \cdot A_{vl}$$

waarin:

q_a = convectieve warmte-afgifte apparatuur in W/m^2 -----> tabel 5

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

Externe warmtebelasting:

$$\Phi_e = \Phi_{z,gl} + \Phi_{tr,gl} + \Phi_{z,w} + \Phi_{inf} \quad (W)$$

Zonbelasting via glas:

$$\Phi_{z,gl} = z \cdot A_{gl} \cdot ZTA \cdot q_{conv} \quad (W)$$

waarin:

z = zonweringsfactor luifel -----> tabel 6

A_{gl} = glasoppervlak in m^2

ZTA = zontoetredingsfactor beglazing/zonwering -----> tabel 7

q_{conv} = convectieve warmte t.g.v. zonnestraling in W/m^2 -----> tabel 1

Transmissie via glas:

$$\Phi_{tr,gl} = U \cdot A_{gl} \cdot (\theta_e - \theta_i) \quad (W)$$

waarin:

- U = warmtedoorgangscoefficiënt -----> tabel 7
 A_{gl} = oppervlakte van het glas in m^2
 θ_e = ontwerp-buitemtemperatuur in $^{\circ}C$ (meestal $28^{\circ}C$)
 θ_i = ontwerp-binnentemperatuur in $^{\circ}C$ (meestal $25^{\circ}C$)

Zonbelasting via wanden en dak:

$$\Phi_{z,w} = a \cdot A_{wi} \cdot q_w \quad (W)$$

waarin:

- a = absorptiecoëfficiënt (gemiddeld 0,7)
 A_{wi} = inwendige oppervlakte buitenwand in m^2
 q_w = warmtestroom via wanden en daken in W/m^2 -----> tabel 8

Warmtebelasting ten door infiltratie:

$$\Phi_{inf} = q_{inf} \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_e - \theta_i) \quad (W)$$

waarin:

- q_{inf} = luchtvolumestroom in $m^3/s \approx 0,2 \text{ à } 0,3 \cdot V/3600$ (V =ruimtevolume in m^3)
 ρ = dichtheid van lucht $kg/m^3 \approx 1,2 \text{ kg/m}^3$
 c = soortelijke warmte van lucht in $J/kg.K \approx 1000 \text{ J/(kg.K)}$
 θ_e = ontwerp-buitemtemperatuur in $^{\circ}C$ (meestal $28^{\circ}C$)
 θ_i = ontwerp-binnentemperatuur in $^{\circ}C$ (meestal $25^{\circ}C$)

10.2 Invulformulier globale koelbehoefteberekening

	aantal personen	W/per s	
warmtebelasting personen			

	A_{vloer}	W/m^2	
warmtebelasting verlichting			
warmtebelasting apparatuur			

	z	A_{glas}	ZTA	q_{conv}	f_d	
zonbelasting via glas						

	U	A_{glas}	$\theta_e - \theta_i$	
transmissie via glas				

	a	A	q_w	
zonbelasting borstwering ¹⁾				
„ dak ¹⁾				
„ zijwand ¹⁾				
„ zijwand ¹⁾				

	q_v	$\rho \cdot c$	$\theta_e - \theta_i$	
infiltratie ¹⁾		1200		

totale koelbehoefte Φ_k	
--	--

¹⁾ wordt bij globale berekening wel verwaarloosd

Kengetallen

specifieke koellast $\Phi_{k,sp} = \frac{\Phi_k}{A_{vloer}} = \dots\dots\dots = \dots\dots\dots \text{W/m}^2$

hoeveelheid gekoelde lucht $q_{v,koel} = \frac{\Phi_k}{\rho \cdot c \cdot \Delta\theta \text{ (}^\circ\text{C)}} = \frac{\dots\dots\dots}{1200 \cdot \dots\dots\dots} = \dots\dots\dots \text{m}^3/\text{s}$

ventilatie-/circulatievoud $n = \frac{q_{v,koel} \cdot 3600}{V} = \frac{\dots\dots\dots \cdot 3600}{\dots\dots\dots} = \dots\dots\dots \text{h}^{-1}$

Koelbehoefteberekening kleine ruimten

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

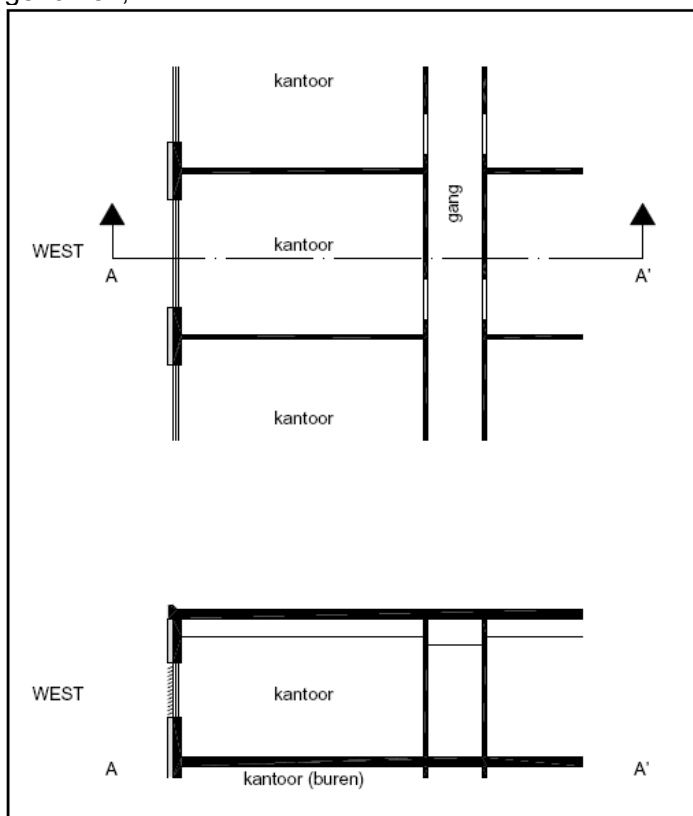
1 Inleiding

Aan de hand van de in een andere module besproken rekenmethode worden enkele voorbeelden weergegeven van de berekening van de koelbehoefte van kleine ruimten.

2 Voorbeelden

2.1 Voorbeeld 1: koelbehoefte kantoorvertrek

Voor dit voorbeeld wordt een tussenvertrek op de bovenste laag van een kantoorgebouw genomen,



figuur 1 voorbeeld 1, kantoorvertrek

Het betreft een gebouw met vrij veel massa (SWM=80 kg/m²). De borstwering heeft een massa van 300 kg/m². Het dak bestaat uit beton met verlaagd plafond. De oriëntatie van het vertrek is West. Verdere gegevens zijn:

netto hoogte	: 2,7 m
gevel breedte	: 3,6 m
vertrekdiepte	: 5,4 m
glasoppervlakte	: 2,9 m ² (30% van inw. geveloppervlakte)
glassoort	: dubbel glas
zonwering	: buitenzonwering (jaloezieën)
bezetting	: 2 personen, 100% aanwezig
verlichting	: TL-verlichting met luchtafvoer
apparatuur	: 1 PC/persoon
ontwerp-binnentemperatuur	: 25 °C
ontwerp-buitentemperatuur	: 28 °C
infiltratie	: 0,3-voud

Omdat de oriëntatie West is, treedt de maximale belasting op om ongeveer 16 uur zonnetijd (zie tabel). Om de invloed van het type zonwering en grotere ramen na te gaan worden de berekeningen herhaald voor binnenzonwering en glaspercentages van 60 en 90%. De koelbehoefte bij 30 % glas en ZTA = 0,15 is:

$$\begin{aligned}
 \Phi_{z,gl} &= z \cdot A_{gl} \cdot ZTA \cdot q_{conv} = 1 \cdot 2,9 \cdot 0,15 \cdot 340 &= 148 \text{ W} \\
 \Phi_{tr,gl} &= U \cdot A_{gl} \cdot (\theta_e - \theta_i) = 3,0 \cdot 2,9 \cdot (28 - 25) &= 26 \\
 \Phi_{z,w, borstw} &= a \cdot A_{wi} \cdot q_w = 0,7 \cdot (2,7 \cdot 3,6 - 2,9) \cdot 1,9 &= 11 \\
 \Phi_{z,w, dak} &= 0,7 \cdot 3,6 \cdot 5,4 \cdot (-3,9) &= -53 \\
 \Phi_{inf} &= 0,3 \cdot 3,6 \cdot 2,7 \cdot 5,4 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot (28-25) / 3600 &= 16 \\
 \Phi_p &= 2 \cdot 80 &= 160 \\
 \Phi_l &= 5 \cdot 3,6 \cdot 5,4 &= 97 \\
 \Phi_a &= 2 \cdot 100 &= 200 \\
 \Phi_k &= 605 \text{ W}
 \end{aligned}$$

De specifieke koelbehoefte is:

$$\Phi_{k,sp} = \Phi_k / A_{vl} = 605 / (3,6 \times 5,4) = 31 \text{ W/m}^2$$

2.2 Systeemkeuze bij mechanische koeling

Uit tabel 1 blijkt dat voor deze specifieke koelbehoefte een VAV-systeem een geschikte keuze is, omdat dit systeem ten minste een even groot specifiek koelvermogen kan leveren.

tabel 1 specifiek koelvermogen in W/m^2 vloeroppervlakte van verschillende systemen en combinaties van systemen bij verschillende ruimtehoogten

systeem	ventilatievoud h ⁻¹	ruimtehoogte in meter						
		2,4 Δθ = 6 °C	2,7 8 °C	3,0 10 °C	3,5 12 °C	4,0 12 °C	5,0 12 °C	6,0 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 ruimtefunctie - 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.

Uit deze tabel is verder af te leiden dat voor een ruimtehoogte van 2,7 m met een VAV-systeem een ventilatievoud van ruim 4 nodig is. Deze uitkomst is als volgt te verifiëren.

Wordt de ruimte gekoeld met lucht van 17°C ($\Delta\theta = 8^\circ\text{C}$, zie tabel 2), dan moet met dit systeem een hoeveelheid lucht worden toegevoerd van:

tabel 2 maximaal temperatuurverschil bij toevoer van gekoelde lucht

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

$$q_v = \Phi_k / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) = 605 / (1,2 \cdot 1000 \cdot 8) = 0,063 \text{ m}^3/\text{s} = 227 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dit komt overeen met een ventilatievoud van:

$$n = q_v / V = 227 / (3,6 \times 5,4 \times 2,7) = 4,3 \text{ h}^{-1}$$

Dit is goed. De praktijk laat zien dat bij luchtkoeling het ventilatievoud bij voorkeur niet beneden de 2 moet liggen om een slechte luchtverdeling - met te grote temperatuurverschillen in de "leef-zone" - te voorkomen. Meer dan 10-voud geeft kans op tocht.

Een onnodig hoog ventilatievoud is aan de andere kant om energetische redenen ook niet wenselijk. Met een ventilatievoud van 2 wordt voor een kantoor al voldaan aan het Bouwbesluit (eis: $1,3 \text{ dm}^3/\text{s} \cdot \text{m}^2 = 4,7 \text{ m}^3/\text{h} \cdot \text{m}^2$).

Natuurlijke ventilatie

Zou de ruimte op natuurlijke wijze worden gekoeld, dan is de benodigde ventilatie en de oppervlakte van de raamopeningen te berekenen door uit te gaan van een temperatuurverhoging van 3 °C. Hieruit volgt een luchthoeveelheid van:

$$q_{v,nv} = \Phi_k / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) = 605 / (1,2 \cdot 1000 \cdot 3) = 0,17 \text{ m}^3/\text{s}$$

Het daarbij behorende ventilatievoud is:

$$n_{nv} = q_{v,nv} \cdot 3600 / V = 0,17 \cdot 3600 / (3,6 \times 5,4 \times 2,7) = 11,6 \text{ h}^{-1}$$

Dit is voor verblijfsruimten te hoog en kan tot tochtklachten leiden. Zou toch worden besloten om deze ruimte natuurlijk te koelen dan zou, volgens de eerste benadering en uitgaande van raamopeningen op de zelfde hoogte in de gevel die zowel voor toevoer als afvoer dienen en uitgaande van een lichtsnelheid van 0,4 m/s, daarvoor een totale oppervlakte aan raamopeningen nodig zijn van:

$$A_{\text{tot}} = 1,4 \cdot 2 \cdot q_v / v = 1,4 \cdot 2 \cdot 0,17 / 0,4 = 1,2 \text{ m}^2$$

Een iets nauwkeuriger benadering is mogelijk met:

$$A_{o,\text{tot}} = y \cdot \Phi_k / (130 \cdot \Delta\theta^{1,5} \cdot h^{0,5}) = 2,4 \cdot 605 / (130 \cdot 3^{1,5} \cdot 2,7^{0,5}) = 1,3 \text{ m}^2$$

Invloed glaspercentage en type zonwering op koelbehoefte

Bij andere glaspercentages en binnenzonwering vinden we koelbehoeften en ventilatievouden zoals in het volgende overzicht. Hieruit blijkt dat hoge glaspercentages in combinatie met binnenzonwering dramatische gevolgen heeft voor de koelbehoefte en daarmee voor de systeemkeuze, zeker als je bedenkt dat een ventilatievoud van meer dan 10 tot tochtklachten kan leiden.

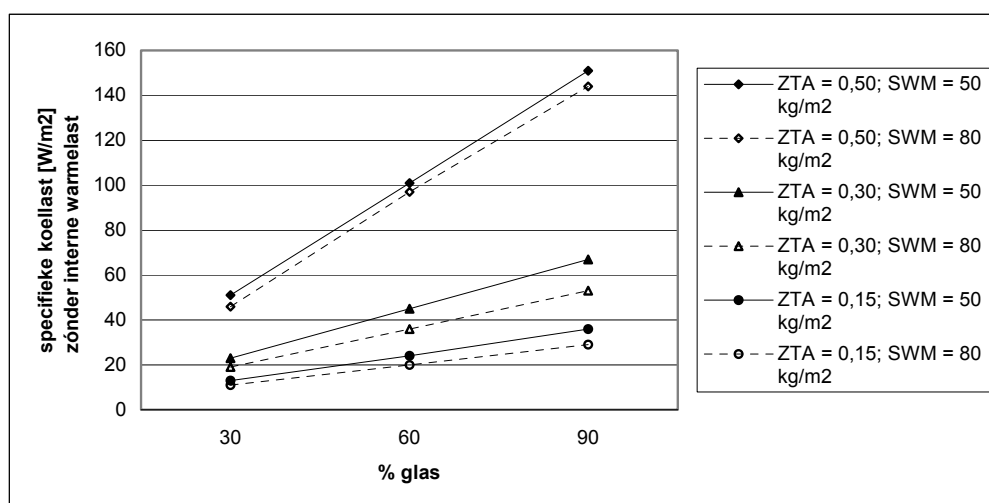
	buitenzonwering			binnenzonwering		
	ZTA = 0,15			ZTA = 0,5		
glaspercentage -->	30	60	90	30	60	90
$\Phi_{z,gl}$	148	296	444	899	1798	2697 W
$\Phi_{tr,gl}$	26	52	78	26	52	78
$\Phi_{z,w}$ (borstw)	11	7	2	11	7	2
$\Phi_{z,w}$ (dak)	-53	-53	-53	-53	-53	-53
Φ_{inf}	16	16	16	16	16	16
Φ_p	160	160	160	160	160	160
Φ_l	97	97	97	97	97	97
Φ_a	200	200	200	200	200	200
Φ_k	605	775	944	1356	2255	3197 W
$\Phi_{k,sp}$	31	40	49	70	116	164 W/m ²
$n_{koeling}$ ($\Delta\theta=8^\circ\text{C}$)	4,3	5,5	6,7	9,7	16,1	22,9 h ⁻¹
n_{nv} ($\Delta\theta=3^\circ\text{C}$)	11,5	14,7	17,9	25,9	42,9	60,9 h ⁻¹

Invloed op systeemkeuze

Uit het voorgaande overzicht en de tabel blijkt dat een VAV-systeem een verantwoorde keuze is, mits buitenzonwering wordt toegepast en het glaspercentage niet meer is dan ca. 60%. Bij toepassing van 90% glas is een inductie- of een ventilatorconvactor-systeem nodig. Ook voldoet de combinatie VAV + koelplafond. Verder blijkt uit tabel 1 dat bij 30% glas met binnenzonwering ten minste een inductie- of een ventilatorconvactor-systeem nodig is. Bij meer dan 30% glas en binnenzonwering is er geen systeem dat voor een comfortabel binnenklimaat kan zorgen.

Invloed glaspercentage, type zonwering, interne belasting en specifiek werkzame massa

De interne warmtebelasting is in dit voorbeeld totaal 23,5 W/m². Voor een kantoorgebouw dat de opdrachtgever zelf gaat gebruiken, kan dit een reële waarde zijn. Bij een kantoorgebouw voor "de markt" met onbekende bezetting of bedoeld voor flexibel gebruik wordt meestal met een interne belasting van 40 W/m² gerekend. Voor het kantoorvertrek uit het voorbeeld zijn meer berekeningen gemaakt met verschillende interne belastingen, glaspercentages, typen zonwering en specifiek werkende massa's. De resultaten - uitgedrukt in specifieke koelbehoefte - staan in de volgende tabel en zijn in figuur 2 grafisch weergegeven.

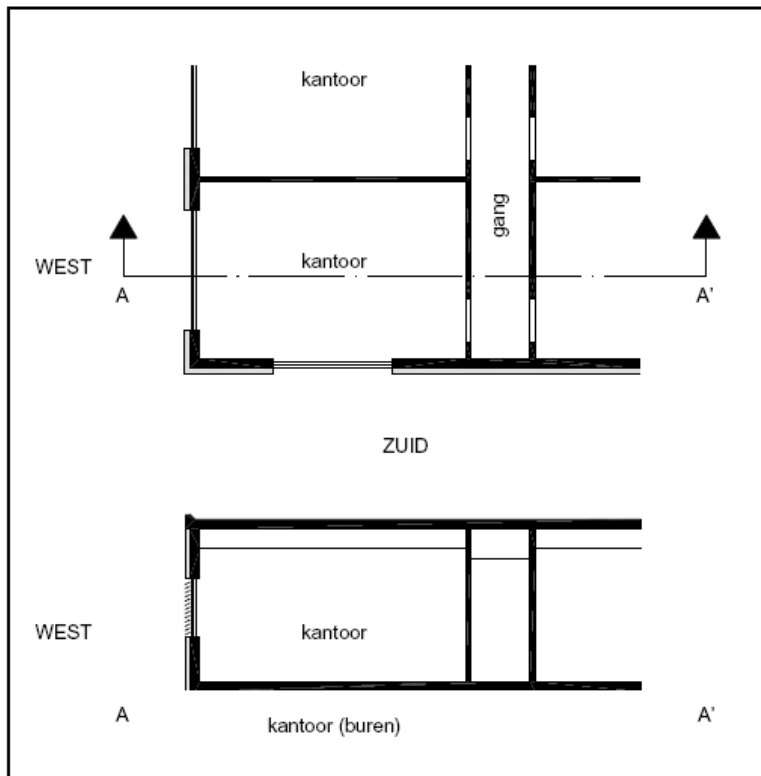


figuur 2 invloed zonwering, glaspercentage en gebouwmassa op koellast

interne belasting W/m ²	SWM kg/m ²	glas% -->	buitenzonwering ZTA = 0,15			zonwerend glas ZTA = 0,3			binnenzonwering ZTA = 0,5			W/m ²
			30	60	90	30	60	90	30	60	90	
0	50		13	24	36	23	45	67	51	101	151	
	80		11	20	29	19	36	53	46	97	144	
20	50		33	44	56	43	65	87	71	121	171	
	80		31	40	49	39	56	73	66	117	164	
35	50		48	57	71	58	80	102	86	136	186	
	80		46	55	64	54	71	88	81	132	179	
50	50		63	74	86	73	95	117	101	151	201	
	80		61	70	79	69	86	103	96	147	194	

2.3 Voorbeeld 2: koelbehoefte hoekvertrek

Voor dit voorbeeld wordt het kantoorvertrek uit voorbeeld 1 genomen, met als verschil dat de zuidzijde een gevel is met een raam dat net zo groot is als het raam in de westgevel, zie figuur 3.



figuur 3 voorbeeld 2, hoekvertrek

Als berekeningstijdstip wordt daarom 16 uur zonnetijd genomen. De belasting via de zuidgevel is op dat moment

$$\begin{aligned}\Phi_{z,gl} &= z \cdot A_{gl} \cdot ZTA \cdot q_{conv} \cdot f_d = 1 \cdot 2,9 \cdot 0,15 \cdot 310 \cdot 0,8 = 108 \text{ W} \\ \Phi_{tr,gl} &= U \cdot A_{gl} \cdot (\theta_e - \theta_i) = 3,0 \cdot 2,9 \cdot (28 - 25) = 26 \\ \Phi_{z,w} &= a \cdot A_{wi} \cdot q_w = 0,7 \cdot (2,7 \cdot 5,4 - 2,9) \cdot 1,6 = 13 \\ &145 \text{ W}\end{aligned}$$

De totale koelbehoefte van de ruimte wordt daardoor:

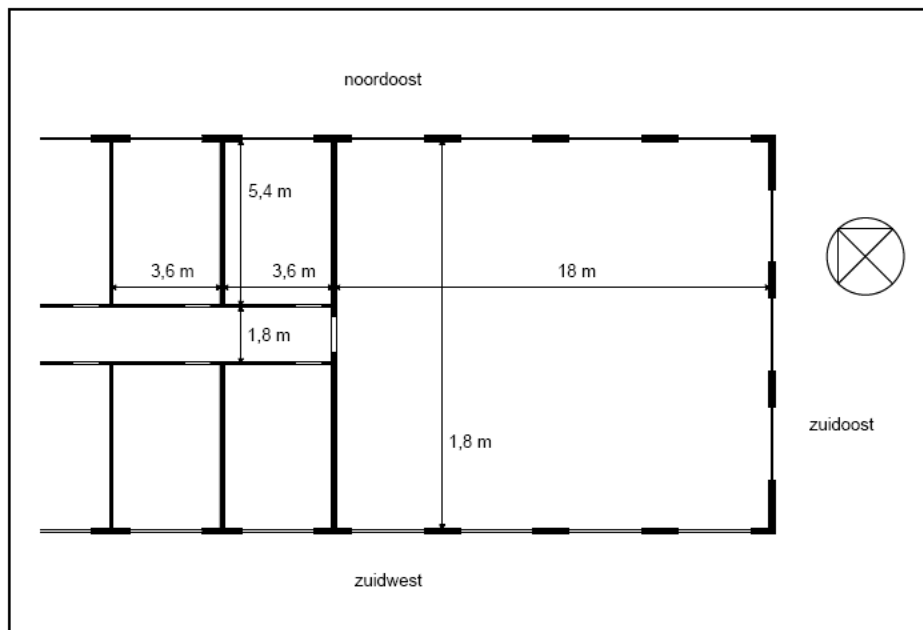
$$\Phi_k = 605 + 145 = \mathbf{750 \text{ W}}$$

En de specifieke koelbehoefte:

$$\Phi_{k,sp} = \Phi_k / A_{vl} = 750 / (3,6 \times 5,4) = \mathbf{39 \text{ W/m}^2}$$

2.4 Voorbeeld 3, Koelbehoefte kantoortuin met ramen op 3 oriëntaties

Dit voorbeeld betreft een ruimte op de bovenste laag van een kantoorgebouw, zie figuur 4.



figuur 4 voorbeeld 3, kantoorruimte

De ruimte heeft, mede door de vele ramen, een geringe Specifiek Werkende Massa (SWM=50 kg/m²). Het gesloten gedeelte van de buitenmuur heeft een massa van 200 kg/m². Het dak is van beton met daaronder een verlaagd plafond. De geveloriëntaties zijn NO, ZO en ZW. Aan de NW-zijde grenst de kantoorruimte aan een verkeersruimte. Verdere gegevens zijn:

netto hoogte	2,7 m
lengte NO-gevel	18,0 m
„ ZO-gevel	12,6 m
„ ZW-gevel	18,0 m
glasoppervlakte NO	9,0 m ²
„ ZO	12,0 m ²
„ ZW	18,0 m ²
beglazing	speciaal zonwerend glas ZTA=0,37 U=1,8 W/(m ² K)
bezetting	18 personen
verlichting	“TL”-verlichting (luchtafvoer via armaturen)
apparatuur	18 PC's en 3 printers
ontwerp-binnentemperatuur	25 °C
ontwerp-buitentemperatuur	28 °C
infiltratie	0,3-voud

Omdat er ramen op verschillende oriëntaties zitten moet de koelbehoefte voor meerdere tijdstippen worden berekend. De "constante" delen van de koelbehoefte zijn bij elkaar genomen:

$$\begin{aligned}
 \Phi_{\text{tr,gl, gevel}} &= U \cdot A_{\text{gl}} \cdot (\theta_e - \theta_i) = 1,8 \cdot (9+12+18) \cdot (28-25) = 211 \\
 \Phi_{\text{z,w, gevel NO}} &= a \cdot A_{\text{wi}} \cdot q_w = 0,7 \cdot (18,0 \cdot 2,7 - 9) \cdot (-1,1) = -30 \\
 \Phi_{\text{z,w, gevel ZO}} &= 0,7 \cdot (12,6 \cdot 2,7 - 12) \cdot 1,6 = 25 \\
 \Phi_{\text{z,w, gevel ZW}} &= 0,7 \cdot (18,0 \cdot 2,7 - 18) \cdot 6,8 = 146 \\
 \Phi_{\text{z,w, dak}} &= 0,7 \cdot 18,0 \cdot 12,6 \cdot (-3,9) = -619 \\
 \Phi_{\text{inf}} &= 0,3 \cdot 18 \cdot 12,6 \cdot 2,7 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot (28-25) / 3600 = 184 \\
 \Phi_p &= 18 \cdot 80 = 1440 \\
 \Phi_l &= 5 \cdot 18 \cdot 12,6 = 1134 \\
 \Phi_a &= (18 \cdot 100 + 3 \cdot 100) = 2100 \\
 \Phi_{\text{k, vast}} &= \mathbf{4591 \text{ W}}
 \end{aligned}$$

De variabele delen van de koelbehoefte zijn:

$$\begin{aligned}
 \Phi_{\text{z,gl, NO}} &= z \cdot A_{\text{gl}} \cdot ZTA \cdot q_{\text{conv}} \cdot f_d = 1 \cdot 9 \cdot 0,37 \cdot 330 \cdot f_d = 1099 \cdot f_d \\
 \Phi_{\text{z,gl, ZO}} &= 1 \cdot 12 \cdot 0,37 \cdot 450 \cdot f_d = 1998 \cdot f_d \\
 \Phi_{\text{z,gl, ZW}} &= 1 \cdot 18 \cdot 0,37 \cdot 450 \cdot f_d = 2997 \cdot f_d
 \end{aligned}$$

Met de f_d -waarden uit de tabel leidt dit voor verschillende tijdstippen tot het volgende overzicht:

		8 uur	9 uur	10 uur	13 uur	16 uur
$\Phi_{\text{z,gl, NO}}$	$= 1099 \cdot f_d$	1099	989	879	659	549
$\Phi_{\text{z,gl, ZO}}$	$= 1998 \cdot f_d$	1399	1798	1998	1598	1199
$\Phi_{\text{z,gl, ZW}}$	$= 2997 \cdot f_d$	899	899	1199	2098	2997
$\Phi_{\text{k, variabel}}$		3397	3686	4076	4355	4745
$\Phi_{\text{k, constant}}$		4591	4591	4591	4591	4591
$\Phi_{\text{k, totaal}}$		7988	8277	8667	8946	9336 W

De maximale koelbehoefte is 9336 W. De maximale specifieke koelbehoefte wordt daardoor:

$$\Phi_{\text{k,sp}} = \Phi_{\text{k}} / A_{\text{vl}} = 9336 / (18 \times 12,6) = \mathbf{41 \text{ W/m}^2}$$

2.5 Systeemkeuze

Uit tabel 1 blijkt dat een VAV-systeem een geschikte keuze is en dat voor een ruimtehoogte van 2,7 m een ventilatievoud van bijna 6 nodig is. Deze uitkomst is als volgt te verifiëren. Bij koeling met lucht van 17 °C ($\Delta\theta = 8$ °C, zie tabel 2) moet met dit systeem een hoeveelheid lucht worden toegevoerd van:

$$q_v = \Phi_{\text{k}} / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) = 9336 / (1,2 \cdot 1000 \cdot 8) = 0,97 \text{ m}^3/\text{s} = 3500 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dit komt neer op een ventilatievoud van:

$$n = q_v / V = 3500 / (18 \times 12,6 \times 2,7) = 5,7 \text{ h}^{-1}$$

De praktijk laat zien dat bij luchtkoeling het ventilatievoud meer dan 2 moet zijn om een slechte luchtverdeling en grote temperatuurverschillen in de "leefzone" te voorkomen. Meer dan 10-voud geeft kans op tocht. De berekende 5,7-voud voldoet dus.

Koelbehoefteberekening grote ruimten

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

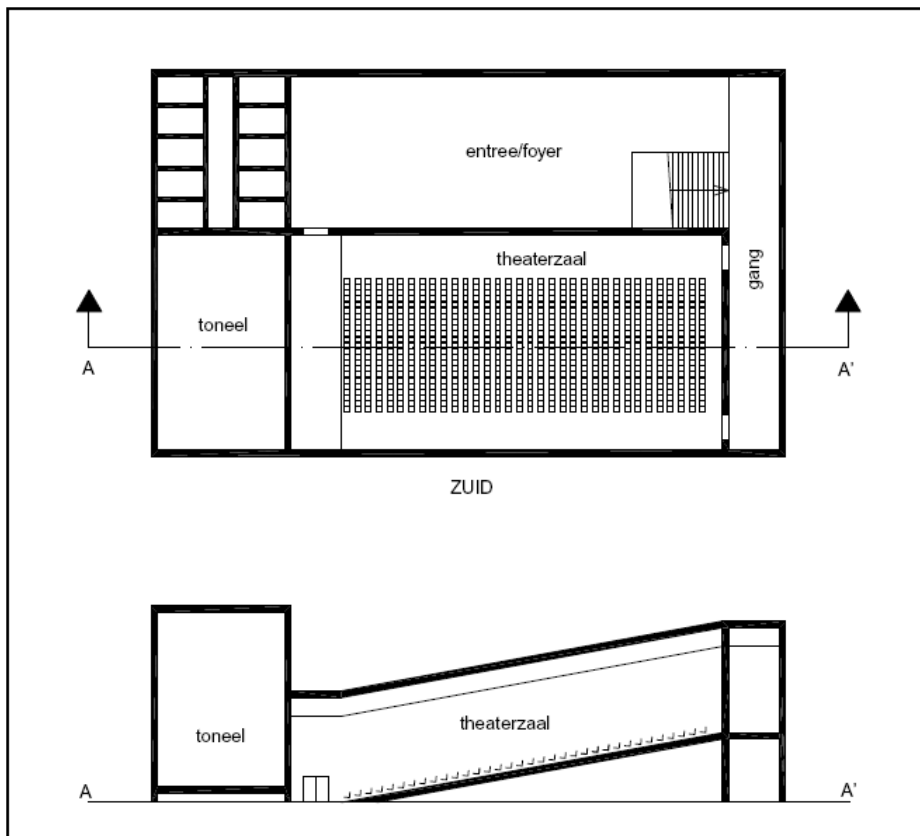
1 Inleiding

Aan de hand van de in een andere module besproken rekenmethode worden enkele voorbeelden weergegeven van de berekening van de koelbehoefte van grote ruimten.

2 Voorbeelden

2.1 Voorbeeld 1, koelbehoefte theaterzaal

Dit voorbeeld betreft een middelzwaar gebouwde theaterzaal zonder ramen, zie figuur 1.



figuur 1 theaterzaal

De SWM is 70 kg/m^2 . Eén lange wand is een buitenwand met zuid-oriëntatie en een massa van 200 kg/m^2 . De andere lange wand grenst aan de entree/foyer. Een korte wand grenst aan een brede gang, de andere aan het toneelgebouw. Verondersteld wordt dat de temperatuur in de foyer, de gang en het toneelgebouw gelijk zijn aan de temperatuur in de zaal. Het dak, de wanden en de vloer zijn van beton. De belendende bebouwing is ongeveer even hoog als de zaal en werpt daardoor geen schaduw op het dak. De verlichting is in een verlaagd plafond

aangebracht. Het Programma van Eisen geeft aan dat de zaal overdag langere tijd gebruikt moet kunnen worden. Het toneelgebouw heeft zijn eigen klimaatinstallatie.

Verdere gegevens:

netto hoogte	8,0 m
zaalbreedte	20,0 m
zaaldiepte	40,0 m
bezetting	maximaal 600 personen
verlichting	halogeenspots 30 W/m ² , 20% v.d. tijd in gebruik
apparatuur	geen
ontwerp-binnentemperatuur	25 °C
ontwerp-buitentemperatuur	28 °C
infiltratie	nihil
maximale gebruiksduur	4 uur

Hoewel een lange buitenwand op het zuiden ligt, zal de maximale koelbehoefte op een ander tijdstip vallen dan het tijdstip dat de tabel vermeldt (13 uur zonnetijd). Omdat in die gevel geen ramen zitten overheerst de interne belasting waardoor het tijdstip van de maximale koelbehoefte niet te bepalen is. De maximale koelbehoefte is:

$$\begin{aligned}\Phi_{z,w} \text{ (wand)} &= A_{wi} \cdot q_w = 0,7 \cdot 40 \cdot 8 \cdot 4,0 = 627 \text{ W} \\ \Phi_{z,w} \text{ (dak)} &= 0,7 \cdot 40 \cdot 20 \cdot (-3,9) = -2184 \\ \Phi_p &= 600 \cdot 80 = 48000 \\ \Phi_l &= 0,2 \cdot 30 \cdot 20 \cdot 40 = 4800 \\ \Phi_k &= 51243 \text{ W}\end{aligned}$$

En de specifieke koelbehoefte:

$$\Phi_{k,sp} = \Phi_k / A_{vi} = 51243 / (20 \times 40) = 64 \text{ W/m}^2$$

2.2 Systeemkeuze

Uit tabel 9 blijkt dat een CAV-systeem een verantwoorde keuze is. Echter bij theaterzalen past men meestal een vorm van verdringingsventilatie toe waarbij de lucht laag, via de fauteuilpoten of via roosters onder de fauteuils, wordt toegevoerd. De toevoertemperatuur mag in dat geval niet meer dan 4 °C onder de zaaltemperatuur liggen. De temperatuur mag boven hoofdhoogte toenemen tot boven de gewenste temperatuur, tenzij de zaal een balkon heeft. In dit voorbeeld is er geen balkon. Bij de berekening van de luchthoeveelheid mag daarom worden uitgegaan van een temperatuurverhoging van 4 °C in de leefzone en 4 °C in de ruimte daarboven, totaal dus 8 °C (dit is een aanname!). De toe te voeren luchthoeveelheid wordt daardoor:

$$q_v = \Phi_k \cdot 3600 / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) = 51243 / (1,2 \cdot 1000 \cdot 8) = 5,3 \text{ m}^3/\text{s} = 19216 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dit komt overeen met een ventilatievoud van:

$$n = q_v / V = 19216 / (40 \cdot 20 \cdot 8) = 3,0 \text{ h}^{-1}$$

2.3 Invloed warmteaccumulatie op systeemkeuze

In de berekening is de warmteaccumulatie van wanden en vloer buiten beschouwing gelaten. Dit zou anders moeten. Omdat het dak en een lange wand aan de buitenlucht grenzen kan

worden aangenomen dat de massa hiervan niet meedoet in de accumulatie. De accumulerende oppervlakte is daardoor:

$$A_w = 40 \cdot 20 + (40 + 20 + 20) \cdot 8 = 1440 \text{ m}^2$$

Wordt aangenomen dat de oppervlaktemperatuur van de vloer en de wanden gedurende de gebruikperiode gemiddeld 1°C lager ligt dan de luchttemperatuur in de zaal, dan is de warmte-belasting als gevolg van warmteaccumulatie:

$$\Phi_{acc} = \alpha \cdot A_w (\theta_{opp} - \theta_i) = 5,5 \cdot 1440 \cdot (-1) = -7920 \text{ W}$$

Bij een gebruiksduur van maximaal 4 uur ($dt = 14400 \text{ s}$) en een temperatuurverhoging van de massa van 1°C ($\theta_1 - \theta_2 = -1^\circ\text{C}$) is de maximaal mogelijke warmteaccumulatie:

$$\Phi_{acc, max} = SWM \cdot A_w \cdot c (\theta_1 - \theta_2) / dt = 70 (2 \cdot 40 \cdot 20 + (40 + 20 + 20) \cdot 8) \cdot 840 \cdot (-1) / 14400 = -9147 \text{ W}$$

Deze waarde ligt hoger dan de berekende Φ_{acc} , zodat mag worden verondersteld dat de berekende Φ_{acc} reëel is. De koelbehoefte wordt dan:

$$\Phi_k = 51243 - 7920 = 43403 \text{ W}$$

En de toe te voeren luchthoeveelheid:

$$q_v = \Phi_k \cdot 3600 / (\rho \cdot c \cdot \Delta t) = 43403 / (1,2 \cdot 1000 \cdot 8) = 4,5 \text{ m}^3/\text{s} = 16276 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dit komt overeen met een ventilatievoud van:

$$n = q_v / V = 16276 / (40 \cdot 20 \cdot 8) = 2,5 \text{ h}^{-1}$$

Voor luchtverversing is ten minste nodig:

$$600 \cdot 30 = 18000 \text{ m}^3/\text{h}$$

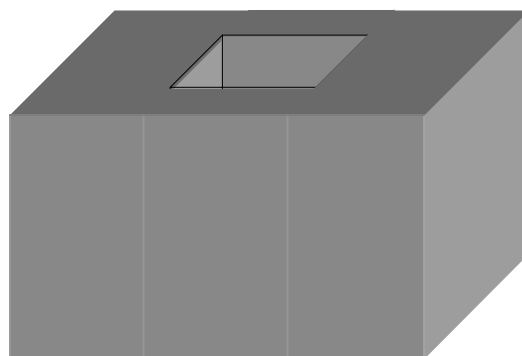
Dit komt neer op:

$$n = 18000 / (40 \cdot 20 \cdot 8) = 2,8 \text{ h}^{-1}$$

De luchthoeveelheid die nodig is om de zaal te koelen is onvoldoende om de lucht te verversen, zodat de luchtverversing in dit geval maatgevend is. Het in rekening brengen van de warmteaccumulatie heeft geen invloed op de systeemkeuze, immers dat systeem ligt op grond van ervaringen min of meer vast. Wel blijkt, gezien het voorgaande, dat minder gekoelde lucht hoeft te worden toegevoerd.

2.4 Voorbeeld 2, koelbehoefte atrium

Het atrium vormt de verkeersruimte/wachtruimte van een raadhuis, zie figuur 2.



Atrium, alleen glasdak!

figuur 2 atrium

De transparantie van het atriumdak is 90%. Verdere gegevens:

lengte x breedte x hoogte	20 x 10 x 20 m
dak	enkel glas ($U=6,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$), geen zonwering ($ZTA=0,85$), massa verwaarloosbaar
binnengevel	lichte wanden, wanddikte 0,08 m, $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$ (gemiddeld)
vloer	beton, vloerdikte 0,25 m, $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$
bezetting	40 personen (80 W/persoon)
verlichting	10 W/m ²
apparatuur	geen
ontwerp-binnentemperatuur	25 °C
ontwerp-buitentemperatuur	28 °C
infiltratie	0,2-voud

De specifiek werkzame massa van het atrium is:

$$SWM = \Sigma A \cdot d \cdot \rho / \Sigma A = (2 \cdot 20 \cdot 10 + 2 \cdot 20 \cdot 20) \cdot 0,04 \cdot 1200 + 20 \cdot 10 \cdot 0,06 \cdot 2000 / (2 \cdot 20 \cdot 20 + 4 \cdot 20 \cdot 10) = 51 \text{ kg/m}^2$$

De ruimte valt daardoor in de categorie "lichte bouw".

Door het horizontale glasoppervlak treedt de maximale belasting op om ongeveer 13 uur zonnetijd (zie tabel). De koelbehoefte van het atrium is dan:

$\Phi_{z,gl}$	$= z \cdot A_{gl} \cdot ZTA \cdot q_{conv}$	$= 1 \cdot 200 \cdot 0,85 \cdot 590 =$	100340 W
$\Phi_{tr,gl}$	$= U \cdot A_{gl} \cdot (\theta_e - \theta_i)$	$= 6,0 \cdot 200 \cdot (28 - 25) =$	3600
Φ_{inf}	$= n \cdot V \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta\theta / 3600$	$= 0,2 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 20 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot (28 - 25) / 3600 =$	800
Φ_p	$= 40 \cdot 80$	$=$	3200
Φ_l	$= 10 \cdot 20 \cdot 10$	$=$	<u>2000</u>
		$\Phi_k =$	109940 W

En de specifieke koelbehoefte:

$$\Phi_{k,sp} = \Phi_k / A_{vl} = 109940 / (20 \times 10) = 550 \text{ W/m}^2$$

2.5 Systeemkeuze bij mechanische koeling

Uit tabel 9 blijkt dat voor ruimten van 4 m en hoger alleen "zuivere verdringing" aan deze specifieke koellast kan voldoen. De voetnoot vermeldt echter dat dit systeem alleen wordt toegepast bij bijzondere ruimten, zoals voor de fabricage van micro-elektronische componenten. Voor een atrium met de aangegeven functie is het geen reële optie. Wel voorstelbaar is een systeem waarbij gekoelde lucht met een hoge snelheid via nozzles wordt ingeblazen. Wordt hierbij een temperatuurverschil van 10 °C genomen dan is de toe te voeren luchthoeveelheid:

$$Q_{v, \Delta\theta=10^\circ\text{C}} = 109940 / (1200 \cdot 10) = 9,2 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (32982 m}^3/\text{h)}$$

En het ventilatievoud:

$$n_{\Delta\theta=10^\circ\text{C}} = 32982 / (20 \cdot 10 \cdot 20) = 8,2 \text{ h}^{-1}$$

Voor een ruimte voor langdurig verblijf - waarvoor als vuistregel $2 < n < 10$ geldt - is dit goed, voor een verkeersruimte/wachtruimte is het meer dan goed.

Vindt de koeling volledig met lucht plaats, dan moeten de toe- en afvoerkanalen een diameter hebben van **1250 mm**, of een rechthoekige doorsnede van **800/1600 mm** (zie tabel 1 en 2).

tabel 1 luchtkanalen, afmetingen, debiet en koelvermogen

lucht- koelvermogen		hoofd- kanaalkanaal		diameter				te ventileren vloeroppervlakte							
				aansluit- ventilatievoud				bij h = 2,7 m				bij h = 3,0 m			
				3 4 5 6				3 4 5 6				bij Δθ van			
				m ² m ² m ² m ²				m ² m ² m ² m ²				8°C 10°C			
12°C	m ³ /s	m ³ /h	mm	mm	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	kW	kW
0,05		170	100	125	21	16	14	11	19	14	11	9	0,45	0,56	
															0,68
0,07		260	125	160	33	25	20	16	29	22	18	15	0,70	0,88	
															1,06
0,12		430	160	200	54	40	32	27	48	36	29	24	1,15	1,44	
															1,73
0,19		680	200	250	84	63	50	42	75	57	45	38	1,8	2,3	2,7
0,29		1060	250	315	130	100	80	65	118	88	71	59	2,8	3,5	4,2
0,55		1960	315	400	240	180	145	120	217	163	130	109	5,3	6,6	7,9
0,88		3200	400	500	400	300	230	200	350	260	210	180	7,7	9,6	12
1,37		4900	500	630	600	460	370	300	550	410	330	270	13	17	20
2,65		9500	630	1000	1150	880	700	590	1060	800	640	530	25	32	38
5,00		18000	800	1250	2200	1670	1300	1100	2000	1500	1200	1000	48	60	72
7,90		28000	1000	1600	3500	2600	2100	1750	3100	2400	1900	1600	75	94	113
12,30		44000	1250	2000	5400	4100	3300	2700	4900	3700	2900	2500	118	147	177
23,10		83000	1600	2500	10200	7700	6200	5100	9200	6900	5500	4600	222	278	333

tabel 2 rechthoekige luchtkanalen met gelijke hydraulisch equivalente diameter

rond kanaal	rechthoekig kanaal				
mm	hoogte x breedte in mm				
100	70 x 170 *)				
125	80 x 170 *)				
160	150 x 150	125 x 175	100 x 200		
200	200 x 200	150 x 250	125 x 300	100 x 400	
250	250 x 250	200 x 300	175 x 350	150 x 400	125 x 500
315	300 x 300	250 x 350	200 x 400	175 x 500	150 x 600
400	400 x 400	250 x 500	200 x 800		
500	500 x 500	350 x 700	300 x 800	250 x 1000	
630	600 x 600	500 x 700	400 x 800	350 x 1000	300 x 1200
800	800 x 800	500 x 1000	400 x 1600		
1000	1000 x 1000	700 x 1400	500 x 2000		
1250	1200 x 1200	800 x 1600	600 x 2400		
1600	1600 x 1600	1200 x 2400	800 x 3200		

*) bedoeld voor opname in vloeren (o.a. woningen), anders rond kanaal gebruiken

Gezien het grote ventilatievoud kan het gunstiger zijn om een "lucht/water"-systeem toe te passen zoals ventilatorconvectoren. Of dat hier ook zo is, is niet direct te zeggen omdat zo'n systeem- keuze tot gevolg heeft dat een aantal zeer grote apparaten in het atrium komen. Echter ook voor een "volledig lucht"-systeem is veel installatieruimte nodig. De opstelling van de luchtbehandelingskast vraagt een ruimte met een oppervlakte **90 m²** en een hoogte van **4,0 m** (zie tabel 3).

tabel 3 globale afmetingen luchtbehandelingsruimten

debiet	alleen	luchttoevoer en -afvoer plus			hoogte
zone/cluster	luchtafvoer	FV	FVK	FVKB*)	
m ³ /h	m ²	m ²	m ²	m ²	m ¹
10.000	20	30	50-60	60-70	2,5
25.000	25	35-40	65-80	85-100	3,2
50.000	35-40	50-60	90-110	120-140	4,0
75.000	40-55	65-80	120-145	155-180	4,5
100.000	50-70	80-100	150-180	190-220	5,0
150.000	70-100	110-140	200-250	260-300	6,0

*) F=filteren V=verwarmen K=koelen B=bevochtigen

2.6 Natuurlijke ventilatie

In de Nederlandse situatie is het gebruikelijker om atria op natuurlijke wijze te koelen. Het klimaat in het atrium wordt als "aanvaardbaar" beschouwd als de temperatuur maximaal 5 °C hoger wordt dan de buitentemperatuur. De benodigde luchthoeveelheid is dan:

$$q_{v, \Delta\theta=5^\circ\text{C}} = 109940 / (1200.5) = 18,3 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (65964 m}^3/\text{h)}$$

En het ventilatievoud:

$$n_{\Delta\theta=5^\circ\text{C}} = 65964 / (20 \cdot 10 \cdot 20) = 16,5 \text{ h}^{-1}$$

Voor een ruimte voor langdurig verblijf zou dit ventilatievoud onaanvaardbaar hoog zijn. Voor een verkeersruimte/wachtruimte is het acceptabel, mits voorzieningen zijn getroffen om te voorkomen dat mensen op de tocht komen te zitten.

De luchtsnelheid in ventilatieopeningen ligt meestal tussen 0,5 en 1,5 m/s. Als vuistregel wordt vaak 1,0 m/s genomen. Toevoer- en afvoeropeningen kunnen worden gecombineerd tot één opening in het dakvlak. Deze opening moet dan - uitgaande van een luchtsnelheid van 1 m/s - bij benadering een totale oppervlakte hebben van ten minste:

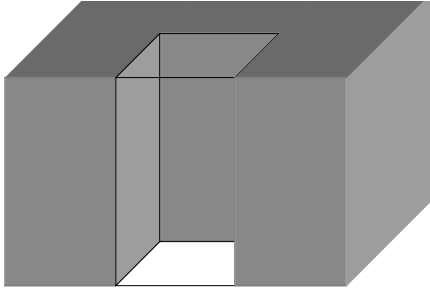
$$A_{\text{tot}} = 1,2 \cdot 2 \cdot q_v / v = 2,4 \cdot 18,3 / 1 = 43,9 \text{ m}^2$$

Een betere benadering is mogelijk met behulp van het in paragraaf 2.2.5. afgeleide model waarbij voor de situeringsfactor y de waarde 2,2 kan worden genomen (vergelijking 20):

$$A_{o,\text{tot}} = y \cdot \Phi_k / (130 \cdot \Delta\theta^{1,5} \cdot h^{0,5}) = 2,2 \cdot 109940 / (130 \cdot 5^{1,5} \cdot 20^{0,5}) = 37,2 \text{ m}^2$$

2.7 Voorbeeld 3, koelbehoefte serre

De serre in dit voorbeeld vormt de entree van een kantoorgebouw met daarin een afgeschermd informatiebalie en een zitje voor wachtende bezoekers, zie figuur 3.



Figuur 3 Serre

De transparantie van het serredak is 90%. De serregevel is geheel transparant ("structural glazing"). Verdere gegevens:

lengte x breedte x hoogte	20 x 10 x 20 m
oriëntatie gevel	ZO
gevel en dak	enkel glas ($U=6,0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$), geen zonwering ($ZTA=0,85$) massa verwaarloosbaar
binnengevel	50% glas, massa verwaarloosbaar 50% steenachtig materiaal, wanddikte 0,12 m, $\rho = 1200 \text{ kg/m}^3$
vloer	beton, vloerdikte 0,25 m, $\rho = 2000 \text{ kg/m}^3$
bezetting	40 personen (80 W/persoon)
verlichting	10 W/m ²
apparatuur	geen
ontwerp-buitentemperatuur	28 °C
ontwerp-binnentemperatuur	25 °C bij mechanische koeling $t_e +5 \text{ °C}$ bij natuurlijke koeling met buitenlucht
infiltratie	0,3-voud

In eerste instantie wordt uitgegaan van enkel glas zonder zonwering ($ZTA = 0,85$). De berekening wordt herhaald voor isolerend/zonwerend glas ($ZTA = 0,38$). Om te weten welke tabelwaarden bij de berekening moeten worden gebruikt moet eerst de specifiek werkzame massa bekend zijn:

$$SWM = \Sigma A \cdot d \cdot \rho / \Sigma A = (2 \cdot 0,5 \cdot 20 + 0,5 \cdot 20 \cdot 20 + 20 \cdot 10) \cdot 0,06 \cdot 2000 / (2 \cdot 20 \cdot 20 + 4 \cdot 20 \cdot 10) = 45 \text{ kg/m}^2$$

De ruimte valt daardoor in de categorie "lichte bouw". Omdat de serre een ZO-oriëntatie heeft mag worden aangenomen dat de maximale belasting om 10 uur zonnetijd optreedt (zie tabel).

De koelbehoefte is op dat moment:

$\Phi_{z,gl,gevel} = z \cdot A_{gl} \cdot ZTA \cdot q_{conv} \cdot f_d = 1.400 \cdot 0,85 \cdot 450 \cdot 1 =$	153000 W
$\Phi_{z,gl,dak} = z \cdot A_{gl} \cdot ZTA \cdot q_{conv} \cdot f_d = 1.200 \cdot 0,85 \cdot 590 \cdot 0,8 =$	80240
$\Phi_{tr,gl} = U \cdot A_{gl} \cdot (\theta_e - \theta_i) = 6,0 \cdot (400 + 200) \cdot (28 - 25) =$	10800
$\Phi_{inf} = n \cdot V \cdot p \cdot c \cdot \Delta\theta / 3600 = 0,3 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 20 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot (28 - 25) / 3600 =$	1200
$\Phi_p = 40 \cdot 80 =$	3200
$\Phi_l = 10 \cdot 20 \cdot 10 =$	2000
$\Phi_k =$	250440 W

En de specifieke koelbehoefte:

$$\Phi_{k,sp} = \Phi_k / A_{vl} = 250440 / (20 \times 10) = \mathbf{1252 \text{ W/m}^2}$$

Dit zijn voor mechanische koeling onwaarschijnlijk hoge waarden! In de Nederlandse situatie is het ook niet gebruikelijk om serres op deze manier te koelen. Zou mechanische koeling worden toegepast dan zou dit tot het volgende leiden.

2.8 Systeemkeuze bij mechanische koeling

Uit tabel 9 blijkt dat bij een specifieke koelbehoefte van 1252 W/m^2 en een hoogte van 4 m en hoger alleen "zuivere verdringing" in aanmerking komt en de gekoelde lucht in dat geval met een geringe snelheid via een geheel geperforeerd vlak (plafond, vloer of wand) moet worden toegevoerd en de gebruikte lucht via het tegenoverliggende vlak (ook geperforeerd) weer moet worden afgevoerd. Dit is voor een serre geen reële optie, temeer omdat de serregevel het beoogde stromingspatroon ernstig zou verstoren. Voorstelbaar is dat gekoelde lucht met een hoge snelheid, bij voorbeeld via nozzles, wordt toegevoerd. Wordt een temperatuurverschil van 10°C gekozen dan is de toe te voeren luchthoeveelheid:

$$q_{v, \Delta\theta=12^\circ\text{C}} = 250440 / (1200 \cdot 10) = 20,9 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (75132 m}^3/\text{h)}$$

En het ventilatievoud:

$$n_{\Delta\theta=12^\circ\text{C}} = 75132 / (20 \cdot 10 \cdot 20) = 18,8 \text{ h}^{-1}$$

Voor een ruimte voor langdurig verblijf - waarvoor als vuistregel $2 < n < 10$ geldt - zou dit ventilatievoud veel te hoog zijn, voor een verkeersruimte/wachtruimte is het acceptabel.

Voor de toevoer en afvoer van de berekende luchthoeveelheid zijn luchtkanalen nodig met een diameter van **1600 mm (!)** of met een rechthoekige doorsnede van **800/3200 mm** (zie tabel). Gezien het grote ventilatievoud zou het gunstiger kunnen zijn om een "lucht/water"-systeem toe te passen, zoals met ventilatorconvectoren. Of dat bij dit voorbeeld gunstiger is, is niet direct te zeggen, omdat voor dat systeem een aantal zeer grote en zeer opvallende apparaten in de serre zou moeten worden aangebracht. Om energetische redenen is het niet waarschijnlijk dat een atrium op een dergelijke manier geklimatiseerd wordt en het laat zien hoe noodzakelijk zonwering is.

2.9 Natuurlijke ventilatie

In de Nederlandse situatie is het gebruikelijker maar ook realistischer om zonbelaste serres op natuurlijke wijze te koelen. Het klimaat in de serre wordt in dat geval "aanvaardbaar" gevonden als de ruimtetemperatuur maximaal 5°C hoger wordt dan de buitentemperatuur. De benodigde luchthoeveelheid is dan:

$$q_{v, \Delta\theta=5^\circ\text{C}} = 250440 / (1200 \cdot 5) = 41,7 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (150264 m}^3/\text{h)}$$

En het ventilatievoud:

$$n_{\Delta\theta=5^\circ\text{C}} = 150264 / (20 \cdot 10 \cdot 20) = 37,6 \text{ h}^{-1}$$

Voor een ruimte voor langdurig verblijf zou dit onaanvaardbaar hoog zijn. Voor een verkeersruimte/wachtruimte is het acceptabel, mits voorzieningen zijn getroffen om te voorkomen dat mensen op de tocht komen te zitten.

Voor het effectief natuurlijk ventileren zijn toevoer- en afvoeropeningen nodig. Om de kans op tocht te beperken moeten de toevoeropeningen niet te laag zitten. Bij natuurlijke ventilatie ligt de luchtsnelheid in de openingen meestal tussen 0,5 en 1,5 m/s. Als vuistregel wordt vaak 1,0 m/s genomen. De gezamenlijke oppervlakte van de toevoeropeningen is dan bij benadering:

$$A = q_v / v = 41,7 / 1,0 = 41,7 \text{ m}^2$$

De toevoeropeningen kunnen het best over de breedte van de gevel worden verdeeld. Wordt het één grote opening, dan moet deze ten minste 2,1 m hoog zijn. De toevoeropening zijn afsluitbaar te maken met transparante jaloeziekleppen.

De afvoeropeningen moeten ook een gezamenlijke oppervlakte hebben van ten minste 41,7 m². Gezien de vorm van het dak kan het eventueel één opening zijn, bij voorbeeld 9,2 x 4,6 m.

Een nauwkeuriger berekening van de ventilatieopeningen is mogelijk met het in [3] afgeleide model (zie paragraaf 2.2.5.). Wordt voor de situeringsfactor y een waarde van 2,0 genomen dan volgt hieruit dat een gezamenlijke oppervlakte van:

$$A_{o,tot} = y \cdot \Phi_k / (130 \cdot \Delta\theta^{1,5} \cdot h^{0,5}) = 2 \cdot 250440 / (130 \cdot 5^{1,5} \cdot 20^{0,5}) = 77 \text{ m}^2$$

De toevoer- en afvoeropeningen krijgen daardoor elk een gezamenlijke oppervlakte van 38,5 m.

2.10 Invloed zonwerend glas op systeemkeuze koeling

Worden dak en gevel uitgevoerd in zonwerend glas - bij voorbeeld met ZTA = 0,38 - dan volgt hieruit een beduidend lagere koelbehoefte en andere luchthoeveelheden e.d., zie het volgende overzicht.

	<i>enkel glas</i>	<i>zonwerend glas</i>
ZTA	0,85	0,38
koelbehoefte Φ_k	250440	113012 W
specifieke koelbehoefte $\Phi_{k,sp}$	1252	565 W/m ²
mechanische koeling ($\Delta t=10^\circ\text{C}$)		
luchthoeveelheid q_v	20,9	9,4 m ³ /s
ventilatievoud bij n	18,8	8,5 h ⁻¹
diameter kanaal	1600	1250 mm
natuurlijke koeling ($\Delta t=5^\circ\text{C}$)		
luchthoeveelheid q_v	41,7	18,8 m ³ /s
ventilatievoud n	37,6	17,0 h ⁻¹
oppervlakte openingen	38,5	17,4 m ²

Afgifte – koeling – nauwkeurige berekening en simulatie

Kenniskbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

1 Inleiding

De warmte- en koelbehoefte van ruimten kan met “dynamische” of “stationaire” methoden worden berekend. Bij dynamische methoden wordt met behulp van wiskundige beschrijvingen van de eigenschappen van een ruimte - een fysisch model - nagegaan hoe die ruimte reageert op in de tijd variërende omstandigheden. Bij stationaire berekeningen wordt verondersteld dat de omstandigheden constant zijn en worden de dynamische effecten in rekening gebracht door tabellen te gebruiken waarin die effecten zijn verwerkt. Meestal wordt de warmtebehoefte zo berekend. Voor de bepaling van de koelbehoefte worden steeds vaker dynamische methoden gebruikt. Tot nu toe zijn alleen stationaire methoden in NEN-normen vastgelegd.

Bij het architectonische ontwerpproces gaat het er m.b.t. de klimaatregeling vooral om inzicht in de orde van grootte te verkrijgen. Welke afmetingen krijgen de installaties en hoeveel ruimte is nodig voor inbouw van centrale installaties, distributie-installaties en eindapparaten? De benodigde inbouwruimte wordt primair bepaald door het toe te passen klimaatregelsysteem en dat systeem is weer afhankelijk van het verwarmings- en koelvermogen dat nodig is om de ruimten in het gebouw op de gewenste temperatuur te kunnen houden. De gebouwonwerper beperkt zich met de systeemkeuze meestal tot het detailniveau van een Voorlopig Ontwerp, waarbij globale berekeningen volstaan. De in NEN-normen beschreven stationaire methoden, zoals die door installatieontwerpers worden toegepast, zijn daarvoor te gedetailleerd. Wel vormden ze de basis voor de ontwikkeling van meer op het architectonische ontwerpdoel afgestemde globale berekeningen.

Met dynamische berekeningen is de invloed van het warmteaccumulerend vermogen van ruimten beter na te gaan dan met stationaire methoden. Dat geldt ook voor de invloed van de sterk wisselende meteorologische omstandigheden omdat bij dynamische berekeningen gebruik wordt gemaakt van reële waarden voor zonnestraling, wind en temperatuur. Omdat differentiaalvergelijkingen moeten worden opgelost - wat slechts numeriek kan - is voor dynamische berekeningen een computer nodig. Een goed voorbeeld van een voor dit doel bruikbaar computerprogramma is VA114 van de Vereniging tot Automatisch Berekenen van Installaties in gebouwen (VABI).

Bij het door TNO ontwikkelde VA114-programma moeten de geometrische en fysische eigenschappen van de ruimte, het verwarmings- en koelvermogen van de installatie, de gebruikstijden van de ruimte en de interne belasting door personen, verlichting en apparatuur als gegeven worden ingevoerd. Het programma berekent voor elk uur van een op te geven meteorologisch jaar de binnentemperatuur en het energiegebruik en geeft een overzicht van het aantal uren dat de binnentemperatuur in dat jaar een op te geven waarde over- of onderschrijft. Een berekening met het programma wordt om die reden ook wel “temperatuuroverschrijdingsberekening” of kortweg TO-berekening genoemd. Door “trial and error” is met het programma een koelvermogen te vinden waarvoor geldt dat in jaar x een binnentemperatuur y niet meer dan z uren wordt overschreden. In de beginperiode, toen deze methode in Nederland populair werd, nam men twee temperatuurgrenzen y_1 en y_2 die

respectievelijk niet meer dan z_1 en z_2 uur mochten worden overschreden. Later werd voorgesteld om één temperatuurgrens y te nemen en elk uur dat de berekende temperatuur deze grens overschrijdt te vermenigvuldigen met een waarde die afhankelijk is van de mate waarin y wordt overschreden. Dit werd de “Gewogen Temperatuur Overschrijding” of GTO-berekening genoemd. Recent is bedacht dat de waarde y afhankelijk is te stellen van de effectieve temperatuur van de buitenlucht in de periode voorafgaand aan het te berekenen tijdstip en van de aanwezigheid van te openen ramen, de ATG of “Adaptieve Temperatuur Grenswaarde”. Koelvermogens die met TO-, GTO- en ATG-berekeningen zijn bepaald wijken onderling af van de vermogens die uit stationaire berekeningen volgen. De verschillen zijn te verklaren uit het gebruik van verschillende overschrijdingscriteria en verschillende meteorologische gegevens.

Een veel gestelde ontwerp vraag is: welke vorm, thermische eigenschappen en gebruik moet een gebouw krijgen om met natuurlijke koeling te kunnen volstaan. Beantwoording van deze vraag is met TO-berekeningen en varianten daarop mogelijk. Ook is met deze berekeningen na te gaan welk effect vorm, thermische eigenschappen en gebruik hebben op de energieconsumptie van het gebouw. Evident is dat natuurlijke koeling eerder mogelijk is en het energiegebruik beperkter naarmate een milder meteorologisch jaar en hogere waarden voor y en z worden genomen. Helaas bestaat er anno 2004 geen consensus over deze waarden en het te gebruiken meteorologisch jaar om te kunnen spreken van een gebouw met een “redelijk comfort”. Sommige ontwerpers koppelen - voor het voldoen aan een bepaalde gebouwprestatie - hoge y - en z -waarden aan het meteorologisch gemiddelde jaar 1964-1965. Voorspelbaar is dat gebouwen die niet meer dan deze prestatie kunnen leveren tijdens warmere jaren, zoals 1994 of 1995 waren, een groot deel van de tijd onbehaaglijk warm en door velen onaanvaardbaar gevonden zullen worden. Een bijkomend nadeel is dat niet is te controleren of een gebouw de berekende prestatie ook werkelijk levert. Zo is het bijna ondoenlijk om een jaar lang te meten en vervolgens onmogelijk om uit de meetgegevens af te leiden of in jaar x aan de criteria y en z wordt voldaan omdat ieder jaar, meteorologisch gezien, uniek is. De jaren verschillen niet alleen in het aantal uren dat luchttemperatuur, zonnestraling, windsnelheid en luchtvochtigheid bepaalde waarden hebben, ook het verloop van die waarden verschilt terwijl juist dat verloop een grote invloed heeft. Zo laat een periode van 4 dagen met een bepaalde hoge buitentemperatuur meer uren overschrijding en een hogere maximale binnentemperatuur zien dan twee perioden van 2 dagen met dezelfde buitentemperatuur.

Dynamische berekeningen zijn vooral geschikt om na te gaan welke invloed bouwkundige en installatietechnische ontwerpkeuzes hebben op het binnenklimaat en het energiegebruik. NEN 5067 biedt die mogelijkheden niet, wel is met deze norm op gestandaardiseerde wijze de koelbehoefte te berekenen die ontstaat na 5 warme dagen met 75% van de maximaal mogelijke intensiteit van de zonnestraling. Tijdens de ontwikkeling van de norm was er consensus over het redelijk comfortabele binnenklimaat dat ontstaat als een klimaatinstallatie aan deze prestatie beantwoordt. Betrekkelijk eenvoudig is te controleren of deze prestatie ook werkelijk wordt geleverd, namelijk door na te gaan of de vertrektemperatuur na 5 warme dagen aan de gestelde temperatuureis voldoet.

Het maken van dynamische berekeningen met programma's zoals VA-114 vraagt de kennis van een ervaren installatieontwerper en de routine van een regelmatige gebruiker van het programma. Daarom is dit programma niet direct geschikt voor gebruik door architecten en andere bouwkundige ontwerpers. Onderzocht is hoe VA114 zodanig inzetbaar kan worden

gemaakt dat architecten hun ontwerp zelf *globaal* kunnen optimaliseren wat betreft comfort en energiegebruik. Voor dat doel is een interface ontwikkeld waarmee de voor het architectonisch ontwerp relevante parameters kunnen worden beïnvloed. Dit heeft geresulteerd in het programma ORCA.

Voor het vaststellen van de warmte- en koelbehoefte van een gebouw, het bijbehorende binnenklimaat en het energiegebruik wordt in de advieswereld veelvuldig gebruik gemaakt van gebouwsimulatieprogramma's. Bij de faculteit Bouwkunde van de TU-Delft worden o.a. de simulatieprogramma's ORCA, VA114, CAPSOL en TRNSYS gebruikt.

Het programma CAPSOL is meer bouwfysisch geïntereerd dan VA114 en heeft o.a. een transparante numerieke uitvoer.

Met TRNSYS kunnen veel verschillende installatiecomponenten, zoals energieopslag, worden beoordeeld. Ook kunnen temperatuurregelingen gedetailleerd worden nagebootst.

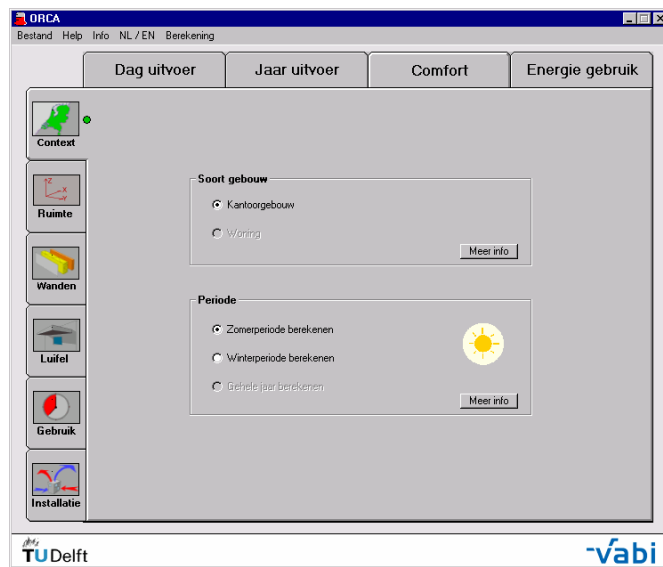
VA114 in de "uniforme omgeving" (Windowscherm) heeft als voordeel dat een gebouw ruimtelijk zichtbaar op het scherm kan worden ingevoerd. Als een gebouw eenmaal is ingevoerd kunnen met dezelfde invoer ook andere berekeningen (warmteverlies, ventilatie, verlichting, EPN, enz.) worden gedaan.

2 Gebruiksmogelijkheden van ORCA

2.1 Toelichting op het programma

In hoofdstuk 1 is het VA114-programma van de VABI (Vereniging tot Automatisch Berekenen van Installaties in gebouwen) genoemd als een programma waarmee het thermisch gedrag van ruimten met bepaalde eigenschappen en een gegeven gebruik goed is na te gaan. Het programma is ontwikkeld voor installatieontwerpers. Het gebruik vraagt deskundigheid op het gebied van klimaatregeling en vraagt routine. Om ook andere ontwerpers, waaronder architecten, de mogelijkheid te bieden om snel na te gaan welke effecten bepaalde ontwerpkeuzen hebben op de binnentemperatuur en het energiegebruik is "ORCA" ontwikkeld. Het programma heeft een aantal eenvoudige invoer- en uitvoerschermen en het gebruikt de rekenkern van VA114. Deze paragraaf geeft een toelichting, de volgende paragrafen gaan in op het gebruik en de gebruiksmogelijkheden van ORCA.

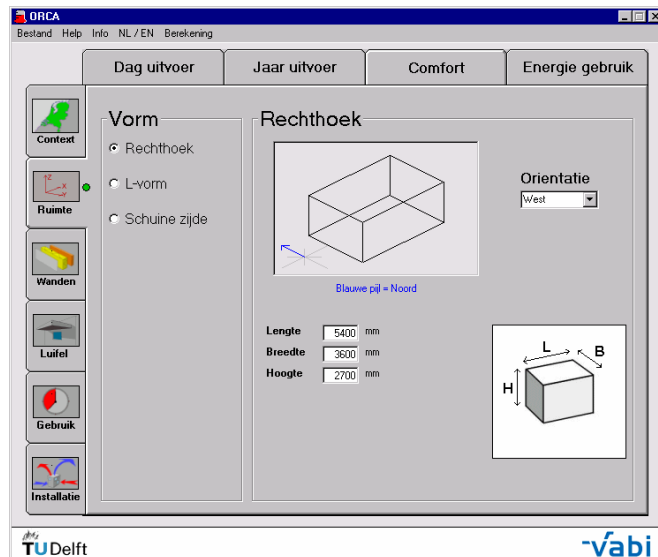
ORCA opent met het invoerscherm "**Context**" (figuur 1).



figuur 1 ORCA, invoerscherm "Context"

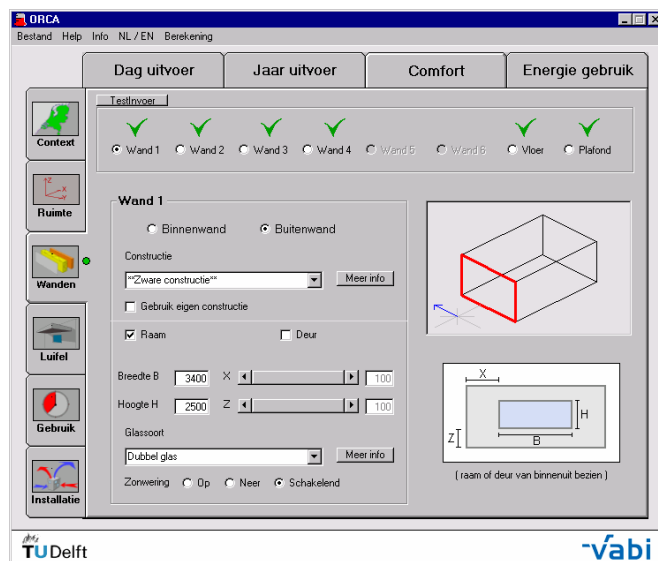
Hiermee kan de gebouwfunctie en de te berekenen periode (zomer of winter) worden opgegeven. Op het moment dat deze tekst werd geschreven kon alleen "kantoorgebouw" als functie worden gekozen.

Het invoerscherm "**Ruimte**" (figuur 2) vraagt om de vorm van de ruimte (rechthoek, L-vorm of een schuine zijde) en om de oriëntatie en afmetingen van de ruimte.



figuur 2 ORCA, invoerscherm "Ruimte"

Met het invoerscherm "**Wanden**" (figuur 3) kunnen de gegevens van wanden, vloer en plafond worden ingevoerd.



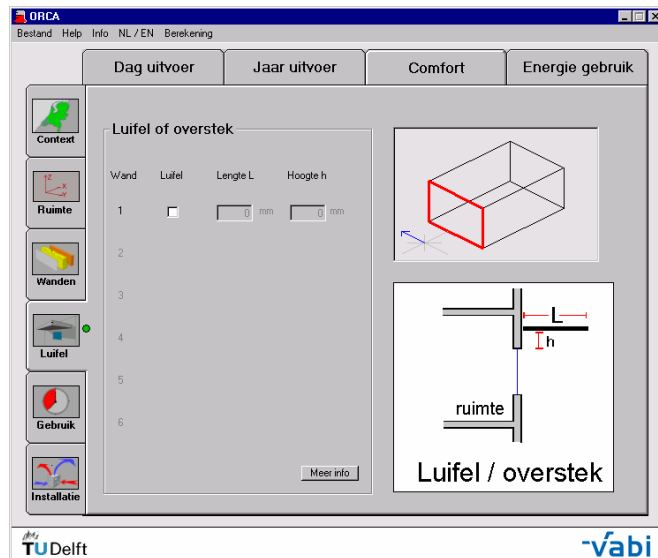
figuur 3 ORCA, invoerscherm "Wanden"

Van wanden moet de functie worden aangegeven (binnenwand of buitenwand), de constructie (keuze uit aantal varianten of via "eigen constructie" op apart scherm het materiaal en de dikte van de lagen), aanwezigheid van een raam of deur (aanvinken), waarna afmetingen en plaats in de wand moeten worden ingevoerd. Van ramen moet de glassoort worden aangegeven (keuze uit verschillende soorten) en of de zonwering "op" (geen zonwering), "neer" of "schakelend" is. Ook moet via dit scherm de functie van de vloer (verdieping of begane grond) en de constructie worden aangegeven (keuze uit aantal varianten of via "eigen constructie" op apart scherm het materiaal en de dikte van de lagen). Ten slotte moet van het plafond de functie (verdieping of dak) en de constructie worden opgegeven (keuze uit aantal varianten of via "eigen constructie" op apart scherm het materiaal en de dikte van de lagen, zie figuur 4). Zit in het dak een raam dan moeten daarvan de afmetingen, glassoort e.d. worden opgegeven.

Plafond Constructie samenstellen uit minimaal 1 laag			
<i>Bovenkant</i>			
Laag 1	materiaal	Rubber	dikte 5 mm
☒ Laag 2	☐ spouw	materiaal	Polystyrenschuim dikte 70 mm
☒ Laag 3	☐ spouw	materiaal	Grindbeton gewapend dikte 150 mm
☒ Laag 4	☒ spouw	materiaal	dikte 300 mm
☒ Laag 5	☐ spouw	materiaal	Gipsplaat dikte 10 mm
☐ Laag 6		materiaal	dikte 100 mm
<i>Onderkant</i>			
sluiten			

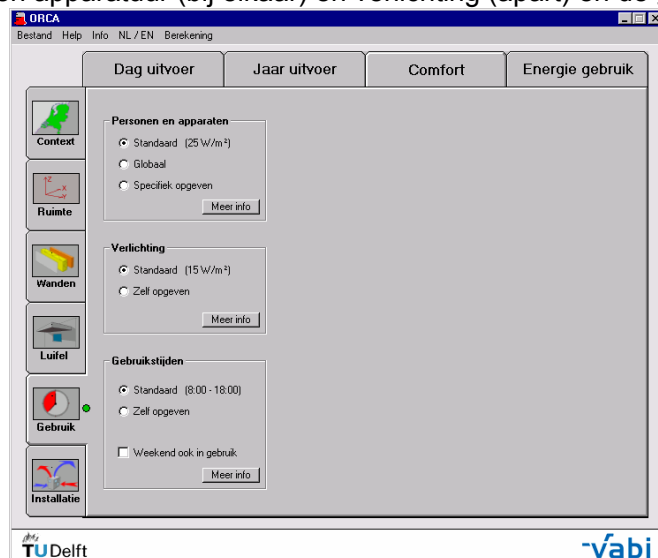
figuur 4 ORCA, invoerscherm "Eigen constructie"

Met het invoerscherm "Luifel" (figuur 5) kan de aanwezigheid van een luifel worden aangegeven (aanvinken), waarna de lengte van het overstek en de hoogte boven het raam moeten worden ingevoerd.



figuur 5 ORCA, invoerscherm "Luifel"

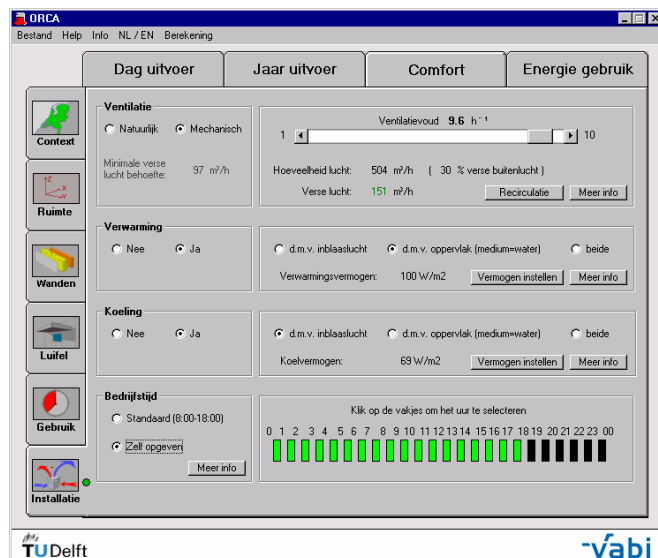
Het scherm "**Gebruik**" (figuur 6) is voor het invoeren van de interne belasting door personen en apparatuur (bij elkaar) en verlichting (apart) en de gebruikstijd.



figuur 6 ORCA, invoerscherm "Gebruik"

Bij **personen en apparatuur** is keuze mogelijk uit "standaard" (25 W/m^2), "globaal" (kiezen uit "lichte", "gemiddelde" of "zware" belasting) en "specifieke belasting" (aantal mensen en apparaten opgeven). Bij **verlichting** kan worden gekozen uit "standaard" (15 W/m^2) en "zelf opgeven" (armaturen "inbouw", "vrijhangend" of "opbouw" en wel of niet schakelende verlichting). Bij inbouwarmaturen kan worden aangegeven of ze worden afgezogen (luchtafvoer uit de ruimte geheel of gedeeltelijk via de armaturen. *Dit kan alleen bij inbouwarmaturen in een verlaagd plafond*). Bij **gebruikstijden** kunnen de dagelijkse tijden worden opgegeven waarin de ruimte door personen wordt gebruikt en de apparatuur en verlichting zijn ingeschakeld. Bij "standaard" is de gebruikstijd 08.00 - 18.00 uur, bij "zelf opgeven" verschijnt een balk waarop de betreffende uren kunnen worden aangeklikt. Bij "gebruikstijden" kan ook worden aangegeven of de ruimte in het weekeinde in gebruik is.

Via het scherm "**Installatie**" (figuur 7) kunnen gegevens betreffende ventilatie, verwarming en koeling worden ingevoerd.



figuur 7 ORCA, invoerscherm "Installatie"

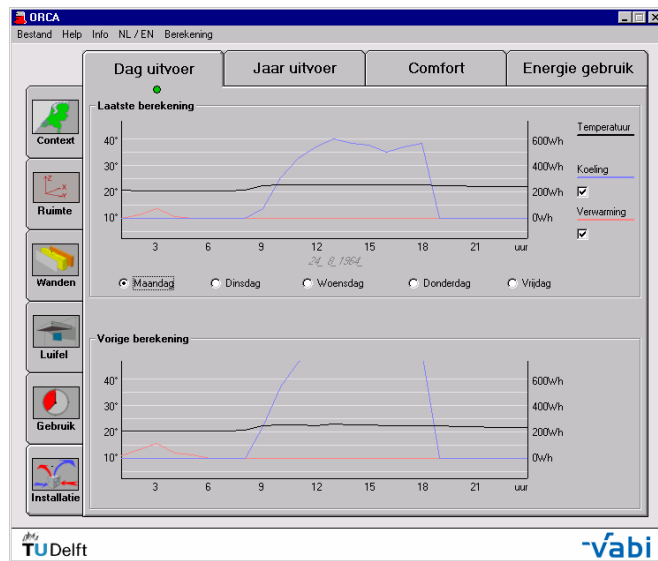
Bij **ventilatie** kan worden gekozen uit natuurlijke en mechanische ventilatie. Bij "natuurlijke ventilatie" wordt standaard gerekend met 2-voudige ventilatie. Bij keuze "mechanische ventilatie" verschijnt een schuifbalk waarmee het ventilatievoud tussen 1 en 10 kan worden ingesteld. Door aanklikken van "recirculatie" verschijnt een scherm waarop met een schuifbalk het percentage verse lucht kan worden ingesteld.

Wordt **verwarming** gekozen dan moet worden aangegeven of dit luchtverwarming ("d.m.v. inblaasluucht"), stralingsverwarming (d.m.v. oppervlak) of een combinatie van beide is. Bij elke keuze kan het verwarmingsvermogen worden ingesteld. Na aanklikken van "vermogen instellen" verschijnt een scherm met "onbeperkt vermogen" en "verwarmingsvermogen instellen". Bij "verwarmingsvermogen instellen" verschijnt een schuifbalk met instelmogelijkheden.

Wordt **koeling** gekozen dan kan dit luchtkoeling ("d.m.v. inblaasluucht"), stralingskoeling (d.m.v. oppervlak) of een combinatie van beide zijn. Bij elke keuze verschijnt na aanklikken van "vermogen instellen" een scherm met "onbeperkt vermogen" en "koelvermogen instellen". Bij "koelvermogen instellen" verschijnt een schuifbalk. *Let op dat bij luchtkoeling het koelvermogen afhankelijk is van de ventilatiehoeveelheid en de hoogte van de ruimte. Het programma verandert bij natuurlijke ventilatie luchtkoeling in stralingskoeling met een vermogen van maximaal 60 W/m^2 .*

Bij **bedrijfstijd** kan worden aangegeven wanneer de ventilatie, verwarming en koeling in bedrijf zijn. Bij "zelf opgeven" verschijnt een balk waarop de bedrijfsuren zijn aan te klikken. *De bedrijfstijd kan een grote invloed op de temperatuuroverschrijding en het energiegebruik hebben.*

Als voldoende gegevens zijn ingevoerd en een uitvoerscherm wordt aangeklikt gaat ORCA rekenen. Het scherm "**daguitvoer**" toont het verloop van de vertrektemperatuur en het vermogen voor koeling en verwarming van een te kiezen dag (figuur 8).



figuur 8 ORCA, uitvoerscherm "Daguitvoer"

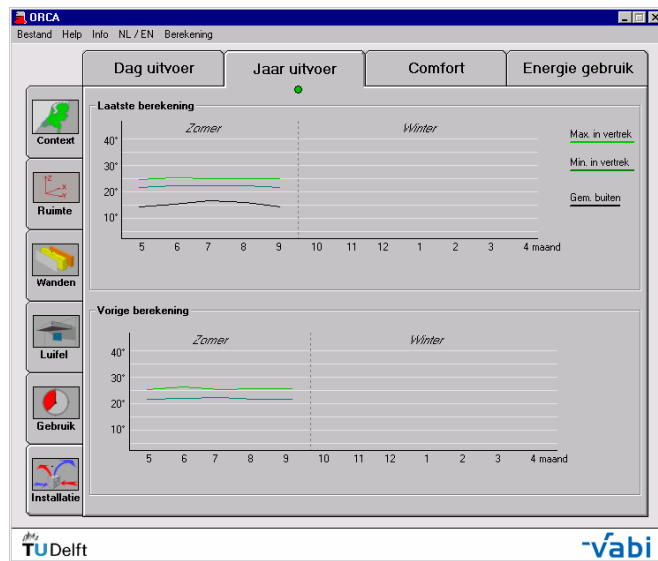
Voor de zomerperiode zijn dit de werkdagen uit de week van 24 augustus 1964, bij de winterperiode uit de week van 21 december 1964. Deze weken zijn te beschouwen als een “gemiddeld warme” en “gemiddeld koude” week uit het gemiddelde jaar 01-04-1964 tot 31-03-1965. Als na aanklikken van een invoerscherm en wijziging het scherm “daguitvoer” opnieuw wordt aangeklikt volgt een nieuwe berekening en verschuiven op het scherm de resultaten van de vorige berekening naar beneden.

In tabel 1 wordt nader aangegeven welke temperaturen in de in ORCA berekende warme week voorkomen:

tabel 1 meteorologische waarden in 34e week van 1964 ("warme" week)

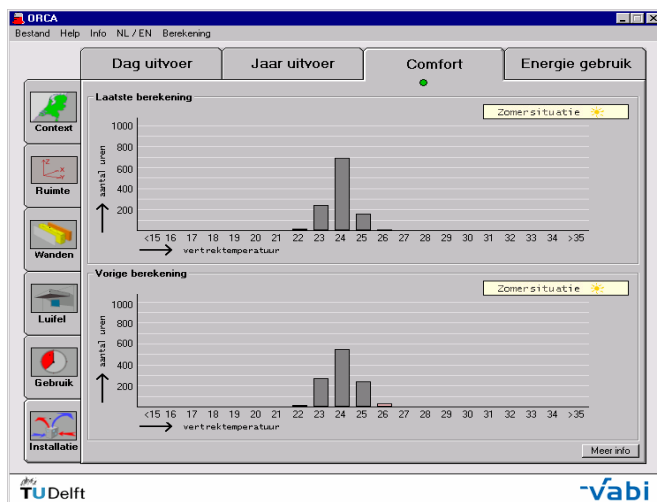
uur	maandag			dinsdag			woensdag			donderdag			vrijdag		
	θ_e	R_{gh}	v_w	θ_e	R_{gh}	v_w	θ_e	R_{gh}	v_w	θ_e	R_{gh}	v_w	θ_e	R_{gh}	v_w
1	10,0	0	1,4	17,5	0	4,4	15,9	0	3,0	16,3	0	1,0	16,0	0	2,0
2	9,8	0	1,3	17,0	0	4,0	15,8	0	2,6	15,6	0	1,2	15,2	0	2,0
3	11,3	0	1,7	16,9	0	3,6	15,7	0	2,7	15,6	0	1,2	15,7	0	2,3
4	11,8	0	2,1	17,0	0	3,4	15,8	0	2,7	15,5	0	1,5	15,8	0	2,7
5	12,5	0	2,8	16,9	0	3,0	15,2	0	2,7	16,3	0	1,8	15,3	0	2,1
6	13,0	9	3,2	16,8	3	2,4	16,0	30	2,7	16,4	21	2,0	16,0	26	3,3
7	14,0	66	3,6	16,9	16	2,7	17,8	160	2,4	18,9	130	2,2	17,1	108	4,0
8	15,1	95	4,0	17,2	58	2,9	20,5	307	3,2	20,9	270	2,2	18,2	231	4,2
9	16,5	186	4,8	17,5	125	3,4	23,2	440	3,2	23,7	412	2,9	19,2	293	4,2
10	17,4	230	6,0	17,9	121	3,7	25,1	557	3,4	26,0	532	2,7	20,7	354	4,0
11	18,1	138	5,4	18,1	125	3,5	26,8	636	3,3	28,0	625	3,2	22,0	401	3,8
12	19,1	220	6,0	18,1	75	3,3	28,4	669	3,8	29,8	674	3,6	23,3	455	3,5
13	18,5	139	5,3	19,3	190	3,5	29,8	674	4,0	30,9	669	4,2	24,4	455	1,8
14	18,2	92	5,1	21,7	551	3,5	30,5	640	4,1	31,1	621	4,2	24,8	403	1,9
15	17,7	63	5,3	23,0	587	3,7	31,0	557	3,4	30,1	522	4,3	22,3	175	2,2
16	18,0	50	4,9	23,4	435	3,3	30,7	444	2,5	29,6	407	4,4	21,3	117	2,1
17	18,4	49	4,0	22,9	307	2,6	29,8	298	2,2	26,8	275	3,0	21,6	195	2,0
18	17,7	3	4,2	21,6	160	2,1	27,7	147	1,4	23,1	130	2,6	20,6	104	1,4
19	17,9	0	6,3	18,8	30	1,3	24,2	30	1,0	20,2	26	2,0	18,6	3	1,1
20							17,8	0		6,3	16,5		0	1,3	
							21,2	0		0,7	18,6		0	2,0	
							18,0	0		1,3					
21	17,7	0	6,0	16,2	0	1,3	19,2	0	1,0	17,6	0	2,0	18,4	0	2,6
22	17,7	0	5,5	15,7	0	1,5	18,1	0	1,0	16,7	0	2,0	17,4	0	3,2
23	17,3	0	5,0	16,7	0	2,3	16,8	0	0,2	17,0	0	2,1	17,0	0	3,2
24	17,2	0	4,0	16,7	0	2,5	16,7	0	0,9	16,7	0	2,1	17,0	0	2,8

Het scherm "jaaruitvoer" (figuur 9) geeft voor de gekozen periode het verloop van de maximale vertrektemperatuur, de minimale vertrektemperatuur en de gemiddelde buitentemperatuur.



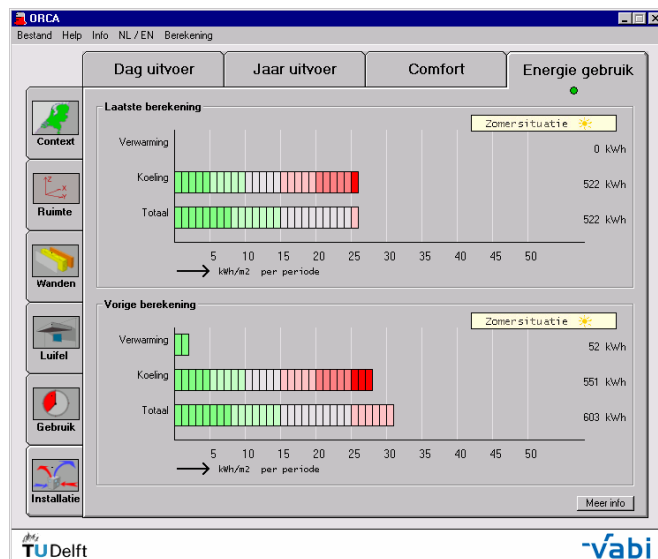
figuur 9 ORCA, uitvoerscherm "Jaaruitvoer"

Het scherm "**comfort**" (figuur 10) geeft in een staafdiagram het aantal uren dat de vertrektemperatuur bepaalde waarden heeft. De staafjes zijn lichtblauw voor temperaturen onder 18°C ($PMV < 0,5$), grijs voor waarden tussen 18 en 25°C ($-0,5 < PMV < 0,5$), roze voor waarden tussen 25 en 28°C ($0,5 < PMV < 1,0$) en rood voor temperaturen boven 28°C ($PMV > 1,0$).



figuur 10 ORCA, uitvoerscherm "Comfort"

Het scherm "**energiegebruik**" (figuur 11) geeft rechts de waarden in kWh voor verwarming en koeling apart en voor het totaal. Dit is het energiegebruik voor de ruimte als geheel. De horizontale balken geven het energiegebruik per m² vloeroppervlakte weer. De kleur van de balk is een indicatie voor de mate waarin aan de EPN (Energie Prestatie Norm) wordt voldaan.



figuur 11 ORCA, uitvoerscherm "Energiegebruik"

2.2 Optimalisatie van een ontwerp met ORCA

Met ORCA kan worden berekend welke temperatuur in een ruimte ontstaat en wat het energiegebruik is. Een ruimteontwerp kan worden geoptimaliseerd door aspecten te variëren. Om te weten wat de grootste invloed heeft is het aan te raden om, bij de eerste keer dat ORCA wordt gebruikt, een gevoeligheidsanalyse te maken. Dat kan door van een referentievertrek steeds één aspect te wijzigen, zoals grootte van de ramen, type beglazing of zwaarte van de constructie. Is de uitkomst niet wat je ervan verlangt, bij voorbeeld omdat het in de ruimte te koud of te warm wordt, wijzig dan de klimaatregeling om een aanvaardbare uitkomst te krijgen. Er zijn oefeningen om hierbij te helpen, zie de webpagina's van Installaties op de TU-Delft-Bouwkunde-site. Zie ook de volgende paragrafen.

2.3 Optimalisatie van natuurlijke koeling met ORCA

Een veel gestelde ontwerp vraag is: "Welke vorm, thermische eigenschappen en gebruik moet een gebouw krijgen om met natuurlijke koeling te kunnen volstaan?" Het antwoord is: Om te beginnen moet de luchtverversing voldoende zijn. Afhankelijk van de bezetting is hiervoor 1- à 2-voudige ventilatie nodig. Bij een standaard bezetting van 1 persoon per 10 m² wordt met 2-voudig gerekend. Is de temperatuur buiten **lager** dan binnen dan kan natuurlijk worden gekoeld door met buitenlucht te ventileren, maar niet meer dan 10-voudig vanwege tocht. Is de temperatuur buiten **hoger** dan binnen dan moet de ventilatie worden beperkt tot het minimum voor luchtverversing. Dit klinkt logisch, toch ventileren mensen anders: ze zetten ramen open als ze het warm hebben en zijn zich zelden bewust van het werkelijke effect of van ventilatievouden.

Bij de dynamische berekeningen die begin jaren '90 werden gemaakt om het comfort en het energiegebruik van verschillende klimaatregelsystemen te vergelijken werd aangenomen dat bij natuurlijke koeling, ongeacht de buitentemperatuur, overdag altijd ten minste 2-voudig wordt geventileerd (raam op een kier) en 5-voudig als de binnentemperatuur >24°C is (mensen zetten het raam dan verder open). Voor nachtventilatie werd 0,5-voudig aangenomen. Bij veel gebouwen mogen om veiligheidsredenen de ramen 's nachts niet open blijven waardoor meer natuurlijke nachtventilatie dan 0,5-voudig niet mogelijk is. Overigens is

5-voudige natuurlijke ventilatie slechts mogelijk als de te openen ramen ten minste 5% van de geveloppervlakte beslaan. Dit is een vuistregel.

2.4 Bepaling energiegebruik met ORCA

Op het moment dat deze tekst werd geschreven gebruikte ORCA alleen de gegevens van het meteorologisch “gemiddelde” jaar 1964-1965. Het berekende energiegebruik is - over een langere periode gezien - gemiddeld als via het invoerscherm “**Gebruik**” gemiddelde waarden zijn opgegeven voor de interne belasting door personen, apparaten en verlichting. De ruimten van een kantoorgebouw worden niet altijd volledig gebruikt. Afhankelijk van het type organisatie ligt het gemiddelde gelijktijdige gebruik tussen 60 en 80% van het maximaal mogelijke gebruik.

2.5 Bepaling warmte- en koelbehoefte met ORCA

Met ORCA kan door middel van “trial and error” het verwarmings- en koelvermogen worden bepaald waarmee een ruimte aan - zelf te kiezen - klimaatseisen kan voldoen. Toen deze tekst werd geschreven rekende ORCA alleen met gegevens van 1964-1965 (locatie weerstation De Bilt), een jaar waarin geen extreem koude of warme perioden voorkwamen. Van de klimaatregeling van gebouwen wordt verwacht dat ze ook bij een wat extremer buitenklimaat voldoende kunnen verwarmen of koelen. In Nederland komen temperaturen voor tussen min 23 en plus 37°C. NEN 5066 noemt voor de warmtebehoefte een ontwerpbuitentemperatuur van min 10°C. In NEN 5067 is geen ontwerpbuiten-temperatuur aangegeven, in de praktijk wordt vaak 28°C (en 60% RV) aangehouden. Min 10°C en plus 28°C worden gemiddeld minder dan 0,4% van de tijd (35 uur per jaar) onder- respectievelijk overschreden, zie tabel 2 en 3.

De laatste jaren worden de zomers warmer en vochtiger en de winters zachter. Bij de kust zijn in de winter de buitentemperaturen aanzienlijk hoger dan in het binnenland. De resultaten van de berekening gebaseerd op 1964-1965 moeten daarom met de nodige voorzichtigheid worden gehanteerd.

tabel 2 deel van de tijd dat de buitentemperatuur beneden een bepaalde waarde komt

< °C	%	uur/jaar
-20	0,0067	0,58
-15	0,048	4,2
-14	0,078	6,7
-13	0,113	9,9
-12	0,173	15
-11	0,266	23
-10	0,397	35
-9	0,57	50
-8	0,82	72
-7	1,12	98
-6	1,50	132
-5	2,05	180
-4	2,8	245
-3	3,7	322
-2	4,9	431
-1	6,6	582
0	8,9	781

tabel 3 deel van de tijd dat een bepaalde buiten- en binnentemperatuur wordt overschreden bij $\Delta\theta = 3\text{ °C}$

θ_e > °C	θ_i > °C	%	uur/jaar
25	28	1,3	117
26	29	0,9	82
27	30	0,6	56
28	31	0,4	35
29	32	0,24	21
30	33	0,14	13
31	34	0,079	7
32	35	0,044	4
33	36	0,016	1,4
34	37	0,006	0,5

Om met ORCA de **warmtebehoefte** te bepalen, moet via het invoerscherm “**Gebruik**” de interne belasting door personen, apparatuur en verlichting worden geminimaliseerd omdat een ruimte ook zonder interne belasting op temperatuur moet kunnen worden gebracht en gehouden. Op dit moment kan met ORCA de interne belasting niet nul maar wel zo klein mogelijk worden gemaakt. De belasting door verlichting kan worden geminimaliseerd door “zelf opgegeven” inbouwarmaturen op te geven en “afgezogen” aan te vinken. De belasting door personen en apparaten kan nul worden gemaakt door deze belasting als “specifiek” op te geven. Omdat nu nog met de gegevens van 1964-1965 wordt gerekend kan, als benadering voor koudere jaren, een verwarmingsvermogen worden gezocht waarbij de vertrektemperatuur niet lager wordt dan de in tabel 4 aangegeven minimale waarden plus 2°C.

tabel 4 ruimtetypering

Type	Wat van de ruimte wordt verwacht		temperatuur °C		luchtsnelheid m/s
			min.	max.	
A	bescherming tegen regen en wind (voorbeeld: abri)		--	--	--
B	bescherming tegen regen en wind, vorstvrij (voorbeeld: wachtruimte 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: koffiehoeke 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	$\theta_e + 3$	< 0,15
		MV	20	25 (95%)	
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

Voor het bepalen van de **koelbehoefte** moet via het invoerscherm “**Gebruik**” reële maximale waarden voor de belasting door personen, apparatuur en verlichting worden opgegeven. Tabel 5 laat zien met welke buitentemperatuur θ_e in $^{\circ}\text{C}$, globale straling op het horizontale vlak R_{gh} in W/m^2 en windsnelheid v_w in m/s ORCA in een “warme” week rekent. De temperaturen en intensiteiten van de zonnestraling zijn minder hoog dan gedurende de 5 warme dagen waarop de tabellen uit NEN 5067 zijn gebaseerd. Omdat nu nog met de gegevens van 1964-1965 wordt gerekend kan, als benadering voor warmere jaren, een koelvermogen worden gezocht waarbij de vertrektemperatuur niet hoger wordt dan de in tabel 4 aangegeven maximale waarde. Bij ruimten zonder te openen ramen is het beter om geen hogere vertrektemperatuur toe te staan dan 1 à 2°C onder de in tabel 4 genoemde maximale waarde. *Let op dat het koelvermogen dat op deze manier wordt gevonden niet gelijk is aan de “koelbehoefte” zoals die met een stationaire berekening wordt bepaald. Zie de volgende paragraaf voor verdere uitleg.*

2.6 Bepaling systeemkeuze met ORCA

Voor een systeemkeuze moet het verwarmings- en koelvermogen worden bepaald waarbij de vertrektemperatuur niet beneden een minimale respectievelijk maximale waarde komt. Hierbij moet rekening worden gehouden met de interne belasting door personen, apparatuur en verlichting welke bij het zoeken van het verwarmingsvermogen nul moet zijn en bij het zoeken naar het koelvermogen een - voor het ruimtegebruik - reële waarde moet hebben. Zie wat hierover in de vorige paragraaf is gezegd.

Toen deze tekst werd geschreven was het niet mogelijk om het vermogen voor het centraal op temperatuur brengen van de ventilatielucht (in de luchtbehandelingskast) en het vermogen voor het op temperatuur brengen van de ruimte (met het eindapparaat) afzonderlijk te beschouwen. Is de temperatuur buiten hoger dan binnen dan gebruikt ORCA een deel van het opgegeven vermogen voor koeling van de ventilatielucht en is het resterende deel - dus minder dan wat is opgegeven - beschikbaar voor koeling van de ruimte. Is de temperatuur buiten lager dan binnen dan is meer vermogen - dan wat is opgegeven - beschikbaar voor koeling van de ruimte. Het verschil is in beide gevallen het in de buitenlucht aanwezige koelvermogen (“vrije koeling”). Vergelijking van de resultaten van ORCA en een stationaire koelbehoefteberekening is hierdoor niet reëel. Om toch een indruk te krijgen zijn de resultaten van een voorbeeldkantoor als gegeven ingevoerd, zie de invoerschermen figuur 1 t/m 7.

Het voorbeeldkantoor betreft een “zwaar” kantoorvertrek ($\text{SWM} = 80 \text{ kg/m}^2$) met dubbel glas (verschillende percentages van de geveleppervlakte) en verschillende typen zonwering (zie voor nadere uitleg handberekening § 2.7.). Uit de resultaten op basis van de handberekening blijkt dat het vertrek met een interne belasting van 40 W/m^2 , buitenzonwering en 30 en 90% glas een koelbehoefte heeft van respectievelijk 51 en 69 W/m^2 . Tabel 5 geeft aan dat een lucht/water-systeem (bij voorbeeld ventilatorconvector) of een lucht+water-systeem (bij voorbeeld VAV + koelplafond) hiervoor geschikte systemen zijn.

tabel 5 Specifiek koelvermogen in W/m^2 vloeroppervlakte van verschillende systemen en combinaties van systemen bij verschillende ruimtehoogten

systeem	ventilatievoud h^{-1}	ruimtehoogte in meter						
		$\Delta\theta = 6^\circ\text{C}$	8°C	10°C	12°C	12°C	12°C	12°C
A VAV of CAV ¹⁾	3	15 ²⁾	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 ruimtefunctie - 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.

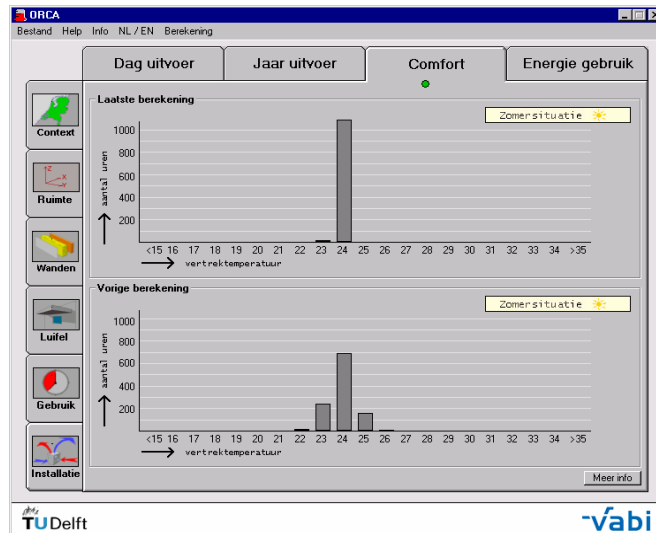
Het temperatuurverschil waarmee gekoelde lucht aan de ruimte kan worden toegevoerd is maximaal 8°C (zie tabel 6) wat bij een koelvermogen van 51 en 69 W/m^2 resulteert in respectievelijk 7- en 9,6-voudige toevoer.

tabel 6 maximaal temperatuurverschil bij toevoer van gekoelde lucht

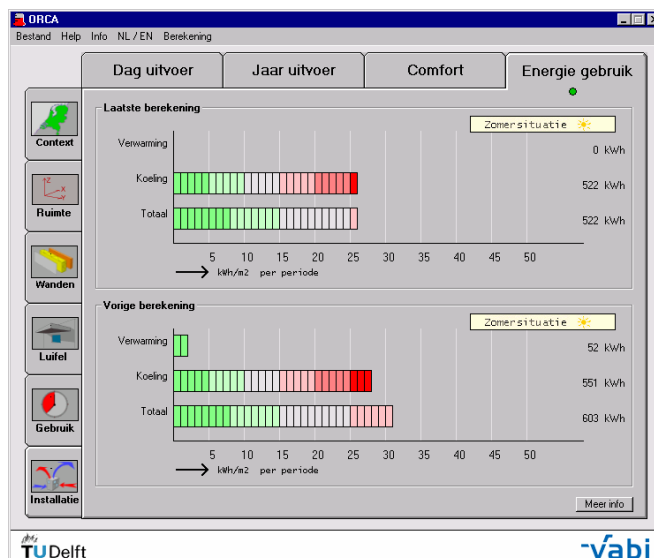
hoogte van de ruimte m	$\Delta\theta$ $^\circ\text{C}$
2,4	6
2,7	8
3,0	10
3,5	12
4,0	15

Deze hoeveelheden zijn in ORCA ingevoerd met, als benadering voor een lucht/water-systeem, $150 \text{ m}^3/\text{h}$ verse lucht (3-voud). Als bedrijfstijd is 0-18 uur genomen. De uitvoerschermen 8 t/m 11 geven de resultaten met “laatste berekening” voor 30% glas en “vorige berekening” voor 90% glas. Figuur 10 laat zien dat de vertrektemperatuur nauwelijks hoger wordt dan 25°C en dus dat een lucht/water-systeem een goede systeemkeuze is. Bij 2-voudige ventilatie en stralingskoeling (met het zelfde koelvermogen) en een standaard

bedrijfstijd van 8-18 uur laat ORCA bij 30% glas een vrijwel constante vertrektemperatuur van 24 °C zien (figuur 12, "laatste berekening") en een 9% lager energiegebruik (figuur 13, "laatste berekening").



figuur 12 ORCA, uitvoerscherm "Comfort"

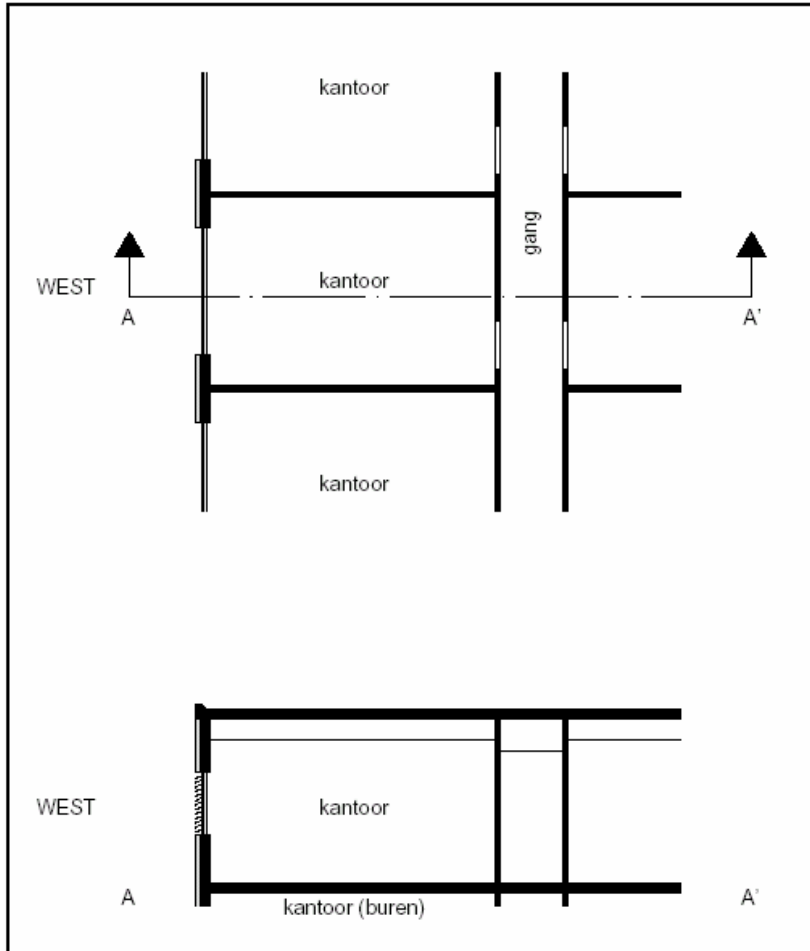


figuur 13 ORCA, uitvoerscherm "Energiegebruik"

Afgaand op de zomerperiode betekent dit dat stralingskoeling met een koelplafond een betere systeemkeuze is. *Zou het vermogen van het koelplafond met een grotere bandbreedte en gerelateerd aan de buitentemperatuur worden geregeld (nu niet mogelijk met ORCA) dan zou dit tot meer spreiding van de vertrektemperaturen, minder koelvermogen en een lager energiegebruik leiden.*

2.7 Nadere toelichting handberekening koelbehoefte voorbeeldkantoor

Voor dit voorbeeld wordt een tussenvertrek op de bovenste laag van een kantoorgebouw genomen, zie figuur 13.



figuur 14 Kantoorvertrek

Het betreft een gebouw met vrij veel massa ($SWM=80 \text{ kg/m}^2$). De borstwering heeft een massa van 300 kg/m^2 . Het dak bestaat uit beton met verlaagd plafond. De oriëntatie van het vertrek is West. Verdere gegevens zijn:

netto hoogte	2,7 m
gevel breedte	3,6 m
vertrekdiepte	5,4 m
glasoppervlakte	$2,9 \text{ m}^2$ (30% van inw. geveloppervlakte)
glassoort	dubbel glas
zonwering	buitenzonwering (jaloezieën)
bezetting	2 personen, 100% aanwezig
verlichting	TL-verlichting met luchtafvoer
apparatuur	1 PC/persoon
ontwerp-binnentemperatuur	25°C
ontwerp-buitentemperatuur	28°C
infiltratie	0,3-voud

Omdat de oriëntatie West is, treedt de maximale belasting op om ongeveer 16 uur zonnetijd (zie tabel 7).

tabel 7 convectieve warmte t.g.v. zonnestraling (q_{conv})

oriëntatie	tijdstip ¹⁾ maximum	zonwering	"lichte" bouw SWM=50 kg/m ² W/m ²	"zware" bouw SWM=80 kg/m ² W/m ²
Noord	13	binnen buiten/geen	140 110	130 100
N-O	8	binnen buiten/geen	490 330	460 240
Oost	9	binnen buiten/geen	680 470	650 350
Z-O	10	binnen buiten/geen	650 450	610 340
Zuid	13	binnen buiten/geen	560 400	530 310
Z-W	16	binnen buiten/geen	650 460	620 360
West	16 ²⁾	binnen buiten/geen	650 440	620 340
N-W	16 ²⁾	binnen buiten/geen	350 240	340 200
Horizontaal	13	binnen buiten/geen	800 590	760 480

¹⁾ zonnetijd

²⁾ werkelijke tijdstip is later en heeft geen betekenis omdat dit buiten de dagelijkse gebruiksperiode van de ruimte valt

Om de invloed van het type zonwering en grotere ramen na te gaan worden de berekeningen herhaald voor binnenzonwering en glaspercentages van 60 en 90%. De koelbehoefte bij 30 % glas en ZTA = 0,15 is:

$$\begin{aligned}
 \Phi_{z,gl} &= z \cdot A_{gl} \cdot ZTA \cdot q_{\text{conv}} = 1 \cdot 2,9 \cdot 0,15 \cdot 340 = & 148 \text{ W} \\
 \Phi_{tr,gl} &= U \cdot A_{gl} \cdot (\theta_e - \theta_i) = 3,0 \cdot 2,9 \cdot (28 - 25) = & 26 \\
 \Phi_{z,w, \text{borstw}} &= a \cdot A_{wi} \cdot q_w = 0,7 \cdot (2,7 \cdot 3,6 - 2,9) \cdot 1,9 = & 11 \\
 \Phi_{z,w, \text{dak}} &= 0,7 \cdot 3,6 \cdot 5,4 \cdot (-3,9) = & -53 \\
 \Phi_{inf} &= 0,3 \cdot 3,6 \cdot 2,7 \cdot 5,4 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot (28-25) / 3600 = & 16 \\
 \Phi_p &= 2 \cdot 80 = & 160 \\
 \Phi_l &= 5 \cdot 3,6 \cdot 5,4 = & 97 \\
 \Phi_a &= 2 \cdot 100 = & 200 \\
 \Phi_k &= & \underline{605 \text{ W}}
 \end{aligned}$$

De specifieke koelbehoefte is:

$$\Phi_{k,sp} = \Phi_k / A_{vl} = 605 / (3,6 \times 5,4) = 31 \text{ W/m}^2$$

2.8 Systeemkeuze bij mechanische koeling

Uit tabel 5 blijkt dat voor deze specifieke koelbehoefte een VAV-systeem een geschikte keuze is, omdat dit systeem ten minste een even groot specifiek koelvermogen kan leveren. Uit deze tabel is verder af te leiden dat voor een ruimtehoogte van 2,7 m met een VAV-systeem een ventilatievoud van ruim 4 nodig is. Deze uitkomst is als volgt te verifiëren.

Wordt de ruimte gekoeld met lucht van 17 °C ($\Delta\theta = 8$ °C, zie tabel 6), dan moet met dit systeem een hoeveelheid lucht worden toegevoerd van:

$$q_v = \Phi_k / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) = 605 / (1,2 \cdot 1000 \cdot 8) = 0,063 \text{ m}^3/\text{s} = 227 \text{ m}^3/\text{h}$$

Dit komt overeen met een ventilatievoud van:

$$n = q_v / V = 227 / (3,6 \times 5,4 \times 2,7) = 4,3 \text{ h}^{-1}$$

Dit is goed. De praktijk laat zien dat bij luchtkoeling het ventilatievoud bij voorkeur niet beneden de 2 moet liggen om een slechte luchtverdeling - met te grote temperatuurverschillen in de "leef-zone" - te voorkomen. Meer dan 10-voud geeft kans op tocht.

2.9 Natuurlijke ventilatie

Zou de ruimte op natuurlijke wijze worden gekoeld, dan is de benodigde ventilatie en de oppervlakte van de raamopeningen te berekenen door uit te gaan van een temperatuurverhoging van 3 °C. Hieruit volgt een luchthoeveelheid van:

$$q_{v,nv} = \Phi_k / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) = 605 / (1,2 \cdot 1000 \cdot 3) = 0,17 \text{ m}^3/\text{s}$$

Het daarbij behorende ventilatievoud is:

$$n_{nv} = q_{v,nv} \cdot 3600 / V = 0,17 \cdot 3600 / (3,6 \times 5,4 \times 2,7) = 11,6 \text{ h}^{-1}$$

Dit is voor verblijfsruimten te hoog en kan tot tochtklachten leiden. Zou toch worden besloten om deze ruimte natuurlijk te koelen dan zou - uitgaande van een gemiddelde lichtsnelheid van 0,2 m/s bij luchttoevoer en afvoer via hetzelfde raam -, daarvoor een totale oppervlakte aan raamopeningen nodig zijn van: $A_{tot} = 2 \cdot q_v / v = 2 \cdot 0,17 / 0,2 = 1,7 \text{ m}^2$.

2.10 Invloed glaspercentage en type zonwering op koelbehoefte

Bij andere glaspercentages en binnenzonwering vinden we koelbehoeften en ventilatievouden zoals in het volgende overzicht (tabel 8). Hieruit blijkt dat hoge glaspercentages in combinatie met binnenzonwering dramatische gevolgen heeft voor de koelbehoefte en daarmee voor de systeemkeuze, zeker als je bedenkt dat een ventilatievoud van meer dan 10 tot tochtklachten kan leiden.

tabel 8 invloed glaspercentage en type zonwering op koelbehoefte

	buitenzonwering			binnenzonwering		
	ZTA = 0,15			ZTA = 0,5		
glaspercentage ---->	30	60	90	30	60	90
$\Phi_{z,gl}$	148	296	444	899	1798	2697 W
$\Phi_{tr,gl}$	26	52	78	26	52	78
$\Phi_{z,w}$ (borstw)	11	7	2	11	7	2
$\Phi_{z,w}$ (dak)	-53	-53	-53	-53	-53	-53
Φ_{inf}	16	16	16	16	16	16
Φ_p	160	160	160	160	160	160
Φ_l	97	97	97	97	97	97
Φ_a	200	200	200	200	200	200
Φ_k	605	775	944	1356	2255	3197 W
$\Phi_{k,sp}$	31	40	49	70	116	164 W/m ²
$n_{koeling}$ ($\Delta\theta=8\text{ }^{\circ}\text{C}$)	4,3	5,5	6,7	9,7	16,1	22,9 h ⁻¹
n_{nv} ($\Delta\theta=3\text{ }^{\circ}\text{C}$)	11,5	14,7	17,9	25,9	42,9	60,9 h ⁻¹

2.11 Invloed op systeemkeuze

Uit het voorgaande overzicht en tabel 5 blijkt dat een VAV-systeem een verantwoorde keuze is, mits buitenzonwering wordt toegepast en het glaspercentage niet meer is dan ca. 60%. Bij toepassing van 90% glas is een inductie- of een ventilatorconvectorsysteem nodig. Ook voldoet de combinatie VAV + koelplafond. Verder blijkt uit tabel 5 dat bij 30% glas met binnenzonwering ten minste een inductie- of een ventilatorconvectorsysteem nodig is. Bij meer dan 30% glas en binnenzonwering is er geen systeem dat voor een comfortabel binnenklimaat kan zorgen.

2.12 Invloed glaspercentage, type zonwering, interne belasting en specifiek werkzame massa

De interne warmtebelasting is in dit voorbeeld totaal 23,5 W/m². Voor een kantoorgebouw dat de opdrachtgever zelf gaat gebruiken, kan dit een reële waarde zijn. Bij een kantoorgebouw voor "de markt" met onbekende bezetting of bedoeld voor flexibel gebruik wordt meestal met een interne belasting van 40 W/m² gerekend. Voor het kantoorvertrek uit het voorbeeld zijn meer berekeningen gemaakt met verschillende interne belastingen, glaspercentages, typen zonwering en specifiek werkende massa's. De resultaten - uitgedrukt in specifieke koelbehoefte - zijn in figuur 14 grafisch en in tabel 9 in tabellarisch weergegeven.



figuur 14 invloed glaspercentage, zonwering en specifiek werkende massa op koellast

tabel 9 invloed glaspercentage, zonwering en specifiek werkende massa op koelbehoefte

		<i>buitenzonwering zonwerend glas binnenzonwering</i> ZTA = 0,15 ZTA = 0,3 ZTA = 0,5											
interne belasting	SWM	glas% -->											
W/m²	kg/m²		30	60	90	30	60	90	30	60	90		
0	50		13	24	36	23	45	67	51	101	151	W/m ²	
	80		11	20	29	19	36	53	46	97	144		
20	50		33	44	56	43	65	87	71	121	171		
	80		31	40	49	39	56	73	66	117	164		
35	50		48	57	71	58	80	102	86	136	186		
	80		46	55	64	54	71	88	81	132	179		
50	50		63	74	86	73	95	117	101	151	201		
	80		61	70	79	69	86	103	96	147	194		

Centrale Installaties – Koeling – Bouwfysische en Energetische Optimalisatie

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

1 Algemeen

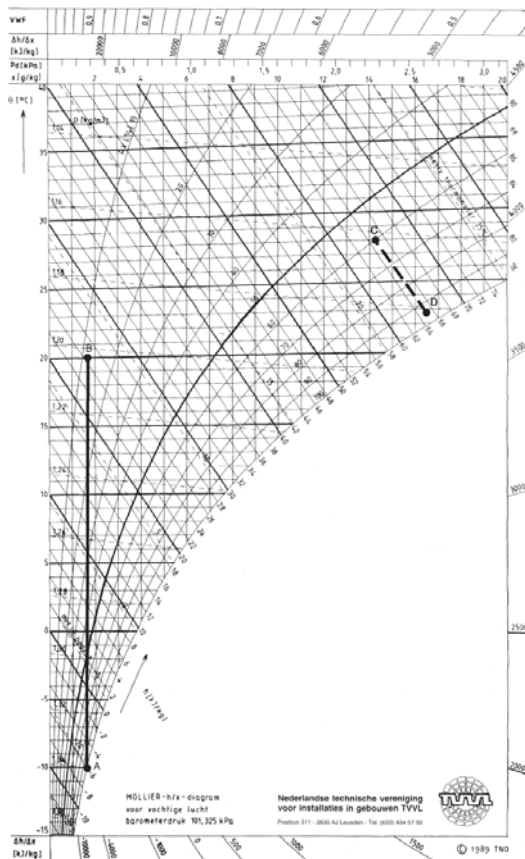
1.1 Inleiding

Ingegaan wordt op mogelijkheden om koelenergie te beperken. Centraal staat de mogelijkheid om met vocht te besparen op koelenergie. Op enkele fysische aspecten van vochtige lucht wordt dieper ingegaan.

2 Energetische optimalisatie met vocht

2.1 Luchtbevochtiging

Buitenlucht van -10°C bevat maximaal 1,6 gram water per kilogram lucht, zie punt A in het Mollier-diagram (figuur 1). Wordt deze lucht aan een ruimte toegevoerd en tot 20°C verwarmd dan wordt de relatieve vochtigheid in de ruimte theoretisch 11% (punt B). Zo droog zal het in werkelijkheid niet worden, omdat de vochtaccumulerende gebouwmassa en de in de ruimte aanwezige personen, planten e.d. vocht afgeven. Desondanks zal de relatieve vochtigheid in gebouwen tijdens perioden met lage buitentemperaturen vaak niet hoger zijn dan 20 à 30% en kan luchtbevochtiging wenselijk zijn. Luchtbevochtiging kan met water of verzadigde stoom plaatsvinden. Bij klimaatregeling gebeurt dit meestal centraal in een luchtbehandelingskast, het kan ook plaatselijk met losse apparaten. In hoofdstuk 3 wordt het Mollier-diagram toegelicht en aangegeven hoe de conditie van lucht bij bevochtiging verandert.

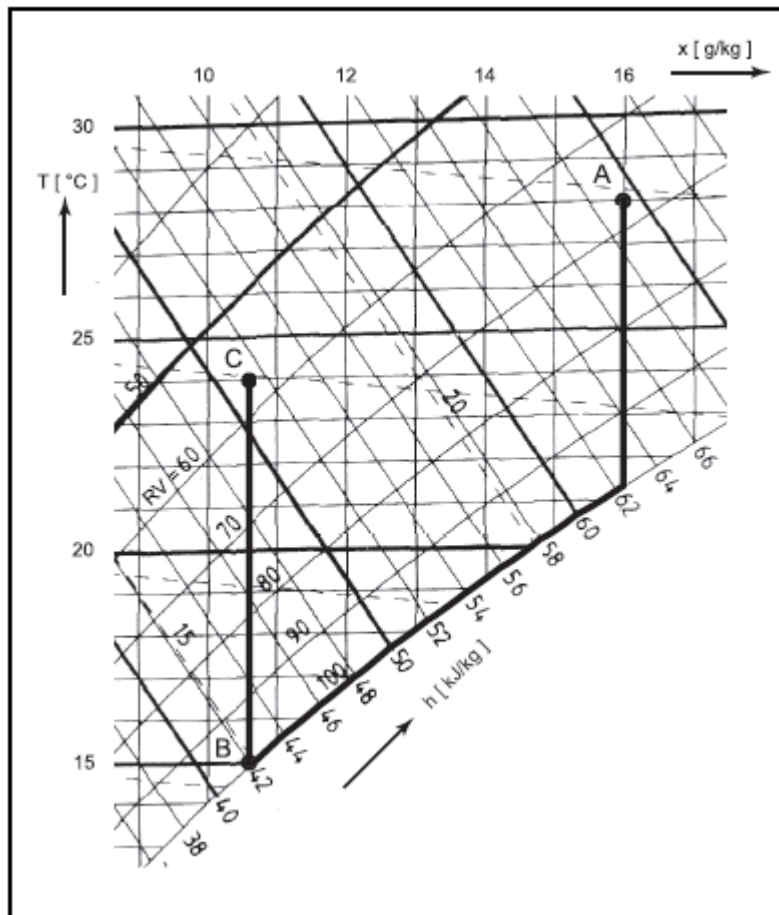


figuur 1 Mollier-diagram met proces van verwarmen/bevochtigen en directe adiabatische koeling

2.2 Diverse mogelijkheden van koelen van lucht

Lucht drogen d.m.v. koeling

Lucht van 28 °C kan maximaal 24 gram water per kg lucht bevatten. Buitenlucht van 28 °C bevat zelden meer dan 16 gram water per kg lucht (punt A in figuur 2).



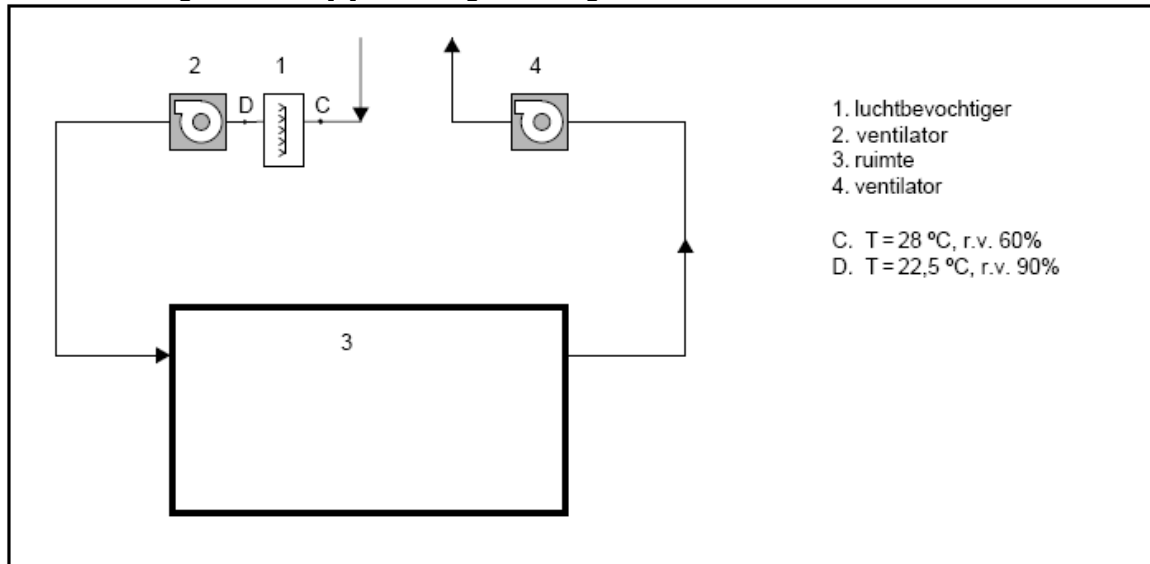
figuur 2 proces drogen d.m.v. koelen in het Mollier-diagram

Wordt deze lucht gekoeld tot (bijvoorbeeld) 16 °C dan condenseert een deel van de waterdamp uit de lucht op de koelbatterij en neemt de absolute luchtvochtigheid af tot 10,6 g/kg (punt B). Dit proces noemt men "luchtdroging met koeling onder het dauwpunt". Na toevoer van deze gekoelde lucht aan een ruimte, waarin door warmtebelasting een temperatuur van 24 °C heerst, ontstaat theoretisch een relatieve vochtigheid van 57% (punt C). In werkelijkheid zal de luchtvochtigheid door vochtafgifte van personen en vochtaccumulatie van bouw- en inrichtingsmaterialen iets hoger worden.

Adiabatische koeling

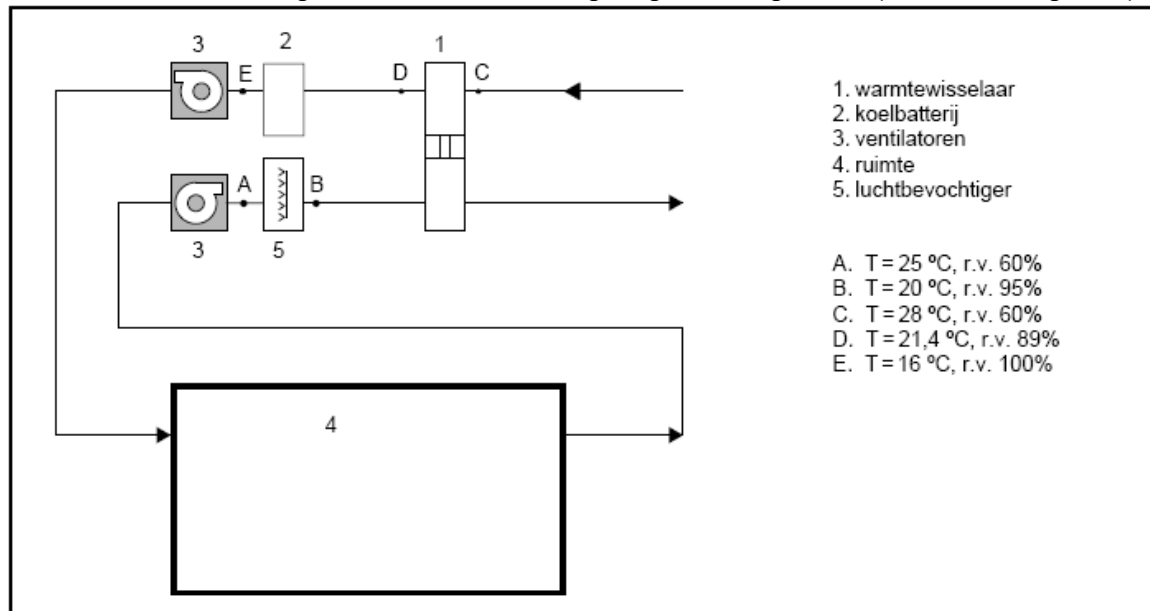
"Adiabatisch" betekent dat geen warmte wordt toe- of afgevoerd. Bij adiabatische koeling wordt water in de lucht gebracht door verneveling met sproeikoppen of door de lucht door een "luchtwater" te laten stromen. Een luchtwater bestaat uit lamellen of luchtdoorlatende vezels ("matten") waarover water wordt gespreid. Het water verdampt en onttrekt daarbij warmte aan de lucht waardoor de temperatuur van de lucht daalt. We spreken daarom ook wel over "verdampingskoeling". Een nadeel van deze vorm van koeling kan zijn dat de luchtvochtigheid toeneemt. "

Bij luchtbehandeling kan de aangezogen buitenlucht **direct** of **indirect** adiabatisch worden gekoeld. Het directe proces (zie schema figuur 3) is minder populair door het risico van "luchtbevochtigerskoorts" [1] en de lagere energetische effectiviteit.



figuur 3 processchema directe adiabatische koeling

Bij indirecte adiabatische koeling wordt de afvoerlucht bevochtigd en met deze lucht en een warmtewisselaar vervolgens de van buiten aangezogen lucht gekoeld (zie schema figuur 4).



figuur 4 processchema indirecte adiabatische koeling

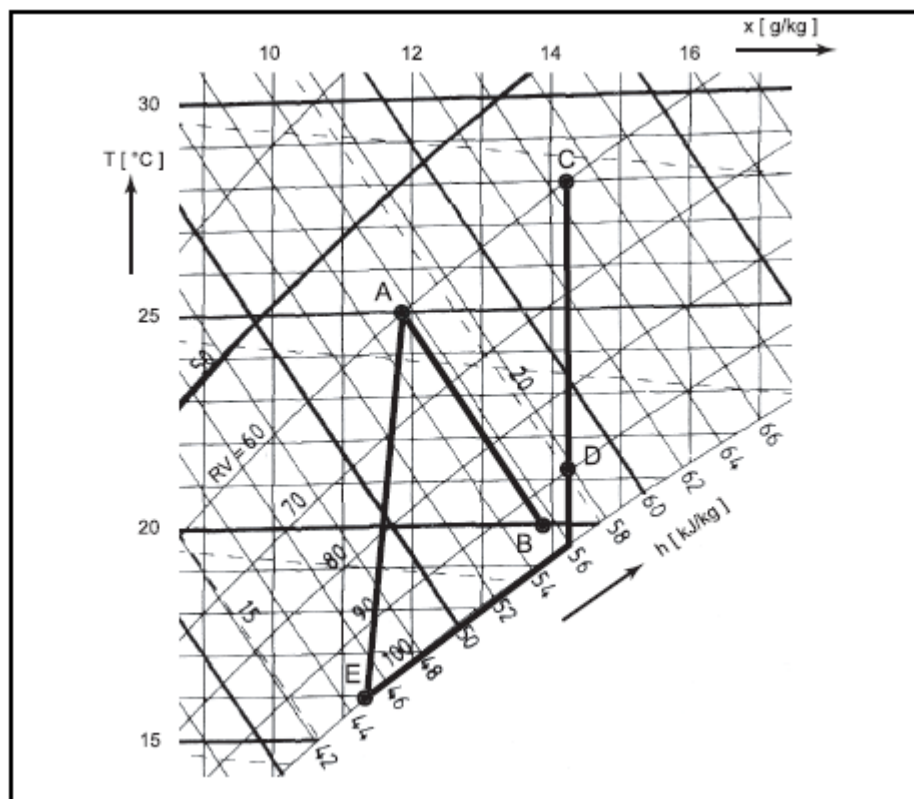
Met het indirecte adiabatische koelproces zijn besparingen op de koelenergie te bereiken van 25% en meer. In paragraaf 2.4. wordt dit koelproces uitgelegd aan de hand van een Mollier-diagram.

Adiabatische koeling is te combineren met luchtdroging en wordt “**Desiccative Evaporative Cooling**” genoemd. Kenmerkend voor dit proces is dat zowel de van buiten aangezogen lucht als de afvoerlucht wordt bevochtigd. Door verwarming wordt de relatieve vochtigheid van de afvoerlucht verlaagd waarna met deze lucht en een regeneratieve warmtewisselaar de van buiten aangezogen lucht wordt gedroogd. In deze gedroogde lucht kan meer water verdampen zodat met deze lucht dieper is te koelen. Voor verwarming van de afvoerlucht wordt afvalwarmte of zonnewarmte (“Solar Assisted Desiccative Evaporative Cooling”) gebruikt. In hoofdstuk 4 wordt dit koelproces toegelicht aan de hand van een Mollier-diagram.

Luchtbevochtiging t.b.v. koeling (adiabatische koeling)

Verdampend water onttrekt warmte aan de lucht waardoor de luchttemperatuur daalt. Dit proces, toegepast om lucht te koelen, noemen we “adiabatische” koeling. Bij **directe** adiabatische koeling (zie schema figuur 3) wordt de van buiten aangezogen lucht bevochtigd en aan de ruimte toegevoerd. Bijvoorbeeld lucht met conditie $\theta=28\text{ }^{\circ}\text{C}$ en $\text{RV}=60\%$ (punt C in figuur 1) wordt door bevochtiging gekoeld tot $\theta=22,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (punt D). Theoretisch is bevochtiging/koeling tot $\theta=22\text{ }^{\circ}\text{C}$ en $\text{RV}=100\%$ mogelijk. Dit is praktisch niet haalbaar door de korte verblijfstijd van de lucht in de lucht-bevochtiger en de niet homogene opname van het water in de lucht.

Bij **indirecte** adiabatische koeling (zie schema figuur 4) wordt de afvoerlucht bevochtigd (5) en met deze lucht vervolgens de van buiten aangezogen lucht gekoeld. De warmteoverdracht tussen beide luchtstromen gaat via warmtewisselaar (1). Het proces is in figuur 5 in een Mollier-diagram weergegeven.

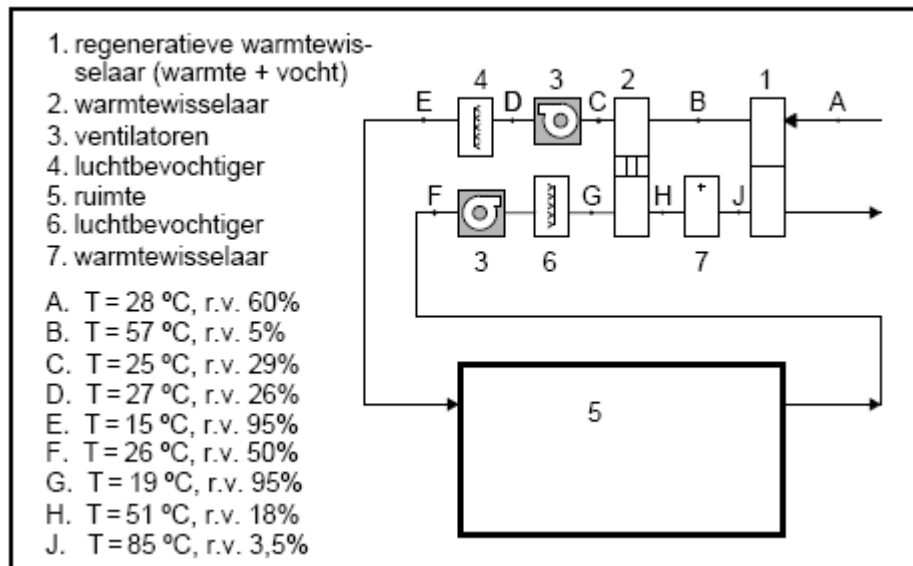


figuur 5 proces indirecte adiabatische koeling in een Mollier-diagram

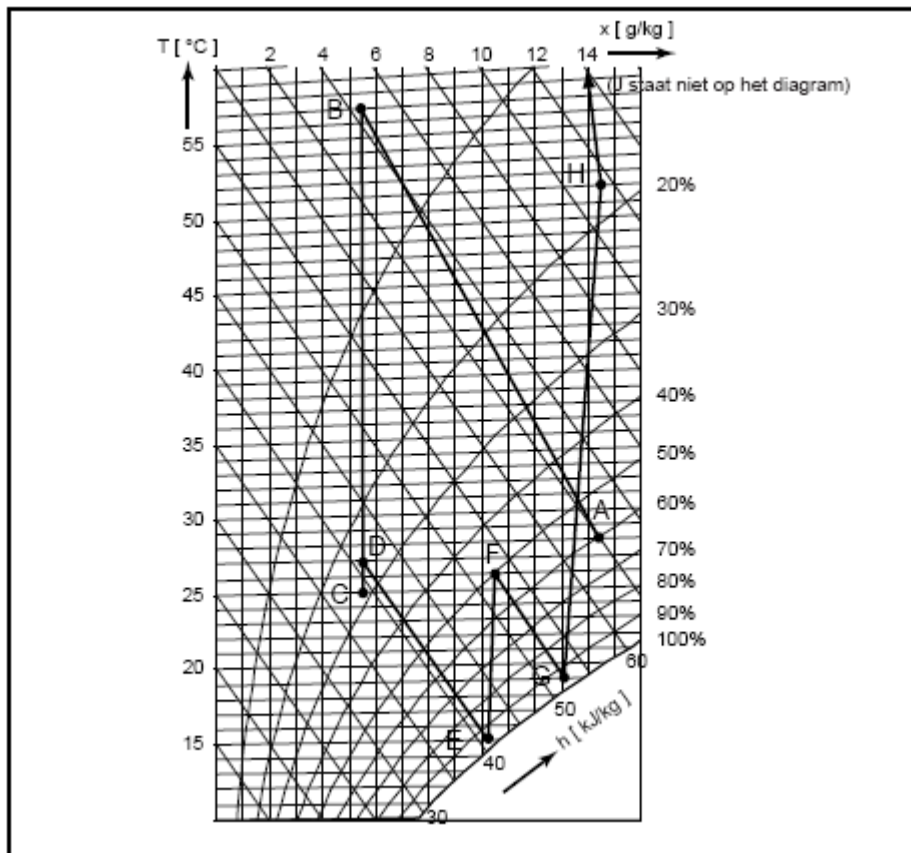
Door water te vernevelen neemt de luchtvochtigheid toe terwijl de warmte-inhoud h (enthalpie) gelijk blijft. Punt A ($\theta=25^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=60\%$) is de conditie van de afvoerlucht vóór en punt B ($\theta=20^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=95\%$) ná bevochtiging. Punt C ($\theta=28^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=60\%$) is de conditie van de buitenlucht, deze wordt met de adiabatisch gekoelde afvoerlucht en een warmtewisselaar gekoeld tot punt D ($\theta=21,4^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=89\%$), met een koelbatterij - gevoed met gekoeld water van een koelmachine - gekoeld/gedroogd tot punt E ($\theta=16^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=100\%$) en daarna aan de ruimte toegevoerd. In de ruimte neemt de lucht warmte en vocht op en ontstaat de conditie weergegeven door punt A. De enthalpie van de lucht in punt C, D en E is respectievelijk 65, 58 en 45 kJ/kg. Bij dit voorbeeld is de besparing op koelenergie, in vergelijking met koeling met alleen een koelmachine: $(65 - 58) : (65 - 45) \times 100\% = 35\%$.

Luchtbevochtiging en droging t.b.v. koeling (dessiccative evaporative cooling)

Bij “desiccative evaporative cooling” (DEC) wordt zowel de van buiten aangezogen lucht als de afvoerlucht door middel van bevochtiging adiabatisch gekoeld. Bovendien vindt warmtetoevoer plaats om lucht te drogen waarna de toevoerlucht nog dieper is te koelen dan bij indirecte adiabatische koeling mogelijk is. Figuur 6 is een schema van dit proces.



figuur 6 schema DEC-koelproces



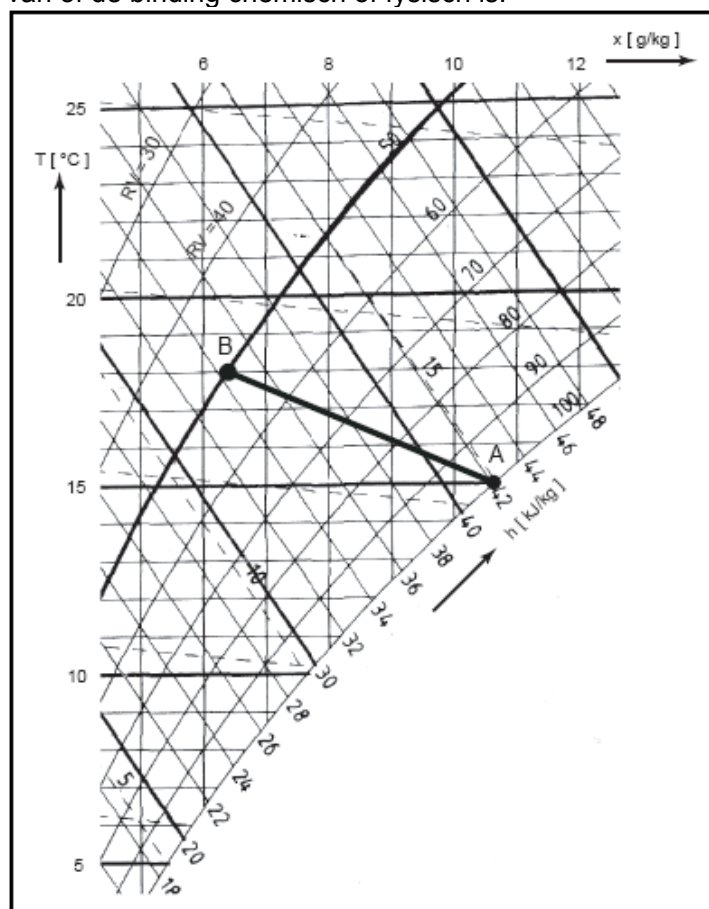
figuur 7 DEC-koelproces in het Mollier-diagram (uitsnede)

Punt A ($\theta=28^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=60\%$) is de conditie van de buitenlucht. Deze lucht wordt met verwarmde afvoerlucht en een regeneratieve warmtewisselaar (1) verwarmd en gedroogd tot conditie B ($\theta=57^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=5\%$) en met (nog niet verwarmde) afvoerlucht en warmtewisselaar (2) gekoeld tot conditie C ($\theta=25^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=29\%$). Ventilator (3) geeft een beetje warmte af zodat conditie D ($\theta=27^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=26\%$) ontstaat. Hierna wordt de lucht met bevochtiger (4) op conditie E ($\theta=15^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=95\%$) gebracht en aan de ruimte toegevoerd. In de ruimte (5) neemt de lucht warmte en vocht op en ontstaat conditie F ($\theta=26^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=50\%$). Dit is tevens de conditie van de afvoerlucht uit de ruimte die met bevochtiger (6) op conditie G ($\theta=19^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=95\%$) en met warmtewisselaar (2) en de inmiddels tot 57°C verwarmde toevoerlucht op conditie H ($\theta=51^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=18\%$) wordt gebracht. Daarna wordt de afvoerlucht met warmtewisselaar (7) verwarmd tot conditie J ($\theta=85^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=3,5\%$). Met deze warme droge lucht en regeneratieve warmtewisselaar (1) wordt de verse toevoerlucht gedroogd en verwarmd en ontstaat de eerder genoemde conditie B ($\theta=57^{\circ}\text{C}$, $\text{RV}=5\%$).

De warmte die via warmtewisselaar (7) aan het proces wordt toegevoerd kan afvalwarmte zijn, bijvoorbeeld uit de uitlaatgassen van een bij de productie van elektrische stroom gebruikte gasmotor of zonnewarmte. Als zonnewarmte wordt gebruikt, waarbij overigens minder hoge temperaturen worden bereikt, noemt men het proces "solar assisted dessicative evaporative cooling".

Lucht drogen d.m.v. adsorptie en absorptie

Bij absorptie zuigt een poreuze stof water op, bij adsorptie wordt water uit de lucht chemisch of fysisch aan een oppervlak gebonden. Binding van water aan het poriënoppervlak van een vaste stof is een vorm van adsorptie. Silicagel en aluminiumoxide zijn stoffen met een fysisch bindingsproces. Met hete lucht is het water uit deze stoffen te verdrijven. Dit heet desorptie of regeneratie. Hygroscopisch zouten, zoals lithiumchloride (LiCl) of lithiumbromide (LiBr), absorberen water. Dit proces past men onder andere toe bij regeneratieve warmtewisselaars (speciale uitvoering van warmtewielen) om waterdamp tussen twee luchtstromen over te dragen. Bij sorptie komt bindingswarmte vrij. Hierdoor loopt het droogproces in het Mollier-diagram ongeveer van punt A naar punt B (zie figuur 8) en is de precieze richting afhankelijk van of de binding chemisch of fysisch is.



Figuur 8 Proces drogen d.m.v. adsorptie en absorptie in het Mollier-diagram

3. Literatuur

1. Schalkoort TAJ, Ontwikkeling en behoud van gezonde kantoorgebouwen - Studie naar het 'Sick Building Syndrome' en de mogelijkheden van het terugdringen van bewonersklachten in kantoorgebouwen, Studierapport S124, Ministerie van Sociale Zaken en Werkgelegenheid, 1991.

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

Kenniskbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

1 Algemeen

Bij woonruimten en andere verblijfruimten met een geringe interne warmtebelasting wordt de keuze van de klimaatregeling vooral bepaald door de maximale warmtebehoefte. Tabel 1 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.

tabel 1 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⁾ zie verder in deze module voor de beperkingen

²⁾ minder of niet geschikt voor hoge ruimten

³⁾ luchttoevoer vanuit plafond met tangentielle stroming

⁴⁾ luchttoevoer vanuit vloer en toevoer vanuit plafond met diffuse stroming

1.2 Bepaling specifiek verwarmingsvermogen

De voor luchtverwarming aangegeven waarden zijn bepaald met hieronder weergegeven vergelijkingen. Andere waarden zijn ontleend aan handboeken.

"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.

Het verwarmingsvermogen van lucht is:

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

waarin:

q_v = volumestroom in m^3/s

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

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

$\Delta\theta$ = temperatuurverschil tussen toevoer en afvoer in K

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

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

waarin:

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

De volumestroom kan ook worden geschreven als:

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

waarin:

n = ventilatievoud in h^{-1}

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

h = hoogte van de ruimte in m

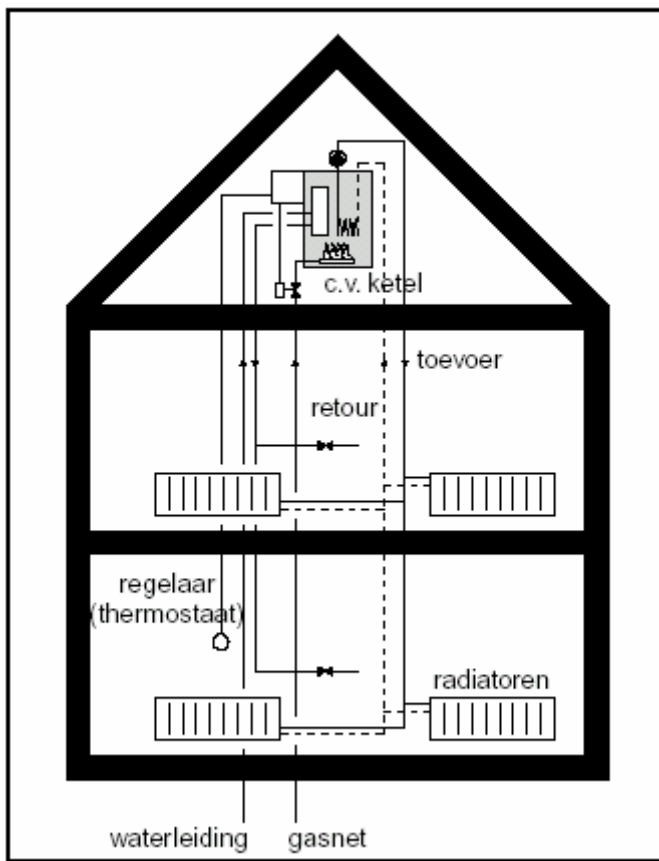
Na substitutie leidt dit tot de vergelijking:

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

2 Afgiftesystemen

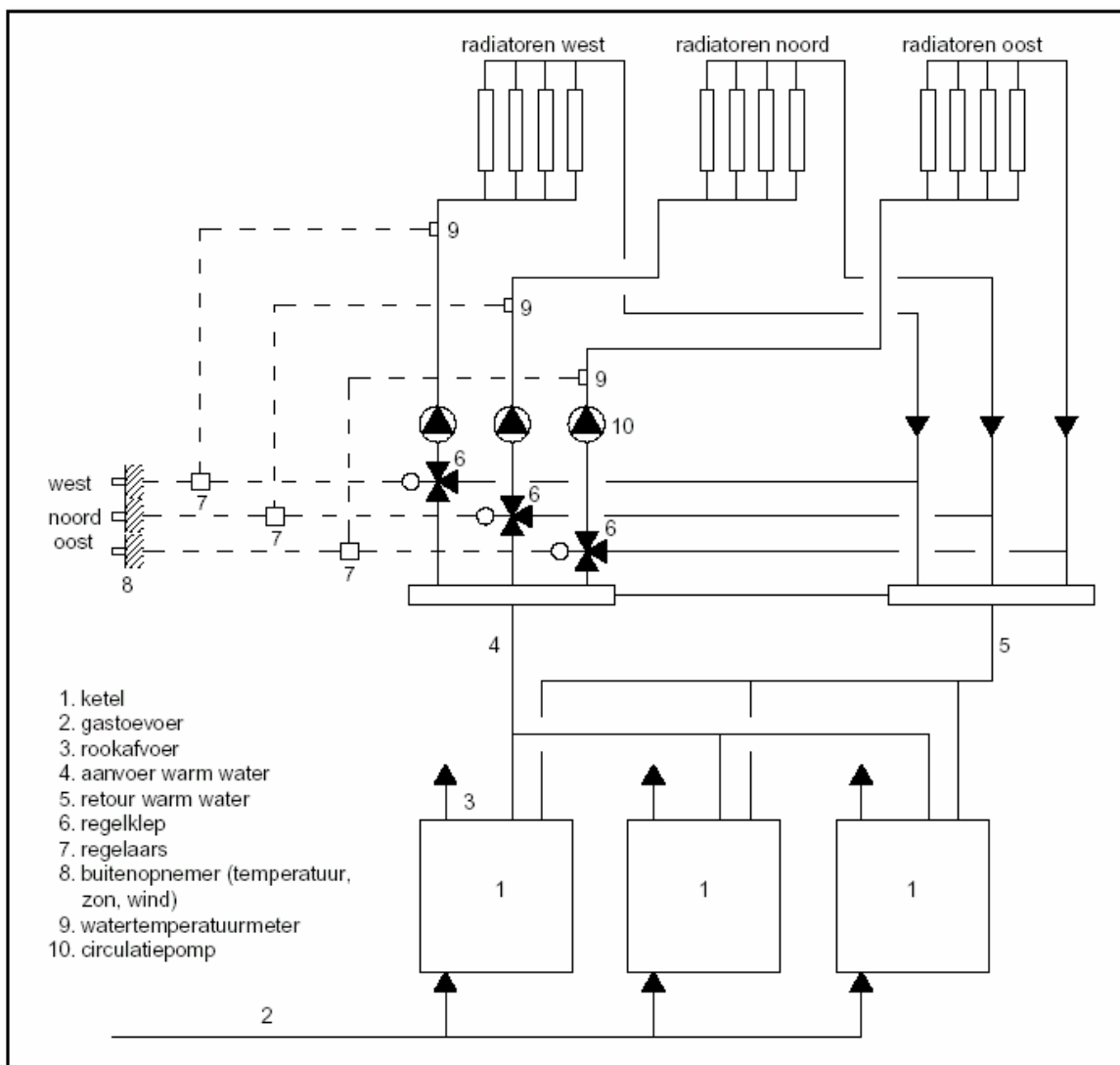
2.1 Regeling

De centrale verwarming van woningen wordt meestal geregeld met een thermostaat in de woonkamer die de brander van de ketel beïnvloedt (zie figuur 1). De temperatuur van de overige vertrekken is met thermostatische radiatorkranen na te regelen. Indien er bij woningen sprake is van vloerverwarming als hoofdverwarming is worden er per verblijfsruimte aparte groepen gemaakt die meestal apart regelbaar zijn. In toenemende mate wordt de comfortkwaliteit vastgelegd in GIW-bepalingen die bij woningen normaliter als uitgangspunt worden genomen.



figuur 1 schema centrale verwarming (combiketel) in woning met thermostaatregeling
Tegenwoordig wordt de watertemperatuur meestal daarnaast weersafhankelijk voorgeregeld op basis van de buitentemperatuur. In dat geval moet er een aparte buitenvoeler worden geplaatst, bij voorkeur op een noordgevel.

Bij utiliteitsgebouwen past men vaak aparte verwarmingsgroepen toe voor vertrekken met gelijke oriëntatie of gelijke functie (zie figuur 2). De watertemperatuur wordt dan per groep voorgeregeld op basis van de buitentemperatuur met correcties voor de invloed van zon en wind. Ook bij deze groepen is de temperatuur per ruimte met thermostatische radiatorcransen na te regelen.



figuur 2 schema centrale verwarmingssysteem utiliteitsbouw met meerdere ketels en verwarmingsgroepen
 De driewegregelkleppen (6) maken het o.a. mogelijk dat als er weinig warmtevraag is het water kan circuleren zonder dat de verwarmingsketel in bedrijf is. Dit voorkomt dat de ketel voortdurend aan en uit kan gaan.

2.2 Temperaturen

Het vermogen dat kan worden afgegeven door een verwarmingselement wordt beperkt door:

1. De toelaatbare oppervlakte temperatuur: Bij directe aanraking is deze relatief laag (max. ca. 28°C), zoals bij vloerverwarming. Bij hoge hallen worden soms stralingspanelen toegepast die een temperatuur van 160°C kunnen hebben. Door de grote afstand t.o.v. de gebruiker en het relatief kleine oppervlak levert dit geen discomfort op.
2. De grootte van het oppervlak: Hoe groter het oppervlak hoe meer invloed.
3. De afstand van het oppervlak tot de gebruiker: Het effect van de combinatie van 2 en 3 - het vaststellen van de gemiddelde stralingstemperatuur op een bepaalde plek - kan worden berekend met zicht- of blikfactoren.
4. De plaats en oriëntatie van het oppervlak: De temperatuur van een wand kan in relatie tot het comfort hoger zijn dan van een vloer of een plafond. Te warme voeten of een te warm hoofd is niet plezierig. In de NPR-CR 1752 en de NEN-EN-ISO 7730 staan enkele grenswaarden aangegeven.

Belangrijk is daarbij dat de stralingsasymmetrie tussen vloer en plafond niet meer dan 5 tot 7 °C mag zijn. Om de stralingsasymmetrie te bepalen mag de gemiddelde temperatuur van alle vlakken onder en boven de gebruiker worden berekend (afgeleid van de zichtfactoren).

2.3 Bepaling afgiftevermogen

Om een snelle indruk te krijgen welk vermogen een bepaald vlak ongeveer heeft bij een bepaalde oppervlaktetemperatuur kan gebruik worden gemaakt van de volgende vergelijking:

$$\Phi = \alpha \cdot \Delta\theta \quad (W) \quad (5)$$

waarin:

Φ = warmtestroom in W/m^2

$\Delta\theta$ = temperatuurverschil tussen oppervlak en ruimtelucht in K

α = warmteoverdrachtscoëfficiënt (straling + convectie) in W/m^2K

Voor een verwarmd plafond is de alpha-waarde (α) vrij laag, ca. 6 W/m^2K . Dit komt omdat warmte van nature naar bovenstroomt. De convectiestroom wordt geblokkeerd bij het plafond.

Voor een verwarmde vloer of wand is de alpha-waarde daarom hoger, ca. 10 W/m^2K .

Uiteraard wordt e.e.a. beïnvloed door de ventilatie- of convectiestroom bij het vlak.

Bij een temperatuurverschil tussen plafond en ruimte van 5 K is de warmteafgifte $\alpha \cdot \Delta\theta = 6 \cdot 5 = 30 W/m^2$.

Om na te gaan hoeveel water hiervoor nodig is bij welk temperatuurverschil kan de al eerder genoemde vergelijking opnieuw worden gebruikt, maar nu voor water:

$$\Phi = q \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta\theta \quad (W) \quad (1)$$

waarin:

Φ = warmtestroom in W/m^2

q_v = volumestroom in m^3/s

ρ = volumieke massa van water $\approx 1.000 kg/m^3$

c = soortelijke warmte van water $\approx 4.200 J/(kg.K)$

$\Delta\theta$ = temperatuurverschil tussen toevoer en afvoer in K

Een warmteafgifte van 30 W/m^2 en een temperatuurverschil van 1 K tussen toe- en afgevoerd water leidt in bovenstaande vergelijking tot de volgende volumestroom: $0,0000071 kg/sm^2 = 0,0071 l/sm^2 = 25 l/hm^2$. Indien in een vloer verwarmingsbuizen zijn opgenomen en de inwendige diameter van de buis is 15 mm, is de stroomsnelheid:

$$U = q_v / A =$$

U = stroomsnelheid in m/s

q_v = volumestroom in m^3/s

A = inwendig oppervlak buis in m^2

$$U = 0,0000071 / ((\pi \cdot 0,0015/2)^2) = 0,04 m/s$$

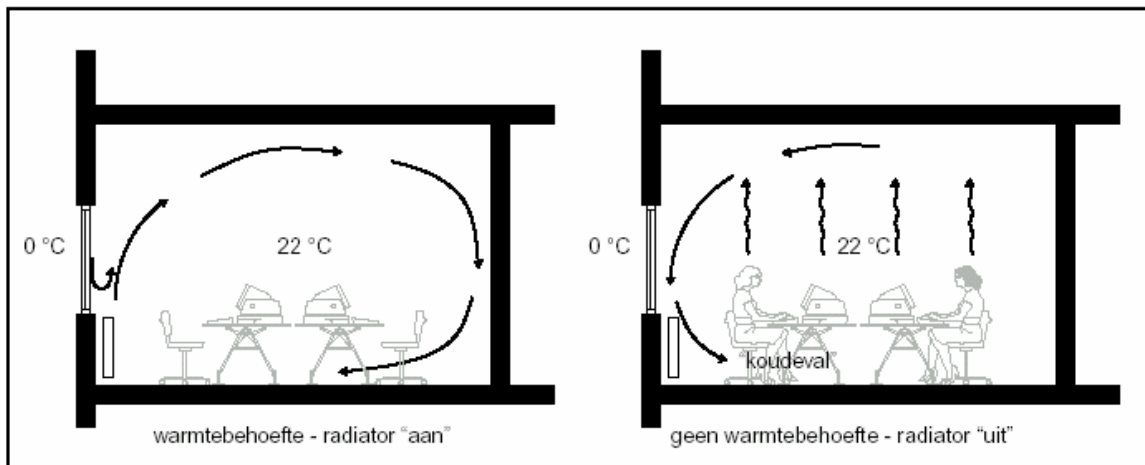
De stroomsnelheid is erg laag. Als meerdere m^2 via dezelfde buis aan elkaar worden gekoppeld tot een vloerveld of groep (zie figuur 6) en alle warmte stroomt door deze buis neemt de stroomsnelheid toe. Bij $10 m^2$ is dit al $0,4 m/s$ bij een totale $\Delta\theta$ van $10 K$. Bij meer warmteafgifte wordt de stroomsnelheid hoger, evenredig met de warmtetoeename. Om pompenergie te beperken moet de stroomsnelheid zo laag mogelijk zijn en bij voorkeur onder de $1 m/s$ blijven.

2.4 Radiatoren

Met radiatoren kan aan de comforteisen worden voldaan mits de radiatoren zich bevinden op plaatsen waar het grootste warmteverlies optreedt, zoals bij ramen. Radiatoren kunnen daar - door hun hoge temperatuur - "koudestraling" compenseren, "koudeval" opvangen en - bij geopende ramen - tegengaan. "Koudestraling" is het gevoel dat ontstaat als onbedekte huid door straling warmte verliest aan een koud oppervlak. Het lijkt op tocht. "Koudeval" is de neerwaartse luchtstroom die bij koude vlakken ontstaat en tocht veroorzaakt over de vloer, vensterbanken en tegen de koude vlakken aangeschoven tafel- of bureaubladen.

Radiatoren zijn minder geschikt voor het verwarmen van hoge ruimten ($>3,5 m$) omdat ze beperkt invloed hebben op de luchtcirculatie, waardoor bovenin de ruimte een warme luchtdeken kan ontstaan. Dit verschijnsel doet zich minder voor in mechanisch geventileerde ruimten.

Indien er sprake is van veel interne warmteontwikkeling, bij voorbeeld door personen en apparatuur, blijven radiatoren koud. In dat geval wordt koudestraling niet gecompenseerd, koudeval niet opgevangen en wordt de luchtstroom bij open ramen niet verwarmd (figuur 3). Dit risico is te beperken door geen grote en/of hoge glasvlakken toe te passen of door die vlakken van extra isolerende glassoorten ("HR-glas") te voorzien dan wel ze als klimaatraam of klimaatgevel uit te voeren en door gerichte mechanische ventilatie.



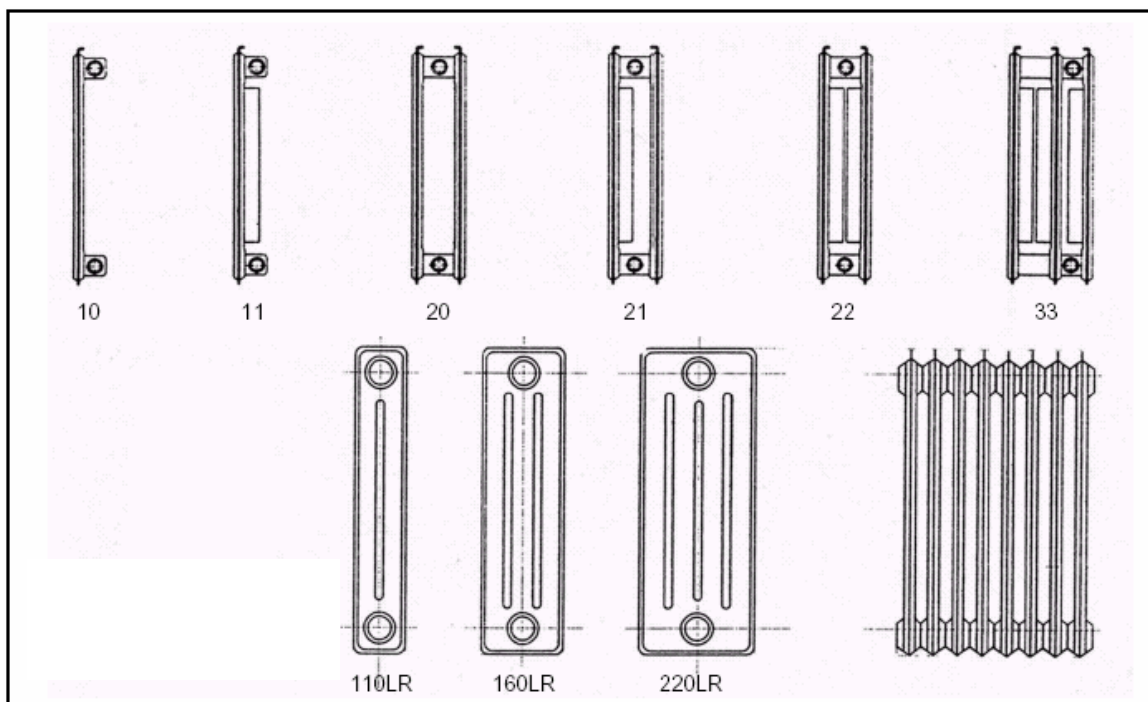
figuur 3 radiatorverwarming en koudeval

We kennen paneel-, leden- en designradiatoren. Verder zijn er paneelconvectoren, dat zijn paneelradiatoren waarvan de buitenoppervlakte is vergroot met geprofileerde platen of ribben aan de achterzijde of tussen de panelen in. Radiatoren en paneelconvectoren zijn er in hoogten van 200, 300, 400, 500, 600, 800 en 1000 mm. Designradiatoren hebben een glad oppervlak (vaak met ribben aan de achterzijde) of zijn samengesteld uit ronde of rechthoekige buizen. Ze zijn te leveren in standaard hoogten maar ook in langgerekte/lage of smalle/hoge vormen.

Het verwarmingsvermogen van radiatoren is evenredig met de oppervlakte, zie tabel 2. Deze tabel geldt voor een aanvoer- en retourtemperatuur van respectievelijk 90 en 70 °C. Bij radiatoren met aansluitleidingen in de deklaag van de vloer is het beter om geen hogere temperatuur toe te passen dan 60°C. Het verwarmingsvermogen is dan ongeveer de helft van de in tabel 2 aangegeven waarden.

tabel 2 verwarmingsvermogen radiatoren en paneelconvectoren per m² aanzichtsoppervlakte (zie figuur 4)

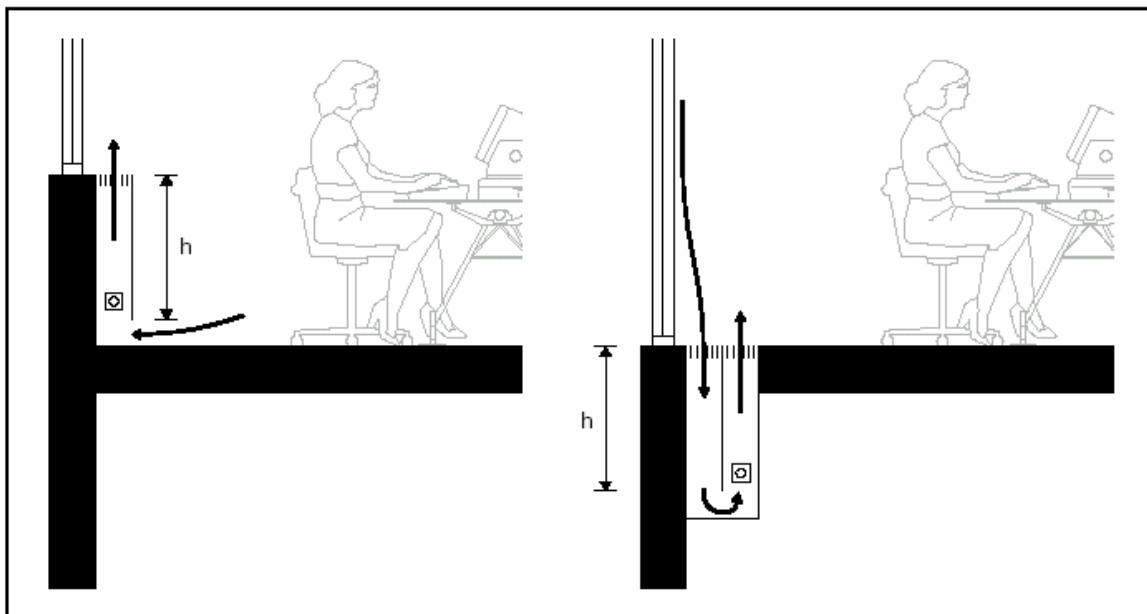
type		W/m ²
10	éénplaats paneelradiator	1300
11	éénplaats paneelconvector	1900
20	tweeplaats paneelradiator	2200
21	tweeplaats paneelconvector	2700
22	tweeplaats paneelconvector	3300
33	drieplaats paneelconvector	4500
110LR	tweekoloms ledenradiator	2400
160LR	driekoloms ledenradiator	3300
220LR	vierkoloms ledenradiator	5000



figuur 4 verschillende typen radiatoren

2.5 Convectoren en ribbenbuizen

Convectoren zijn buizen waarvan de oppervlakte is vergroot met dunne metalen plaatjes ("lamellen"). Ribbenbuizen zijn steviger omdat voor de ribben dikkere metalen plaat wordt gebruikt. Net als radiatoren zijn ribbenbuizen vrij op te hangen. Convectoren zijn kwetsbaar en moeten in een omkasting of convectorput zijn aangebracht. Convectoren en ribbenbuizen geven hun warmte hoofdzakelijk convectief af. Door een aantal elementen boven of naast elkaar te plaatsen is een verwarmingsvermogen van enkele duizenden Watts per strekkende meter te realiseren. Het vermogen van convectoren wordt beïnvloed door de hoogte van de schacht, zie figuur 5.

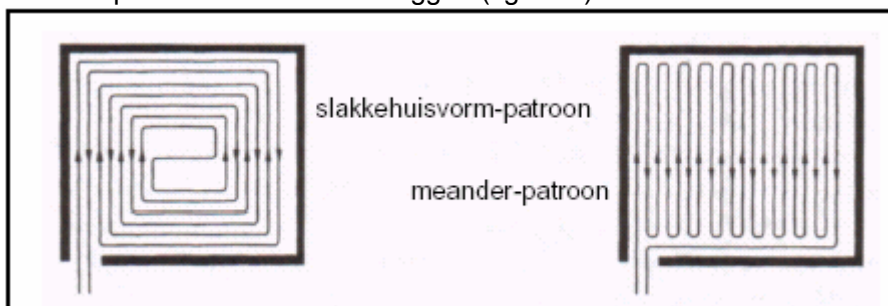


figuur 5 convectorschacht en convectorput

Convectoren en ribbenbuizen moeten, net als radiatoren, zijn aangebracht op plaatsen waar het grootste warmteverlies optreedt. Door het ontbreken van compensatie voor "koudestraling" moet voor gelijk comfort de gevel een hogere isolatiewaarde hebben en de luchttemperatuur 0,5 tot 1,0 °C hoger zijn dan bij radiatorverwarming (vuistregel). Om met convectoren en ribbenbuizen op 0,6 m vanaf de gevel aan de gebruikelijke comforteisen voor verblijfruimten te kunnen voldoen mag de gevel niet meer dan 30% transparant zijn. Deze vuistregel geldt voor dubbel glas. Bij hogere percentages moet HR-glas zijn toegepast of het glasvlak als klimaatraam of klimaatgevel zijn uitgevoerd. Net als radiatoren zijn convectoren en ribbenbuizen minder geschikt voor het verwarmen van hoge ruimten (>3,5 m) omdat ze een relatief geringe luchtcirculatie veroorzaken waardoor bovenin de ruimte een warme luchtdeken ontstaat. Dit verschijnsel doet zich in mindere mate voor in mechanisch geventileerde ruimten.

2.6 Vloerverwarming en betonkernactivering

Vloerverwarming bestaat uit metalen of kunststof buizen die in een slakkenhuisvorm of meanderpatroon in de dekvloer liggen (figuur 6).



Figuur 6 Spiraalvormen bij vloerverwarming

De gemakkelijk te buigen buizen worden "op rol" geleverd. Met een buislengte van 100 m is - afhankelijk van de van de buisafstand - 10 tot 20 m² vloer te verwarmen. Om de weerstand en daarbij benodigde pompenergie te beperken worden langere buislengtes dan ca. 100 m meestal

niet toegepast. Om lekkage te voorkomen is het tevens beter om geen buisverbindingen in de dekvloer toe te passen.

Daarom zijn bij grotere oppervlakten meer vloervelden of groepen nodig die apart worden aangesloten op een verdeler die goed bereikbaar in een kast of wand (achter een wegneembaar paneel) is geplaatst. De slakkenhuisvorm geeft de meest gelijkmatige vloertemperatuur. Met het meanderpatroon kan plaatselijk, bij voorbeeld bij een buitengevel, voor meer verwarmingsvermogen worden gezorgd. Warmteschade aan de dekvloer of vloerafwerking is te voorkomen door geen hogere watertemperatuur toe te passen dan 50 °C. Daarom wordt vloerverwarming bij toepassing in combinatie met radiatorverwarming meestal apart geregeld met een eigen regelset en een eigen circulatiepomp.

Vloerverwarming is alleen geschikt als hoofdverwarming als de warmtebehoefte per m² laag is, zoals als bij energiezuinige woningen het geval is bij weinig transmissie-, ventilatie- en infiltratiewarmteverlies en beperkte raamhoogtes. Dat komt door het volgende:

- Het vermogen is beperkt omdat de vloertemperatuur niet te hoog mag worden. In ruimten waarin hoofdzakelijk wordt gezeten is dit maximaal 28 °C en in ruimten waarin hoofdzakelijk wordt gestaan maximaal 25 °C mag zijn. Het verwarmingsvermogen is dan respectievelijk 90 en 55 W/m².
- De warmte wordt voor een groot deel niet toegevoerd op de plaats waar het grootste warmteverlies optreedt zodat o.a. de koudeval bij ramen niet wordt opgevangen.

Vloerverwarming is een traag systeem. Opwarmen duurt veel langer dan bij een radiator. Nachtverlaging heeft nauwelijks zin. Als de vloerverwarming 's avonds wordt uitgezet is het de volgende dag hooguit 1 tot 2°C kouder.

Indien warmteverlies naar de benedenverdieping moet worden tegengegaan - wat zeker bij gestapelde appartementen het geval is - moet onder de vloerverwarming minstens 20 mm isolatie worden aangebracht. Vloerverwarming wordt daarbij in de afwerkvloer opgenomen die voldoende dikte moet hebben om de buizen + warmteverdelende deklaag op te nemen. Als richtlijn voor de dikte van het totale pakket moet 100 mm worden aangehouden. Uiteraard hangt de opbouwdikte af van de systeemkeuze.

Vloerverwarming is ook zinvol voor verwarming van vloeren boven onverwarmde ruimten en wordt vaak in gecombineerd met radiatorverwarming of luchtverwarming. Een voordeel van de combinatie met aanvullende verwarming is het grotere verwarmingsvermogen, de snellere opwarmtijd en mogelijkheid tot compensatie van koudeval en koudestraling.

Een toepassingsvorm van vloerverwarming die steeds meer voorkomt is betonkernactivering. Hierbij worden de buizen met warm water normaliter in de kern van het beton aangebracht, bij voorkeur daar waar er sprake is van de minste dwarskracht (neutrale zone). Bij betonkernactivering wordt niet alleen de vloer, maar ook het plafond verwarmd. Indien onder de vloerverwarming geen isolatie wordt aangebracht en de vloerverwarming is opgenomen in een afwerkvloer die warmte goed geleid is het effect vrijwel gelijk aan dat van betonkernactivering.

2.7 Muur- of wandverwarming

Voor muurverwarming kan hetzelfde materiaal worden gebruikt als voor vloerverwarming. Voorbeelden zijn te vinden in de woningbouw met wanden van gips of kalkzandsteen, waarin sleuven aanwezig zijn t.b.v. verwarmingsbuizen. Er bestaan ook "droge"opbouwsystemen waarbij

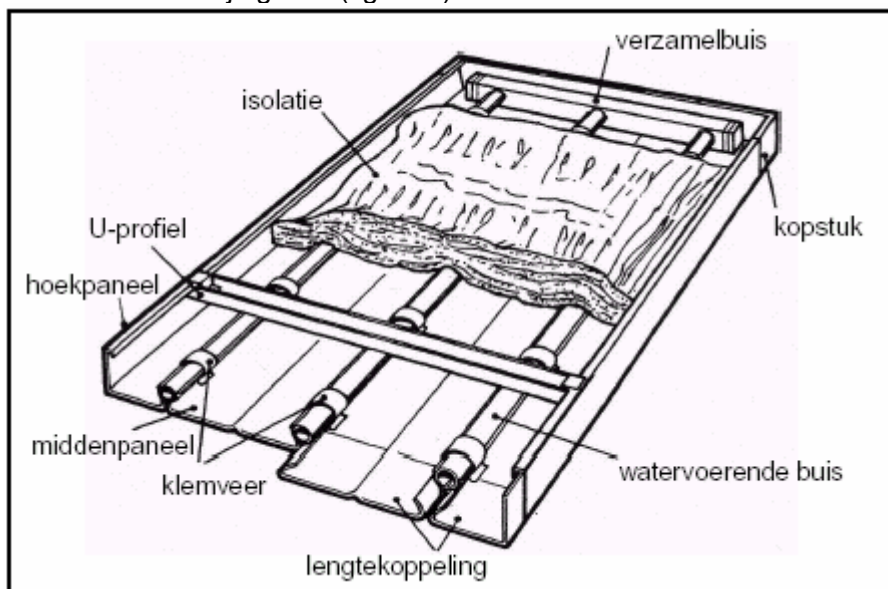
de buizen in voorgevormde aluminium platen zijn geplaatst waar overheen gipsplaat wordt aangebracht.

Een nadeel van wandverwarming is dat de warmte niet wordt toegevoerd op plaatsen waar het grootste warmteverlies optreedt. Een ander bezwaar is dat door uitzetten en krimpen van de wand scheurvorming kan ontstaan, om die reden is het - afhankelijk van het systeem - beter om geen hogere watertemperatuur toe te passen dan 30 - 40 °C.

Het verwarmingsvermogen per m² wand is - door de hogere toelaatbare temperatuur vergeleken met vloerverwarming - hoger dan bij vloerverwarming en is bij genoemde oppervlaktetemperaturen 100 - 200 W/m² wand.

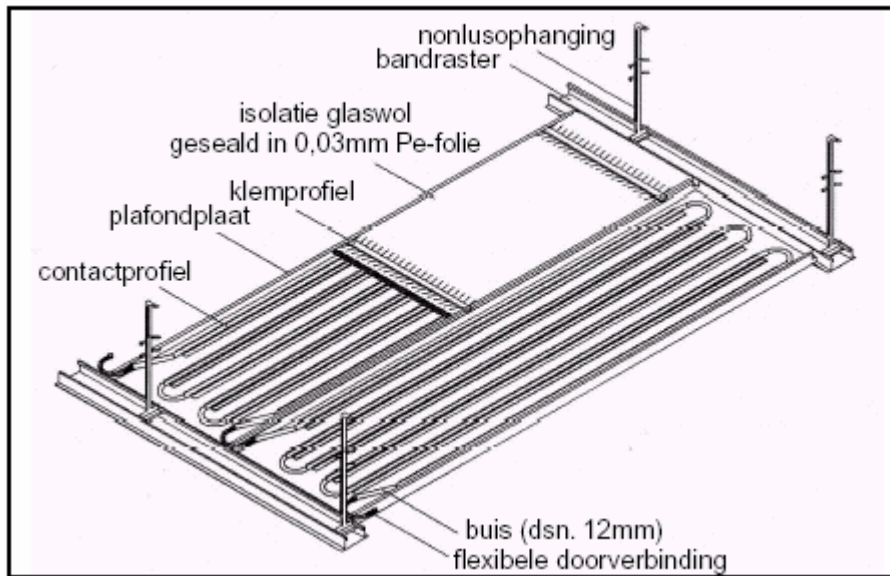
2.8 Plafondverwarming

Verwarmingsplafonds kunnen metalen stroken of cassettes zijn die aan buizenregisters worden geklemd. Registers bestaan uit evenwijdig lopende watervoerende buizen die aan de uiteinden aan verzamelbuizen zijn gelast (figuur 7).



figuur 7 verwarmingsplafond met buizenregister (systeem Frenger)

Het geheel wordt afgedekt met in folie gesealde isolatiedekens. Bij een tweede type liggen in spiraalvorm gebogen metalen buizen (figuur 8) of matten van kunststofbuisjes los op standaard metalen plafondplaten.



figuur 8 verwarmingsplafond met in spiraalvorm gebogen buizen

Bij een derde type zijn de spiralen of matten in de fabriek aan de platen gehecht of in een sandwichpaneel opgenomen. De platen of sandwichpanelen worden aan frames bevestigd. Registers, spiralen en matten sluit men met gepantserde slangen aan op verwarmingsleidingen die boven het plafond liggen. De inbouwhoogte van verwarmingsplafonds is, inclusief aansluitleidingen, 100 tot 150 mm.

Een vierde type verwarmingsplafond bestaat uit buigbare matten van kunststofbuisjes die met een stuclaag worden afgewerkt en daardoor als gebogen vlak zijn uit te voeren (figuur 9).



figuur 9 voorbeeld van een gebogen verwarmingsplafond

Omdat de ruimte boven het plafond ontoegankelijk is moeten verbindingen, afsluiters, aansluitleidingen e.d. in een koof, gang of andere plaats zijn aangebracht waar ze bereikbaar zijn voor controle en onderhoud.

Omdat plafondverwarming een beperkt vermogen heeft en de warmte voor een groot deel niet wordt toegevoerd op plaatsen waar het grootste warmteverlies optreedt is het meestal niet geschikt als hoofdverwarming. Het beperkte vermogen hangt samen met de maximaal toelaatbare plafondtemperatuur die weer afhankelijk is van de afstand tussen het plafond en het hoofd van de mensen in de ruimte. Bevindt het plafond zich op een hoogte van 2,7 m in een ruimte waarin mensen hoofdzakelijk zitten dan is het verwarmingsvermogen maximaal 70 W/m^2 en in ruimten waarin veel wordt gestaan maximaal 50 W/m^2 . De hier beschreven verwarmingsplafonds zijn eveneens te gebruiken als koelplafond.

Voor plafondverwarming zijn ook stralingspanelen te gebruiken. Dit zijn stevige stalen platen die aan buizen zijn gelast (figuur 10) en op paneelradiatoren lijken.

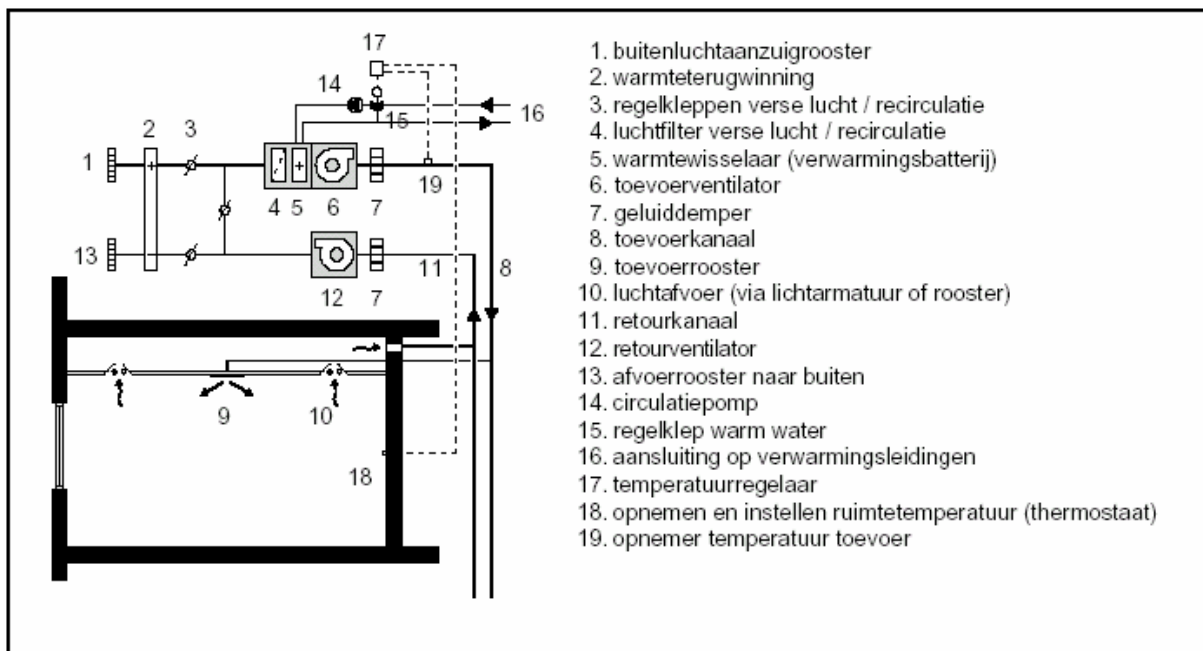


figuur 10 toepassing van stralingspanelen in een winkel en in het National Space Centre in Leicester

Ze worden vaak in het vlak van het plafond of net onder het plafond aangebracht. Stralingspanelen hebben een hogere temperatuur dan de hiervoor besproken verwarmingsplafonds en hebben een vermogen van maximaal 700 W/m^2 . Door hun hoge temperatuur zijn ze alleen geschikt voor hoge ruimten ($> 5 \text{ m}$). Omdat stralingspanelen veel steviger zijn dan verwarmingsplafonds beschadigen ze minder snel en worden ze om die reden vaak toegepast in sportzalen, montagehallen en dergelijke.

2.9 Luchtverwarming

Een voorbeeld van luchtverwarming in een kantoor wordt weergegeven in het schema van figuur 11. Vaak wordt per ruimte nog een naverwarming toegepast die gecombineerd met het toevoerkanaal is opgenomen.



figuur 11 schema luchtverwarming in kantoren

Bij luchtverwarming gelden dezelfde van op het comfort gerichte aanwijzingen als bij convectorverwarming. Zo is voor verblijfruimten aan te bevelen om bij een meer dan 30% transparante gevel HR-glas of klimaatramen of -gevels toe te passen en aandacht te besteden aan het voorkomen van koudeval bij koude wanden.

Voor luchtverwarming geldt als vuistregel dat bij toevoer vanuit de vloer de luchttemperatuur maximaal 60 °C mag zijn ($\Delta\theta$ ca. 40 °C) mits de luchtstroom niet op personen is gericht. Bij toevoer vanuit het plafond mag de lucht niet warmer zijn dan 40 °C ($\Delta\theta$ ca. 20 °C) om het ontstaan van een warme luchtdeken onder het plafond te voorkomen. Bij hogere ruimten (> 4 m) en toevoer vanuit het plafond is een hogere toevoertemperatuur dan 40 °C mogelijk als de lucht met een hoge snelheid, bij voorbeeld via wervelroosters, naar beneden gericht wordt ingeblazen.

Centrale installaties – verwarming – warmteopwekking

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

1 Algemeen

1.1 Inleiding

Onderscheid kan worden gemaakt in de volgende warmteopwekkingssystemen:

Centraal systeem (grote schaal)

- stads- of wijkverwarming

Individuele opwekking (kleine schaal)

- gasketel
- warmte-krachteenheid
- warmtepomp + aquifer/anders (nieuwere ontwikkeling)
- overig: zonne-energie, brandstofcel

Wanneer naar verwarming gekeken wordt zal men eerst moeten beginnen op grote schaal, namelijk de stad of wijk. Stads- of wijkverwarming kan gebruik maken van de verschillende vormen van individuele opwekking. Vaak wordt bij stadsverwarming gebruik gemaakt van de warmte die vrijkomt bij opwekking van elektriciteit, veelal een STEG-centrale (in principe een grote warmte-krachteenheid). Als bij voorbeeld 50% van de energie in elektriciteit wordt omgezet kan de overige 50% voor een groot deel voor verwarming worden gebruikt.

Normaliter wordt gebruik gemaakt van gas als energiedrager, maar bij STEG-eenheden wordt bij voorbeeld ook steenkool en afval gebruikt. Olie wordt beperkt benut, maar neemt in belangstelling toe o.a. vanwege de komst van bio-olie. Steeds meer wordt elektriciteit gebruikt om warmte op te wekken, zoals bij elektrische warmtepompen (zie H. 2.3) maar ook energieopslag in de bodem wordt toegepast.

Dit voornamelijk omdat fossiele brandstoffen de uitstoot van CO₂, NO_x en andere ongewenste gasen of deeltjes (fijn stof) met zich meebrengt. Met verwarming via duurzaam opgewekte energie, zoals elektriciteit via wind, water en zon of met waterstof kan dit worden voorkomen. Het gebruik van waterstof is vooralsnog erg kostbaar o.a. vanwege het grote ruimtegebruik bij opslag en ongunstige omzettingsrendement bij elektrolyse van water. Op lange termijn is evenwel een CO₂-neutrale energieopwekking mogelijk.

Bij de bespreking van verwarming wordt vooral uitgegaan van een verwarmingsketel als hoofdverwarming, omdat dit nog steeds de meest algemene vorm van verwarming is. Kort wordt ingegaan op nieuwe ontwikkelingen als middentemperatuur stadsverwarming en warmtepompen. Ook kleine verwarmingseenheden worden besproken.

2 Warmteopwekkingssystemen

2.1 Kleine verwarmingseenheden

Bij verwarming maken we onderscheid tussen **lokale** en **centrale** verwarming. Bij centrale verwarming kan **water** of **lucht** als transportmedium dienen. Ook is onderscheid naar de gebruikte brandstof of warmtebron mogelijk.

Lokale verwarming

Bij lokale verwarming bevindt zich in de te verwarmen ruimte een toestel waarin brandstof wordt verbrand of waarin een elektrisch element voor de productie van warmte zorgt. Lokale verwarming wordt op beperkte schaal in woningen en op vrij grote schaal in industriële gebouwen toegepast.

Woningen hebben lokale verwarming als het afgelegen (recreatie)woningen zijn of oudere woningen waarin aanleg van centrale verwarming te kostbaar of technisch niet mogelijk is. Gasgestookte kachels en soms elektrische radiatoren of luchtverwarmers zorgen voor de warmteproductie. Open haarden (met hout e.d. als brandstof) hebben een beperkt vermogen en dienen meestal als bij- of sfeerverwarming. Het gebruik van olie als brandstof neemt af vanwege de hoge milieu-eisen die aan de opslag worden gesteld. Als geen aardgas beschikbaar is past men vaak propaan of butaan toe. Deze gassen worden in vloeibare vorm in stalen gasflessen aangevoerd. Meestal plaatst men deze flessen buiten de woning in een geventileerde ruimte, waarin ze ook op de gasleiding worden aangesloten. Bij grotere installaties wordt het gas met tankwagens aangevoerd en in bovengrondse tanks opgeslagen. Vanwege brand- en explosiegevaar bevinden deze tanks zich meestal op enige afstand van de woning.

Industriële ruimten verwarmt men vaak lokaal met luchtverwarmers of infraroodstralers. Deze met aardgas, butaan of propaan gestookte toestellen worden meestal hoog in de ruimte aangebracht. Bij infraroodstralers komen de verbrandingsgassen ("rook") altijd in de ruimte vrij, bij luchtverwarmers alleen als ze geen rookafvoer hebben. Toestellen zonder rookafvoer past men alleen toe in hoge ruimten (>4,0m) die natuurlijk worden geventileerd via niet-afsluitbare openingen. Dit komt o.a. voor bij las- en montagehallen in de scheeps- en apparatenbouw. Bij werkplaatsen voor fijnmechanische industrie, autoreparatie e.d. - waaraan hogere klimaateisen worden gesteld - is een beter beheersbare verwarming en ventilatie nodig en is het gunstiger om centrale luchtverwarming toe te passen.

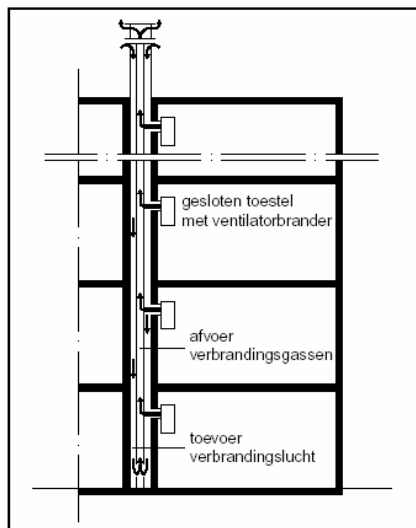
Centrale verwarming met warm water

Bij centrale verwarming met warm water zorgen centraal opgestelde verwarmingsketels voor het op temperatuur brengen van het water, meestal met aardgas als brandstof. In plaats van ketels worden ook wel warmtepompen toegepast of sluit men aan op de stadsverwarming. Bij warmwater verwarming circuleert het water in een gesloten leidingsysteem en zorgt een pomp voor de circulatie. Via radiatoren, convectoren en vloerverwarming wordt de warmte van het water aan de ruimte overgedragen. Een expansievat voorkomt dat een te hoge druk in het leidingsysteem ontstaat.

Verwarmingsketels

Verwarmingsketels kunnen **open** of **gesloten** zijn. Open ketels hebben atmosferische branders die hun verbrandingslucht uit de ruimte halen. De toepassing hiervan neemt af

vanwege het lage rendement en daardoor lage energieprestatie. Gesloten ketels halen hun verbrandingslucht met een ventilatorbrander en een kanaal van buiten. Bij gestapelde woningen combineert men de verbrandingsluchtkanalen en rookkanalen wel tot een “buis in buis” constructie, het zogenaamde "CLV-systeem" (Combinatie van Luchttoevoer en Verbrandingsgasafvoer). Op dit systeem zijn maximaal 20 ketels van boven elkaar liggende woningen aan te sluiten (zie figuur 1).



figuur 1 individuele cv-ketels in gestapelde bouw die zijn aangesloten op een collectief luchttoe- en verbrandingsgasafvoerkanaal.

Luchtverwarming

Bij **centrale** luchtverwarming wordt lucht op een centrale plaats in het gebouw verwarmd, bij **decentrale** luchtverwarming gebeurt dit in de te verwarmen ruimten zelf. Voor decentrale luchtverwarming bestaan er “**direct**” of “**indirect**” gestookte toestellen. Een direct gestookte luchtverwarmer is een verbrandingstoestel dat is samengebouwd met een ventilator. De ventilator zorgt voor de luchtstroming door het toestel en voor de verspreiding van de lucht in de te verwarmen ruimte. Moderne direct gestookte luchtverwarmers zijn - net als moderne verwarmingsketels - gesloten verbrandingstoestellen met ventilatorbranders die hun verbrandingslucht via een apart kanaal van buiten aanzuigen. Een indirect gestookte luchtverwarmer is een warmtewisselaar die met een ventilator is samengebouwd. De warmtewisselaar wordt gevoed met centraal verwarmd water.

Centrale luchtverwarming voor **woningen** bestaat meestal uit een gasgestookt verbrandingstoestel dat met een ventilator, luchtfilter en warmtewisselaar tot één apparaat is samengebouwd. Met het apparaat wordt van buiten aangezogen lucht gefilterd, verwarmd en - via luchtkanalen - naar de te verwarmen ruimten gevoerd. Afgekoelde lucht stroomt via inpandige ruimten en retourkanalen terug naar het apparaat. De warmtewisselaar zorgt ervoor dat de warmte uit de afvoerlucht aan de van buiten aangezogen lucht wordt overgedragen. Kenmerkend voor dit systeem is dat het zowel voor verwarming als voor luchtverversing dient. Dit wordt vaak als voordeel genoemd.

Voor luchtverwarming van **industriële** gebouwen gebruikt men vaak decentrale luchtverwarming met direct met aardgas, butaan of propaan gestookte luchtverwarmers. Voor

de aanvoer van het gas is een leidingnet nodig. Is centrale verwarming aanwezig of bestaat het gebouw uit meer verdiepingen dan is het gebruikelijker om indirect gestookte luchtverwarmers toe te passen of centrale luchtverwarming.

Bij kleinere **kantoren** met **centrale** luchtverwarming worden - net als bij woningen - vaak direct gestookte toestellen gebruikt. Bij grotere kantoren ($>2000 \text{ m}^3$) past men meestal centraal opgestelde luchtbehandelingskasten toe die - in hun eenvoudigste vorm - bestaan uit een luchtfilter, warmtewisselaar en ventilator. De lucht wordt met kanalen naar de te verwarmen ruimten gevoerd en via retourkanalen weer teruggevoerd (recirculatie). Deze voorziening is uit te breiden met een tweede ventilator en een wisselsectie die de luchtverversing regelt door een gedeelte van de retourlucht naar buiten af te voeren en te vervangen door een zelfde hoeveelheid verse buitenlucht. Een tweede uitbreiding, die door de huidige energieprestatie-eisen niet meer is weg te denken, is warmteterugwinning (zie Centrale Installaties – lucht – warmteterugwinning).

2.2 Grote verwarmingsketels en hoog temperatuur stadsverwarming

Bij gebouwen met een volume tot ca. 2.000 m^3 wordt de verwarmingsketel in een "opstelruimte" geplaatst. In woningen is dat de keuken, zolder of een geventileerde kast. Grotere gebouwen krijgen een aparte ruimte. I.v.m. brandoverslag en rookverspreiding mogen hierin geen luchtbehandelingsinstallaties worden geplaatst. Ook koelmachines horen niet in deze ruimte.

Bij complex- of stadsverwarming wordt meestal op een centraal punt heet water met een hoge druk geproduceerd ($>120^\circ\text{C}$, 6 Bar) en via grondleidingen gedistribueerd. Elk op de complex- of stadsverwarming aangesloten gebouw - bij woongebouwen vaak iedere woning - krijgt een of meer warmtewisselaars, ook wel aangeduid met "tegenstroomapparaat" (TSA). Warmtewisselaars zorgen voor water van maximaal 90°C . Voor de opstellingsruimte van de warmtewisselaar gelden geen eisen i.v.m. brand en explosiegevaar. Warmtewisselaars zijn niet veel kleiner dan moderne CV-ketels zodat de opstellingsruimten qua afmetingen ongeveer gelijk zijn aan die van CV-ketels. Warmtewisselaars worden in grotere gebouwen ook wel in een aparte ruimte onderin het gebouw geplaatst. Vanuit deze ruimte wordt het warme water via hoofdleidingen naar verschillende onderstations gevoerd. Op deze wijze ontstaan meerdere kleine warmtecentrales in het gebouw.

De onderwijsgebouwen bij de TU-Delft zijn bij voorbeeld ook op een wijkverwarmingsnet aangesloten die worden gevoed door warmtekrachteenheden en gasketels. Via warmtewisselaars in de gebouwen worden deze van warmte voorzien.

2.3 Nieuwe ontwikkelingen

Algemeen

Warmtepompen worden steeds vaker toegepast. Meestal zijn deze aangesloten op een warmte- en koudedistributienet en energieopslag in de bodem met een warme en koude bron. Varianten hierop zijn systemen die hun warmte onttrekken uit mijnwater, zeewater, oppervlaktewater of binnen- en buitenlucht.

De temperatuur van het bijbehorende warmtedistributienet ligt meestal tussen de 10 en 45°C en is afhankelijk van:

- de bron waaruit warmte of koude wordt onttrokken
- of lokaal of centraal warmte wordt opgewekt

De warmtepompen kunnen centraal per wijk of decentraal per woning of gebouwblok worden geplaatst. Wat betreft de eisen en dimensionering van ruimten voor warmtepompen kan dit worden vergeleken met ruimten voor koelmachines (Centrale Installaties – Koeling – Ruimtelijke indeling).

Bij energieopslag in de bodem moet jaarlijks evenveel warmte als koude aan de bodem worden onttrokken. Indien er meer warmte dan koude aan de bodem wordt onttrokken moet extra warmte worden geladen met bij voorbeeld zonnecollectoren.

Op dit moment worden ook stadsverwarmingsnetten ontwikkeld die zijn uitgelegd op 73°C en worden verwarmd met centraal geplaatste warmtepompen in combinatie met warmtekrachtinstallaties of met gasmotorwarmtepompen. Warmte kan bij voorbeeld worden onttrokken aan warmte van een afvalwaterzuivering. De aanvoertemperatuur in het gebouw is altijd 70°C om ook warm tapwater te kunnen leveren en legionellarisico's uit te sluiten. Bij het gebouw of de woning is er een individuele warmtewisselaar.

Voor een goed begrip worden warmtepompen en energieopslag in de bodem nader toegelicht.

Warmtepompen

Een warmtepomp is een apparaat waarmee warmte van een laag temperatuurniveau naar een hoog temperatuurniveau wordt getransporteerd. Het werkingsprincipe is gelijk aan dat van een koelmachine. Net als koelmachines werken warmtepompen volgens het absorptieprincipe of het compressieprincipe. Bij warmtepompen is de verdampers het element waarmee warmte wordt onttrokken aan buitenlucht of aan grond- of oppervlaktewater en de condensor het element waarmee warmte uit het proces vrijkomt voor nuttig gebruik.

De prestatie van warmtepompen wordt aangegeven met de "Coëfficiënt of Performance"-factor. Deze COP-factor geeft bij compressie-warmtepompen de verhouding weer tussen de afgegeven warmte en het door de compressor opgenomen mechanische vermogen. De COP is afhankelijk van de belasting en heeft een waarde tussen 1 en 5. De gemiddelde COP is bij gemiddelde belasting ongeveer 3,9.

Het totale of primaire rendement, afgeleid van de hoeveelheid brandstof die in werkelijkheid wordt gebruikt, wordt bij een elektrisch aangedreven warmtepomp bepaald door de COP, het rendement van de aandrijving (elektromotor $\eta_{\text{motor}} \approx 0,95$) en het rendement van de productie en het transport van elektriciteit ($\eta_{\text{elektr. bedr}} \approx 0,4$). Voor een gemiddelde warmtepomp is dit:

$$\eta_{\text{warmtepomp}} = \text{COP} \times \eta_{\text{motor}} \times \eta_{\text{elektr. bedr.}} \approx 3,9 \times 0,95 \times 0,4 = 1,48$$

Bij directe aandrijving van de warmtepomp door een gasmotor of dieselmotor is het rendement respectievelijk ca. 1,6 en 1,7. Het rendement van een absorptiewarmtepomp is 1,3.

Met een aardgasgestookte hoogrendement verwarmingsketel (HR-ketel) is een gebruiksrendement van 0,9 haalbaar. Kijkend naar de benodigde hoeveelheid fossiele brandstof heeft een warmtepomp een 45 tot 90% hoger rendement dan een HR-ketel.

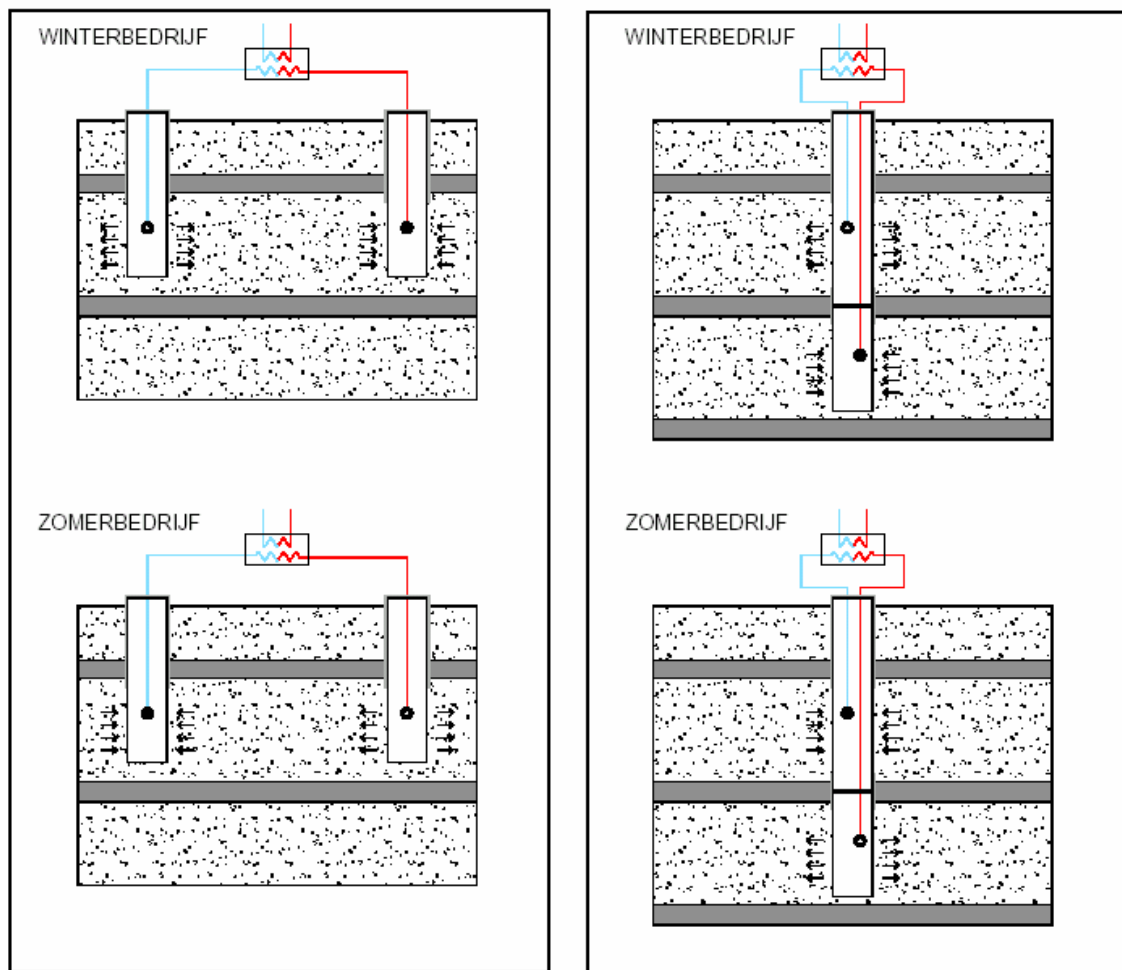
Lange termijn warmteopslag of energieopslag in de bodem

Met lange termijn opslag kunnen gebouwen in de zomer worden gekoeld met "koude uit de winter" en in de winter worden verwarmd met "warmte uit de zomer". Een aquifer dient voor

opslag van koude en warmte. Een aquifer is een waterhoudende zandlaag in de bodem die door klei- of leemlagen van andere zandlagen is gescheiden. Voorwaarde is dat het water in de zandlaag (vrijwel) stilstaat. Dergelijke bruikbare lagen liggen op diepten van 25 tot 200 meter onder het maaiveld. In Nederland is de bodemtemperatuur een meter onder het maaiveld ca. 10°C en neemt per 100 meter ongeveer 3 °C toe. Het water in verschillende boven elkaar gelegen aquifers, dat via kleilagen van elkaar is gescheiden, mag niet met elkaar in verbinding komen. Vaak gaat het om zoet en brak water. Behoud van de zoetwatervoorraad in de bodem is gewenst.

In de aquifer bevinden de “warme” en de “koude” bron zich op enige afstand van elkaar, een enkel paar wordt een doublet genoemd, zie figuur 2, links. Ook worden wel bronnen in twee boven elkaar liggende zandlagen aangebracht, een monobron, zie figuur 2 rechts. Een bron is een buis waarvan het onderste deel is geperforeerd. In de buis bevindt zich een pomp waarmee het water omhoog wordt gevoerd. Via de zelfde buis kan ook water worden teruggevoerd. Bij lage buitentemperaturen wordt water aan de "warme" bron onttrokken, door gebruik afgekoeld en naar de "koude" bron teruggevoerd. Bij hoge buitentemperaturen werkt het andersom. Omdat het diepe grondwater niet in contact mag komen met (chemisch en bacteriologisch) verontreinigd water uit de bovengrondse installatie, moeten de watercircuits door een warmtewisselaar zijn gescheiden. De scheiding is ook nodig om te voorkomen dat zuurstof in het diepe grondwater komt waardoor in het water opgeloste mineralen en zouten uitvlokken en de perforatie kunnen verstopen.

Bij lage buitentemperaturen is de temperatuur van de "warme" bron (meestal) te laag om er direct mee te kunnen verwarmen. De warmte uit het water is dan te benutten met een warmtepomp. Het water uit de "koude" bron kan een zodanig lage temperatuur hebben dat het direct voor koeling is te gebruiken, bij voorbeeld met koelplafonds. De koude is ook indirect te gebruiken namelijk als koelwater voor een koelmachine.



figuur 2 schema van twee energieopslagsystemen, een doublet (links) en monobron (rechts)
 in de winter (boven) wordt koude "geladen" en warmte onttrokken. In de zomer (onder) is dit andersom

De mogelijkheden van lange termijn warmteopslag zijn, onder andere in samenhang met de aanwezigheid van aquifers en de bebouwingsdichtheid niet overal gelijk. Per locatie is onderzoek nodig naar wat plaatselijk mogelijk is en naar het te verwachten effect. Lange termijn warmteopslag maakt het mogelijk om zeer transparante gebouwen te realiseren die aan strenge energieprestatie-eisen voldoen.

Centrale installaties-verwarming-ruimtelijke integratie

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

1 Algemeen

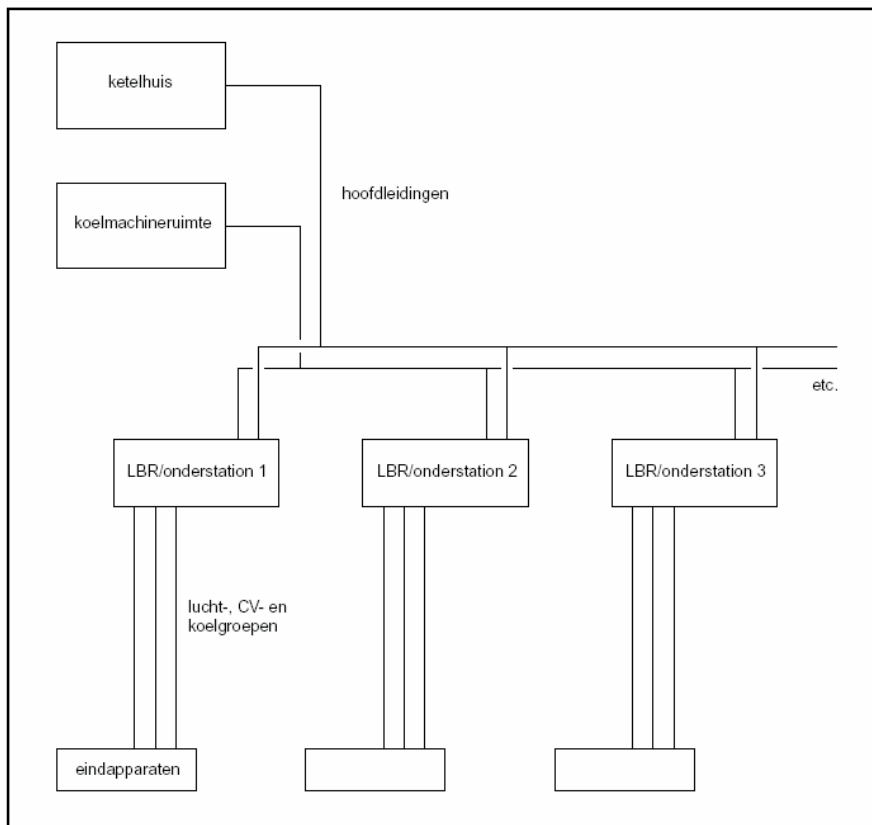
1.1 Inleiding

Zoals ook besproken is bij Centrale Installaties – Ruimtelijke integratie is het voor het dimensioneren van de verwarmingsruimte nodig te bepalen wat het benodigde vermogen is en hoe de functies zich verhouden binnen het gebouw. Daarbij wordt allereerst een conceptuele indeling gemaakt.

1.2 Conceptuele indeling

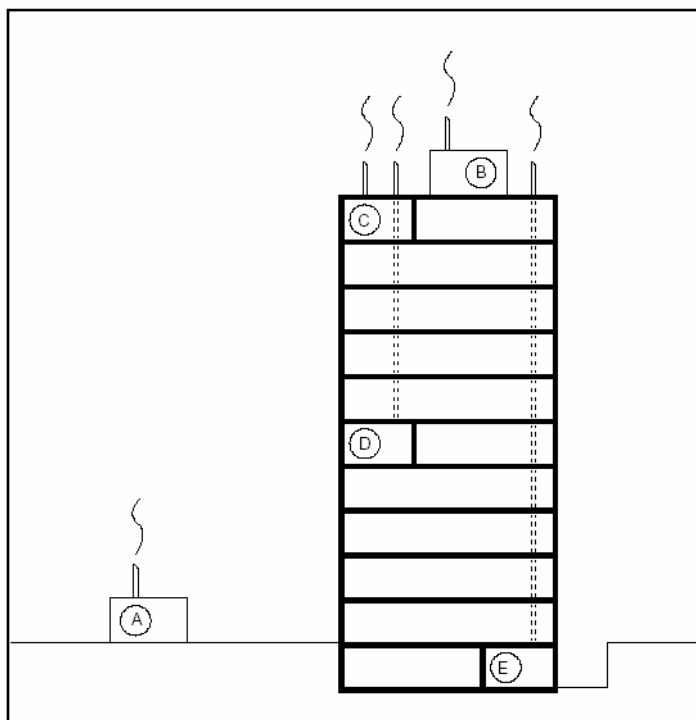
Het ontwerpproces wordt besproken waar er een verwarmingsketel wordt toegepast. Indicatieve verwarmingsvermogens en afmetingen van de warmtecentrale worden weergegeven. Tevens wordt ingegaan op warmtewisselaars, zoals toegepast bij stadsverwarming of hoogbouw.

De eerste ruimtelijke integratiestap is het maken van de "conceptuele indeling" in: a) centrale installaties, b) installaties voor distributie van warmte, koude en verse lucht in het gebouw en c) installaties voor de verdeling van warmte, koude en lucht in de te klimatiseren ruimten ("eindapparaten"). Zie figuur 1. De volgende stap is het creëren van ruimte voor deze installaties.



figuur 1 conceptuele indeling van installaties

Ketels produceren geluid en brengen brand- en explosiegevaar met zich mee. Bij explosies moet een (deel van een) niet dragende buitenwand kunnen bezwijken, zonder dat de draagconstructie wordt beschadigd. Daarom is een vrijstaand ketelhuis ideaal, zie figuur 2 (A).



figuur 2 mogelijke plaatsen voor het ketelhuis

Het dak is ook een goede plaats (B), de rookafvoer is dan kort en de ketels kunnen met een hijskraan eenvoudig op hun plaats worden gezet. Dat geldt ook voor een ketelhuis op de bovenste verdieping (C). Verdiepingsruimte is wel kostbare ruimte! Bij zeer hoge gebouwen komen warmtecentrales soms op tussenverdiepingen (D). De kelder (E) kan, maar is - i.v.m. het creëren van explosievoorzieningen en het keteltransport - vaak minder gunstig. Warm water kan over vele honderden meters worden getransporteerd, wat de plaats van het ketelhuis minder kritisch maakt. Echter, i.v.m. pompenergie en warmteverliezen, verdient het aanbeveling de leidingen zo kort mogelijk te houden. Dat pleit weer voor een zo centraal mogelijk ketelhuis.

1.3 Dimensioneren van de installatieruimte

Bij het dimensioneren van de installatieruimte bestaan twee trajecten waarin de afstemming op het gebouwontwerp kan worden verfijnd, namelijk: bij het bepalen van het vermogen van de installaties en bij het - op grond van dat vermogen - bepalen van de benodigde ruimte. De mate van de mogelijke verfijning hangt af van het ontwerpstadium. Bij het eerste Ruimtelijke Ontwerp krijgen de installaties voor het eerst aandacht en zal de dimensionering van de installatieruimte meestal "indicatief" zijn. Bij het Voorlopig Ontwerp *kan* de afstemming worden verfijnd met een "globale" bepaling. Wanneer dit *moet* is niet precies aan te geven. Het kan "indicatief" blijven als dit niet tot een ongewenste vormgeving leidt maar met het risico van overdimensionering en daardoor onnodig hoge bouwkosten. Dat is bij voorbeeld het geval als de ruimte in verlaagde plafonds groter is dan nodig. Een hoogteverschil van 20 cm betekent ruwweg 6% van de bouwkosten.

1.4 Technische ruimten algemene eisen

De centrale installaties moeten in zogenaamde "technische ruimten" worden ondergebracht. Deze ruimten zijn geschikt voor hun doel als ze:

- a. voldoende ruim en hoog zijn;
- b. eenvoudig toegankelijk zijn voor onderhouds- en bedieningspersoneel en voor aan- en afvoer van grote installatiedelen en apparaten;
- c. zo zijn in te richten dat er voldoende ruimte overblijft voor bediening, onderhoud en reparatie (denk aan uitwisselbaarheid en hanteerbaarheid van grote apparaten);
- d. zo in het gebouw zijn gesitueerd dat leidingen en kanalen - van en naar deze ruimten toe - eenvoudig zijn aan te brengen (in schachten, verlaagde plafonds, kruipruimten e.d.) en goed bereikbaar blijven voor controle, onderhoud en reparatie;
- e. zo geïsoleerd zijn, dat geluid- en trillingshinder in gebouw en omgeving voldoende is beperkt;
- f. een voldoende hoge vloerbelasting kunnen verdragen ($>4.000 \text{ N/m}^2$);
- g. voldoende kunnen worden geventileerd (bij calamiteiten op natuurlijke wijze);
- h. voldoen aan voorschriften en eisen betreffende brandveiligheid.

In de nu volgende paragrafen worden de situering en dimensionering van de technische ruimten besproken met betrekking tot verwarming. Voor alle ruimten geldt dat ze zo moeten worden gesitueerd dat ze tijdens het ontwerp groter of hoger zijn te maken, zonder dat dit tot ingrijpende wijziging van het gebouwontwerp leidt.

1.5 Ruimtebepaling indicatief

Als bij het eerste Ruimtelijke Ontwerp nog weinig bekend is over de thermische eigenschappen van het gebouw, dan is het slechts mogelijk de afmetingen van de warmtecentrale indicatief te bepalen. Dat kan op grond van het gebouwwolume. Zie tabel 1.

tabel 1 indicatie afmetingen warmtecentrale (ketelhuis)

gebouwwolume	vloeroppervlakte	lengte	breedte	hoogte
m ³	m ²	m ¹	m ¹	m ¹
2.000	15	5,7	2,7	3,0
4.000	20	6,6	3,0	3,2
10.000	40	9,0	4,5	3,4
20.000	50	10,0	5,0	3,6
40.000	70	11,0	6,5	3,8
100.000	135	18,0	7,5	4,0
200.000	240	32,0	9,0	4,5

NB Tabel 1 geldt voor een warmtebehoefte/verwarmingsvermogen van 50 W/m³ gebouwwolume. Bij ziekenhuizen, bejaardenhuizen, e.d. kan de warmtebehoefte het dubbele zijn, zie tabel 2.

1.6 Ruimtebepaling verwarmingsketels globaal

Bij het Voorlopige Ontwerp worden de afmetingen van warmtecentrales vaak gebaseerd op een geschat verwarmingsvermogen. Tabel 2 geeft het vermogen per m³ gebouw voor verschillende gebouwfuncties. De tabelwaarden zijn inclusief de vermogens die nodig zijn voor het verwarmen van verse lucht, warmwatervoorziening en leidingverliezen. Met dit gegeven en tabel 3 is de vloeroppervlakte en de hoogte van de ruimte globaal te bepalen. Deze tabel geldt voor olie- en gasgestookte ketels inclusief de installaties en randapparatuur die daar bij horen, zoals rookafvoer, leidingen, expansievaten, verdeler/verzamelaar, meet- en regelapparatuur en waterbehandelingsapparatuur. Bij toepassing van warmtewisselaars en warmtepompen kan voor de oppervlakte eveneens van deze tabel worden uitgegaan. De ruimte kan door het ontbreken van rookafvoer vaak kleiner zijn (bij benadering twee regels in tabel 3). Indien er sprake is van een energiezuinig ontwerp, zoals bij toepassing van lage temperatuurverwarming, warmteterugwinning bij ventilatielucht en goede isolatie van de gebouwschil, kunnen de kengetallen in tabel 2 worden gehalveerd.

Tabel 2 Kengetallen verwarmingsvermogen in W/m³ bruto gebouwwolume

Woningen en kantoren	25 - 40
Sporthallen	40 - 45
Zwembaden	60 - 70
Kleed/doucheruimten	80 - 90
Bejaardentehuizen	60 - 70
Ziekenhuizen	70 - 80

tabel 3 globale afmetingen centrale opstellingsruimte CV-ketels

ketelvermogen	vloeroppervlakte	lengte	breedte	hoogte
kW	m²	m¹	m¹	m¹
100	15	5,7	2,7	3,0
200	20	6,6	3,0	3,2
500	40	9,0	4,5	3,4
1.000	50	10,0	5,0	3,6
2.000	70	11,0	6,5	3,8
5.000	135	18,0	7,5	4,0
10.000	240	32,0	9,0	4,5

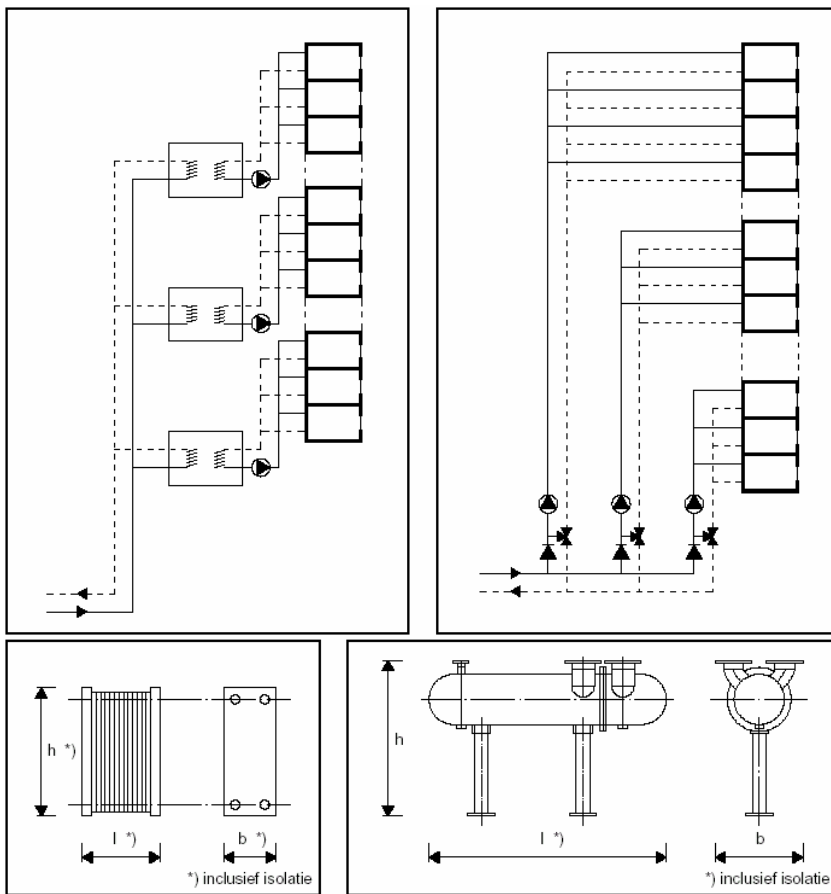
1.7 Afmetingen warmtewisselaars

Bij hoogbouw kunnen in verwarmings- en koelleidingen hoge drukken ontstaan. Bij een gebouw van 150 m hoogte bij voorbeeld ontstaat op maaiveldhoogte alleen al door het gewicht van het water in de leidingen een druk van 15 Bar. Als het materiaal van de leidingen op dergelijke drukken is afgestemd, hoeft dit niet tot leidingbreuk of lekkages te leiden. Leidingen zijn namelijk leverbaar voor drukken van enige honderden Bar. Radiatoren daarentegen zijn standaard geschikt voor een druk van 3 en maximaal 5 Bar. Dergelijke werkdrukken gelden ook voor inductieapparaten, ventilatorconvectoren, radiatorafsluiters e.d. Om de druk in leidingen of leidinggedeelten, waarop radiatoren e.d. zijn aangesloten, te beperken, moeten hoge gebouwen in verschillende drukzones worden verdeeld. Drukzones worden meestal met behulp van warmtewisselaars gemaakt (figuur 3). Een warmtewisselaar is in dat geval een apparaat dat leidingsystemen thermisch koppelt en hydraulisch ontkoppelt. Voor de opstelling en aansluiting van warmtewisselaars moet ruimte beschikbaar zijn. Tabel 4 vermeldt de globale afmetingen van platen- en pijpenwarmtewisselaars. Drukzones zijn ook te maken met behulp van combinaties van pompen, driewegkleppen, terugslagkleppen e.d. (figuur 3, rechts boven).

tabel 4 globale afmetingen van platen- en pijpenwarmtewisselaars in m (l x b x h)

vermogen	platen	pijpen
kW	(figuur 7.13)	(figuur 7.14)
20	0,2 x 0,2 x 0,4	2,4 x 0,4 x 0,9
50	0,2 x 0,2 x 0,4	2,5 x 0,5 x 0,9
100	0,3 x 0,2 x 0,4	2,6 x 0,5 x 1,0
200	0,4 x 0,3 x 0,8	2,8 x 0,6 x 1,1
500	0,4 x 0,4 x 0,9	2,9 x 0,7 x 1,2
1000	0,8 x 0,5 x 1,4	3,0 x 0,7 x 1,4
2000	1,3 x 0,5 x 1,4	3,1 x 0,8 x 1,7
5000	1,3 x 0,7 x 1,8	3,4 x 0,8 x 2,2
10000	2,3 x 0,9 x 1,8	2 x 5000 kW

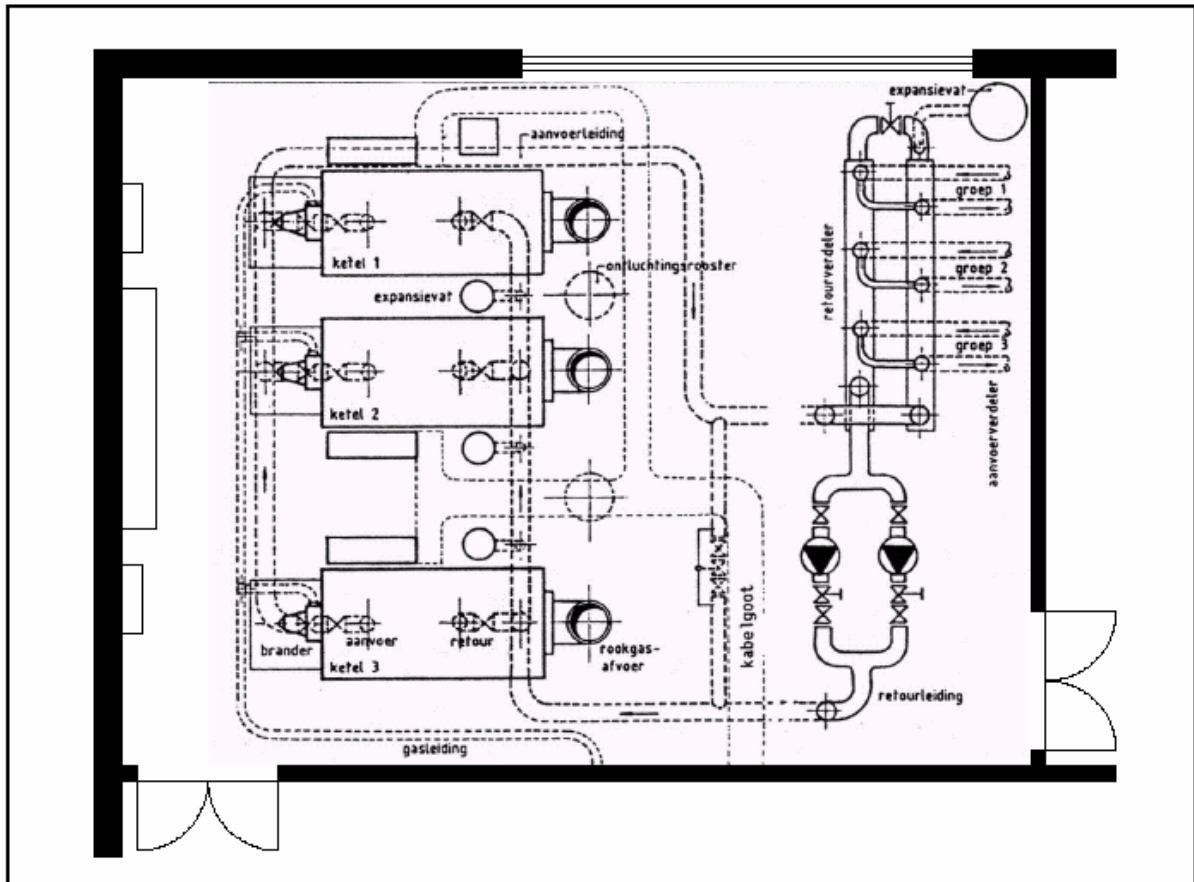
Warmtewisselaars worden ook toegepast als afleverstation bij stads- of wijkverwarming. De afmetingen worden mede bepaald door de gewenste effectiviteit van warmteoverdracht en de vereiste kwaliteit van de scheiding van de watervoerende media aan beide zijden van de wisselaar.



figuur 3 warmtewisselaars en drukscheidingen bij hoogbouw met warmtewisselaars
 Een platenwisselaar is linksonder aangegeven en een pijpenwisselaar rechtsonder. Een drukscheiding is ook mogelijk met pompen en driewegkleppen (rechts boven).

1.8 Ruimtebepaling warmtecentrale nauwkeurig

Het Definitief Ontwerp biedt de laatste kans om de afmetingen van de warmtecentrale op het gebouw af te stemmen. Een te kleine ruimte plaatst de installateur voor inbouwproblemen en beperkt de bereikbaarheid van de installaties. Bereikbaarheid is nodig voor onderhoud en vervanging. Een te grote ruimte brengt onnodige bouwkosten met zich mee. Afstemming is mogelijk door van enkele representatieve ruimten de warmtebehoefte per m^3 te berekenen en daarvan het gemiddelde te nemen voor het totale gebouwvolume en hierop een toeslag te geven van 25% voor leidingverliezen. Vervolgens is met de documentatie van leveranciers van ketels e.d. een ruimte-indeling van de warmtecentrale te maken. Zie figuur 4 als voorbeeld. Het is niet gebruikelijk dat gebouwontwerpers zo gedetailleerd de ruimte voor de warmtecentrale bepalen. Dit is werk voor installatieontwerpers.



figuur 4 voorbeeld van een indeling van een ketelhuis

Weergegeven zijn 3 ketels met 3 rookgasafvoeren. Tevens is aangegeven de aanvoer- en retourleiding naar de ketels en de voorzieningen voor distributie van warmte in het gebouw met 3 groepen die bij een verdeler/verzamelaar bij elkaar komen. Pompen zijn dubbel uitgevoerd i.v.m. onderhoud en tegengaan van storing.

Expansievaten worden toegepast omdat water uitzet of krimpt bij toename of afname van de temperatuur. Behalve een expansievat wordt ook een extra veiligheid (ventiel) toegepast mocht de waterdruk toch te hoog worden. Water wordt dan afgevoerd naar de riolering. Ontluchtingsroosters worden toegepast om eventueel vrijkomend gas af te voeren. De beluchting voor de branders is hier nog niet aangegeven.

Gesloten verbrandingssystemen met mechanische toe- en afvoer van lucht voor verbranding worden meestal bij kleine verwarmingsketels toegepast, zoals bij HR-ketels in woningen. Hiermee wordt een hoog veiligheidsniveau voor de bewoner gerealiseerd.

Transport – Verwarming of Koeling – Integratie Aspecten

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

1 Algemeen

1.1 Inleiding

Besproken wordt de distributie met watervoerende leidingen. Waar nodig wordt de relatie met luchtkanalen aangegeven.

1.2 Leidingen en luchtkanalen

Horizontaal en verticaal transport

Warmte, koude en verse lucht worden getransporteerd via leidingen en luchtkanalen. Horizontale leidingen en kanalen kunnen in verlaagde plafonds, kruipruimten, verhoogde vloeren, borstweringen e.d. worden aangebracht. Verticale leidingen en kanalen in schachten. Uiteraard kunnen leidingen en kanalen ook "in het zicht" lopen.

Bereikbaarheid

Leidingen en luchtkanalen kunnen ruimtelijk in gevels en scheidings- en draagconstructies worden opgenomen. Er zijn ook voorbeelden waarbij ze functioneel zijn geïntegreerd. Installaties moeten kunnen worden aangebracht en bereikbaar moeten blijven voor onderhoud, vervanging e.d.. In de praktijk wordt niet altijd aan deze voorwaarden te voldaan. In de volgende paragrafen wordt een vorm van ruimtelijke integratie besproken die niet ten koste gaat van de maakbaarheid en bereikbaarheid van de installaties.

1.3 Andere watervoerende leidingen

Binnenriolering, waterleiding etc.

Voor binnenriolering, waterleiding, (droge) brandleiding, sprinklerinstallatie etc. moet ruimte aanwezig zijn in schachten, verlaagde plafonds, e.d..

Omdat de "horizontale" leidingen van de binnenriolering op afschot moeten liggen vraagt de plaatsbepaling van deze leidingen en andere kanalen en leidingen in gezamenlijke installatieruimten om afstemming. De lucht uit toiletruimten, keukens, badruimten e.d. moet bovendaks worden afgevoerd (niet in de directe nabijheid van aanzuigroosters van de luchtbehandelingsinstallatie!). Voor de afvoerkanalen zijn schachten nodig. Vaak worden deze schachten tevens gebruikt voor de standleiding van de binnenriolering. Om het aantal schachten te beperken is het nodig om toiletten en andere "natte" groepen zoveel mogelijk boven elkaar te situeren. Voor de binnenriolering kan in eerste instantie van een standleiding met een uitwendige diameter van 200 mm worden uitgegaan (incl. isolatie).

1.4 Integratie in de gevelzone

Schachten en leidingkokers

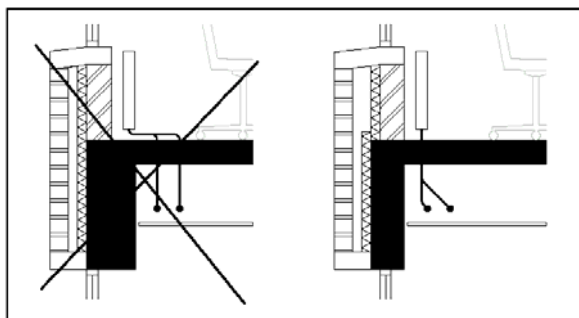
Horizontale en verticale leidingen en kanalen kunnen zowel vóór (buitenzijde) als achter de constructieve gevel lopen en soms in de gevel zelf worden opgenomen. Het laatste is minder gunstig omdat de bereikbaarheid wordt beperkt en bediening, onderhoud of vervanging moeilijk uitvoerbaar zijn. Deze vorm van integratie wordt hier dan ook niet bepleit. Leidingen en kanalen die vóór de gevel komen, kunnen in lichte niet-constructieve elementen worden aangebracht. Deze elementen vormen in dat geval horizontale of verticale schachten die het gevelbeeld sterk beïnvloeden. Kanalen kunnen ook, zei het goed geïsoleerd en voorzien van een stevige buitenmantel, in het zicht lopen en zeer dominant het gevelbeeld bepalen. Een extreem voorbeeld hiervan is het Centre Pompidou in Parijs.

Horizontale leidingen en kanalen

Horizontale leidingen en kanalen, die achter de gevel lopen, zijn - bijvoorbeeld ter plaatse van de borstwering - in een speciale omkasting aan te brengen. Zie bijvoorbeeld de kabinetten van de faculteit Bouwkunde bij de TU-Delft. Zo'n oplossing vraagt om een vlakke binnenzijde van de constructieve gevel en eventuele gevelkolommen die voldoende moeten terug liggen, zoals bij Bouwkunde. De relatief dunne aansluitleidingen van radiatoren worden, voorzover ze niet in de afwerklaag van de vloer worden opgenomen, vaak "in het zicht" gelegd. De horizontale leidingen kunnen onder of achter de radiatoren lopen. Bij convectoren legt men de leidingen vaak in de convectorput of schacht. De noodzaak van horizontale leidingen en kanalen ter plaatse van de borstwering, in een omkasting of in het zicht, is vaak het gevolg van een beperkte bruto verdiepingshoogte en het daardoor ontbreken van voldoende inbouwruimte in het verlaagde plafond of het ontbreken van verlaagd plafond.

Randbalken

Bij de aansluiting van radiatoren of convectoren op leidingen die onder de vloer lopen, bijvoorbeeld in verlaagde plafonds, kunnen randbalken dwingen tot het laten verspringen van de aansluitleidingen boven de vloer. Randbalken waarvan de binnenkant ongeveer in hetzelfde verticale vlak ligt als de binnenkant van de buitenwand kunnen dit probleem voorkomen (figuur 1).



figuur 1 voorbeeld van gewenste afstemming van draag- en gevelconstructie op leidingen (of kanalen)

1.5 Inbouwruimte in verlaagde plafonds, e.d.

Ruimtebepaling Indicatief

Bij het eerste Ruimtelijke Ontwerp is weinig bekend over de thermische eigenschappen van het gebouw. De afmetingen voor inbouwruimten van leidingen en kanalen zijn slechts ruwweg te bepalen, zoals op basis van een systeemindicatie en ervaringscijfers. Deze gegevens hebben betrekking op kantoorgebouwen:

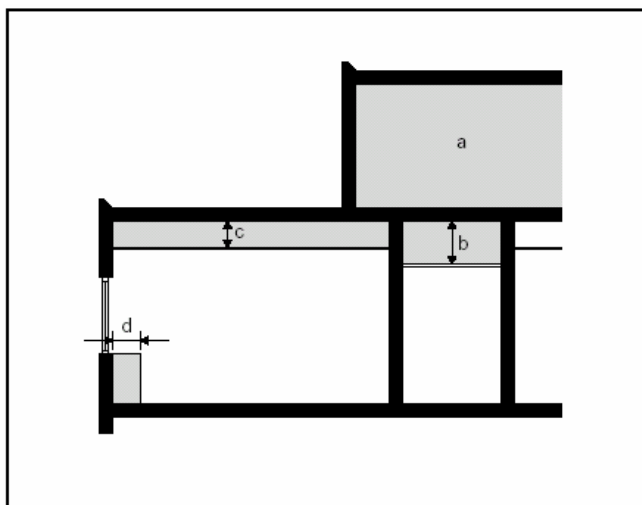
tabel 1 inbouwruimte voor verschillende klimaatregelsystemen (zie figuur 2)

Installatiesysteem	vrije hoogte in gangplafond (b) m	vrije hoogte in plafond kantoren (c) m ¹⁾	verloren vloerstrook (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 aansluitdozen bij direct afgezogen verlichtingsarmaturen

²⁾ bij inbouw van units in plafond

NB Tabel 1 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 hoofdleidingen en hoofdkanalen. Bij grote niet ingedeelde verdiepingvloeren, zoals bij kantoortuinen, moet de gehele ruimte boven het verlaagde plafond een vrije hoogte moet hebben zoals in tabel 1 voor het gangplafond is aangegeven.



figuur 2 inbouwruimte voor verschillende klimaatregelsystemen, luchtkanalen zijn bepalend

Ruimtebepaling Globaal

Bij het Voorlopig Ontwerp is de benodigde ruimte voor inbouw van horizontale leidingen en kanalen vaak te bepalen op basis van te schatten leiding- en kanaalafmetingen. Van luchtkanalen is de inwendige diameter of (bij rechthoekige doorsnede) de inwendige hoogte te schatten. Zie hiervoor de tabellen 2 en 3 en voorbeeld 1. In deze tabellen zijn de **inwendige** maten aangegeven. Toevoerkanalen voorziet men meestal van uitwendige thermische isolatie, waardoor de **uitwendige** maten ca. 50 mm groter worden. Verder is ten minste 100 mm nodig voor de ophanging (isolatie valt hier binnen). Voor kruisende aftakkingen moet ten minste 250 mm bij de inwendige diameter of hoogtemaat van het (hoofd)kanaal worden opgeteld. De ruimte voor de ophanging en isolatie valt daarbinnen.

Ruimtebepaling Fijn

Het Definitief Ontwerp biedt de laatste kans om de inbouwruimte voor de horizontale kanalen en leidingen goed op het gebouwentwerp af te stemmen. Te kleine inbouwruimte geeft vaak montageproblemen of er moeten kleinere kanalen worden toegepast dan noodzakelijk, met als gevolg hoge lichtsnelheden en hinderlijk stromingsgeluid. Stromingsgeluid is niet afdoende te dempen als inbouwruimte voor dempers ontbreekt of toevoer- en afvoerroosters van de te ventileren ruimten dicht bij de hoofdkanalen zitten. Teveel inbouwruimte, bijvoorbeeld in verlaagde plafonds, kan tot een onnodig grote verdiepingshoogte en daardoor onnodig hoge bouwkosten leiden. Een redelijk nauwkeurige bepaling van de inbouwruimte is mogelijk door de diameters van leidingen en kanalen te berekenen op basis van de warmte-, koel- en verselucht-behoefte. Dit is feitelijk een taak voor adviseurs en installateurs. Omdat de inbouwhoogte mede de verdiepingshoogte bepaalt en de verdiepingshoogte de bouwkosten sterk beïnvloeden, zien gebouwentwerpers het bepalen van de inbouwruimte in verlaagde plafonds vaak als hun eigen taak.

1.6 Schachtruimte

Ruimtebepaling Indicatief

Bij het eerste Ruimtelijke Ontwerp, als nog weinig bekend is over de thermische eigenschappen van het gebouw, zijn de afmetingen van schachten voor kanalen en leidingen slechts indicatief te bepalen. Voor de doorsnedeoppervlakte van schachten voor kanalen wordt als vuistregel meestal 2% van de vloeroppervlakte van één verdieping genomen. Voor 8 à 10 verdiepingen is 1% van de vloeroppervlakte vaak voldoende. In die schachten is, naast de kanalen, meestal plaats voor verwarmings- en koelleidingen. Rekening houdend met de zonering van de luchtbehandeling, moet de schachtruimte over de oppervlakte van het gebouw worden verdeeld. Dat betekent in het algemeen dat schachten niet meer dan twee maal 35 à 40 m van elkaar verwijderd mogen liggen.

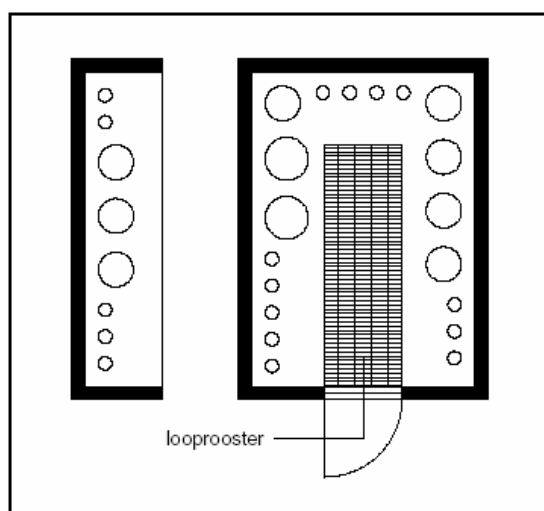
Ruimtebepaling Globaal

Bij het Voorlopig Ontwerp worden de afmetingen van schachten voor leidingen en kanalen meestal niet nauwkeuriger bepaald dan bij het eerste Ruimtelijke Ontwerp. Mede omdat de afmetingen geen grote invloed hebben op de indeling van het gebouw. Wel moet de plaats van de schachten nauwkeuriger op de dan bekende gebouwindeling zijn afgestemd en moet de zonering van de luchtbehandeling bekend zijn.

Ruimtebepaling Fijn

Het Definitief Ontwerp biedt de laatste kans voor een goede afstemming van de schachten op het gebouwontwerp. Daarvoor moeten de leiding- en kanaaldiameters bepaald zijn op basis van de berekening van de warmte-, koel- en verselucht-behoefte.

Voor een schacht voor **CV- en koelleidingen** is de horizontale doorsnede voldoende nauwkeurig te bepalen door de "**diepte**" van de schacht gelijk te stellen aan de benodigde vrije hoogte van de grootste leiding. De breedte van de schacht moet gelijk zijn aan de som van de benodigde vrije hoogten van de afzonderlijke leidingen. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de leidingen naast elkaar liggen en de schacht ten minste aan één lange zijde over de volle breedte toegankelijk is, bijvoorbeeld met een deur of met een eenvoudige te verwijderen paneel. Wordt de schachtbreedte, in verhouding tot de "diepte", hierdoor te groot dan kan een schachtvorm worden gekozen waarbij de leidingen langs twee of drie zijden van de schacht komen te liggen. In dat geval moet tussen de tegenover elkaar liggende leidingen ten minste 0,5 m ruimte overblijven voor montage en isolatiewerkzaamheden en voor het bereikbaar blijven van de leidingen voor inspectie, reparatie en vervanging (zie figuur 3).



figuur 3 voorbeeld indeling schacht voor CV- en koelwaterleidingen

1.7 Drukzones in hoogbouw

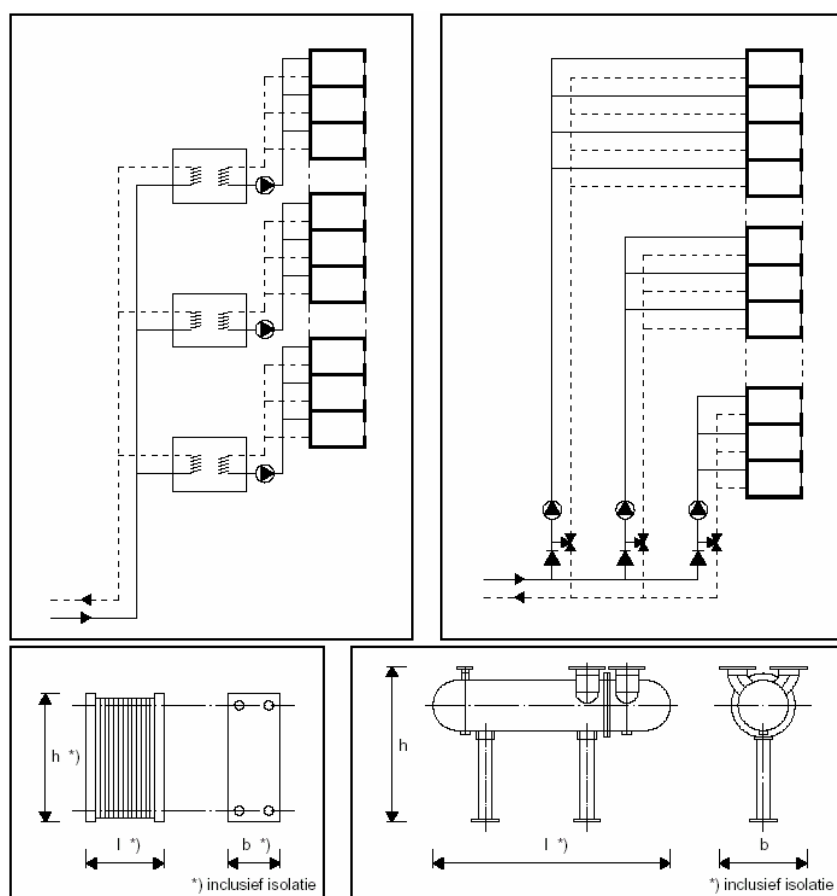
Bij hoogbouw kunnen in verwarmings- en koelleidingen hoge drukken ontstaan. Bij een gebouw van 150 m hoogte bijvoorbeeld ontstaat op maaiveldhoogte alleen al door het gewicht van het water in de leidingen een druk van 15 Bar. Als het materiaal van de leidingen op dergelijke drukken is afgestemd, hoeft dit niet tot leidingbreuk of lekkages te leiden. Leidingen zijn namelijk leverbaar voor drukken van enige honderden Bar. Radiatoren daarentegen zijn standaard geschikt voor een druk van 3 en maximaal 5 Bar. Dergelijke werkdrukken gelden ook voor inductieapparaten, ventilatorconvectoren, radiatorafsluiters e.d. Om de druk in leidingen of leidinggedeelten, waarop radiatoren e.d. zijn aangesloten, te beperken, moeten hoge gebouwen in verschillende drukzones worden verdeeld. Drukzones worden meestal met behulp van warmtewisselaars gemaakt (figuur 4). Een warmtewisselaar is in dat geval een apparaat dat leidingsystemen thermisch koppelt en hydraulisch ontkoppelt. Voor de opstelling en aansluiting van warmtewisselaars moet ruimte beschikbaar zijn. Tabel 2 vermeldt de globale afmetingen van platen- en pijpenwarmtewisselaars. Drukzones zijn ook te maken met behulp van combinaties van pompen, driewegkleppen, terugslagkleppen e.d. (figuur 4, rechts boven).

tabel 2 globale afmetingen van platen- en pijpenwarmtewisselaars in m (l x b x h)

vermogen kW	platen (figuur 7.13)	pijpen (figuur 7.14)
20	0,2 x 0,2 x 0,4	2,4 x 0,4 x 0,9
50	0,2 x 0,2 x 0,4	2,5 x 0,5 x 0,9
100	0,3 x 0,2 x 0,4	2,6 x 0,5 x 1,0
200	0,4 x 0,3 x 0,8	2,8 x 0,6 x 1,1
500	0,4 x 0,4 x 0,9	2,9 x 0,7 x 1,2
1000	0,8 x 0,5 x 1,4	3,0 x 0,7 x 1,4
2000	1,3 x 0,5 x 1,4	3,1 x 0,8 x 1,7

5000	1,3 x 0,7 x 1,8	3,4 x 0,8 x 2,2
10000	2,3 x 0,9 x 1,8	2 x 5000 kW

Warmtewisselaars worden ook toegepast als afleverstation bij stads- of wijkverwarming. De afmetingen worden mede bepaald door de gewenste effectiviteit van warmteoverdracht en de vereiste kwaliteit van de scheiding van de watervoerende media aan beide zijden van de wisselaar.



figuur 4 warmtewisselaars en drukscheidingen bij hoogbouw met warmtewisselaars
Een platenwisselaar is linksonder aangegeven en een pijpenwisselaar rechtsonder. Een drukscheiding is ook mogelijk met pompen en driewegkleppen (rechts boven).

2 Dimensionering van leidingen

2.1 Theoretische grondslagen

Met leidingen wordt water verplaatst, met kanalen lucht. Feitelijk zijn water en lucht media voor warmtetransport. Met lucht zijn ook gassen en stof, zoals zuurstof, kooldioxide en

binnenlucht-verontreinigingen te transporteren. Het dimensioneren van kanalen kan daardoor complex zijn, maar is dat niet omdat we weten dat bij klimaatregeling het warmtetransport voor koeling meestal maatgevend is. Bij een intensieve ruimtebezetting, zoals bij gehoorzalen, kan het verse lucht-transport maatgevend zijn.

Bij warmtetransport is het per tijdseenheid te verplaatsen volume (q_v):

$$(1) \quad q_v = \Phi_w / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

waarin:

Φ_w = te transporteren hoeveelheid warmte in W

ρ = dichtheid van het medium in kg/m^3 ($\rho_{\text{lucht}} \approx 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$, $\rho_{\text{water}} \approx 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$)

c = soortelijke warmte in J/kg ($c_{\text{lucht}} \approx 1000 \text{ J}/\text{kgK}$, $c_{\text{water}} \approx 4200 \text{ J}/\text{kgK}$)

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

bij luchtkanalen, afhankelijk van ruimtehoogte en plaats toevoer, $4\text{-}15^{\circ}\text{C}$

„ koelleidingen, meestal 6°C

„ CV-leidingen, meestal 20°C of 10°C (bij lage temperatuurverwarming;
bij heetwaterleidingen, meestal 40°C)

Omdat, zoals hier te zien is, een m^3 inhoud water veel zwaarder is dan lucht een m^3 en de soortelijke warmte van water ook groter is dan die van lucht kan water $(1000 \cdot 4200) / (1,2 \cdot 1000) = 3500$ maal zo veel energie verplaatsen dan lucht. Dit is een van de redenen dat bij energie-efficiënte temperatuurbeheersing van gebouwen in toenemende mate water wordt gebruikt. Lucht wordt vooral gebruikt om de luchtkwaliteit op peil te houden, tenzij in hoge mate gebruik kan worden gemaakt van natuurlijke stromingen die geen ventilatorenergie kosten.

De benodigde doorsnede-oppervlakte (A) van de leiding of het kanaal is:

$$(2) \quad A = q_v / v \quad (\text{m}^2)$$

Waarin v = snelheid van het medium,

$\approx 0,5 - 1,2 \text{ m/s}$ (CV-leidingen, afhankelijk van diameter)

$\approx 2,0 - 3,0 \text{ m/s}$ (transportleidingen voor CV, heetwater en koelwater)

$\approx 3,0 - 20 \text{ m/s}$ (luchtkanalen, afhankelijk van diameter en druk)

Voor ronde leidingen en kanalen geldt:

$$(3) \quad A = \pi \cdot d^2 / 4 \quad (\text{m}^2)$$

Wordt uitgegaan van de te transporteren hoeveelheid warmte (Φ_w), dan is de diameter:

$$(4) \quad d = \sqrt[4]{4 \cdot \Phi_w / (\pi \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta\theta \cdot v)} \quad (m)$$

Wordt uitgegaan van het te transporteren volume (q_v), dan volgt de diameter uit:

$$(5) \quad d = \sqrt[4]{4 \cdot q_v / (\pi \cdot v)} \quad (m)$$

2.2 Dimensioneringsmethoden

In de klimaatregeltechniek worden bij het dimensioneren van leidingen en kanalen verschillende methoden toegepast. De ene ontwerper werkt met constante snelheden in de leidingen of kanalen, de volgende gaat uit van een constante wrijvingsweerstand, terwijl een derde snelheden toepast die afhankelijk zijn van de leiding- of kanaaldiameter. Meestal wordt evenwel van de methode van constante snelheid uitgegaan.

Bij extreme hoogbouw, als met schachtruimte in de kernen moet worden gewoekerd, voert men de luchtkanalen vaak uit als hogedruksysteem met hoge snelheden in de hoofdkanalen. ISSO propageert een methode waarbij de snelheid in het leiding- of kanalsysteem geleidelijk wordt gereduceerd: bij de pomp of ventilator is de snelheid het hoogst en bij de eindapparaten het laagst. De methode is gepresenteerd in de vorm van een grafiek, ook wel "nomogram" genoemd (zie figuur 4). Om minder te hoeven rekenen gebruiken installatieontwerpers vaak grafieken waaruit de leiding- en kanaaldiameters direct zijn af te lezen. In de volgende paragrafen worden deze grafieken - en de tabellen die hierop zijn gebaseerd - toegelicht.

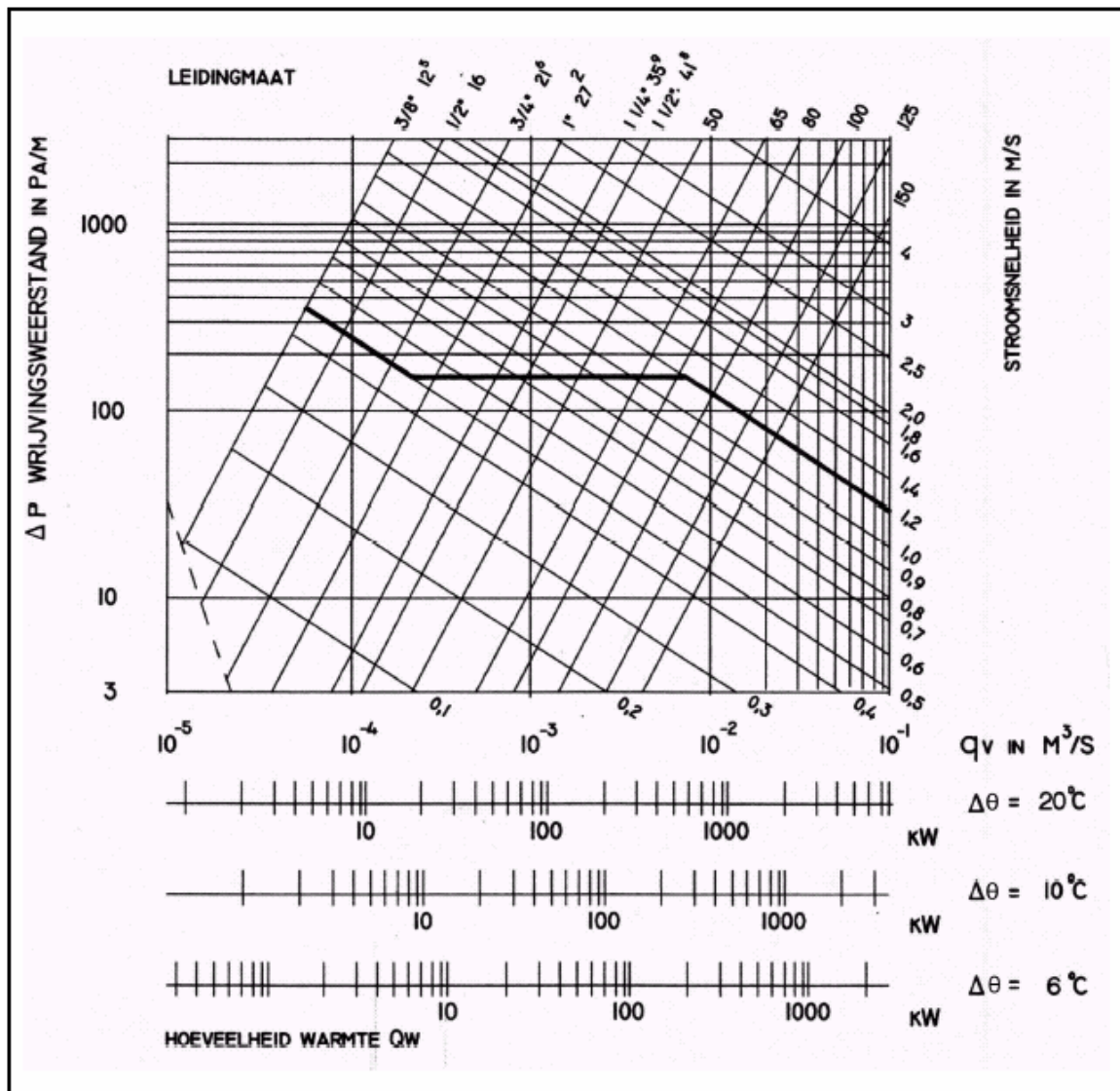
2.3 Dimensionering van verwarmings- en koelleidingen

Globale bepaling leidingdiameter

De diameter van CV- en koelleidingen is met tabel 3 globaal te bepalen. De laatste kolom van deze tabel geldt voor een specifieke warmtebehoefte van 100 W/m^2 (redelijke waarde voor moderne woon- en utiliteitsgebouwen), een temperatuurverschil van 20°C (aanvoer 90°C en retour 70°C) en een geleidelijke afname van de watersnelheid in de leidingen. Er wordt geen grote fout gemaakt als voor de koelleidingen van een bepaalde ruimte, verdieping of gebouw dezelfde diameters worden genomen als voor de CV-leidingen.

Nauwkeuriger bepaling leidingdiameter

Voor een nauwkeurige bepaling van de diameter van CV- en koelleidingen dan globaal moet de warmte- en koelbehoefte worden berekend waarna een systeemkeuze is te maken. Vervolgens moet bij “lucht/water”-systemen worden bepaald welk deel van het verwarmings- en koelvermogen met water als medium wordt getransporteerd en met welk temperatuurverschil dat wordt gedaan. Pas daarna is - met de in paragraaf 2.1 beschreven berekening - de leidingdiameter te bepalen. De diameter is ook grafisch te bepalen (zie figuur 5) of in een tabel op te zoeken (zie tabel 3).



figuur 5 nomogram voor de dimensionering van verwarmings- en koelleidingen

Nomogram voor dimensioneren van verwarmings- en koelleidingen

In figuur 5 is op de horizontale as de te transporteren hoeveelheid water (het "debiet") in m^3/s aangegeven en op de verticale as de wrijvingsweerstand in Pa/m leidinglengte. De schuine van linksonder naar rechtsboven lopende lijnen geven de leidingdiameter in mm aan en de van linksboven naar rechtsonder lopen de lijnen de watersnelheid in m/s . Onder het nomogram staan schalen met de hoeveelheid warmte die via een leiding is te transporteren afhankelijk van het temperatuurverschil tussen toevoer en retour ($\Delta\theta$). Deze schalen corresponderen met de debietschaal. De dikke geknikte lijn in het nomogram is een veel gebruikte ontwerplijn voor verwarmings- en koelleidingen die laat zien dat in kleine leidingen lagere snelheden worden toegepast dan in grote leidingen. In transportleidingen past men de

hoogste watersnelheden toe, namelijk maximaal 2 à 3 m/s. Bij de aansluiting van radiatoren, convectoren en dergelijke wordt de snelheid meestal beperkt tot 0,5 m/s.

Voorbeeld: Via een leiding moet $0,001 (10^{-3}) \text{ m}^3/\text{s}$ water worden getransporteerd. De lijn voor dit debiet snijdt de dikke ontwerplijn ongeveer bij een leidingdiameter van 40 mm.

Voorbeeld: Via een leiding moet een koelvermogen van 100 kW worden getransporteerd. Het verschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur is 6°C . Vanaf de schaal $\Delta\theta=6^\circ\text{C}$ wordt een lijn getrokken evenwijdig aan de verticale lijnen in het nomogram. Deze lijn snijdt de dikke ontwerplijn tussen de lijnen voor een leidingdiameter van 50 mm en 65 mm. Dat betekent dat, naar boven afgerond, een leidingdiameter van 65 mm moet worden toegepast.

Tabel voor dimensioneren verwarmings- en koelleidingen

Tabel 3 is gebaseerd op het in de vorige paragraaf toegelichte nomogram en geldt voor de dikke ontwerplijn. De eerste kolom geeft de per tijdseenheid te transporteren hoeveelheid water in m^3/s . De tweede kolom vermeldt de nominale diameter van de leiding die voor dit debiet nodig is. De derde kolom geeft de inwendige diameter van deze leiding aan en de vierde kolom de uitwendige diameter (inclusief thermische isolatie). In de volgende vier kolommen is het verwarmings- of koelvermogen van het betreffende debiet vermeld, afhankelijk van het verschil tussen de aanvoer- en retourtemperatuur van het water. De meest rechtse kolom noemt het aantal m^2 vloeroppervlakte dat met het aangegeven debiet kan worden verwarmd, uitgaande van een gemiddelde warmtebehoefte van $100 \text{ W}/\text{m}^2$ en een temperatuurverschil tussen aanvoer en retour van 20°C . Met dit gegeven is, als weinig bekend is over de werkelijke warmtebehoefte, op een snelle manier de diameter en de inbouwhoogte van verwarmingsleidingen **globaal** te bepalen.

tabel 3 verwarmings- en koelleidingen, afmetingen en inbouwhoogte									
debiet	leiding			inbouw	verwarmings/koelvermogen				te verwarmen
	diameter			hoogte	bij $\Delta\theta$ van				vloeroppervlakte bij
m^3/s	nom.	inw.	uitw*)		6 °C	10 °C	20 °C	40 °C	100 W/m^2 en $\Delta\theta=20$
$\times 10^{-3}$	mm	mm	mm	mm	kW	kW	kW	kW	$^{\circ}\text{C}$ m^2
0,06	10	12,5	40	100	1,5	2,5	4	8	40
0,10	15	16,0	50	100	2,5	4,0	8	16	80
0,18	20	21,6	60	120	4,5	7,5	15	30	150
0,33	25	27,5	65	120	8	13	26	52	260
0,66	32	35,9	85	150	17	28	57	115	570
1,03	40	41,8	90	160	26	43	85	170	860
1,88	50	53,0	105	180	48	80	160	320	1600
4,08	65	70,3	120	200	100	170	340	720	3400
6,15	80	82,5	130	250	150	250	500	1000	5000
10,8	100	107,1	160	280	270	450	900	1800	9000
16,3	125	131,7	180	300	410	650	1300	2600	13000
23,9	150	159,3	210	350	600	1000	2000	4000	20000
40,5	200	207,3	260	400	1000	1700	3400	7200	34000
63,9	250	260,4	310	450	1600	2650	5300	10600	53000
90,4	300	309,7	360	500	2250	3750	7500	15000	75000

*) inclusief thermische isolatie

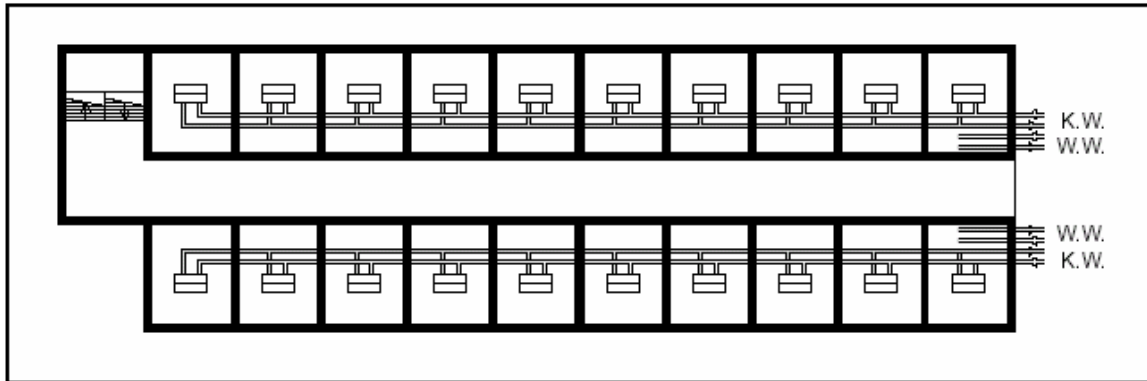
Voorbeeld: Via koelleidingen (een aanvoer- en een retourleiding) moet $0,0001 \text{ (} 10^{-4} \text{) m}^3/\text{s}$ worden getransporteerd. Uit de tabel blijkt dat voor dit debiet, afgerond naar boven, leidingen met een diameter van 20 mm nodig zijn.

Voorbeeld: Via verwarmingsleidingen moet een vermogen van 200 kW worden getransporteerd. Het verschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur van het verwarmingswater is 20°C . In de kolom $\Delta\theta=20^{\circ}\text{C}$ valt deze waarde tussen 160 en 340 kW. Naar boven afgerond is een leiding van 65 mm nodig. De uitwendige diameter van deze leidingen, inclusief isolatie, is 120 mm. Volgens de tabel is de inbouwhoogte 200 mm.

Voorbeeld: Voor de verwarming van een gebouwdeel met een oppervlakte van 4000 m^2 zijn nog geen gegevens bekend over de thermische eigenschappen. Uit tabel 3 is **globaal** af te leiden dat verwarmingsleidingen (aanvoer en retour) nodig zijn met - naar boven afgerond - een diameter van 80 mm. De inbouwhoogte voor deze leidingen is volgens de tabel 250 mm.

Voorbeeld, dimensioneren leidingen van 4-pijps inductiesysteem

Dit voorbeeld betreft de vleugel van een kantoorgebouw met zes identieke verdiepingen, zie figuur 6.

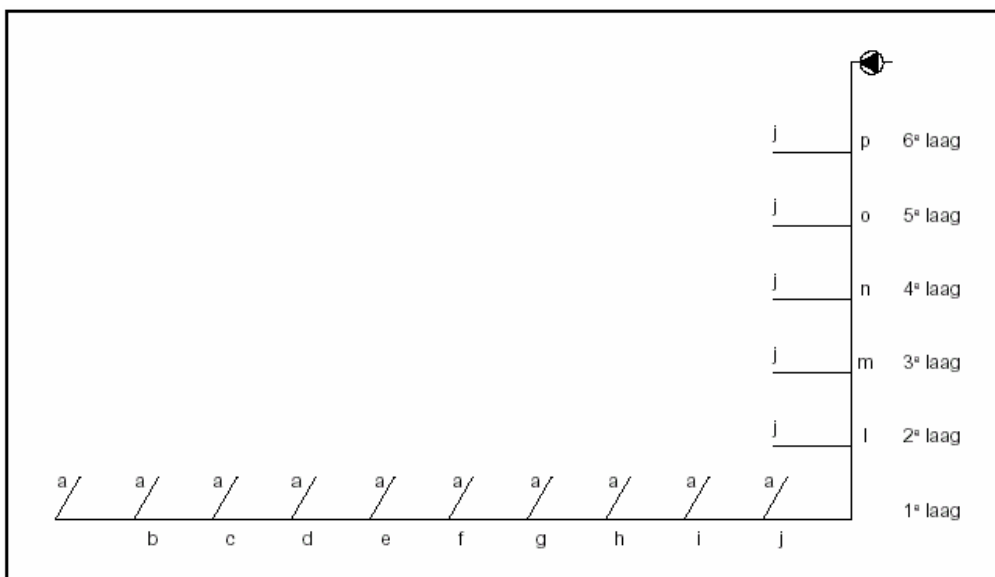


figuur 6 plattegrond kantoorvleugel met 4-pijps inductiesysteem

Per verdieping bevinden zich - aan weerszijde van een gang - twee maal tien vertrekken, elk met een vloeroppervlakte van 20 m^2 . De netto ruimtehoogte is $2,7 \text{ m}$. De ontwerptemperatuur voor de winter is 20°C , voor de zomer 25°C . Elk vertrek heeft een warmtebehoefte van 2400 W ($=120 \text{ W/m}^2$) en een koelbehoefte van 1200 W ($=60 \text{ W/m}^2$). Op grond van de koelbehoefte wordt een 4-pijps inductiesysteem gekozen. Per vertrek wordt $120 \text{ m}^3/\text{h}$ primaire lucht met een constante temperatuur van 17°C toegevoerd (zomer en winter). Het temperatuurverschil tussen de toegevoerde en afgevoerde lucht bedraagt hierdoor in de winter $20-17=3^\circ\text{C}$ en in de zomer $25-17=8^\circ\text{C}$. Als gevolg hiervan is het koelvermogen van de primaire lucht in winter en zomer respectievelijk:

$$\Phi_{k,\text{prim,winter}} = q_{v,\text{prim}} \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta\theta = 120 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 3 / 3600 = 120 \text{ W en}$$

$$\Phi_{k,\text{prim,zomer}} = 120 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 8 / 3600 = 320 \text{ W}$$



figuur 7 schema toevoerleiding verwarming (axonometrie)

Hierdoor moeten de verwarmingsleidingen (zie schema figuur 7), rekening houdend met de na-verwarming van de primaire lucht (120 W), per ruimte aan warmte toevoeren:

$$\Phi_w = 2400 + 120 = 2520 \text{ W}$$

De koelleidingen moeten, rekening houdend met het koelvermogen van de primaire lucht (320 W), per ruimte nog aan koude kunnen toevoeren:

$$\Phi_k = 1200 - 320 = 880 \text{ W}$$

Voor de grafische bepaling van de leidingdiameters moet in figuur 5 het snijpunt worden bepaald van de toe te voeren hoeveelheid warmte of koude en de dikke ontwerplijn. Voor 2520 W bij $\Delta\theta=20^\circ\text{C}$ volgt hieruit een diameter van 10 mm. Voor 880 W en $\Delta\theta=6^\circ\text{C}$ is dit ook 10 mm. Dit betreft de aansluitleidingen per vertrek. Op gelijke wijze zijn de diameters van de andere leiding-gedeelten te bepalen.

tabel 4 rekenvoorbeeld met 4-pijpsinductiesysteem

leiding-deel	aantal ruimten	vloeroppervlakte m^2	verwarming W	nom. diameter mm	koeling W	nom. diameter mm
a	1	20	2520	10 (10)	880	10 (10)
b	2	40	5040	15 (10)	1760	15 (10)
c	3	60	7560	15 (15)	2640	20 (15)
d	4	80	10080	20 (15)	3520	20 (15)
e	5	100	12600	20 (20)	4400	20 (20)
f	6	120	15120	25 (20)	5240	25 (20)
g	7	140	17640	25 (20)	6160	25 (20)
h	8	160	20160	25 (25)	7040	25 (25)
i	9	180	22680	25 (25)	8800	32 (25)
j	10	200	25200	25 (25)	11800	32 (25)
k	20	400	50400	32 (32)	23600	40 (32)
l	30	600	75600	40 (40)	35400	40 (40)
m	40	800	100800	50 (40)	47200	40 (40)
n	50	1000	126000	50 (50)	44000	50 (50)
o	60	1200	151200	50 (50)	52800	65 (50)

De cijfers tussen haakjes zijn de leidingdiameters die volgen uit een globale bepaling op grond van de vloeroppervlakte (laatste kolom tabel 3). De verschillen tussen de beide methoden zijn bij dit voorbeeld klein. Dat is meestal het geval. Het betekent dat de globale methode voor het in dit boek beoogde dimensioneringsdoel doorgaans voldoende nauwkeurig is.

Transport – Verwarming of Koeling – Dimensionering van Leidingen

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

1 Dimensionering van leidingen en luchtkanalen

1.1 Theoretische grondslagen

Met leidingen wordt water verplaatst, met kanalen lucht. Feitelijk zijn water en lucht media voor warmtetransport. Met lucht zijn ook gassen en stof, zoals zuurstof, kooldioxide en binnenluchtverontreinigingen te transporteren. Het dimensioneren van kanalen kan daardoor complex zijn, maar is dat niet omdat we weten dat bij klimaatregeling het warmtetransport voor koeling meestal maatgevend is. Bij een intensieve ruimtebezetting, zoals bij gehoorzalen, kan het verse luchttransport maatgevend zijn.

Bij warmtetransport is het per tijdseenheid te verplaatsen volume (q_v):

$$(1) \quad q_v = \Phi_w / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) \quad (\text{m}^3/\text{s})$$

waarin:

Φ_w = te transporteren hoeveelheid warmte in W

ρ = dichtheid van het medium in kg/m^3 ($\rho_{\text{lucht}} \approx 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3$, $\rho_{\text{water}} \approx 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$)

c = soortelijke warmte in J/kg ($c_{\text{lucht}} \approx 1000 \text{ J}/\text{kgK}$, $c_{\text{water}} \approx 4200 \text{ J}/\text{kgK}$)

$\Delta\theta$ = temperatuurverschil tussen toevoer en afvoer in $^{\circ}\text{C}$ bij luchtkanalen, afhankelijk van ruimtehoogte en plaats toevoer, 4-15 $^{\circ}\text{C}$

bij koelleidingen, meestal 6 $^{\circ}\text{C}$

bij CV-leidingen, meestal 20 $^{\circ}\text{C}$ of 10 $^{\circ}\text{C}$ (bij lage temperatuurverwarming)

bij heetwaterleidingen, meestal 40 $^{\circ}\text{C}$

Omdat, zoals hier te zien is, een m^3 inhoud water veel zwaarder is dan lucht een m^3 en de soortelijke warmte van water ook groter is dan die van lucht kan water $(1000 \cdot 4200) / (1,2 \cdot 1000) = 3500$ maal zo veel energie verplaatsen dan lucht. Dit is een van de redenen dat bij energie-efficiënte temperatuurbeheersing van gebouwen in toenemende mate water wordt gebruikt. Lucht wordt vooral gebruikt om de luchtkwaliteit op peil te houden, tenzij in hoge mate gebruik kan worden gemaakt van natuurlijke stromingen die geen ventilatorenergie kosten.

De benodigde doorsnede-oppervlakte (A) van de leiding of het kanaal is:

$$(2) \quad A = q_v / v \quad (\text{m}^2)$$

Waarin v = snelheid van het medium,

$\approx 0,5 - 1,2$ m/s (CV-leidingen, afhankelijk van diameter)

$\approx 2,0 - 3,0$ m/s (transportleidingen voor CV, heetwater en koelwater)

$\approx 3,0 - 20$ m/s (luchtkanalen, afhankelijk van diameter en druk)

Voor ronde leidingen en kanalen geldt:

$$(3) \quad A = \pi \cdot d^2 / 4 \quad (\text{m}^2)$$

Wordt uitgegaan van de te transporteren hoeveelheid warmte (Φ_w), dan is de diameter:

$$(4) \quad d = \sqrt{4 \cdot \Phi_w / (\pi \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta\theta \cdot v)} \quad (\text{m})$$

Wordt uitgegaan van het te transporteren volume (q_v), dan volgt de diameter uit:

$$(5) \quad d = \sqrt{4 \cdot q_v / (\pi \cdot v)} \quad (\text{m})$$

1.2 Dimensioneringsmethoden

In de klimaatregeltechniek worden bij het dimensioneren van leidingen en kanalen verschillende methoden toegepast. De ene ontwerper werkt met constante snelheden in de leidingen of kanalen, de volgende gaat uit van een constante wrijvingsweerstand, terwijl een derde snelheden toepast die afhankelijk zijn van de leiding- of kanaaldiameter. Meestal wordt evenwel van de methode van constante snelheid uitgegaan.

Bij extreme hoogbouw, als met schachtruimte in de kernen moet worden gewoekerd, voert men de luchtkanalen vaak uit als hogedruksysteem met hoge snelheden in de hoofdkanalen. ISSO propageert een methode waarbij de snelheid in het leiding- of kanalsysteem geleidelijk wordt gereduceerd: bij de pomp of ventilator is de snelheid het hoogst en bij de eindapparaten het laagst. De methode is gepresenteerd in de vorm van een grafiek, ook wel "nomogram" genoemd (zie figuur 1). Om minder te hoeven rekenen gebruiken installatieontwerpers vaak grafieken waaruit de leiding- en kanaaldiameters direct zijn af te lezen. In de volgende paragrafen worden deze grafieken - en de tabellen die hierop zijn gebaseerd - toegelicht.

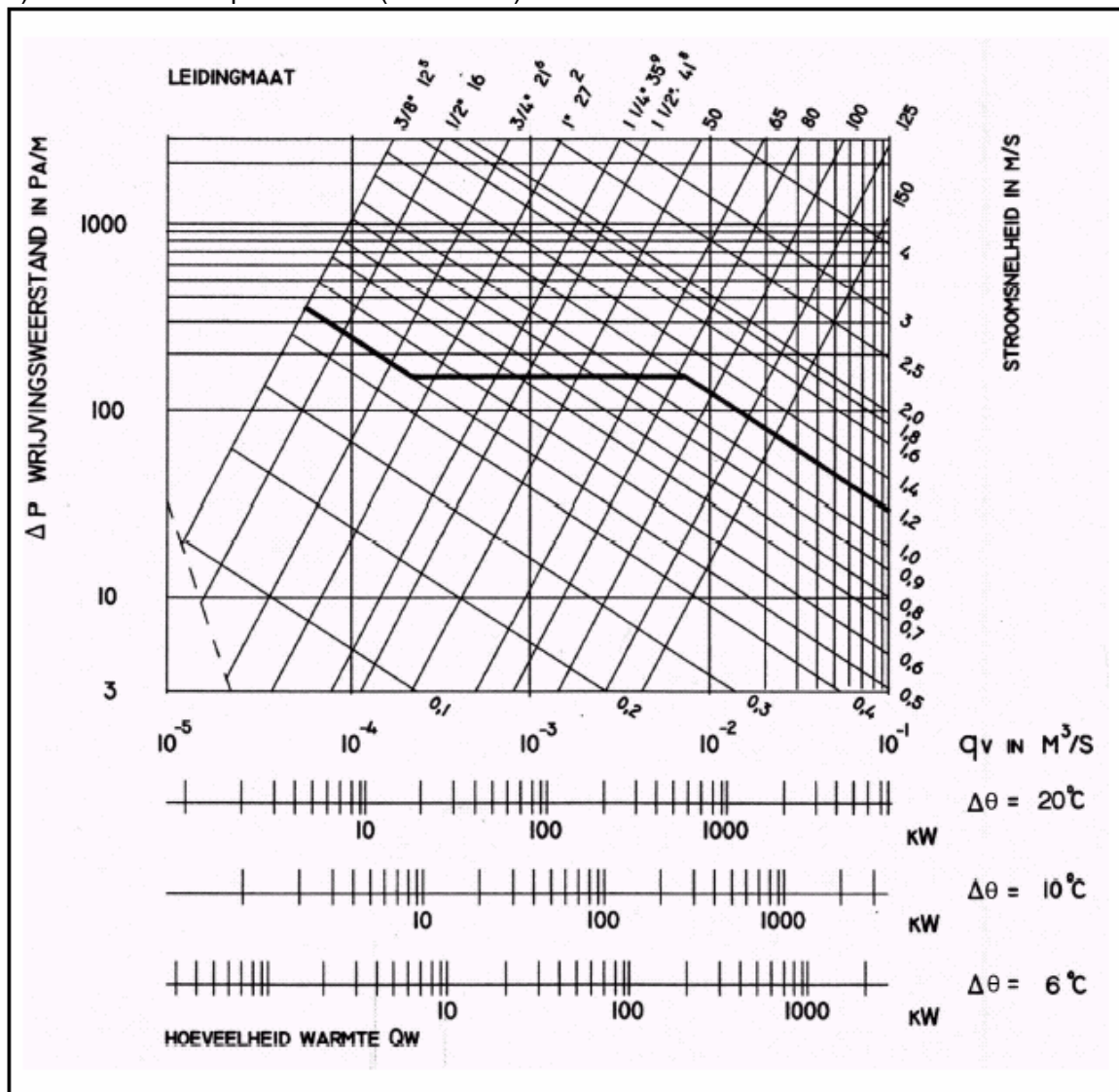
1.3 Dimensionering van verwarmings- en koelleidingen

Globale bepaling leidingdiameter

De diameter van CV- en koelleidingen is met tabel 3 globaal te bepalen. De laatste kolom van deze tabel geldt voor een specifieke warmtebehoefte van 100 W/m^2 (redelijke waarde voor moderne woon- en utiliteitsgebouwen), een temperatuurverschil van 20°C (aanvoer 90°C en retour 70°C) en een geleidelijke afname van de watersnelheid in de leidingen. Er wordt geen grote fout gemaakt als voor de koelleidingen van een bepaalde ruimte, verdieping of gebouw dezelfde diameters worden genomen als voor de CV-leidingen.

Nauwkeuriger bepaling leidingdiameter

Voor een nauwkeurige bepaling van de diameter van CV- en koelleidingen dan globaal moet de warmte- en koelbehoefte worden berekend waarna een systeemkeuze is te maken. Vervolgens moet bij "lucht/water"-systemen worden bepaald welk deel van het verwarmings- en koelvermogen met water als medium wordt getransporteerd en met welk temperatuurverschil dat wordt gedaan. Pas daarna is - met de in paragraaf 1.1 beschreven berekening - de leidingdiameter te bepalen. De diameter is ook grafisch te bepalen (zie figuur 1) of in een tabel op te zoeken (zie tabel 1).



figuur 1 nomogram voor de dimensionering van verwarmings- en koelleidingen

Nomogram voor dimensioneren van verwarmings- en koelleidingen

In figuur 1 is op de horizontale as de te transporteren hoeveelheid water (het "debiet") in m^3/s aangegeven en op de verticale as de wrijvingsweerstand in Pa/m leidinglengte. De schuine van links onder naar rechtsboven lopende lijnen geven de leidingdiameter in mm aan en de van linksboven naar rechtsonder lopen de lijnen de watersnelheid in m/s. Onder het nomogram staan schalen met de hoeveelheid warmte die via een leiding is te transporteren afhankelijk van het temperatuurverschil tussen toevoer en retour ($\Delta\theta$). Deze schalen corresponderen met de debietschaal. De dikke geknikte lijn in het nomogram is een veel gebruikte ontwerplijn voor verwarmings- en koelleidingen die laat zien dat in kleine leidingen lagere snelheden worden toegepast dan in grote leidingen. In transportleidingen past men de hoogste watersnelheden toe, namelijk maximaal 2 à 3 m/s. Bij de aansluiting van radiatoren, convectoren en dergelijke wordt de snelheid meestal beperkt tot 0,5 m/s.

Voorbeeld: Via een leiding moet $0,001 (10^{-3}) \text{ m}^3/\text{s}$ water worden getransporteerd. De lijn voor dit debiet snijdt de dikke ontwerplijn ongeveer bij een leidingdiameter van 40 mm.

Voorbeeld: Via een leiding moet een koelvermogen van 100 kW worden getransporteerd. Het verschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur is 6°C . Vanaf de schaal $\Delta\theta=6^\circ\text{C}$ wordt een lijn getrokken evenwijdig aan de verticale lijnen in het nomogram. Deze lijn snijdt de dikke ontwerplijn tussen de lijnen voor een leidingdiameter van 50 mm en 65 mm. Dat betekent dat, naar boven afgerond, een leidingdiameter van 65 mm moet worden toegepast.

Tabel voor dimensioneren verwarmings- en koelleidingen

Tabel 1 is gebaseerd op het in de vorige paragraaf toegelichte nomogram en geldt voor de dikke ontwerplijn. De eerste kolom geeft de per tijdseenheid te transporteren hoeveelheid water in m^3/s . De tweede kolom vermeldt de nominale diameter van de leiding die voor dit debiet nodig is. De derde kolom geeft de inwendige diameter van deze leiding aan en de vierde kolom de uitwendige diameter (inclusief thermische isolatie). In de volgende vier kolommen is het verwarmings- of koelvermogen van het betreffende debiet vermeld, afhankelijk van het verschil tussen de aanvoer- en retourtemperatuur van het water. De meest rechtse kolom noemt het aantal m^2 vloeroppervlakte dat met het aangegeven debiet kan worden verwarmd, uitgaande van een gemiddelde warmtebehoefte van $100 \text{ W}/\text{m}^2$ en een temperatuurverschil tussen aanvoer en retour van 20°C . Met dit gegeven is, als weinig bekend is over de werkelijke warmtebehoefte, op een snelle manier de diameter en de inbouwhoogte van verwarmingsleidingen **globaal** te bepalen.

tabel 1 verwarmings- en koelleidingen, afmetingen en inbouwhoogte									
debiet	leiding			inbouw	verwarmings/koelvermogen				te verwarmen
	diameter			hoogte	bij $\Delta\theta$ van				vloeroppervlakte bij
m ³ /s	nom.	inw.	uitw*)		6 °C	10 °C	20 °C	40 °C	100 W/m ² en $\Delta\theta=20\text{ °C}$
x10 ⁻³	mm	mm	mm	mm	kW	kW	kW	kW	m ²
0,06	10	12,5	40	100	1,5	2,5	4	8	40
0,10	15	16,0	50	100	2,5	4,0	8	16	80
0,18	20	21,6	60	120	4,5	7,5	15	30	150
0,33	25	27,5	65	120	8	13	26	52	260
0,66	32	35,9	85	150	17	28	57	115	570
1,03	40	41,8	90	160	26	43	85	170	860
1,88	50	53,0	105	180	48	80	160	320	1600
4,08	65	70,3	120	200	100	170	340	720	3400
6,15	80	82,5	130	250	150	250	500	1000	5000
10,8	100	107,1	160	280	270	450	900	1800	9000
16,3	125	131,7	180	300	410	650	1300	2600	13000
23,9	150	159,3	210	350	600	1000	2000	4000	20000
40,5	200	207,3	260	400	1000	1700	3400	7200	34000
63,9	250	260,4	310	450	1600	2650	5300	10600	53000
90,4	300	309,7	360	500	2250	3750	7500	15000	75000

*) inclusief thermische isolatie

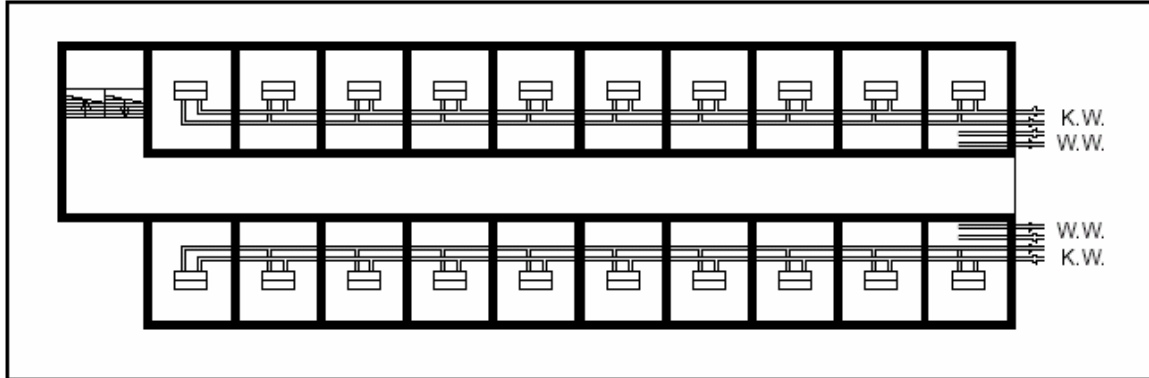
Voorbeeld: Via koelleidingen (een aanvoer- en een retourleiding) moet 0,0001 (10⁻⁴) m³/s worden getransporteerd. Uit de tabel blijkt dat voor dit debiet, afgerond naar boven, leidingen met een diameter van 20 mm nodig zijn.

Voorbeeld: Via verwarmingsleidingen moet een vermogen van 200 kW worden getransporteerd. Het verschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur van het verwarmingswater is 20 °C. In de kolom $\Delta\theta=20\text{ °C}$ valt deze waarde tussen 160 en 340 kW. Naar boven afgerond is een leiding van 65 mm nodig. De uitwendige diameter van deze leidingen, inclusief isolatie, is 120 mm. Volgens de tabel is de inbouwhoogte 200 mm.

Voorbeeld: Voor de verwarming van een gebouwdeel met een oppervlakte van 4000 m² zijn nog geen gegevens bekend over de thermische eigenschappen. Uit tabel 1 is **globaal** af te leiden dat verwarmingsleidingen (aanvoer en retour) nodig zijn met - naar boven afgerond - een diameter van 80 mm. De inbouwhoogte voor deze leidingen is volgens de tabel 250 mm.

Voorbeeld, dimensioneren leidingen van 4-pijps inductiesysteem

Dit voorbeeld betreft de vleugel van een kantoorgebouw met zes identieke verdiepingen, zie figuur 2.

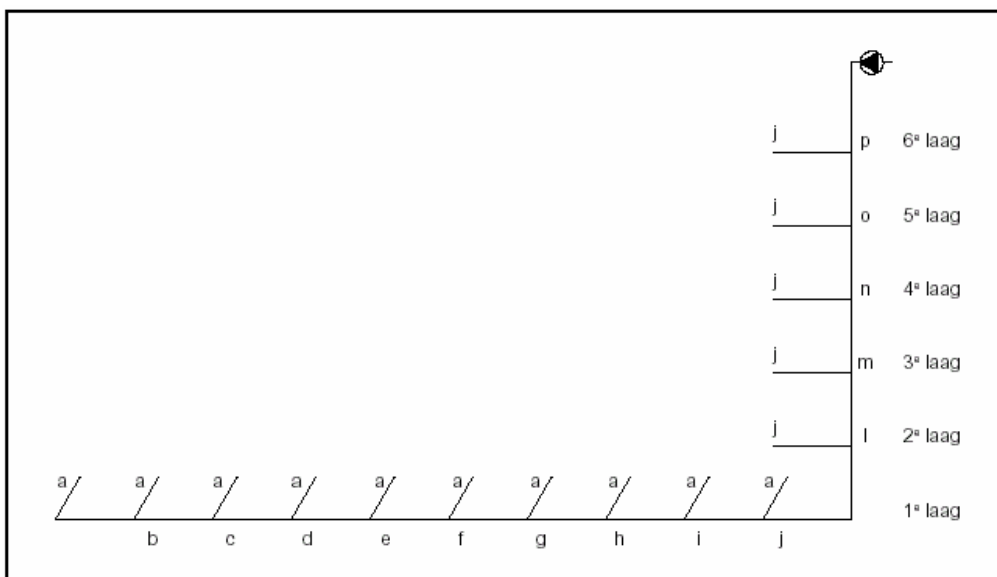


figuur 2 plattegrond kantoorvleugel met 4-pijps inductiesysteem

Per verdieping bevinden zich - aan weerszijde van een gang - twee maal tien vertrekken, elk met een vloeroppervlakte van 20 m^2 . De netto ruimtehoogte is $2,7 \text{ m}$. De ontwerptemperatuur voor de winter is 20°C , voor de zomer 25°C . Elk vertrek heeft een warmtebehoefte van 2400 W ($=120 \text{ W/m}^2$) en een koelbehoefte van 1200 W ($=60 \text{ W/m}^2$). Op grond van de koelbehoefte wordt een 4-pijps inductiesysteem gekozen. Per vertrek wordt $120 \text{ m}^3/\text{h}$ primaire lucht met een constante temperatuur van 17°C toegevoerd (zomer en winter). Het temperatuurverschil tussen de toegevoerde en afgevoerde lucht bedraagt hierdoor in de winter $20-17=3^\circ\text{C}$ en in de zomer $25-17=8^\circ\text{C}$. Als gevolg hiervan is het koelvermogen van de primaire lucht in winter en zomer respectievelijk:

$$\Phi_{k,\text{prim,winter}} = q_{v,\text{prim}} \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta\theta = 120 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 3 / 3600 = 120 \text{ W en}$$

$$\Phi_{k,\text{prim,zomer}} = 120 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 8 / 3600 = 320 \text{ W}$$



figuur 3 schema toevoerleiding verwarming (axonometrie)

Hierdoor moeten de verwarmingsleidingen (zie schema figuur 3), rekening houdend met de na-verwarming van de primaire lucht (120 W), per ruimte aan warmte toevoeren:

$$\Phi_w = 2400 + 120 = 2520 \text{ W}$$

De koelleidingen moeten, rekening houdend met het koelvermogen van de primaire lucht (320 W), per ruimte nog aan koude kunnen toevoeren:

$$\Phi_k = 1200 - 320 = 880 \text{ W}$$

Voor de grafische bepaling van de leidingdiameters moet in figuur 1 het snijpunt worden bepaald van de toe te voeren hoeveelheid warmte of koude en de dikke ontwerprijn. Voor 2520 W bij $\Delta\theta=20^\circ\text{C}$ volgt hieruit een diameter van 10 mm. Voor 880 W en $\Delta\theta=6^\circ\text{C}$ is dit ook 10 mm. Dit betreft de aansluitleidingen per vertrek. Op gelijke wijze zijn de diameters van de andere leidinggedeelten te bepalen.

tabel 2 rekenvoorbeeld met 4-pijpsinductiesysteem

leiding-deel	aantal ruimten	vloeroppervlakte m^2	verwarming W	nom. diameter mm	koeling W	nom. diameter mm
a	1	20	2520	10 (10)	880	10 (10)
b	2	40	5040	15 (10)	1760	15 (10)
c	3	60	7560	15 (15)	2640	20 (15)
d	4	80	10080	20 (15)	3520	20 (15)
e	5	100	12600	20 (20)	4400	20 (20)
f	6	120	15120	25 (20)	5240	25 (20)
g	7	140	17640	25 (20)	6160	25 (20)
h	8	160	20160	25 (25)	7040	25 (25)
i	9	180	22680	25 (25)	8800	32 (25)
j	10	200	25200	25 (25)	11800	32 (25)
k	20	400	50400	32 (32)	23600	40 (32)
l	30	600	75600	40 (40)	35400	40 (40)
m	40	800	100800	50 (40)	47200	40 (40)
n	50	1000	126000	50 (50)	44000	50 (50)
o	60	1200	151200	50 (50)	52800	65 (50)

De cijfers tussen haakjes zijn de leidingdiameters die volgen uit een globale bepaling op grond van de vloeroppervlakte (laatste kolom tabel 2). De verschillen tussen de beide methoden zijn bij dit voorbeeld klein. Dat is meestal het geval. Het betekent dat de globale methode voor het in dit boek beoogde dimensioneringsdoel doorgaans voldoende nauwkeurig is.

Afgifte – verwarming – globale en handberekeningen

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

1 Inleiding

De warmte- en koelbehoefte van ruimten kan met “dynamische” of “stationaire” methoden worden berekend. Bij dynamische methoden wordt met behulp van wiskundige beschrijvingen van de eigenschappen van een ruimte - een fysisch model - nagegaan hoe die ruimte reageert op in de tijd variërende omstandigheden. Bij stationaire berekeningen veronderstelt men dat de omstandigheden constant zijn en brengt men de dynamische effecten in rekening door tabellen te gebruiken waarin die effecten zijn verwerkt. Meestal wordt de warmtebehoefte zo berekend. Voor de bepaling van de koelbehoefte worden steeds vaker dynamische methoden gebruikt. Tot nu toe zijn alleen stationaire methoden in NEN-normen vastgelegd.

Bij het architectonische ontwerpproces gaat het er met betrekking tot de klimaatregeling vooral om inzicht in de orde van grootte te verkrijgen. Welke afmetingen krijgen de installaties en hoeveel ruimte is nodig voor inbouw van centrale installaties, distributie-installaties en eindapparaten? De benodigde inbouwruimte wordt primair bepaald door het toe te passen klimaatregelsysteem en dat systeem is weer afhankelijk van het verwarmings- en koelvermogen dat nodig is om de ruimten in het gebouw op de gewenste temperatuur te kunnen houden. De gebouwonwerper beperkt zich met de systeemkeuze meestal tot het detailniveau van een Voorlopig Ontwerp, waarbij globale berekeningen volstaan. De in NEN-normen beschreven stationaire methoden, zoals die door installatieontwerpers worden toegepast, zijn daarvoor te gedetailleerd. Wel vormden ze de basis voor de ontwikkeling van meer op het architectonische ontwerpdoel afgestemde globale berekeningen.

Met dynamische berekeningen is de invloed van het warmteaccumulerend vermogen van ruimten beter na te gaan dan met stationaire methoden. Dat geldt ook voor de invloed van de sterk wisselende meteorologische omstandigheden omdat bij dynamische berekeningen gebruik wordt gemaakt van reële waarden voor zonnestraling, wind en temperatuur. Omdat differentiaalvergelijkingen moeten worden opgelost - wat slechts numeriek kan - is voor dynamische berekeningen een computer nodig. Een goed voorbeeld van een voor dit doel bruikbaar computerprogramma is VA114 van de Vereniging tot Automatisch Berekenen van Installaties in gebouwen (VABI).

Bij het door TNO ontwikkelde VA114-programma moeten de geometrische en fysische eigenschappen van de ruimte, het verwarmings- en koelvermogen van de installatie, de gebruikstijden van de ruimte en de interne belasting door personen, verlichting en apparatuur als gegeven worden ingevoerd. Het programma berekent voor elk uur van een op te geven meteorologisch jaar de binnentemperatuur en het energiegebruik en geeft een overzicht van

het aantal uren dat de binnentemperatuur in dat jaar een op te geven waarde over- of onderschrijdt. Een berekening met het programma wordt om die reden ook wel “temperatuuroverschrijdingsberekening” of kortweg TO-berekening genoemd. Door “trial and error” is met het programma een koelvermogen te vinden waarvoor geldt dat in jaar x een binnentemperatuur y niet meer dan z uren wordt overschreden. In de beginperiode, toen deze methode in Nederland populair werd, nam men twee temperatuurgrenzen y_1 en y_2 die respectievelijk niet meer dan z_1 en z_2 uur mochten worden overschreden. Later werd voorgesteld om één temperatuurgrens y te nemen en elk uur dat de berekende temperatuur deze grens overschrijdt te vermenigvuldigen met een waarde die afhankelijk is van de mate waarin y wordt overschreden. Dit werd de “Gewogen Temperatuur Overschrijding” of GTO-berekening genoemd. Recent is bedacht dat de waarde y afhankelijk is te stellen van de effectieve temperatuur van de buitenlucht in de periode voorafgaand aan het te berekenen tijdstip en van de aanwezigheid van te openen ramen, de ATG of “Adaptieve Temperatuur Grenswaarde”. Koelvermogens die met TO-, GTO- en ATG-berekeningen zijn bepaald wijken onderling af van de vermogens die uit stationaire berekeningen volgen. De verschillen zijn te verklaren uit het gebruik van verschillende overschrijdingscriteria en verschillende meteorologische gegevens.

Een veel gestelde ontwerp vraag is: welke vorm, thermische eigenschappen en gebruik moet een gebouw krijgen om met natuurlijke koeling te kunnen volstaan. Beantwoording van deze vraag is met TO-berekeningen en varianten daarop mogelijk. Ook is met deze berekeningen na te gaan welk effect vorm, thermische eigenschappen en gebruik hebben op de energieconsumptie van het gebouw. Evident is dat natuurlijke koeling eerder mogelijk is en het energiegebruik beperkter naarmate een milder meteorologisch jaar en hogere waarden voor y en z worden genomen. Helaas bestaat er anno 2004 geen consensus over deze waarden en het te gebruiken meteorologisch jaar om te kunnen spreken van een gebouw met een “redelijk comfort”. Sommige ontwerpers koppelen - voor het voldoen aan een bepaalde gebouwprestatie - hoge y - en z -waarden aan het meteorologisch gemiddelde jaar 1964-1965. Voorspelbaar is dat gebouwen die niet meer dan deze prestatie kunnen leveren tijdens warmere jaren, zoals 1994 of 1995 waren, een groot deel van de tijd onbehaaglijk warm en door velen onaanvaardbaar gevonden zullen worden. Een bijkomend nadeel is dat niet is te controleren of een gebouw de berekende prestatie ook werkelijk levert. Zo is het bijna ondoenlijk om een jaar lang te meten en vervolgens onmogelijk om uit de meetgegevens af te leiden of in jaar x aan de criteria y en z wordt voldaan omdat ieder jaar, meteorologisch gezien, uniek is. De jaren verschillen niet alleen in het aantal uren dat luchttemperatuur, zonnestraling, windsnelheid en luchtvochtigheid bepaalde waarden hebben, ook het verloop van die waarden verschilt terwijl juist dat verloop een grote invloed heeft. Zo laat een periode van vier dagen met een bepaalde hoge buitentemperatuur meer uren overschrijding en een hogere maximale binnentemperatuur zien dan twee perioden van twee dagen met dezelfde buitentemperatuur.

Dynamische berekeningen zijn vooral geschikt om na te gaan welke invloed bouwkundige en installatietechnische ontwerpkeuzes hebben op het binnenklimaat en het energiegebruik. NEN 5067 biedt die mogelijkheden niet, wel is met deze norm op gestandaardiseerde wijze

de koelbehoefte te berekenen die ontstaat na 5 warme dagen met 75% van de maximaal mogelijke intensiteit van de zonnestraling. Tijdens de ontwikkeling van de norm was er consensus over het redelijk comfortabele binnenklimaat dat ontstaat als een klimaatinstallatie aan deze prestatie beantwoordt. Betrekkelijk eenvoudig is te controleren of deze prestatie ook werkelijk wordt geleverd, namelijk door na te gaan of de vertrektemperatuur na 5 warme dagen aan de gestelde temperatuureis voldoet.

Het maken van dynamische berekeningen met programma's zoals VA-114 vraagt de kennis van een ervaren installatieontwerper en de routine van een regelmatige gebruiker van het programma. Daarom is dit programma niet direct geschikt voor gebruik door architecten en andere bouwkundige ontwerpers. Onderzocht is hoe VA114 zodanig inzetbaar kan worden gemaakt dat architecten hun ontwerp zelf *globaal* kunnen optimaliseren wat betreft comfort en energiegebruik. Voor dat doel is een interface ontwikkeld waarmee de voor het architectonisch ontwerp relevante parameters kunnen worden beïnvloed. Dit heeft geresulteerd in het programma ORCA.

Voor het vaststellen van de warmte- en koelbehoefte van een gebouw, het bijbehorende binnenklimaat en het energiegebruik wordt in de advieswereld veelvuldig gebruik gemaakt van gebouwssimulatieprogramma's. Bij de faculteit Bouwkunde van de TU-Delft worden o.a. de simulatieprogramma's ORCA, VA114, CAPSOL en TRNSYS gebruikt.

Het programma CAPSOL is meer bouwfysisch geïntereerd dan VA114 en heeft o.a. een transparante numerieke uitvoer. Met TRNSYS kunnen veel verschillende installatiecomponenten, zoals energieopslag, worden beoordeeld. Ook kunnen temperatuurregelingen gedetailleerd worden nagebootst. VA114 in de "uniforme omgeving" (Windowscherm) heeft als voordeel dat een gebouw ruimtelijk zichtbaar op het scherm kan worden ingevoerd. Als een gebouw eenmaal is ingevoerd kunnen met dezelfde invoer ook andere berekeningen (warmteverlies, ventilatie, verlichting, EPN, enz.) worden gedaan.

2 Warmtebehoefte

2.1 NEN 5066

De berekening van de warmtebehoefte van ruimten - door installatieontwerpers ook wel aangeduid met "transmissieberekening" - is in NEN 5066 [1] beschreven. Toen dit boek werd samen-gesteld lagen er wijzigingsvoorstellen. Voor de berekening van de warmtebehoefte in het beginstadium van het ontwerpproces is zowel de bestaande als de voorgestelde versie te gedetailleerd. Daarom is deze berekening vereenvoudigd tot de in de volgende paragraaf beschreven globale methode.

2.2 GLOBALE WARMTEBEHOEFTEBEREKENING

De warmtebehoefte van een ruimte (Φ_w) wordt volgens NEN 5066 bepaald door het warmteverlies door transmissie (Φ_{tr}), natuurlijke ventilatie of infiltratie (Φ_v) en opwarmen van de ruimte na een nacht of weekeinde met een lagere ruimtetemperatuur (Φ_{opw}):

$$\Phi_w = \Phi_{tr} + \Phi_v + \Phi_{opw} \quad (W) \quad (1)$$

Het warmteverlies door transmissie is:

$$\Phi_{tr} = \sum (U \cdot A_e \cdot (\theta_i - \theta_e)) \quad (W) \quad (2)$$

waarin:

- U = warmtedoorgangscoefficiënt van wanden, vloeren e.d. = $1/R \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$
- R = warmteweerstand = $R_i + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_n/\lambda_n + \dots + R_{sp1} + R_{sp2} + R_{spn} + \dots + R_e \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$
- R_i = warmte-overgangswaarde aan binnenzijde $\approx 0,13 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$
- R_e = warmte-overgangswaarde aan buitenzijde $\approx 0,04 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$
- d = dikte van de lagen waaruit de wand of vloer is opgebouwd in m
- λ = warmtegeleidingscoëfficiënt in W/(mK) , zie tabel 8.2
- R_{sp} = warmteweerstand van een spouw $\approx 0,17 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$
- A_e = oppervlakte van het vlak (buitenwerks) in m^2
- θ_i = ontwerp-binnentemperatuur in $^{\circ}\text{C}$
- θ_e = ontwerp-buitentemperatuur in $^{\circ}\text{C}$

tabel 1 eigenschappen van vaak toegepaste bouwmaterialen *)

materiaalsoort	warmtegeleidings- coëfficiënt λ W/(m.K)	soortelijke warmte c J/(kg.K)	soortelijke massa ρ kg/m³
ijzer / staal	50	530	7800
beton	2,0	840	2500
glas	0,8	840	2500
baksteen	0,6 - 0,9	840	1600
gips	0,3 - 0,5	840	600 - 1400
kunststof	0,17	1470	900 - 1200
hout	0,15	1880	550
kurk	0,04	1760	120
minerale wol	0,04	840	35 - 200
kunststof schuim	0,035	1470	10 - 60

*) Zie voor meer gegevens het Bouwfysisch Tabellarium van de TU-Delft

NEN 5066 geeft voor de ontwerp-binnentemperatuur richtwaarden, zie tabel 2. Het zijn minimale waarden. Tussen haakjes zijn meer gebruikelijke binnentemperaturen vermeld.

tabel 2 ontwerp-binnentemperatuur
verwarming

Woningen

- woonkamer	20 °C	(22)
- studeerkamer	20	(22)
- slaapkamer	18	(20)
- keuken	18	(20)
- badruimte	22	(24)
- gang, hal	15	(18)
- toilet	15	
- berging	5	

Bejaardenwoningen

- zitkamer	22 °C	(24)
- slaapkamer	22	(24)
- badruimte	25	
- keuken	22	
- toilet	18	(20)
- gang	18	

Kantoren

- kantoorvertrekken	20 °C	(22)
- gangen, archieven	15	(18)
- toiletten	10	(15)

Scholen

- klaslokaal	20 °C	
- gymlokaal	15	
- docentenkamers	20	
- gang	15	
- toilet	15	

Museum 16 °C

Kerk 15

Winkel 16

Als ontwerp-buitentemperatuur kan voor geheel Nederland -10 °C worden aangehouden. Lagere temperaturen doen zich slechts beperkt voor, tabel 3 illustreert dit.

tabel 3 deel van de tijd dat de buitentemperatuur beneden een bepaalde waarde komt

< °C	%	uur/jaar
-20	0,0067	0,58
-15	0,048	4,2
-14	0,078	6,7
-13	0,113	9,9
-12	0,173	15
-11	0,266	23
-10	0,397	35
-9	0,57	50
-8	0,82	72
-7	1,12	98
-6	1,50	132
-5	2,05	180
-4	2,8	245
-3	3,7	322
-2	4,9	431
-1	6,6	582
0	8,9	781

NEN 5066 maakt voor het warmteverlies naar aangrenzende ruimten onderscheid tussen verwarmde en niet verwarmde ruimten. Voor niet verwarmde ruimten kan de temperatuur worden berekend uit de warmtebalans voor die ruimte. Voor een globale warmtebehoefteberekening gaat dit te ver. Ter vereenvoudiging kunnen de volgende temperaturen worden aangehouden:

- verwarmde ruimte eigen woning/gebouw ontwerp-temperatuur
- centraal verwarmde buurwoning 15 °C
- centraal verwarmd buurgebouw 15 °C
- onverwarmde zolder 5 °C
- kruipruimte 5 °C
- grond 10 °C

Infiltratie is de onbedoelde luchtstroming via kieren en andere ondichtheden in de gebouwschil en is het gevolg van (wind)druk en temperatuurverschillen. Ventilatie is de luchtverversing die op natuurlijke wijze plaatsvindt via geopende ramen of roosters of op mechanische wijze met ventilatoren. Het warmteverlies dat het gevolg is van natuurlijke ventilatie of infiltratie (Φ_v) bedraagt:

$$\Phi_v = q_v \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (W) \quad (3)$$

waarin:

q_v = luchtvolumestroom in m³/s

ρ = dichtheid van lucht $\approx 1,2$ kg/m³

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

θ_i = ontwerpbinnentemperatuur in $^{\circ}\text{C}$

θ_e = ontwerpbuitentemperatuur in $^{\circ}\text{C}$

Voor nieuwe WONINGEN, die qua luchtdoorlatendheid voldoen aan NEN 2687, is de volume-stroom:

$$q_v = c_0 \cdot n \cdot V / 3600 \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (4)$$

waarin:

c_0 = omgevingsfactor (1,5 voor vrij gelegen laagbouw, anders 1,0)

n = ventilatievoud ten gevolge van infiltratie in $(\text{m}^3 \cdot \text{h})/\text{m}^3 (= \text{h}^{-1})$

V = volume van de ruimte in m^3

De waarde voor n kan in tabel 4 worden opgezocht voor Binnenland, Kustgebied of Den Helder e.o., zie figuur 1.



figuur 1 klimaatzones in Nederland

tabel 4 ventilatievouden t.b.v. berekening warmtebehoefte woningen

gebied ¹⁾	natuurlijke toevoer						mechanische toevoer					
	gesloten keuken			open keuken			gesloten keuken			open keuken		
	a	b	c	a	b	c	a	b	c	a	b	c
<i>appartement hoogbouw</i>												
- woonkamer	1,9	2,9	4,1	3,2	4,5	6,1	0,9	1,6	2,3	1,3	2,0	2,9
- keuken gevel	4,2	5,4	6,8	6,7	9,6	12,8	1,8	2,7	3,9	2,6	4,2	6,0
- „ in pandig	2,4	3,1	3,9	3,9	5,6	7,4	1,0	1,6	2,2	1,6	2,3	3,5
- slaapkamer	3,0	4,3	5,9	3,3	4,7	6,3	1,8	3,0	4,2	2,0	3,3	4,7
- gang / hal	1,2	2,9	3,9	2,4	3,4	4,5	1,0	1,6	2,2	1,2	1,8	2,5
<i>appartement laagbouw</i>												
- woonkamer	1,0	1,5	2,1	1,9	2,5	3,3	0,5	0,7	1,0	0,6	1,0	1,4
- keuken gevel	1,4	3,3	4,1	3,7	5,1	7,1	0,9	1,3	2,0	1,4	2,0	2,8
- „ in pandig	1,6	1,9	2,3	2,2	3,0	4,1	0,5	0,8	1,2	0,8	1,2	1,6
- slaapkamer	1,7	2,4	3,1	1,8	2,6	3,4	1,0	0,9	2,0	0,9	1,0	2,3
- gang / hal	1,1	1,5	2,1	1,4	1,8	2,6	0,5	1,4	1,1	0,6	1,5	1,2
<i>eengezinswoning</i>												
- woonkamer	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	2,7	0,5	0,5	0,7	0,7	0,7	1,1
- keuken	2,2	2,2	3,0	4,1	4,1	7,2	0,7	0,7	1,1	1,8	1,8	3,3
- slaapkamer	2,2	2,2	2,2	2,5	2,5	2,5	0,5	0,5	1,3	0,5	0,5	1,4
- badkamer	3,8	3,8	5,5	3,6	3,6	5,8	1,1	1,1	2,6	1,0	1,0	2,5
- zolder	1,8	1,8	4,2	1,3	1,3	2,9	0,7	0,7	1,9	0,4	0,4	1,2
- gang / hal	2,4	2,4	4,0	3,5	3,5	3,1	1,2	1,2	1,9	0,8	0,8	1,5

¹⁾ a = binnenland, b = kustgebied en c = Den Helder e.o.

Bij utiliteitsgebouwen met **natuurlijke ventilatie** wordt de volumestroom bepaald door de **ventilatie** of - als deze groter is - door de **infiltratie**. De volumestroom moet voldoende zijn voor luchtverversing, hiervoor noemt NEN 5066 0,01 m³/s per persoon (35 m³/h). Volgens huidige inzichten leidt dit tot een benauwde atmosfeer en is 0,014 m³/s per persoon (50 m³/h) beter. Is het aantal personen onbekend dan kan 1 persoon per 10 m² vloeroppervlakte worden genomen, wat neerkomt op een volumestroom van 0,0014 m³/s per m² vloeroppervlakte (5 m³/h per m² vloeroppervlakte).

Bij utiliteitsgebouwen met **mechanische ventilatie** wordt de volumestroom bepaald door de **infiltratie** als de lucht mechanisch wordt toegevoerd. De mechanisch toegevoerde lucht wordt dan elders verwarmd. Wordt de lucht alleen mechanisch afgevoerd en stroomt onverwarmde verse lucht direct van buiten naar binnen dan wordt de volumestroom bepaald door de mechanische **ventilatie** of - als deze groter is - door **infiltratie**. Ter vereenvoudiging wordt vaak aangenomen dat de volumestroom door ventilatie altijd de grootste is.

Voor gebouwen die voldoen aan de luchtdichtheidseisen uit NEN 5066, bijlage B (nieuwe gebouwen), is de volumestroom door infiltratie:

$$q_v = q_{vi} \cdot A_g \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (5)$$

waarin:

q_{vi} = luchtvolumestroom door infiltratie per m² geveloppervlakte in m³/(s.m²)

0,0009 m³/(s.m²) voor het binnenland (zie figuur 1),

0,0014 m³/(s.m²) voor het kustgebied en

0,0021 m³/(s.m²) voor Den Helder e.o.

A_g = geveloppervlakte in m²

Volgens NEN 5066 is het warmteverlies door opwarmen van de ruimte - na een nacht of week-einde met een lagere temperatuur - afhankelijk van de mate en duur van de temperatuurverlaging en van de opwarmtijd. Ook de temperatuurregeling - per vertrek of centraal - heeft invloed op dit warmteverlies. Deze aspecten en de eigenschappen van het gebouw samen maken de berekening complex. Voor een globale berekening gaat dit te ver en kan beter een gemiddelde waarde worden genomen. PrEN 12831 [2] geeft aan dat een ruimte met een gemiddelde massa (SWM = 65 kg/m²) met een vermogen van 20 W/m² vloeroppervlakte in 1 uur ca. 2 °C is op te warmen. Met het zelfde verwarmingsvermogen is een zware ruimte (SWM = 80 kg/m²) in 2 uur ca. 2 °C op te warmen. Voor beide gevallen is dit aanvaardbaar, zodat het warmteverlies voor opwarmen van de ruimte als volgt is te berekenen:

$$\Phi_{opw} = A_{vi} \cdot 20 \quad (\text{W}) \quad (6)$$

waarin:

A_{vi} = vloeroppervlakte in m²

De "Specifiek Werkzame Massa" van de ruimte (SWM) is te bepalen met:

$$SWM = \Sigma (f \cdot \rho \cdot d \cdot A_d) / \Sigma A_w \quad (\text{kg/m}^2) \quad (7)$$

waarin:

f = reductiefactor voor isolerende deklagen (= 0,7 voor niet geventileerde verlaagde plafonds, verhoogde vloeren, lambriseringen e.d., anders 1,0 invullen)

ρ = dichtheid van de wanden, vloeren en plafond in kg/m^3

d = werkzame dikte in m (= halve dikte van wand, vloer of plafond en maximaal 0,06 m)

A_d = oppervlakte van wanden (*exclusief* ramen), vloer en plafond in m^2

A_w = oppervlakte van wanden (*inclusief* ramen), vloer en plafond in m^2

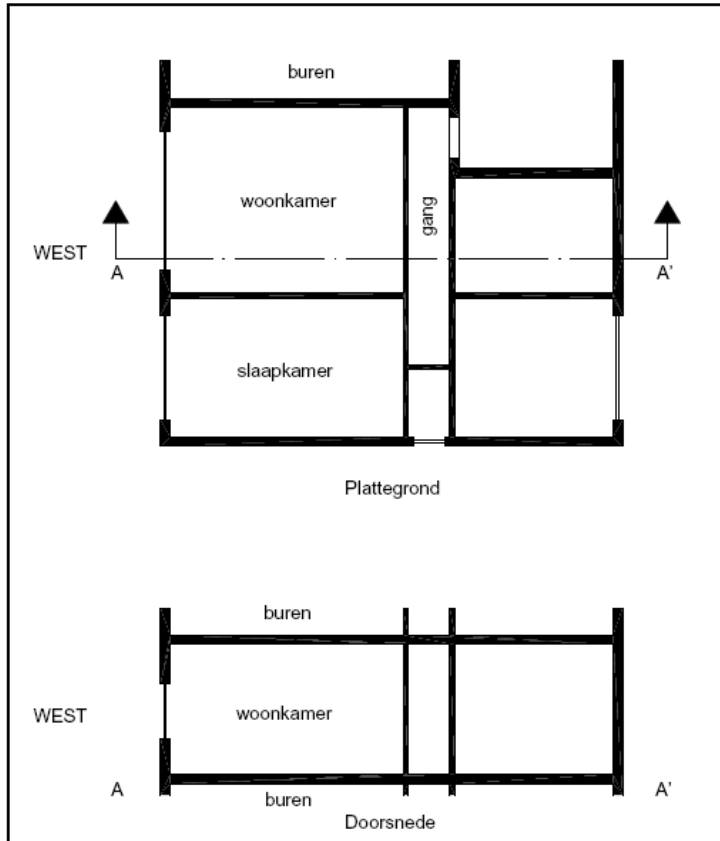
NB. Anno 2004 is discussie gaande over de noodzaak van nacht- en weekeindverlaging. Door energiebesparende maatregelen is de warmtebehoefte van gebouwen sterk afgenomen waardoor het vermogen voor opwarmen een relatief groot deel van het totale verwarmingsvermogen is geworden. Daardoor is de gemiddelde belasting van ketels en warmtepompen afgenomen terwijl hun rendement juist bij hoge belastingen maximaal zijn. De vraag is of de besparing door nacht- en weekeindverlaging opweegt tegen het extra energiegebruik door het lagere gebruiksrendement. De zin van nacht- en weekeindverlaging wordt eveneens betwijfeld omdat na nacht- en weekeindverlaging koudeval langs binnenmuren ontstaat die niet door radiatoren e.d. wordt opgevangen. Een derde reden is dat duurzame lage-temperatuur verwarming beter toepasbaar is naarmate het maximale verwarmingsvermogen lager is terwijl nacht- en weekeindverlaging juist tot een hoger vermogen leidt.

In de bijlage 1 wordt een samenvatting gegeven van de bij de globale warmtebehoefteberekening te gebruiken formules. Bijlage 2 is een overzichtelijk invulformulier dat de kans op het maken van fouten beperkt.

2.3 Voorbeelden

Voorbeeld 1, warmtebehoefte woonkamer

Dit voorbeeld betreft een woonkamer op een tussenverdieping van een appartementengebouw in Rotterdam, zie figuur 2.



figuur 2 voorbeeld 1, woonkamer in flatgebouw

Oriëntatie is West. Verdere gegevens:

Bruto hoogte (vloer tot vloer)	: 3,0 m
netto hoogte	: 2,8 m
gevel breedte	: 4,0 m
vertrekdiepte	: 5,0 m
raamhoogte	: 1,2 m
raambreedte	: 3,0 m
ontwerp-temperatuur	: 22 °C
temperatuur aangrenzende ruimte:	
- noord (buren)	: 15 °C
- zuid (slaapkamer)	: 20 °C
- oost (gang)	: 18 °C
- boven (buren)	: 15 °C
- beneden (buren)	: 15 °C

infiltratie volgens tabel 8.5 : 1,5-voud = 84 m³/h

N.B. Volgens het Bouwbesluit moet de ventilatie van een woonkamer 0,9 l/(s.m²) (=65 m³/h) zijn, met een minimum van 21 l/s (= 75 m³/h). De infiltratie volgens tabel 4 valt binnen deze criteria, zodat bij de warmtebehoefteberekening geen rekening hoeft te worden gehouden met extra ventilatie.

Warmtedoorgangscoefficienten

glas	3,2 W/(m ² .K)
borstwering	0,4
vloer	1,2
wand (buren)	1,5
binnenwand	2,0

Transmissieverlies

raam	= U . A . (θ _i - θ _e)=	3,2 . 3,6 . 32	= 369 W
borstwering	=	0,4 . (3 . 4 - 3,6) . 32	= 108
vloer	=	1,2 . 4 . 5 . 7	= 168
plafond	=	1,2 . 4 . 5 . 7	= 168
wand buren	=	1,5 . 3 . 5 . 7	= 158
wand slaapkamer	=	2,0 . 3 . 5 . 2	= 60
wand gang	=	2,0 . 3 . 4 . 4	= 96
Φ_{tr}			= 1127 W

Warmteverlies door infiltratie:

$$\Phi_v = n \cdot V \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_e) / 3600 = 1,5 \cdot 56 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 32 / 3600 = 896 \text{ W}$$

Warmteverlies door opwarmen:

$$\Phi_{opw} = A_{vl} \cdot 20 = 4 \cdot 5 \cdot 20 = 400 \text{ W}$$

De totale warmtebehoefte is daardoor:

$$\Phi_w = \Phi_{tr} + \Phi_v + \Phi_{opw} = 1127 + 869 + 400 = \mathbf{2396 \text{ W}}$$

En de specifieke warmtebehoefte:

$$\Phi_{w, sp} = \Phi_w / A_{vl} = 2396 / (5 \cdot 4) = \mathbf{120 \text{ W/ m}^2}$$

Systeemkeuze

Volgens tabel 5 zijn verwarming met radiatoren of convectoren en luchtverwarming geschikt.

Vloer- en plafondverwarming komen niet in aanmerking als hoofdverwarming.

tabel 5 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		200	200	200	¹⁾			
luchtverwarming $\Delta\theta = 20^\circ\text{C}$ ²⁾	4	65	70	80	95	110	135	160
	6	95	110	120	140	160	200	240
	10	160	180	200	230	270	335	400
,, $\Delta\theta = 40^\circ\text{C}$ ³⁾	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)		55/90	55/90	55/90	55/90	55/90	55/90	
								5
								5/90
plafondverwarming (staan/zitten)		45/60	50/70	55/80	¹⁾			

¹⁾ minder of niet geschikt voor hoge ruimten

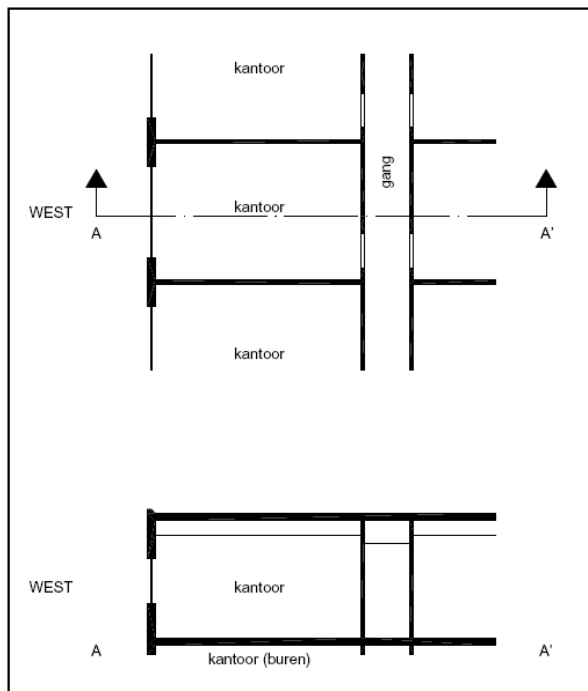
²⁾ luchttoevoer vanuit plafond met tangentiale stroming

³⁾ luchttoevoer vanuit vloer en toevoer vanuit plafond met diffuse stroming

N.B. Uitgaande van ISSO 51 [3], die meer rekening houdt met moderne woningen met een goede kierdichting, goede isolatie met HR^{++} -glas en lage temperatuurverwarming, zijn lagere specifieke warmte-behoefte haalbaar, in de orde van $60\text{--}70 \text{ W/m}^2$. Deze rekenmethode wordt in deze module nog niet behandeld.

Voorbeeld 2, warmtebehoefte mechanisch geventileerd kantoorvertrek

Dit voorbeeld betreft een op het westen liggend tussenvertrek op de bovenste laag van een mechanisch geventileerd kantoorgebouw te Wateringen, zie figuur 3.



figuur 3 voorbeeld 2, kantoorvertrek

Verdere gegevens

bruto hoogte (vloer tot vloer)	: 3,3 m
netto hoogte	: 2,7 m
gevel breedte	: 3,6 m
vertrekdiepte	: 5,4 m
glasoppervlakte (dubbel glas)	: 2,9 m ²
ontwerp-binnentemperatuur	: 22 °C
temperatuur aangrenzende ruimten:	
- noord + zuid (eigen kantoor)	: 22 °C
- oost (gang)	: 18 °C
- onder (buren, kantoor)	: 15 °C
infiltratie	: 0,0014 m ³ /m ² geveloppervlakte
U plafond (dak)	: 0,4 W/(m ² .K)
andere U-waarden	: zie voorbeeld 1.

Transmissieverlies

Raam	= U . A . (θ _i - θ _e) = 3,2 . 2,9 . 32	= 297 W
borstwering	= 0,4 . (3,3 . 3,6 - 2,9) . 32	= 115
vloer	= 1,2 . 3,6 . 5,4 . 7	= 163
plafond	= 0,4 . 3,6 . 5,4 . 32	= 249
wand gang	= 2,0 . 3,3 . 3,6 . 4	= <u>95</u>
	Φ_{tr}	= 919 W

Warmteverlies door infiltratie

$$\Phi_v = q_{vi} \cdot A_g \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_e) = 0,0014 \cdot 3,3 \cdot 3,6 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 32 = 639 \text{ W}$$

Warmteverlies door opwarmen:

$$\Phi_{opw} = A_{vl} \cdot 20 = 3,6 \cdot 5,4 \cdot 20 = 389 \text{ W}$$

De totale warmtebehoefte is hierdoor:

$$\Phi_w = \Phi_{tr} + \Phi_v + \Phi_{opw} = 919 + 639 + 389 = \mathbf{1947 \text{ W}}$$

En de specifieke warmtebehoefte:

$$\Phi_{w,sp} = \Phi_w / A_{vl} = 1947 / (3,6 \cdot 5,4) = \mathbf{100 \text{ W/m}^2}$$

Systeemkeuze

Volgens tabel 5 is verwarming met radiatoren of convectoren - wat betreft het vermogen - een verantwoorde keuze. Luchtverwarming kan ook en heeft als voordeel de combinatie met mechanische ventilatie. In dat geval moet de luchttoevoer worden afgestemd op het verwarmingsvermogen en de wijze van luchttoevoer. Vloer- en plafondverwarming komen niet in aanmerking als hoofdverwarming.

Bij hoge toevoer, bij voorbeeld via roosters in het plafond, mag het temperatuurverschil ($\Delta\theta$) niet meer zijn dan 20 °C zodat:

$$q_{v, \text{plaf}} = \Phi_w / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) = 1947 / (1,2 \cdot 1000 \cdot 20) = 0,081 \text{ m}^3/\text{s} = 292 \text{ m}^3/\text{h}$$

Bij lage luchttoevoer via vloerroosters is een temperatuurverschil mogelijk van 40 °C:

$$q_{v, \text{vloer}} = \Phi_w / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) = 1947 / (1,2 \cdot 1000 \cdot 40) = 0,04 \text{ m}^3/\text{s} = 146 \text{ m}^3/\text{h}$$

Ter controle: deze luchthoeveelheid is bij benadering voldoende voor drie personen zodat via luchtverwarming voldoende luchtverversing kan plaatsvinden.

Vaak past men in mechanisch geventileerde gebouwen radiatoren toe als basisverwarming. Buiten gebruikstijd is dan geen ventilatie nodig. Vanwege de compensatie van koudestraling en het opvangen van koudeval heeft de combinatie met radiatoren - mits die onder de ramen zijn geplaatst - zelfs de voorkeur.

Invloed percentage en type glas

Om de invloed op de warmtebehoefte na te gaan van andere glaspercentages en andere beglazing, zijn voor het kantoorvertrek uit dit voorbeeld eveneens berekeningen gemaakt met 60 en 90% glas en met HR-glas. Dit leidt tot de volgende resultaten.

glaspercentage --->	dubbel glas U = 3,2 W/(m ² .K)			HR-glas U = 1,8 W/(m ² .K)			
	30	60		90	30	60	90
$\Phi_{tr,raam}$	297	594	891	167	334	501	W
$\Phi_{tr,borstwering}$	115	78	41	115	78	41	
$\Phi_{tr,vloer}$	163	163	163	163	163	163	
$\Phi_{tr,plafond}$	249	249	249	249	249	249	
$\Phi_{tr,gang}$	95	95	95	95	95	95	
$\Phi_{ventilatie}$	639	639	639	639	639	639	
$\Phi_{opwarmen}$	389	389	389	389	389	389	
Φ_w	1947	2207	2467	1817	1947	2077	W
$\Phi_{w,sp}$	100	114	127	93	100	107	W/m ²

Systeemkeuze

Uit dit overzicht blijkt dat verdubbeling van het glaspercentage resulteert in 14% meer warmtebehoefte en dat HR-glas deze toename volledig kan compenseren. Verder blijkt dat bij toepassing van 30% HR-glas vloerverwarming als hoofdverwarming tot de mogelijkheden behoort.

Voorbeeld 3, warmtebehoefte natuurlijk geventileerd kantoorvertrek

De gegevens zijn gelijk aan die van voorbeeld 2, behoudens de ventilatie, die op natuurlijke wijze via ramen plaatsvindt en voldoende moet zijn voor 2 personen: $2 \cdot 0,014 = 0,028 \text{ m}^3/\text{s}$ ($= 100 \text{ m}^3/\text{h}$).

Transmissieverlies en warmteverlies door opwarming:

gelijk aan voorbeeld 2: $\Phi_{tr} + \Phi_{opw} = 919 + 389 = 1308 \text{ W}$

Warmteverlies door natuurlijke ventilatie:

$\Phi_v = q_v \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_e) = 0,028 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 32 = 1075 \text{ W}$

De totale warmtebehoefte (Φ_w) is daardoor:

$\Phi_w = 919 + 389 + 1075 = \mathbf{2383 \text{ W}}$

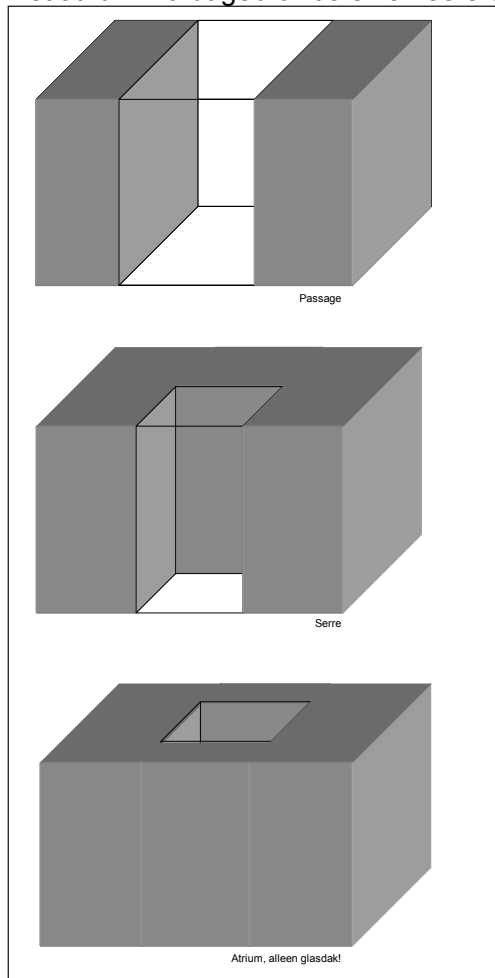
En de specifieke warmtebehoefte:

$\Phi_{w,sp} = \Phi_w / A_{vl} = 2383 / (3,6 \times 5,4) = \mathbf{123 \text{ W/m}^2}$

Systeemkeuze Volgens tabel 5 is verwarming met radiatoren of convectoren, wat betreft het vermogen, een verantwoorde keuze. Dat geldt ook voor luchtverwarming. Vloer- en plafondverwarming komen niet in aanmerking als hoofdverwarming.

Voorbeeld 4, warmtebehoefte atrium

Het atrium wordt gebruikt als verkeersruimte/wachruimte in een raadhuis, zie figuur 4.



figuur 4 voorbeeld 4, atrium

Het atriumdak is 90% transparant. De niet-transparante delen bestaan uit profielen met koudebrug-isolatie. In eerste instantie wordt voor de berekening enkel glas genomen. De berekening wordt herhaald met dubbel glas en extra isolerend HR⁺ glas.

Verdere gegevens

afmetingen atrium	lengte x breedte x hoogte = 20 x 10 x 20 m
bezetting	30 personen
ventilatie	50 m ³ /h per persoon
ontwerp-binnentemperatuur	18 °C atrium 20 °C aangrenzende ruimten 0 °C kruipruimte
ontwerp-buitentemperatuur	-10 °C
infiltratie	0,5-voud (geschat)

Warmtedoorgangscoefficienten

enkel glas	6,0 W/(m ² .K)
dubbel glas	3,2

HR ⁺ glas	1,5
profielen	1,0
vloer	0,5
wand (gemiddeld)	3,0

Transmissieverlies:

$$\begin{aligned}\text{glas} &= U \cdot A \cdot (\theta_i - \theta_e) = 6,0 \cdot 0,9 \cdot 200 \cdot 28 = 30240 \text{ W} \\ \text{profielen} &= 1,0 \cdot 0,1 \cdot 200 \cdot 28 = 560 \\ \text{vloer} &= 0,5 \cdot 200 \cdot 18 = 1800 \\ \text{wanden} &= 3,0 \cdot (2 \cdot 20 \cdot 10 + 2 \cdot 20 \cdot 20) \cdot (-2) = \underline{-7200} \\ &\Phi_{tr} = 25400 \text{ W}\end{aligned}$$

Infiltratie

$$q_v = n \cdot V / 3600 = 0,5 \cdot 4000 / 3600 = 0,56 \text{ m}^3/\text{s}$$

Ventilatie (30 personen à 50 m³/h)

$$q_v = 30 \cdot 50 / 3600 = 1500 / 3600 = 0,42 \text{ m}^3/\text{s},$$

Infiltratie is hier maatgevend met als warmteverlies

$$\Phi_v = q_v \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_e) = 0,56 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 28 = 18816 \text{ W}$$

Warmteverlies door opwarmen

$$\Phi_{opw} = A_{vl} \cdot 20 = 200 \cdot 20 = 4000 \text{ W}$$

De totale warmtebehoefte is daardoor

$$\Phi_w = \Phi_{tr} + \Phi_v + \Phi_{opw} = 25400 + 18816 + 4000 = \mathbf{48216 \text{ W}}$$

En de specifieke warmtebehoefte

$$\Phi_{w,sp} = \Phi_w / A_{vl} = 48216 / 200 = \mathbf{241 \text{ W/m}^2}$$

Systeemkeuze

De energieprestatie-eisen uit het Bouwbesluit sluiten verwarming van een thermisch zo slecht geïsoleerd atrium als in dit voorbeeld uit. Dat neemt niet weg dat verwarming technisch wel mogelijk is, bij voorbeeld met hoog geplaatste stralingspanelen of met een combinatie van stralingspanelen en radiatoren of convectoren. Luchtverwarming kan ook. Met de volgende berekeningen wordt de vraag beantwoord of met deze systemen voldoende verwarmingsvermogen is te realiseren.

Stralingspanelen die met water van 90 °C worden gevoed hebben een vermogen van ca. 700 W/m², zodat 48216 / 700 = 69 m² aan panelen nodig is. Een groot deel van het transparante dak (200 m²) zou hierdoor worden bedekt, hetgeen een niet erg reële oplossing lijkt.

Luchtverwarming is mogelijk met hoge invoer, bij voorbeeld met nozzles, en een naar beneden gerichte luchtstroom. Het temperatuurverschil kan in dat geval maximaal 40 °C zijn. De lucht-hoeveelheid is dan:

$$q_v, \Delta\theta=40^\circ\text{C} = \Phi_w / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) = 48216 / (1,2 \cdot 1000 \cdot 40) = 1,0 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (3600 m}^3/\text{h)}$$

Dit komt neer op een ventilatievoud van:

$$n_{\Delta\theta=40^\circ\text{C}} = q_v / V = 3600 / (20 \cdot 10 \cdot 20) = 0,9 \text{ h}^{-1} \text{ (reële optie, afgezien van het Bouwbesluit)}$$

Invloed dubbel glas en HR⁺ glas

Het transmissieverlies via een atriumdak dat is voorzien van dubbel glas bedraagt:

$$U \cdot A \cdot (\theta_i - \theta_e) = 3,2 \cdot 0,9 \cdot 200 \cdot 28 = 16128 \text{ W}$$

Bij toepassing van HR⁺ glas is dit:

$$U \cdot A \cdot (\theta_i - \theta_e) = 1,5 \cdot 0,9 \cdot 200 \cdot 28 = 7560 \text{ W}$$

De overige warmteverliesposten blijven gelijk. Dit resulteert in het volgende overzicht:

	enkel glas	dubbel glas	HR⁺ glas
U-waarde glas	6,0	3,2	1,5 W/(m ² K)
totale warmtebehoefte atrium Φ_w	48216	34104	25536 W
specifieke warmtebehoefte $\Phi_{w,sp}$	241	170	128 W/m ²
oppervlakte panelen bij stralingsverwarming		69	49 36 m ²
luchthoeveelheid bij luchtverwarming	1,0	0,7	0,5 m ³ /s
ventilatievoud bij luchtverwarming	0,9	0,6	0,5 h ⁻¹

Systeemkeuze

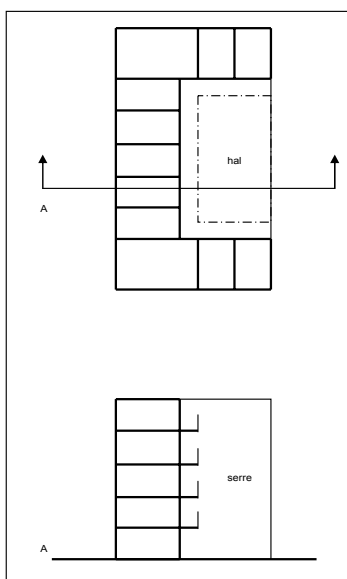
Bij toepassing van HR⁺ glas is stralingsverwarming een reële optie.

Bij luchtverwarming moet het ventilatievoud minimaal 2 h⁻¹ zijn om grote temperatuurgradiënten te voorkomen. Hierdoor moet in alle gevallen de warme lucht met een geringer temperatuurverschil worden toegevoerd dan de in de berekeningen aangenomen waarde van

40 °C. Gecontroleerd moet worden of de warme naar beneden gericht luchtstroom ook daadwerkelijk de leefzone van het atrium bereikt, omdat als de toegevoerde lucht warmer is dan de omgeving deze al gauw naar boven afbuigt (schoorsteeneffect).

Voorbeeld 5, warmtebehoefte serre

De serre vormt de entree van een kantoorgebouw in Alkmaar waarin zich een afgeschermd informatiebalie en een zitje voor wachtende bezoekers bevindt, zie figuur 5.



figuur 5 voorbeeld 5, serre

Het serredak is 90% transparant. De gesloten delen van het dak bestaan uit profielen met koudebrugisolatie. De serre heeft een volledig transparante "structural glazing" gevel. In eerste instantie wordt een berekening gemaakt voor enkel glas. De berekening wordt herhaald voor extra isolerend HR⁺⁺ glas.

Verdere gegevens

afmetingen serre	lengte x breedte x hoogte = 20 x 10 x 20 m
bezetting	30 personen
ventilatie	50 m ³ /h per persoon
binnentemperatuur	15 °C (aangrenzende ruimte 20 °C, kruipruimte 0 °C)
buitentemperatuur	-10 °C

Warmtedoorgangscoefficienten

enkel glas	6,0 W/(m ² .K)
HR ⁺⁺ glas	1,3
profielen	1,0
vloer	0,5
binnengevel (gemiddeld)	3,0

Transmissieverlies

dak glas	= U . A . (θ _i - θ _e) = 6,0 . 0,9 . 200 . 25	= 27000 W	
dak profielen		= 1,0 . 0,1 . 200 . 25	= 500
serregevel	= 6,0 . 400 . 25	= 60000	
vloer	= 0,5 . 200 . 15	= 1500	
binnengevel	= 3,0 . (2.20.10+20.20) . (-5)	= -12000	
		Φ _{tr} =	77000 W

Warmteverlies door natuurlijke ventilatie

$$\Phi_v = q_v \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_e) = 30 \cdot 50 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 25 / 3600 = 12500 \text{ W}$$

Warmteverlies door infiltratie

$$\Phi_v = q_{vi} \cdot A_g \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_e) = 0,0014 \cdot 400 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 25 = 16800 \text{ W (maatgevend)}$$

Warmteverlies door opwarmen

$$\Phi_{opw} = A_{vl} \cdot 20 = 200 \cdot 20 = 4000 \text{ W}$$

De totale warmtebehoefte is daardoor

$$\Phi_w = \Phi_{tr} + \Phi_v + \Phi_{opw} = 77000 + 16800 + 4000 = \mathbf{97800 \text{ W}}$$

En de specifieke warmtebehoefte

$$\Phi_{w,sp} = \Phi_w / A_{vl} = 97800 / 200 = \mathbf{489 \text{ W/m}^2}$$

Systeemkeuze

Hoewel de energieprestatie-eisen uit het Bouwbesluit verwarming van een thermisch zo slecht geïsoleerde serre uitsluiten is het technisch wel mogelijk, bij voorbeeld met hoog geplaatste stralingspanelen, eventueel in combinatie met radiatoren of convectoren. Luchtverwarming kan ook.

Stralingspanelen die met water van 90 °C worden gevoed hebben een vermogen van 700 W/m², zodat bij stralingsverwarming 97800 / 700 = 140 m² aan panelen nodig is waardoor het transparante dak grotendeels wordt afgedekt. Stralingsverwarming is daardoor geen reële oplossing.

Luchtverwarming kan door warme lucht, bij voorbeeld met nozzles, hoog in de ruimte met een naar beneden gerichte luchtstroom toe te voeren. Het temperatuurverschil kan in dat geval maximaal 40 °C zijn, de hoeveelheid toe te voeren lucht is dan:

$$q_v, \Delta t=40^{\circ}\text{C} = \Phi_w / (\rho \cdot c \cdot \Delta\theta) = 97800 / (1,2 \cdot 1000 \cdot 40) = 2,0 \text{ m}^3/\text{s} \text{ (7200 m}^3/\text{h)}$$

Dit komt neer op een ventilatievoud van:

$$n_{\Delta t=40^{\circ}\text{C}} = q_v / V = 7200 / (20 \cdot 10 \cdot 20) = 1,8 \text{ h}^{-1}$$

Om grote temperatuurgradiënten te voorkomen is het beter om ten minste een 2-voudige luchthoeveelheid toe te voeren (temperatuurverschil is dan iets lager dan 40 °C). Om deze lucht-hoeveelheid (2.4000 = 8000 m³/h) te kunnen toevoeren is volgens tabel 6 en 7 een luchtkanaal nodig met een diameter van 630 mm of een rechthoekige doorsnede van 300/1200 mm.

Tabel 6 Luchtkanalen, afmetingen, debiet en koelvermogen

lucht- verplaatsing (debiet)		diameter hoofd- aansluit- kanaal kanaal		te ventileren vloeroppervlakte								koelvermogen		
				bij h = 2,7 m				bij h = 3,0 m				bij Δθ van		
				ventilatievoud				ventilatievoud				8°C	10°C	12°C
m ³ /s	m ³ /h	mm	mm	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	m ²	kW	kW	kW
0,05	170	100	125	21	16	14	11	19	14	11	9	0,45	0,56	0,68
0,07	260	125	160	33	25	20	16	29	22	18	15	0,70	0,88	1,06
0,12	430	160	200	54	40	32	27	48	36	29	24	1,15	1,44	1,73
0,19	680	200	250	84	63	50	42	75	57	45	38	1,8	2,3	2,7
0,29	1060	250	315	130	100	80	65	118	88	71	59	2,8	3,5	4,2
0,55	1960	315	400	240	180	145	120	217	163	130	109	5,3	6,6	7,9
0,88	3200	400	500	400	300	230	200	350	260	210	180	7,7	9,6	12
1,37	4900	500	630	600	460	370	300	550	410	330	270	13	17	20
2,65	9500	630	1000	1150	880	700	590	1060	800	640	530	25	32	38
5,00	18000	800	1250	2200	1670	1300	1100	2000	1500	1200	1000	48	60	72
7,90	28000	1000	1600	3500	2600	2100	1750	3100	2400	1900	1600	75	94	113
12,30	44000	1250	2000	5400	4100	3300	2700	4900	3700	2900	2500	118	147	177
23,10	83000	1600	2500	10200	7700	6200	5100	9200	6900	5500	4600	222	278	333

tabel 7 rechthoekige luchtkanalen met gelijke hydraulisch equivalente diameter

rond kanaal	rechthoekig kanaal				
mm	hoogte x breedte in mm				
100	70 x 170 *)				
125	80 x 170 *)				
160	150 x 150	125 x 175	100 x 200		
200	200 x 200	150 x 250	125 x 300	100 x 400	
250	250 x 250	200 x 300	175 x 350	150 x 400	125 x 500
315	300 x 300	250 x 350	200 x 400	175 x 500	150 x 600
400	400 x 400	250 x 500	200 x 800		
500	500 x 500	350 x 700	300 x 800	250 x 1000	
630	600 x 600	500 x 700	400 x 800	350 x 1000	300 x 1200
800	800 x 800	500 x 1000	400 x 1600		
1000	1000 x 1000	700 x 1400	500 x 2000		
1250	1200 x 1200	800 x 1600	600 x 2400		
1600	1600 x 1600	1200 x 2400	800 x 3200		

*) bedoeld voor opname in vloeren (o.a. woningen), anders rond kanaal gebruiken

Invloed extra isolerend glas op systeemkeuze

Worden dak en gevel uitgevoerd in extra isolerend HR⁺⁺ glas dan volgen hieruit de volgende verschillen.

	enkel glas	HR⁺⁺ glas
U-waarde glas	6,0	1,3 W/(m ² K)
totale warmtebehoefte serre Φ_w	97800	8850 W
specifieke warmtebehoefte $\Phi_{w,sp}$	489	44 W/m ²
oppervlakte stralingspanelen	140	13 m ²
luchthoeveelheid bij luchtverwarming	2,0	0,18 m ³ /s
ventilatievoud bij luchtverwarming	1,8 --> 2,0	0,17 --> 2,0 h ⁻¹
diameter kanaal bij luchtverwarming	630	630 mm

Hieruit blijkt dat bij toepassing van HR⁺⁺ glas slechts 6,5% van het dak wordt afgedekt met stralingspanelen waardoor stralingsverwarming een aantrekkelijke optie is. Met luchtverwarming verandert er, afgezien van het energiegebruik, niets omdat - ter voorkoming van grote temperatuurgradiënten - er een gelijke hoeveelheid lucht moet worden verplaatst (2-voud). Daardoor ook zal de installatie bij HR⁺⁺ glas net zo groot zijn als bij enkel glas.

3 Bijlagen

3.1 Samenvatting vergelijkingen warmtebehoefteberekening

Globale warmtebehoefte

$$\Phi_w = \Phi_{tr} + \Phi_v + \Phi_{opw} \quad (W) \quad (1)$$

Transmissieverlies

$$\Phi_{tr} = \Sigma \cdot U \cdot A_e \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (W) \quad (2)$$

waarin

U = warmtedoorgangscoefficiënt in $W/(m^2 \cdot K)$

A_e = oppervlakte (buitenwerks) in m^2

θ_i = ontwerp-binnentemperatuur in $^{\circ}C$ -----> tabel 2

θ_e = ontwerp-buitentemperatuur in $^{\circ}C$ -----> $-10^{\circ}C$

Warmteverlies t.g.v. natuurlijke ventilatie of infiltratie

$$\Phi_v = q_v \cdot \rho \cdot c \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad (W) \quad (3)$$

waarin

q_v = luchtvolumestroom in m^3/s

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

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

θ_i = ontwerp-binnentemperatuur in $^{\circ}C$ -----> tabel 2

θ_e = ontwerp-buitentemperatuur in $^{\circ}C$ -----> $-10^{\circ}C$

Voor *woningen* geldt

$$q_v = c_0 \cdot n \cdot V / 3600 \quad (m^3/s) \quad (4)$$

waarin

c_0 = omgevingsfactor ($c_0 = 1,5$ vrij gelegen laagbouw, anders $c_0 = 1$)

n = ventilatievoud in h^{-1} -----> tabel 4

V = netto-volume van de ruimte in m^3

Voor *natuurlijk geventileerde utiliteitsgebouwen* geldt:

q_v = aantal personen $\times 0,014 \text{ (m}^3/s)$, of

$q_v = 0,014 \cdot A_{vl} / 10 \text{ (m}^3/s)$ als aantal personen onbekend is (5a)

waarin:

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

Voor *utiliteitsgebouwen met mechanische luchttoevoer* geldt:

$$q_v = q_{vi} \cdot A_g \quad (m^3/s) \quad (5)$$

waarin

q_{vi} = volumestroom infiltratielucht in $m^3/(s \cdot m^2)$

= $0,0009 \text{ m}^3/(s \cdot m^2)$ voor het binnenland (zie figuur 1)

$0,0014 \text{ m}^3/(s \cdot m^2)$ voor het kustgebied

$0,0021 \text{ m}^3/(\text{s} \cdot \text{m}^2)$ voor Den Helder e.o.
 $A_g =$ geveleppervlakte in m^2

Warmte voor opwarmen na nacht of weekend

$$\Phi_{\text{opw}} = A_{\text{vl}} \cdot 20 \quad (\text{W}) \quad (6)$$

waarin

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

3.2 Invulformulier globale warmtebehoefteberekening

	U	A	$\theta_i - \theta_e$	
ramen				
borstwering				
dak				
vloer				
zijwand				
zijwand				
zijwand				

	A_{vloer}		
opwarmen		20	

	q_v	$\rho \cdot c$	$\theta_i - \theta_e$	
infiltratie ¹⁾				
ventilatie ¹⁾				

totale Warmtebehoefte Φ_w	
--	--

¹⁾ bij natuurlijke ventilatie hoogste in rekening brengen
 bij mechanische luchttoevoer met infiltratie rekenen

Kengetallen

$$\text{specifieke warmtebehoefte } \Phi_{w,sp} = \frac{\Phi_w}{A_{vloer}} = \frac{\Phi_w}{W/m^2} =$$

Bij luchtverwarming

$$\text{hoeveelheid warme lucht } q_{v,verw} = \frac{\Phi_w}{\rho \cdot c \cdot \Delta\theta^{2)}} = \frac{\Phi_w}{1200 \cdot} = \frac{\Phi_w}{m^3/s} =$$

$$\text{circulatievoud } n = \frac{q_{v,verw} \cdot 3600}{V} = \frac{\Phi_w \cdot 3600}{V} = \frac{\Phi_w}{h^{-1}}$$

$$^2) \Delta\theta = \theta_{toevoer} - \theta_{ruimte}$$

4 Literatuur

1. NNI (Nederlands Normalisatie Instituut). Nederlandse norm NEN 5066. Warmteverliesberekening voor gebouwen - Berekening van het benodigde vermogen voor het verwarmen van een ruimte. Delft, 1992.
2. CEN (European Committee for Standardization). European Standard prEN 12831, Heating systems in buildings – Method for calculation of the design heat load. Brussels, februari 2002.
3. ISSO. ISSO 51. Warmteverliesberekening voor woningen en woongebouwen. 2003.

Riolering en hemelwaterafvoer – globale en handberekeningen

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

1 Algemeen

1.1 Inleiding

Wanneer gesproken wordt over rioolstelsels kunnen twee soorten rioolstelsels onderscheiden worden: het gemengde en het gescheiden rioolstelsel. Het *gemengde rioolstelsel* wordt in Nederland veel toegepast in huishoudens en houdt in dat zowel het regenwater als het door mensen gebruikte en verontreinigde drinkwater in het zelfde stelsel opgevangen en afgevoerd naar de RWZI (RioolWaterZuiveringsInrichting), waar het wordt gereinigd. Een nadeel van dit stelsel is dat het soms bij veel regen de grote hoeveelheid water niet aan kan en overbelast wordt. Om dit te voorkomen zijn er zogenaamde bergings- en bezinkingsvoorzieningen waar een relatief schoon deel van het water wordt afgevoerd. Het vuil(er)e deel van het water gaat alsnog naar de RWZI.

Het tweede systeem is een gescheiden rioolsysteem waarbij het verontreinigende drinkwater en neerslag via verschillende buizen wordt vervoerd. Het vuile water komt via aparte buizen bij de RWZI, waar het wordt gezuiverd. Het vuilere deel van de neerslag wordt hier ook gezuiverd. Als men een nieuw rioolstelsel aanlegt, kiest men tegenwoordig doorgaans voor het gescheiden stelsel.

1.2 Doelstelling

Het stelsel van afvoerleidingen moet het afvalwater en regenwater op een doelmatige wijze zonder overlast en schade afvoeren. Hieruit volgen een aantal algemene eisen:

1. Leidingen, dichtingen, enz. dienen dicht te zijn.
2. De binnenriolering dient een functioneel ontspanningssysteem te bezitten, het mag niet voorkomen dat een waterslot wordt weggezogen of doorgeblazen.
3. Een afvoersysteem mag onder normale gebruiksomstandigheden niet kunnen verstoppem (vreemde voorwerpen, bouwvuil, afzetting).
4. Volgens het Bouwbesluit mag de geluidsoverlast van een afvoerleiding een vastgestelde waarde niet overschrijden.
5. Inspoeling via de afvoerleiding veroorzaakt door andere spoeltoestellen mag niet voorkomen.
6. Afvoerleidingen dienen op een vorstvrije diepte te worden gelegd.
7. Grondleidingen evenals verzamelleidingen mogen onder geen voorwaarde vollopen.
8. Sanitaire toestellen dienen van een deugdelijke stankafsluiter met een waterslot te zijn voorzien.

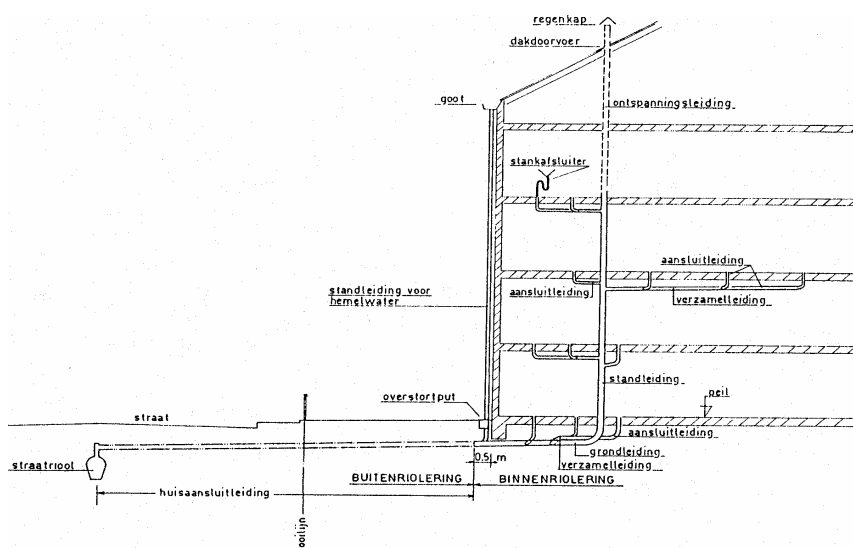
9. Koppeling van vuilwater met regenwater binnen het bouwwerk is volgens het Bouwbesluit niet toegestaan.

1.3 Begrippen

De volgende begrippen komen veel voor wanneer gesproken wordt over riolering.

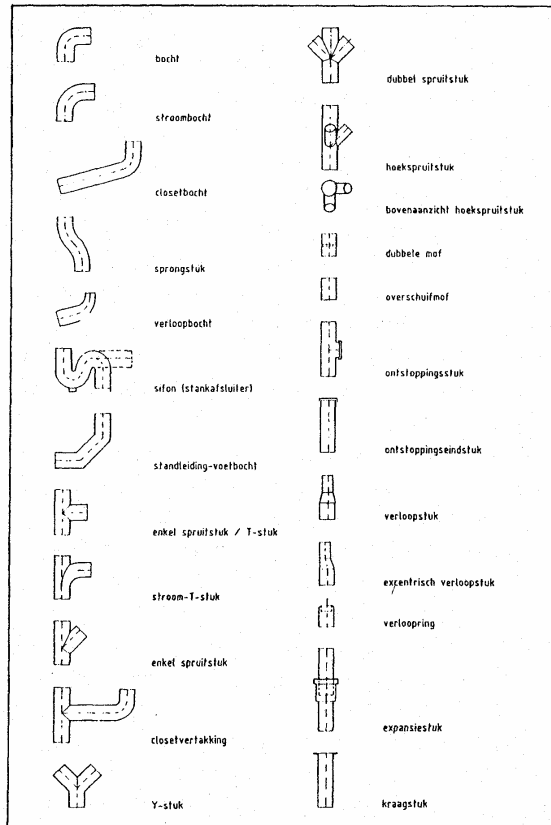
Aansluitleiding	een afvoerleiding, geen hemelwaterafvoerleiding zijnde, waarop slechts één lozingstoestel is aangesloten
Grondleiding	een liggende leiding onder een bouwwerk, die het afvalwater - in het algemeen via standleidingen - ontvangt en op de buitenriolering (terreinafvoerleiding of huisaansluitleiding) loost;
Hemelwaterafvoerleiding	afvoerleiding, uitsluitend bestemd voor afvoer van regenwater, smeltwater en eventueel spoelwater, van het buitenoppervlak van een gebouw;
huisaansluitleiding	een buiten het bouwwerk gelegen leiding die de grondleiding verbindt met het (gemeentelijke) rioolstelsel;
liggende leiding	een afvoerleiding, die geen grotere helling heeft ten opzichte van het horizontale vlak dan 45°;
ontspanningsleiding	leiding, die tot doel heeft voldoende beluchting en ontluchting op de binnenriolering te verzekeren;
standleiding	een afvoerleiding, die geen grotere helling heeft ten opzichte van de verticaal dan 45°;
vereveningsleiding	een leiding, die evenwicht brengt in de luchtdruk die heerst in twee andere leidingen;
verzamelleiding	een liggende leiding, die aansluitleidingen verbindt met een standleiding of grondleiding;
lozingstoestel	sanitair toestellen, was- en vaatwasmachines, vloerputten

Zie tevens figuur 1



figuur 1 benamingen van afvoerleidingen

De benaming van de belangrijkste afvoerhulpstukken - meestal van kunststof - zijn in figuur 2. weergegeven.



figuur 2 benaming afvoerhulpstukken

2 Ontwerpregels leidingsystemen

2.1 Algemeen

De afvoerleidingen hebben (uitgaande van een primair ontspanningsysteem) twee functies:

- Watertransportfunctie
- Ontspanningsfunctie

Het vervullen van deze functie leidt tot de algemene eis dat afvoerleidingen zoveel mogelijk een licht verloop moeten hebben en zo kort mogelijk moeten zijn. Richtingsveranderingen moeten zoveel mogelijk met bochtstukken van 45° en niet met bochten van 90° worden gerealiseerd, uitzonderingen daargelaten zoals een toilet op een standleiding.

De lozingskarakteristiek van een sanitairtoestel en het vervuolingsaspect geven aanleiding tot een gewenste volgorde van de aansluiting van sanitaire toestellen. Aandachtspunten voor liggende leidingen zijn:

- Closetten moeten bij voorkeur (vrijwel) direct op een standleiding in een (al dan niet aanwezige) leidingkoker worden aangesloten. De standleiding moet met gelijke diameter

naar het dak worden doorgetrokken t.b.v. de ontluchting. Dit is een belangrijke ontwerpfactor bij gestapelde woonlagen.

- De werking van een closet kenmerkt zich door een kortdurende hevige lozing. Benedenstreams dienen over een afstand van tenminste 1 m geen aansluitingen te worden aangebracht tenzij deze voorzien zijn van een ontspanningsleiding.
- Indien bovenstreams van een vloerstankafsluiter van een douche, een vaatwasmachine of wasmachine is aangesloten moet de afstand tussen deze aansluitingen minimaal 1 m bedragen.
- Bovenstreams van een closet dienen geen andere lozingstoestellen dan een closet te worden aangesloten.
- Bovenstreams van een wastafel of gootsteen is een aansluiting van een lozingstoestel met een langdurende volumestroom (wasmachine, vaatwasmachine) wenselijk.

2.2 Capaciteit afvoerleidingen

Liggende leidingen

De capaciteit van de leiding wordt bepaald door:

- De vullingshoogte (hierbij wordt standaard uitgegaan van 70% t.o.v. de binnendiameter)
- De ruwheid van de wand van de afvoerleiding (verschillend voor PVC, PE, ABS, gietijzer, verzinkt staal)
- Het afschot (het vereiste leidingafschot als functie van de gesommeerde richtingsverandering, zie tabel 1).
- Het aantal richtingsveranderingen (resultierend in de factor p, zie tabel 2.).
- De diameter. Aan de hand van de tabellen 3. en 4. kan de capaciteit van een PVC respectievelijk een gietijzeren leiding opgezocht worden.

tabel 1 afschot liggende leidingen als functie van de richtingsveranderingen

maximaal gesommeerde richtingsverandering door bochten in een gedeeltelijk gevulde liggende afvoerleiding	
leiding afschot in mm/m	maximaal gesommeerde richtingsverandering
3,9	135°
4 - 5,5	112°30'
5,6 - 7	90°
7,1 - 9,9	67°30'
10 - 13	45°
13,1 - 20	22°30'

tabel 2 de invloed van richtingsveranderingen op de afvoercapaciteit van liggende leidingen, uitgedrukt in factor p

factor voor de invloed van bochten (reductie volumestroom in gedeeltelijk gevulde liggende afvoerleiding)	
maximaal gesommeerde richtingsverandering	factor p
≤ tabel 1	1
> tabel 1	0,85
> tabel 1 doch leidingtraject is voorzien van ontspanningsleiding	1

tabel 3 volumestroom in liggende pvc-afvoerleiding

VOLUMESTROMEN IN LIGGENDE AFVOERLEIDINGEN VAN PVC (NEN7045)									
vullinghoogte 70%		d = middellijn in mm (handelsmaat)							
systeemwandruwheid		p = factor voor invloed bochten							
volgens NEN3215, 1 mm									
D P		MAXIMALE VOLUMESTROOM q in l/s							
		leidingafschot in mm/m							
		1	2	3	4	5	10	15	20
50	1	0.15	0.21	0.26	0.30	0.33	0.47	0.58	0.67
50	0.85	0.12	0.18	0.22	0.25	0.28	0.40	0.49	0.57
75	1	0.51	0.72	0.88	1.02	1.14	1.61	1,98	2.28
75	0.85	0.43	0.61	0.75	0.86	0.97	1.37	1.68	1.94
90	1	0.86	1.22	1.50	1.73	1.94	2.74	3.36	3.88
90	0.85	0.73	1.04	1.27	1.47	1.65	2.33	2.86	3.30
110	1	1.54	2.18	2.67	3.08	3.45	4.88	5.97	6.90
110	0.85	1.31	1.85	2.27	2.62	2.93	4.14	5.08	5.86
125	1	2.21	3.13	3.83	4.43	4.95	7.00	8.58	9.90
125	0.85	1.88	2.66	3.26	3.76	4.21	5.95	7.29	8.42
160	1	4.29	6.07	7/43	8.58	9.60	13.58	16.63	19.20
160	0.85	3.65	5.16	6.32	7.30	8.16	11.54	14.13	16.32
200	1	7.79	11.02	13.50	15.59	17.43	24.65	30.19	34.87
200	0.85	6.62	9.37	11.47	13.25	14.81	20.95	25.66	29.63

tabel 4 volumestroom in liggende gietijzeren afvoerleiding

VOLUMESTROMEN IN LIGGENDE AFVOERLEIDINGEN VAN GIETIJZER (NEN7062)									
vullinghoogte 70%					d = middellijn in mm (handelsmaat)				
systeemwandruwheid					p = factor voor invloed bochten				
volgens NEN3215, 1 mm									
d P		MAXIMALE VOLUMESTROOM q in l/s							
		leidingafschot in mm/m							
		1	2	3	4	5	10	15	20
50	1	0.23	0.32	0.39	0.46	0.51	0.72	0.89	1.02
50	0.85	0.19	0.27	0.33	0.39	0.43	0.61	0.75	0.87
70	1	0.56	0.79	0.97	1.12	1.25	1.77	2.17	2.50
70	0.85	0.47	0.67	0.82	0.95	1.06	1.50	1.84	2.13
100	1	1.52	2.14	2.63	3.04	3.39	4.80	5.88	6.79
100	0.85	1.29	1.82	2.23	2.58	2.88	4.08	5.00	5.77
125	1	2.65	3.76	4.60	5.31	5.94	8.41	10.30	11.89
125	0.85	2.26	3.10	3.91	4.52	5.05	7.14	8.75	10.14
150	1	4.29	6.07	7.43	8.58	9.60	13.58	16.63	19.20
150	0.85	3.65	5.16	6.32	7.30	8.16	11.54	14.13	16.32
200	1	8.91	12.60	15.44	17.82	19.92	28.17	34.51	39.85
200	0.85	7.57	10.71	13.11	15.14	16.93	23.95	29.33	33.87

Standleidingen

De stromingssituatie in standleidingen wordt beïnvloed door de water- en luchtstroming die plaatsvindt. Dit is vooral het geval bij de aansluiting van de liggende leiding en aan de voet van de standleiding.

De capaciteit van standleidingen wordt beperkt door de begrenzing van de maximaal optredende drukverschillen van 300 Pa.

Tabel 5 en 6 geven voor PVC en gietijzer de afvoercapaciteit als functie van de middellijn.

tabel 5 volumestromen in standleidingen van PVC (NEN7045)

negatief drukverschil max. 300Pa d = middellijn in mm (handelsmaat) systeemruwheid volgens NEN3215, 1 mm	
d	maximale volumestroom q in l/s
50	0.76
75	1.88
90	2.79
110	4.29
125	5.62
160	9.24
200	14.47

tabel 6 volumestromen in standleidingen van gietijzer (NEN7062)

negatief drukverschil max. 300Pa d = middellijn in mm (handelsmaat) systeemruwheid volgens NEN3215, 1 mm	
d	maximale volumestroom q in l/s
50	1.04
70	2.01
100	4.24
125	6.45
150	9.24
200	16.00

2.3 Aansluitleidingen

Aansluitleidingen aan lozingstoestellen worden bepaald aan de hand van de basisvolumestroom. Hiervoor is gekozen vanwege de vele factoren een groot aantal uitvoeringsvormen die in de praktijk aanwezig zijn, van lozingstoestel, afvoerplug, stankafsluiter en overloopconstructie.

Tabel 7 geeft de relatie tussen basisvolumestroom en de middellijn van de aansluiting.

tabel 7 volumestroom in aansluitleidingen

basisvolumestromen	basiswaarde middel-lijn aansluitleiding (handelsmaat kunststofleiding)*	gereduceerde middel-lijn voor muur- en vloerbuis (deel II)**	middelijn buisstank-afsluiter (deel I)
q_b in l/s	d in mm	d in mm	d in mm
0.5	50	40	32 (1¼")
0.75	63	50	40 (1½")
1.0	63	50	40 (1½")
1.5	75	-	50 (2")
2.0	110	-	
* totaal ontwikkelde leidinglengte ≤ 3.50 m			
** slechts één verticaal leidingdeel met lengte (hoogteverschil) ≤ 1.50 m			
muurbuislengte ≤ 0.50 m			

2.4 Ontspanningsleiding

Als ontspanningssysteem wordt in Nederland vooral de zogenaamde primaire ontspanning toegepast. Dat wil zeggen dat de standleiding als ontspanningsleiding wordt doorgetrokken tot boven het dak. Het transport van lucht gaat gepaard met drukverliezen die begrensd dienen te worden tot 300 Pa.

Als vuistregel kan de selectie van de middelijn van de ontspanningsleiding als volgt worden bepaald:

- de middelijn van een ontspanningsleiding dient gelijk te zijn aan de middelijn van de standleiding, die is bepaald op basis van de maximale volumestroom van afvalwater aan de voet van de standleiding.
- de (inwendige) middelijn van de ontspanningsleiding mag met 20% zijn gereduceerd, mits de lengte van de standleiding niet langer is dan 20 m.

Bij de toepassing van een ontspanningsverzamelleiding is een controle van het negatieve drukverschil tengevolge van wrijvings- en vertragsverliezen wenselijk.

2.5 Maximum lozing volumestromen

De maximale lozingsvolumestroom door een afvoerleiding wordt berekend met de formule:

$$q_w = f \sqrt{\sum q_b} \quad \text{l/s} \quad (1)$$

q_w = maximale lozingsvolumestroom l/s

q_b = basisvolumestroom voor een toestel l/s

f = gelijktijdigheidsfactor -

Voor q_b zie tabel 8 en figuur 3, voor f zie tabel 9.

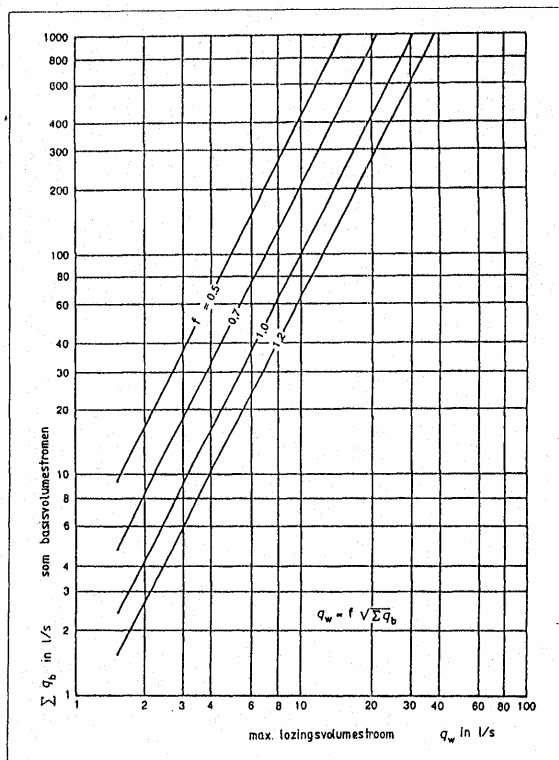
Randvoorwaarde bij de formule is dat q_w steeds $\geq$ grootste q_b is.

tabel 8 basisvolumestromen voor lozingstoestellen

Lozingstoestel	Basisvolumestroom q_b (l/s)
Handwasbak Wastafel Bidet Doucheplaats Vloerput (rooster 100 mm, aansl. $\varnothing$ 32 mm)	0.5
Wasautomaat (huishoudelijk) Vaatwasmachine (huishoudelijk) Urinoir Voetenwasbak Keukengootsteen Uitstortgootsteen Vloerput (rooster 100 mm, aansl. $\varnothing$ 40 mm)	0.75
Badkuip Douchebak Spoelbak > 30 liter Wasfontein $\leq$ 8 pers Vloerput (rooster 150 mm, aansl. $\varnothing$ 50 mm)	1
Wasfontein > 8 pers. Vloerput (rooster 200 mm, aansl. $\varnothing$ 75 mm)	1.5
Closetpot Vloerput (rooster 300 mm, aansl. $\varnothing$ 110 mm)	2
Closetpot met reservoirspoeling $\leq$ 6 liter Vloerput (rooster 300 mm, aansl. $\varnothing$ 90 mm)	1,5
Afzuigcloset Bedspanspoeler Slophopper	2.5

tabel 9 gelijktijdigheidscoëfficiënten voor lozingsvolumestromen

type gebouw	gelijktijdigheidscoëfficiënt f
woning, woongebouw	0.5
school	0.7
kantoor	0.7
hotel	0.7
restaurant	0.7
ziekenhuis	0.7
industrievestiging met langdurige lozingen	1.2
bedrijfskeuken	1.4

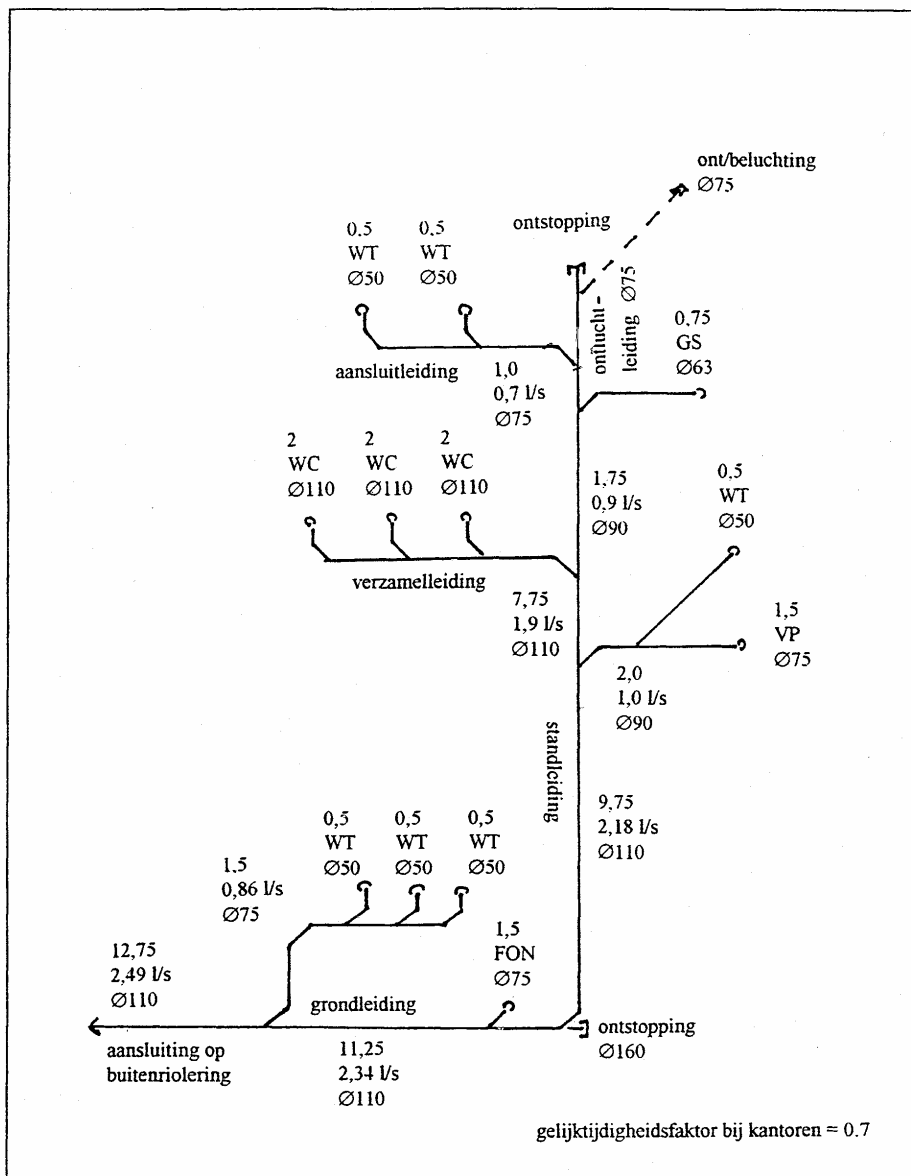


figuur 3 maximum lozingsvolumestroom afhankelijk van som basisvolumestromen en gelijktijdigheidscoëfficiënt

2.6 Werkwijze

Bij het maken van een ontwerp kan als volgt te werk worden gegaan:

- Stel de afvoerpunten vast en geef deze op tekening aan.
- Vermeld per afvoerpunten de toestel(code) en de bijbehorende basisvolumestroom.
- Ontwerp een leidingsysteem en let hierbij op:
 - korte leidingen en weinig bochten
 - juiste aansluitvolgorde
 - ontspanningsleiding
 - stromen en leidingverloop
- Totaliseer per leidingdeel de basisvolumestromen en bepaal vervolgens de maximale lozingsvolumestroom.
- Bepaal de diameter van de horizontale en verticale leidingdelen (de leidingdiameter wordt in de stromingsrichting nooit kleiner).



figuur 4 voorbeeld gedimensioneerd leidingsysteem

2.7 Hoogbouw

Bij hoogbouw vraagt de aanleg van binnenriolering extra aandacht (zie [5, 6 en 7]). De kennis hierover is nog steeds in ontwikkeling. Naast de standleiding van de riolering moet er parallel een standleiding als ontspanningsleiding worden aangebracht die een gelijke diameter heeft. Ook is het mogelijk standleidingen per verdieping te koppelen. Voorkomen moet worden dat het systeem door de hoge valsnelheden vacuüm trekt. De standleidingen moeten naar het dak worden doorgetrokken en daar uitmonden in een gebied waar geen grote onderdruk kan heersen ($> 700 \text{ Pa}$). Aan de voet van de standleiding moeten twee bochten van 45° worden aangebracht en voor de onderste twee lagen is het zelfs wenselijk nog een extra parallelle standleiding aan te brengen omdat hier vaak overdruk heerst.

3 Hemelwaterafvoer (HWA)

3.1 Algemeen

Op hemelwaterafvoerleidingen mogen geen lozingstoestellen voor huishoudelijk afvalwater worden aangesloten. Hemelwaterafvoer wordt, gescheiden van de binnenriolering, tot buiten het gebouw gebracht. Buiten het gebouw kan de leiding op een gemengd riool worden aangesloten of op een riool dat op het oppervlaktewater loost. Bij een gemengd riool moet de hemelwaterafvoer via een overstortput op de grondleiding worden aangesloten. Dit om te voorkomen dat bij verstopping van het riool het hemelwater via de lozingstoestellen het gebouw binnenstroomt.

Voor het dimensioneren van een HWA-systeem moet eerst de hoeveelheid neerslag en de wijze van opvang en afvoer worden vastgesteld. Vervolgens kunnen het aantal afvoerpunten, de diameters van standleidingen en de diameters van horizontale leidingen worden bepaald.

3.2 Hoeveelheid neerslag

Neerslag wordt meestal gegeven in liters per seconde per hectare. De maximale neerslag in Nederland is ca. 600 l/(s.ha). Dit komt maar zeer kortstondig voor. We spreken dan van een "wolkbreuk". Voor het bepalen van de ontwerphoeveelheden wordt rekening gehouden met de capaciteit van de opvang en de tijd die verloopt tussen de aanvang van een regenbui en het moment waarop het leidingsysteem het water moet gaan afvoeren. De volgende ontwerphoeveelheden worden aangehouden:

schuine daken	300 l/(s.ha) = 0,0300 l/(s.m ²)
platte daken	225 l/(s.ha) = 0,0225 l/(s.m ²)
platte daken met grind	180 l/(s.ha) = 0,0180 l/(s.m ²)
grote parkeerdaken	150 l/(s.ha) = 0,0150 l/(s.m ²)

3.3 Neerslagoppervlakte

De neerslagoppervlakte wordt gebaseerd op de horizontale projectie van de vlakken waarop neerslag terecht kan komen. Omdat regen onder invloed van de wind schuin omlaag valt, kunnen gevels eveneens door een grote hoeveelheid water worden getroffen. Sluit de gevel aan op een dakvlak, dan moet de neerslag via dat dakvlak worden afgevoerd. Bij hevige neerslag worden verticale vlakken onder een hoek van maximaal 15° getroffen. De geprojecteerde oppervlakte bedraagt daardoor ca. 1/3 van de werkelijke geveloppervlakte. Ook schuine dakvlakken krijgen onder invloed van de wind meer neerslag te verwerken dan het horizontaal geprojecteerde vlak. In plaats van de projectie is de oppervlakte van het schuine vlak een goede benadering.

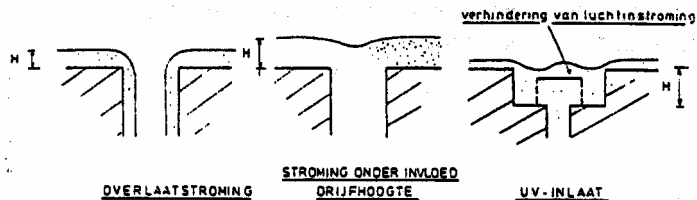
3.4 Opvang van neerslag en wijze van afvoer

Bij schuine daken worden voor de opvang van neerslag goten gebruikt. Dit kunnen losse goten zijn, zoals bij pannendaken, of goten die in het dakvlak zijn geïntegreerd. Via de gootuitloop wordt het opgevangen water afgevoerd naar een HWA-standleiding. Deze verticale leidingen kunnen zijn aangesloten op horizontale verzamelleidingen.

Verzamelleidingen kunnen op hun beurt weer worden aangesloten op een verticale standleiding. Een goot kan zijn aangesloten op een aantal standleidingen. Ook kunnen een aantal goten via een vergaarbak op één HWA-standleiding worden aangesloten. De keuze wordt bepaald door de per goot af te voeren neerslag en door de afvoercapaciteit van de standleiding. Bij platte daken wordt het dak met zijn dakrand als opvangreservoir gebruikt. Om het water naar de dakafvoeren in het dak te leiden moet het dak op afschot liggen. Het aantal afvoerpunten per dakvlak is afhankelijk van de afvoercapaciteit van de dakafvoeren.

3.5 Afvoercapaciteit en aantal dakafvoeren

De afvoercapaciteit van dak- en gootafvoeren wordt bepaald door de wijze van instroming en door de stromingstoestand in de afvoerleiding. De stromingstoestand is afhankelijk van het gegeven of wel of geen lucht met het hemelwater wordt mee afgevoerd. De afvoercapaciteit van een geheel met water gevuld leidingstelsel is namelijk beduidend groter dan van een systeem waarin zich naast water ook lucht bevindt. Gemengde stroming komt voor bij afvoer van weinig neerslag. Bij de afvoerpunten ontstaat dan een vorm van overlaatstroming (zie figuur 5).



figuur 5 vormen van waterafvoer via een plat dak

Bij grotere hoeveelheden neerslag neemt de waterhoogte op het dakvlak of in de goot toe, waardoor een grotere drijfhoogte ontstaat en de afvoerleidingen geheel met water gevuld raken. Vervolgens neemt de stroomsnelheid van het water in de geheel gevulde leidingen sterk toe onder invloed van de groter wordende valsnelheid. De afvoercapaciteit van de leidingen kan daardoor meer worden dan de dakafvoeren kunnen toevoeren. Onder die omstandigheden wordt lucht aan- en meegezogen en neemt de afvoercapaciteit weer af. Het systeem kan op deze manier instabiel gaan werken. In verband hiermee kan een "traditioneel" systeem eigenlijk alleen maar worden gedimensioneerd als een systeem met overlaatstroming, dus met een beperkte afvoer. Zogenaamde UV-inlaten kunnen de instroming van lucht verhinderen. Worden deze inlaten toegepast dan kunnen kleinere leidingdiameters worden toegepast.

3.6 Traditionele hemelwaterafvoer

Dimensionering standleidingen

Bij "traditionele" overlaatstroming wordt de afvoercapaciteit (q_h) van HWA-leidingen en standleidingen mede bepaald door de situering van de afvoeren in het dakvlak of de goot. Een afvoer midden op een dak, waarbij het water van alle kanten kan toestromen, moet meer water afvoeren dan een afvoer bij een hoekpunt van een dak, waar dakranden de toestroming belemmeren. Om dit effect in rekening te brengen is het begrip situeringsfactor "s" ingevoerd (zie [2]). Doorgaans wordt voor een dakafvoer $s = 0,6$ en voor een gootafvoer $s = 0,3$ aangehouden. Zie verder tabel 10.

tabel 10 volumestromen in horizontale hemelwaterafvoeren

**VOLUMESTROMEN IN LIGGENDE HEMEL-
WATERAFVOERLEIDINGEN VAN PVC (NEN 7045)**

Systeemwandruwheid volgens NEN 3215, 1 mm

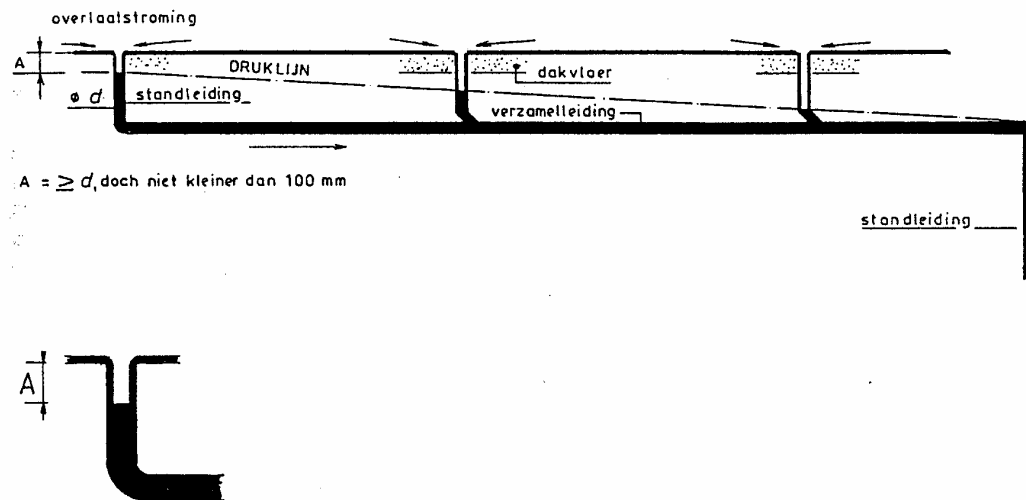
Wrijvingsverlies (R) in Pa/m	HWA-VOLUMESTROOM q in l/s						
	middellijn (d) in mm (handelsmaat)						
	50	75	90	110	125	160	200
10	0.19	0.64	1.10	1.96	2.81	5.45	9.90
20	0.27	0.91	1.56	2.77	3.97	7.71	14.00
30	0.33	1.12	1.91	3.39	4.87	9.44	17.14
40	0.38	1.29	2.20	3.92	5.62	10.90	19.80
50	0.42	1.45	2.46	4.38	6.29	12.19	22.13
60	0.46	1.59	2.70	4.80	6.89	13.35	24.25
70	0.50	1.71	2.92	5.18	7.44	14.42	26.19
80	0.54	1.83	3.12	5.54	7.95	15.42	28.00
90	0.57	1.94	3.31	5.88	8.44	16.35	29.70
100	0.60	2.05	3.49	6.19	8.89	17.24	31.31
150	0.74	2.51	4.27	7.59	10.89	21.12	38.34
200	0.85	2.90	4.93	8.76	12.58	24.38	44.27
250	0.95	3.24	5.51	9.80	14.06	27.26	49.50
300	1.04	3.55	6.04	10.73	15.41	29.86	54.23
400	1.20	4.10	6.98	12.39	17.79	34.48	62.62
500	1.35	4.59	7.80	13.86	19.89	38.56	70.01
600	1.48	5.02	8.55	15.18	21.79	42.24	76.69
700	1.60	5.43	9.23	16.40	23.54	45.62	82.83

Dimensionering horizontale leidingen

De afvoercapaciteit van horizontale leidingen, zoals verzamel- en grondleidingen, wordt bij het "traditionele" HWA-systeem bepaald door het wrijvingsverlies, uitgaande van geheel gevulde leidingen. De beschikbare druk, nodig voor het overwinnen van het wrijvingsverlies van het stromende water, wordt geleverd door de kolom water in de verticale leiding die op de horizontale leiding loost. Het maximaal mogelijke wrijvingsverlies in horizontale leidingen is daardoor afhankelijk van de lengte van de horizontale leiding. In tabel 10 kan de volumestroom van de verschillende leidingdiameters worden opgezocht, uitgaande van een gegeven wrijvingsverlies. Volgens NEN 3215 mag het wrijvingsverlies niet meer dan 700 Pa/m bedragen.

Voorbeeld 1

Voor een leiding onder een dak waarop verticale leidingen van 0,5 m zijn aangesloten (zie figuur 6) kan het wrijvingsverlies maximaal $(0,5 - A) \times 9.800 = 4.000$ Pa bedragen. Voor A is 0,1 m genomen; het getal 9.800 is de druk in Pa die een kolom water van 1,0 meter op de leiding uitoefent. Is de leiding 10 m lang en wordt voor de hulpstukken een toeslag van 30% genomen (equivalente leidinglengte van de hulpstukken is dus 3 m), dan is het maximaal mogelijke wrijvingsverlies per meter leiding $4.000 : 13 = \text{ca. } 300$ Pa/m.



figuur 6 verzamelleiding onder een dak

Vereenvoudigde dimensionering

De berekening van de diameter van gootuitlopen, dakafvoeren, stand-, verzamel- en grondleidingen is complex. Een gedetailleerd inzicht in deze berekening is niet wat deze module beoogt. Deze module is bedoeld om snel inzicht te krijgen in de orde van grootte van de benodigde HWA-leidingen. In verband hiermee geven tabel 11 en 12 een indicatie van het aantal vierkante meters dakvlak waarvan de neerslag via een gootuitloop, dakafvoer of daarop aangesloten leiding (met in de tabel gegeven diameter) kan worden afgevoerd.

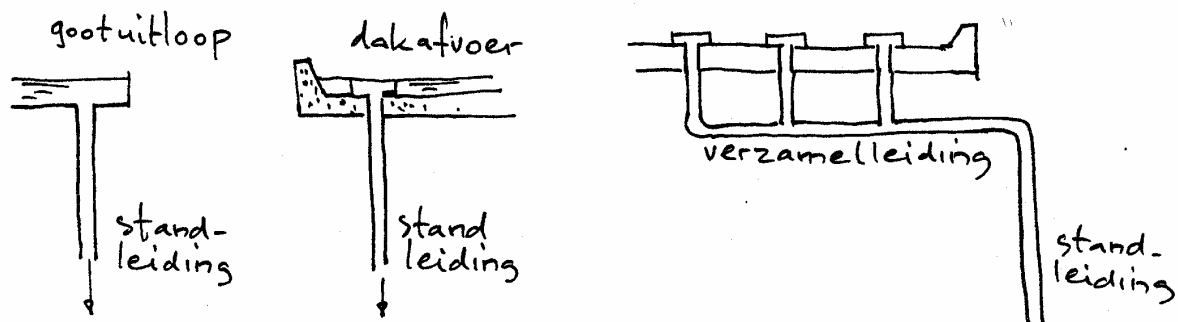
Dimensionering volgens NEN 3215 kan tot andere diameters leiden. De verschillen zijn niet groot omdat bij de afleiding van de tabellen snelheden en wrijvingsverliezen zijn aangehouden zoals die in de praktijk worden gevonden.

tabel 11 indicatie van het aantal m² dakoppervlak waarvan de neerslag via een "traditioneel" hemelwaterafvoersysteem kan worden afgevoerd.

leiding diameter mm	gootuitloop/dakafvoer/standleiding				verzamelleiding/standleiding			
	schuin m ²	plat m ²	grind m ²	parkeer m ²	schuin m ²	plat m ²	grind m ²	parkeer m ²
50	16	45	55	65	50	70	90	100
75	50	135	165	200	130	180	220	270
90	80	220	275	330	200	270	330	400
110	140	380	470	560	320	430	540	650
125	200	530	630	800	420	560	700	840
160	370	980	1200	1500	700	900	1200	1400
200	650	1700	2100	2600	1100	1500	1900	2300

tabel 12 indicatie van het aantal m² dakoppervlak waarvan de neerslag via een "UV" hemelwaterafvoersysteem kan worden afgevoerd

leiding diameter mm	dakafvoer/standleiding				verzamelleiding/standleiding			
	schuin m ²	plat m ²	grind m ²	parkeer m ²	schuin m ²	plat m ²	grind m ²	parkeer m ²
50	50	65	80	100	75	100	125	150
75	125	165	200	245	245	330	410	500
90	275	365	460	550	460	610	760	910
110	420	565	700	850	700	940	1170	1400
125	550	740	920	1100	930	1230	1530	1850
160	900	1200	1500	1800	1500	2000	2500	3000
200	1200	1900	2400	2800	2000	3150	3900	4700



figuur 7 weergave begrippen uit tabel 11 en 12

Voorbeeld 2

Bij een plat dak met grind kan via een traditionele dakafvoer van 75 mm doorsnede de neerslag van 165 m² dak worden afgevoerd. Met een horizontale of verticale verzamelleiding van 75 mm kan de neerslag van 220 m² plat dak met grind worden afgevoerd.

Voorbeeld 3

Bij een schuin pannendak met goot kan via een gootuitloop/standleiding van 75 mm de neerslag van 50 m² dak worden afgevoerd.

3.7 UV-systeem

UV versus "traditioneel"

UV komt van de Finse aanduiding "Umpi Virtaus", wat "gesloten stroming" betekent. Geberit noemt het "Pluvia". De stroming in het UV-systeem komt, net als bij "traditionele" HWA en binnenriolering, tot stand onder invloed van de zwaartekracht. Het verschil met deze beide traditionele systemen, waarin onderdruk ongewenst is, dat het UV-systeem juist bewust gebruik maakt van onderdruk. Gebruik van onderdruk is mogelijk door ervoor te zorgen dat bij neerslag het leidingsysteem geheel met water gevuld raakt en, wat belangrijker is, het ook gevuld blijft. Hiervoor worden speciale dakafvoeren toegepast die voorkomen dat lucht wordt aan- of meegezogen.

Onderdruk

In een aan de bovenkant afgesloten verticale leiding kan een kolom water van 1 meter een onderdruk van 9.800 Pa veroorzaken. Deze onderdruk heerst boven die kolom en kan worden

gebruikt als (negatief) drukverschil om de wrijvingsweerstand te overwinnen die het stromende water in leidingen ondervindt. De onderdruk mag evenwel niet tot vacuüm leiden. Als maximale onderdruk wordt 9.000 Pa genoemd (voorwaarde 1). Voor sommige buizen, bij voorbeeld kunststof met een geringe wanddikte, is een dergelijke onderdruk te groot. Verder mag het drukverschil in de dakinlaten niet te groot zijn (voorwaarde 2). Ten slotte mag de snelheid, waarmee het UV-systeem op het "traditionele" systeem loost, niet meer dan 2,5 m/s bedragen (voorwaarde 3).

Dimensionering

Het UV-systeem moet zodanig worden ontworpen en gedimensioneerd dat zich in de leidingen een stromingstoestand kan instellen waarbij aan de drie in paragraaf 4.7.2 genoemde voorwaarden wordt voldaan. De berekening van de bij deze toestand behorende diameters van dakafvoeren, stand-, verzamel- en grondleidingen is zeer complex. Meer hierover is te vinden in [3]. In tabel 12 is een indicatie gegeven van het aantal vierkante meters dakvlak waarvan de neerslag via een dakafvoer of daarop aangesloten leiding (met in de tabel aangegeven diameters) kan worden afgevoerd.

Voorbeeld 4

Bij toepassing van het UV-systeem kan via een dakafvoer van 90 mm de neerslag van 550 m² parkeerdak worden afgevoerd. Met een horizontale of verticale verzamelleiding van 90 mm kan de neerslag van 910 m² parkeerdak worden afgevoerd.

Voorbeeld 5

Aan elke lange zijde van een parkeerdak van 80 x 20 m (oppervlakte 1800 m²) worden 5 dakafvoeren geplaatst. Dat betekent dat per dakafvoer de neerslag van 180 m² dakvlak moet worden afgevoerd. Volgens tabel 12 zijn hiervoor dakafvoeren met een diameter van 75 mm nodig. Worden de afvoeren per lange zijde op één verzamelleiding aangesloten, dan moet deze leiding de neerslag van 900 m² parkeerdak afvoeren. Volgens tabel 12 moet deze leiding een diameter van 90 mm hebben.

4 Literatuur

1. NPR 3216. Binnenriolering in woningen en woongebouwen. Ontwerp en Uitvoering. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft, 1991.
2. NEN 3215. Binnenriolering in woningen en woongebouwen. Eisen en bepalingsmethoden. Nederlands Normalisatie Instituut, Delft 1991.
3. Scheffer, W.J.H. Het Ontwerpen van Sanitaire Installaties. Audet Tijdschriften BV, Nijmegen, 1992.
4. Geberit. Documentatie.
5. Kruijsse P.M.D., Van der Schee W.G. Afvoersystemen in hoogbouw geen sinicure. TVVL-Magazine, juni 2007.
6. NTR 3216. Binnenriolering – richtlijnen voor ontwerp en uitvoering. ISSO, Uneto-VNI en Nederlands Normalisatie Instituut. December 2002.
7. NEN 3215. Binnenriolering – Eisen en bepalingsmethoden. Nederlands Normalisatie Instituut, oktober 2002.

Liften – wettelijke en praktische eisen

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

1 Algemeen

1.1 Inleiding

In ieder appartementencomplex of kantoorgebouw treft men tegenwoordig een liftinstallatie aan.

Voor het bouwkundig en constructief ontwerp speelt de liftinstallatie al vanaf het voorlopig ontwerp een belangrijke rol. Te denken is aan aspecten zoals

- de routing door het gebouw
- de combinatie van liftschachten met installatieschachten en trappenhuisen
- het benutten van de liftschacht als stabiliteitskern
- het ruimtebeslag door de liften en opstelplaatsen
- de belasting tengevolge van de liftinstallatie
- de invloed op brand- en rookcompartimentering.

Het basisprincipe van het liftsysteem is nog nooit echt veranderd, namelijk een kooi die door middel van een kabel in verticale richting wordt verplaatst.

Tegenwoordig kent men dan wel de hydraulische lift en de helix/schroeflift, maar vanwege de lage snelheid en/of het energieverbruik zal dit principe nooit voor grote productie aantallen zorgen.

In het kader van Duurzaam Bouwen (vaste maatregel 48) dient een energiezuinige lift te worden geïnstalleerd waarbij de aanloopstroom maximaal 30 mA/kg hefvermogen mag zijn. Hydraulische liften kunnen hieraan niet voldoen.

Men is wel bezig om te kijken of de kabels, die van staal zijn, vervangen kunnen worden door Kevlar. De buiging- en sterkte-eigenschappen zijn goed te noemen, maar de frictie coëfficiënten zijn nog niet goed. Over de duurzaamheid kan men ook nog geen uitsluitel geven.

Ook begint men steeds meer te kijken naar volledig andere principes van belifting. Dit is ook wel nodig aangezien de gebouwen steeds hoger worden en het huidige systeem dan minder goed toepasbaar is. Door de grote hoogten moeten de liften veel sneller gaan, het probleemscheppende van de rechtheid van de geleiding.

Kleine afwijkingen in de geleiderail zullen bij hoge snelheidsliften sterk doorgegeven worden naar de kooi, dit is slecht voor het comfort en de krachten op de rail.

Minder ver in de toekomst zijn eenvoudige veranderingen, zoals aan het vangstelsel. Deze apparaten zijn groot en zwaar en tevens moeten ze goed aan de kooi vastzitten.

Als de vang niet meer nodig is, dan is het stalen frame ook niet meer nodig en kan de kooi veel lichter geconstrueerd worden. Dit bespaart dan weer energie, materiaal enz.

Tevens zou dan de relatief zware rail vervangen kunnen worden door bij voorbeeld een gespannen staalkabel.

2 Eisen en kenmerken

2.1 Algemeen

De eisen die tegenwoordig aan liften worden gesteld zijn hoog. Men wil een aangenaam vervoer zonder zeeziektegevoel, de kooi moet zuiver gelijk met de verdiepingsvloer stoppen, het vervoer moet snel gebeuren, de installatie mag geen geluiden in het gebouw veroorzaken, het stroomverbruik moet gering zijn, er mogen geen storingen zijn, liefst ook geen onderhoudskosten, de machine moest eigenlijk in het geheel geen ruimte innemen, de kooi moet altijd ter beschikking zijn als iemand van de lift gebruik wil maken, het vervoer moet volmaakt veilig zijn.

In eerste instantie geeft het Bouwbesluit de functionele eisen die aan liften gesteld worden. Hierbij wordt onder andere verwezen naar:

NEN 5080 Personenliften in woongebouwen
Afmetingen en functionele analyse.

NPR 5081 Personenliften in woongebouwen
Berekening van de vervoerscapaciteit

NEN-EN-81-1 Veiligheidsvoorschriften voor het vervaardigen en aanbrengen van personenliften en klein-goederenliften. Deel 1: Elektrische personenliften.

Voor niet woongebouwen zijn de gewenste prestaties veelal te ontleen aan de vakliteratuur terwijl ook gebruik wordt gemaakt van de kennis en ervaring van liftfabrikanten.

Steeds belangrijker worden Europese richtlijnen die vooral betrekking hebben op veiligheids- en milieuaspecten.

Artikel 42, 43 en 247 van het Bouwbesluit geven situaties aan wanneer een opstelplaats voor een liftschacht respectievelijk een liftinstallatie verplicht is. Zie tabel 1.

tabel 1 verplichte opstelplaats van een liftschacht en liftinstallaties (BB.; 42 43 en 247)

Bouwwerken	Verplichte opstelplaats:	Lift verplicht bij:	Cabineafmetingen
Kantoorgebouwen BB.; 247	De totale verhuurbare oppervlakte $\geq 1000 \text{ m}^2$		minimaal 1050 mm breed x 1350 mm diep
Woongebouwen: BB.; 42, 43	De toegang van een appartement 3m boven het straatniveau	(a) verhuurbaar opp. van 3.500 m^2 1,5 boven het straatniveau (b) hefhoogte boven de	onder a, b en c minimaal 1 lift met afmeting: minimaal 1.050 mm breed x 2.050 mm diep
		12,5 m straatniveau (c) maximale loopafstand 90 m tot de liftinstallatie (d) hoogteverschil $\geq 0,02 \text{ m}$. waarbij een hellingbaan niet aangebracht kan worden	Overige liften waaraan geen eisen zijn gesteld: minimaal 1.050 mm breed x 1.350 mm diep

2.2 Vervoerscapaciteit

De “kwaliteit” van liftinstallaties wordt vooral gemeten door twee grootheden:

- Intervaltijd (AIT = Average Interval Time).
Dit is de gemiddelde tijd tussen de aankomst van de verschillende liften bij de hoofdstopplaats.
- 5 Minuten vervoerscapaciteit (5MHC = 5 Minute Handling Capacity).
Dit is het percentage van de totale gebouwpopulatie die binnen 5 minuten met het aanwezige liftsysteem vervoerd kan worden naar de voor hen juiste verdiepingen.

Voor beide grootheden zijn minimale waarden te definiëren. Zo gelden voor kantoorgebouwen gelden vaak de volgende prestatie-eisen:

- in de drukste vijf minuten van de dag, het kritiek tijdsinterval, mag de gemiddelde wachttijd na een oproep niet meer bedragen dan 30 sec.

Richtwaarden voor de AIT zijn:

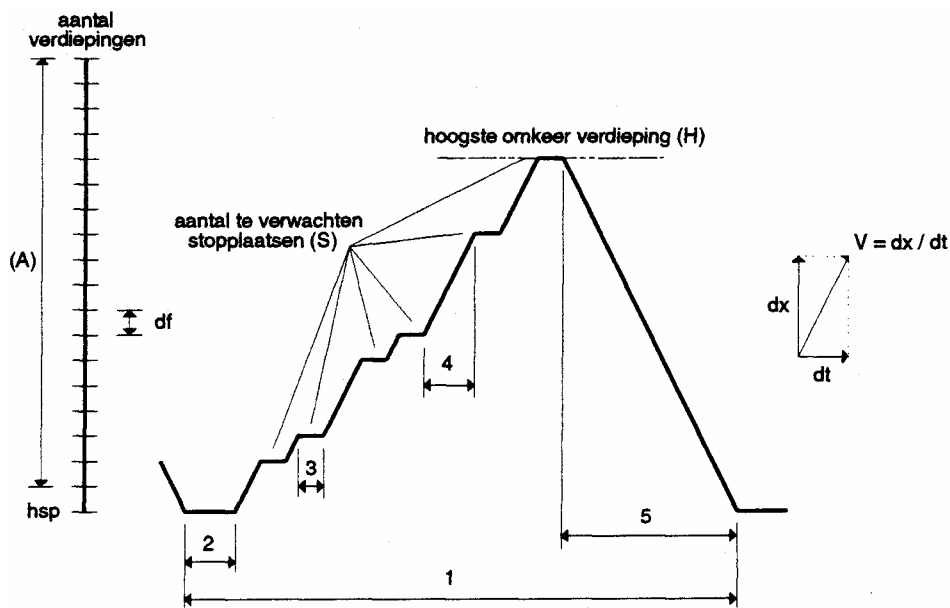
- kantoorgebouwen met één gebruiker	25 - 30	[s]
- kantoorgebouwen met meerdere gebruikers	30 - 35	[s]
- woongebouwen	80 - 130	[s]
- hotels	30 - 50	[s]

In de “op pieksituatie” (ochtendspits) moet 13% van de populatie die gebruikt maakt van de liftinstallatie binnen 5 min van de hoofdstopplaats naar de stopplaats van de bestemming worden vervoerd.

De volgende eisen worden ook gebruikt:

- 10% - 14% van de populatie van een kantoorgebouw, met verschillende firma's
- 12% - 16% van de populatie van een kantoorgebouw, met één firma of dienst
- 18% - 25% van de populatie van een kantoorgebouw, met controle op aanvangstijdstip
- 7,5% van de populatie van een woongebouw
- 10% - 15% van de populatie van een hotel

Deze beide grootheden kunnen met een liftsimulatieprogramma worden berekend. De basis vormt de standaard rittijd, zie figuur 1.



- 1 = standaard rittijd
 2 = tijd nodig om K passagiers binnen te laten komen
 3 = tijd nodig voor het openen van de deuren, passagiers uit de lift te laten en de deuren weer te sluiten
 4 = tijd nodig om 4 verdiepingen omhoog te reizen
 5 = tijd nodig om van de omkeer verdieping naar de hoofdstopplaats (hsp) te gaan

figuur 1 componenten van een vereenvoudigde standaard rittijd, waarbij de verticale verplaatsing is uitgezet tegen de tijd

Twee belangrijke grootheden die mede de standaard rittijd bepalen zijn:

- a. Aantal te verwachten stopplaatsen S: (expected number of Stops)
 Dit is het aantal te verwachten stopplaatsen die de lift aandoet op weg naar boven.

$$S = A \left[1 - \left(1 - \frac{1}{A} \right)^K \right]$$

met:

A = het aantal mogelijke stopplaatsen boven de hoofdstopplaats
 K = vulling van de liftkooi = α (vulgraad) x de maximale kooicapaciteit.
 (uit de praktijk blijkt dat de kooi nooit voor 100% wordt gevuld).

- b. Hoogste omkeerverdieping H (Highest reversal floor)
 Dit is de verwachte verdieping waar de laatste passagier(s) uit de lift stappen en de lift weer naar beneden vertrekt.

$$H = A - \sum_{i=1}^{A-1} \left(\frac{i}{A} \right)^K$$

Verskillende combinaties van H en S zijn in tabel 6.2. gegeven.

De Standaard Rittijd RTT: (Average Round Trip Time) is gedefinieerd als de gemiddelde tijd die één lift nodig heeft om al zijn passagiers op de juiste verdieping te brengen en weer leeg aan te komen op de hoofdstopplaats.

De RTT is een functie van:

- Liftcapaciteit (K)
- Verwachte stopplaatsen (S)
- Reisafstand
- Snelheid van de lift (V_{top})
- Vulling van de liftkooi (α)

tabel 2 overzicht van de verschillende combinaties van H en S bij een vulgraad $\alpha = 80\%$
(tussen haakjes is 0,80 K gegeven)

aantal mogelijke stopplaatsen boven hoofdentree	6 (4.8)		8 (6.4)		10 (8.0)		12 (9.6)		16 (12.8)		20 (16.0)		24 (19.2)	
	H	S	H	S	H	S	H	S	H	S	H	S	H	S
5	4.6	3.3	4.7	3.8	4.8	4.2	4.9	4.4	4.9	4.7	5.0	4.9	5.0	4.9
6	5.4	3.5	5.6	4.1	5.7	4.6	5.8	5.0	5.9	5.4	5.9	5.7	6.0	5.8
7	6.2	3.7	6.5	4.4	6.6	5.0	6.7	5.4	6.8	6.0	6.9	6.4	6.9	6.6
8	7.1	3.8	7.4	4.6	7.5	5.3	7.6	5.8	7.8	6.6	7.9	7.1	7.9	7.4
9	7.9	3.9	8.2	4.8	8.4	5.5	8.6	6.1	8.7	7.0	8.8	7.6	8.9	8.1
10	8.7	4.0	9.1	4.9	9.3	5.7	9.5	6.4	9.7	7.4	9.8	8.1	9.9	8.7
11	9.6	4.0	10.0	5.0	10.2	5.9	10.4	6.6	10.6	7.8	10.7	8.6	10.8	9.2
12	10.4	4.1	10.8	5.1	11.1	6.0	11.3	6.8	11.5	8.1	11.7	9.0	11.8	9.7
13	11.2	4.1	11.7	5.2	12.0	6.1	12.2	7.0	12.5	8.3	12.6	9.4	12.7	10.2
14	12.1	4.2	12.6	5.3	12.9	6.3	13.1	7.1	13.4	8.6	13.6	9.7	13.7	10.6
15	12.9	4.2	13.4	5.4	13.8	6.4	14.0	7.3	14.3	8.8	14.5	10.0	14.7	11.0
16	13.7	4.3	14.3	5.4	14.7	6.5	14.9	7.4	15.3	9.0	15.5	10.3	15.6	11.4
17	14.5	4.3	15.2	5.5	15.8	6.5	15.8	7.5	16.2	9.2	16.4	10.6	16.6	11.7
18	15.4	4.3	16.0	5.5	16.5	6.6	16.8	7.6	17.1	9.3	17.4	10.8	17.5	12.0
19	16.2	4.3	16.9	5.6	17.4	6.7	17.7	7.7	18.1	9.5	18.3	11.0	18.5	12.3
20	17.0	4.4	17.8	5.6	18.2	6.7	18.6	7.8	19.0	9.6	19.3	11.2	19.4	12.5
21	17.9	4.4	18.6	5.6	19.1	6.8	19.5	7.9	19.9	9.8	20.2	11.4	20.4	12.8
22	18.7	4.4	19.5	5.7	20.0	6.8	20.4	7.9	20.9	9.9	21.1	11.5	21.3	13.0
23	19.5	4.4	20.4	5.7	20.9	6.9	21.3	8.0	21.8	10.0	22.1	11.7	22.43	13.2
24	20.3	4.4	21.62	5.7	21.8	6.9	22.2	8.0	22.7	10.1	23.0	11.9	23.2	13.4

Via de zogenaamde *optellingsmethode* (equation-based method) kan de RTT berekend worden. Hierbij wordt uitgegaan dat een “round trip” bestaat uit de volgende componenten:

- Tijd nodig voor 1 passagier om in (t_p) en uit (t_u) de lift te stappen en dit dan te vermenigvuldigen met de vulgraad van de lift (de waarden voor K ; t_p en t_u kunnen gehaald worden uit tabellen/grafieken).
- Tijd nodig voor het openen (t_o) en sluiten (t_c) van de liftdeuren op ($S+1$) stopplaatsen (deze waarden komen van de liftfabrikant en hangen af van het gebruikte lifttype).
- Tijd nodig voor het starten, accelereren, reizen met nominale snelheid, deaccelereren en de lift op de juiste hoogte brengen op ($S+1$) stopplaatsen.
- Tijd nodig voor het passeren van de resterende verdiepingen met de nominale snelheid tot de hoogste omkeerverdieping (H).
- Tijd nodig voor de rit van de hoogste omkeerverdieping (H) tot de hoofdstopplaats.

$$\begin{aligned} RTT &= (a) + (b) + (c) + (d) + (e) \\ &= Kt_p + Kt_u + (S+1)(t_o+t_c) + (S+1)t_f(1) + (H-S)t_v + (H-1)t_v \quad [s] \end{aligned}$$

Dit is te vereenvoudigen tot:

$$RTT = 2Ht_v + (S+1)t_s + 2Kt_p^1 \quad [s]$$

met:

$$t_v = h/v \quad [s]$$

h = standaard verdiepingshoogte [m]

v = nominale snelheid [m/s]

$$t_s = t_f(1) + t_c + t_o + t_v \quad [s]$$

$t_f(1)$ = tijd nodig om één verdieping hoger te komen, van stilstand tot stilstand [s]

$$t_p^1 = (t_p + t_u)/2 \quad [s]$$

H = hoogste omkeerverdieping

S = aantal te verwachten stopplaatsen

K = vulling van de liftkooi

De methode bevat nog impliciet een aantal aannamen die er voor zorgen dat het resultaat niet volledig nauwkeurig is (denk hierbij bij voorbeeld aan dat er niet op elke verdieping evenveel mensen wonen/werken, dat niet alle verdiepingen even hoog zijn, de uitstaptijd ook nog afhankelijk is van het aantal stops die onderweg gemaakt zullen worden, enz.).

De Intervaltijd AIT: volgt uit:

$$AIT = \frac{RTT}{N} \quad [s]$$

met:

N = het aantal liften (per zone).

Met behulp van de vervoerscapaciteit van het liftstelsel LHC: (Lift Handling Capacity), zijnde de hoeveelheid personen die het liftstelsel kan vervoeren in een bepaalde tijd, kunnen de volgende grootheden worden bepaald:

Vultijd gebouw FT: (Filling Time)

Dit is de tijd die nodig is om de totale gebouwpopulatie met het aanwezige liftsysteem te vervoeren naar de voor hen juiste verdiepingen.

$$FT = \frac{\text{zonepopulatie}}{\text{kooicapaciteit}} * \frac{AIT}{60} \text{ [min]}$$

5 Minuten vervoerscapaciteit 5MHC:

$$5 \text{ MHC} = \frac{300}{AIT} * \frac{\text{kooicapaciteit}}{\text{zonepopulatie}} * 100\% \text{ [%]}$$

Wachttijd LWT: (Waiting Time at the Main Lobby)

Dit is de gemiddelde tijd die een persoon moet wachten op het arriveren van een lift (van de juiste zone) bij de hoofdstopplaats.

Gezegd kan worden dat de LWT volgt uit:

$$LWT = 0.6 * AIT \text{ [s]}$$

Reistijd ATD: (Average Time to Destination)

Dit is de gemiddelde tijd die een persoon nodig heeft, van het wachten op de lift tot bij de hoofdstopplaats, tot het bereiken van de juiste verdieping.

De reistijd kan als volgt omschreven worden:

$$ATD = LWT + CWT \text{ [s]}$$

met:

CWT = rittijd (Waiting Time inside lift Car) [s]

Niet de snelheid maar de versnelling die bij het vertrek en de aankomst van een lift bij de stopplaats ontstaat wordt door de mens gevoeld. Hierbij is sprake van persoonlijke toleranties tengevolge van leeftijd, gezondheid en de voorspelbaarheid.

Bij een versnelling van meer dan $1,5 \text{ m/s}^3$ en schokken met een verandering van de versnelling van meer dan 2 m/s^3 ontstaat een onbehaaglijk gevoel.

De snelheid van de lift heeft voor tractieliften een directe relatie met het type aandrijfsysteem.

Tabel 3 geeft enkele karakteristieken.

tabel 3 liftsnelheid als functie van de aandrijving

type aandrijving	snelheid in m/s
ongecontroleerde, drie fase aandrijving met wormkast	
een snelheid	< 0,6
twee snelheden	< 1,2
geregelde draaistroom of gelijkstroom motor met wormkast met 1 of 2 snelheden	1,0 - 2,5
	2 - 5
geregelde draaistroom motor, gearless	2 - 8
geregelde gelijkstroom motor (Ward-Leonard), gearless	

2.3 Liftsnelheid

De maximale snelheid die een lift kan bereiken wordt bepaald door de (constante) versnelling en de ritafstand die zonder stoppen wordt afgelegd. Er geldt:

$$v_{max} = \sqrt{a_{max} D} - 0.25 \text{ [m/s]}$$

met:

D = ritafstand in m

a_{max} = maximaal toelaatbare versnelling in m/s

Hoe groter de te overbruggen afstand D, des te hoger de liftsnelheid kan worden. Voor hoge gebouwen is het dus zinvol om liften bepaalde secties van het gebouw te laten bedienen.

2.4 Besturing van de kooi

Bij de besturing moet gedacht worden aan het onderdeel van de lift dat de oproepen registreert en dan bepaalt welke lift welke oproep behandelt.

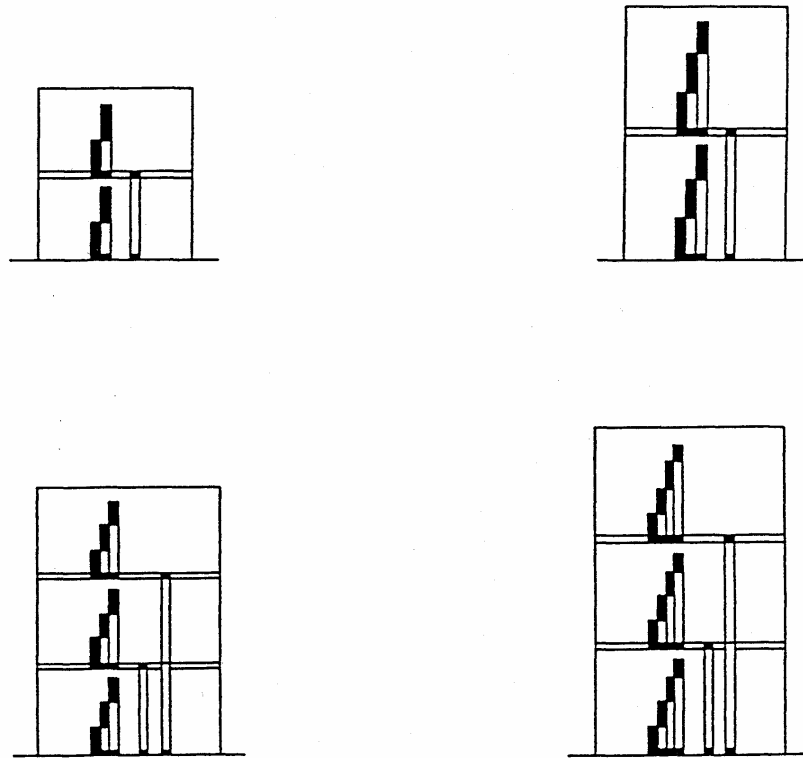
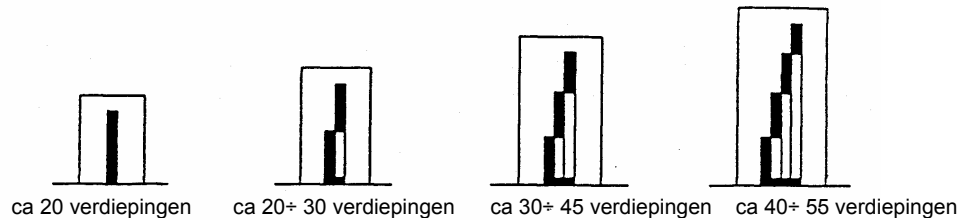
Bij liftinstallaties tot circa 20 verdiepingen is het gebruikelijk dat iedere aanwezige lift op iedere stopplaats kan stoppen.

Hogere gebouwen leiden tot liftinstallaties die in sectoren zijn ingedeeld. Figuur 2 geeft hiervan een globale indicatie. Figuur 3. geeft het liftconcept van het WTC in New York.

Op het gebied van de besturingstechniek zijn veel innovatieve veranderingen aan de gang. Zo gaat de term "Landinghall Destination Call" een belangrijke rol spelen.

Hieronder wordt het volgende verstaan: als men bij de liftinstallatie aankomt, kan men via een bedieningspaneel en een display van te voren aangeven naar elke verdieping men wil. De liftinstallatie geeft dan, via de display, aan welke lift genomen moet worden. Als men dan in de lift stapt dan geeft de in de kooi aanwezige display al aan op welke verdieping gestopt zal gaan worden. Knoppen in de liftkooi zijn overbodig geworden.

Het grote voordeel van dit systeem is dat de liftinstallatie al van te voren weet waar iedereen heen moet en zodoende bepaalt, wie in welke liftkooi moet stappen (bij traditionele



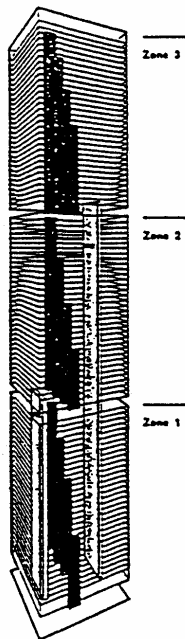
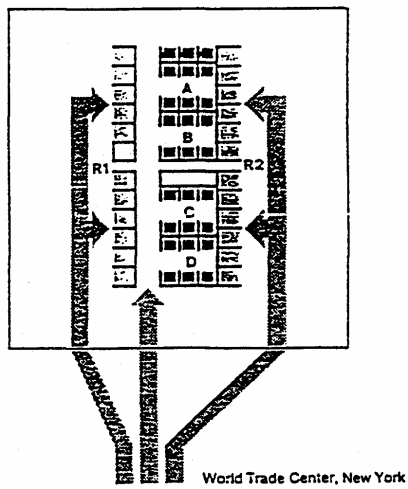
figuur 2 indeling van liftinstallatie in sectoren bij hoge gebouwen

liftinstallaties is dit pas bekend als iedereen is ingestapt). Met deze techniek weet de liftinstallatie precies waar iedereen heen wil en kan zodoende mensen bij elkaar groeperen die bijna allemaal naar een bepaalde hoogte in het gebouw moeten. Het resultaat is dan ook kortere wachttijden.

Nog verder weg, maar ook al technisch mogelijk is dat men een transponder bij zich heeft, die als men in de buurt van de juiste liftinstallatie aankomt, doorseint naar welke verdieping men moet (bij voorbeeld werk- en/of woonverdieping). Dus het toetsenbord en de display op de wachtplaatsen worden voor deze mensen overbodig.

Deze innovatieve besturingssystemen reduceren de wachttijden aanzienlijk (35% tot 50%).

figuur 3 liftconcept WTC New York, met twee sky-lobby's



Iedere toren van het WTC is in drie zones verdeeld en heeft 95 personenliften en 3 goederenliften.
De liftgroepen R1 en R2 bedienen

Liften – bouwkundige aspecten

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

1 Algemeen

1.1 Inleiding

Een liftinstallatie bestaat, afhankelijk van het gebouw, uit een of meer liftgroepen. Tot een groep behoren de bij elkaar geplaatste liften die het zelfde etagebereik en de zelfde stopplaatsen hebben.

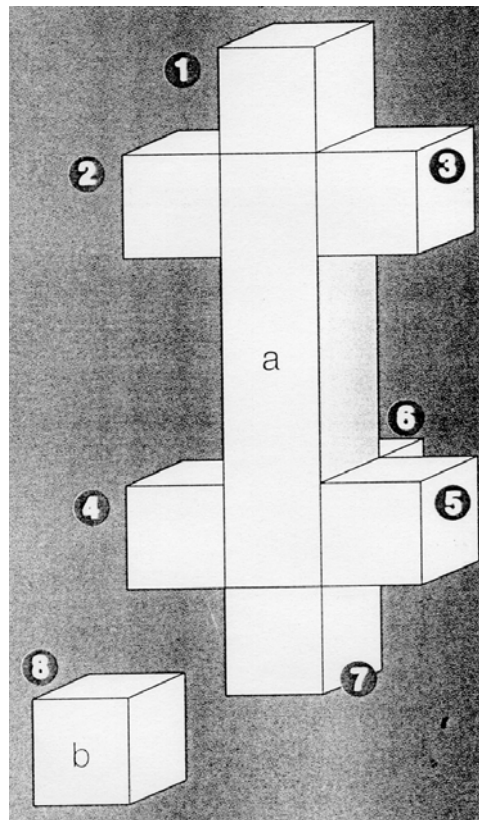
Voor een moderne lift (voor personenvervoer) geldt dat deze bestaat uit: een liftschaft, een stalen constructie in de schacht voor geleiding van de cabine, deuren in de schachtwand en in de cabine, de cabine zelf, de aandrijving en de besturing. Schachten zijn meestal van beton, ze kunnen gesloten zijn, half open of de cabine beweegt langs een enkele wand, zoals bij panoramaliften. Een andere optie is dat de schacht bestaat uit een staalconstructie met daaromheen een afscheiding die eventueel transparant kan zijn. Liftschachten hebben - om veiligheidsredenen - altijd een put onder het laagste niveau en een uitloop boven het hoogste niveau van het liftbereik. De cabine hangt aan kabels die over een tractieschijf bovenin de schacht lopen. Aan de andere kant van de kabels hangt een contragewicht dat langs de schachtwand beweegt en de cabine kan passeren. Naast de onderdelen en plaatsing van de lift heeft men onder andere ook te maken met belastingen en lawaai bestrijding. Meer hierover zal besproken worden in onderstaande hoofdstukken.

2 Bouwkundige aspecten

2.1 Afmetingen

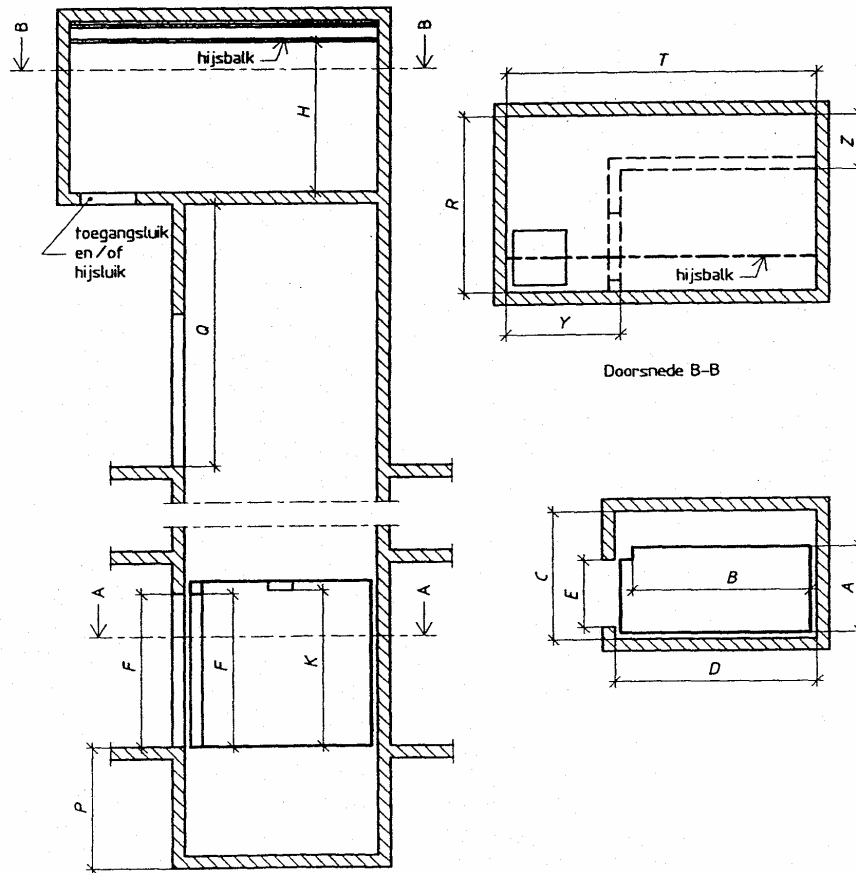
De tijd dat een liftinstallatie gekenmerkt werd door de dakopbouw voor de liftmachine is voorbij. De liftmachinekamer kan zowel op de schacht als grenzend aan de schacht worden gesitueerd, zie figuur 1.

- a. liftschacht
- 1 op de schacht
- 2,3 boven naast de schacht
- 4,5 onder naast de schacht
- 6 achter de schacht
- 7 onder de schacht
- 8 hydraulische aandrijving



figuur 1 mogelijke posities voor de liftmachinekamer ten opzichte van de liftschachten

Ook zijn er liftinstallaties waarbij de tractie geïntegreerd is in de schacht zelf.
De schacht blijft een bouwkundig element waaraan niet voorbij kan worden gegaan.
Belangrijke bouwkundige aspecten die ook in iedere technische omschrijving aan de orde komen zijn: (zie ook de schachtdoorsnede in figuur 2)



figuur 2 doorsnede liftschachten

a. *Afmetingen van de schacht*

Deze worden vooral bepaald door het hefvermogen/capaciteit van de lift. In de schacht bevinden zich de liftkooi, de deuren, de geleiders en het tegengewicht.

Variaties ontstaan onder andere tengevolge van het deurtype, liftsnelheid, plaats van de machinekamer en het type gebouw.

Afmetingen conform NEN 5080 "Personeelsliften in woongebouwen, -afmetingen en functionele eisen" geeft onderstaande tabel 1.

tabel 1 afmetingen van kooi, kooi- en schachtdeuren en schacht

Nominale last	kg	630	1000	
Liftkooi:				
breedte (A)	m	1,05	1,05	
diepte (B)	m	1,35	2,05	
hoogte (K)	m	2,10	2,10	
toe te laten aantal personen		8	13	
deuren:				
doorgangsbreedte (E)	m	0,90	0,90	
doorgangshoogte (F)	m	2,10	2,10	
Liftschacht:				
breedte (C) telescoopdeuren	m	1,70	1,70	1,70
breedte (C) centraal openende deuren	m	2,00	2,00	2,00
diepte (D)	m	2,10	2,60	2,60
putdiepte (P)	m	1,40	1,40	1,50
schachtkop (Q)	m	3,70	3,70	3,80

b. *Schachtput/schachtuitloop*

In de schachtput bevindt zich de nood-eindschakelweg, de remweg en de bufferslag.

Daarnaast is er hoogte gereserveerd als vluchtruimte voor een monteur.

Voor personenliften in niet woongebouwen geldt tabel 2.

tabel 2 afmetingen van liftput en uitloop voor personenliften

snelheid in m/s	putdiepte/uitloop in mm bij een hefvermogen in kg van				
	630	800	1000	1250	1600
≤ 1	1400/3800	1400/3800	1400/4200	1600/4400	1600/4400
1,6	1600/4000	1600/4000	1600/4200	1600/4400	1600/4400
2,5	-	-	2200/5200	2200/5400	2200/5400

De schachtuitloop vervult min of meer dezelfde functie als de schachtput.

Volgens het Bouwbesluit, art. 51 en 220, gelden de volgende minimale maten voor de uitloop en de liftput.

tabel 3 afmetingen van liftput en uitloop voor personenliften

	hefhoogte < 50 m	hefhoogte > 50 m
liftputdiepte	1400 mm	1600 mm
uitloophoogte	3600 mm	3800 mm

c. *Machinekamer*

Voor een machinekamer boven de liftschacht, waarin zich bevinden de liftmotor, de toeleveringskast alsmede een hijsluik geeft globaal voor de binnenmaten:

breedte = schachtbreedte
 diepte = schachtdiepte + 1600
 hoogte = 2100

2.2 Belastingen

De bouwkundige constructie van de schacht moet volgens het Bouwbesluit bestand zijn tegen een kracht van 300 N uitgeoefend loodrecht op een willekeurig punt van binnen of buitenvlak gelijkmatig verdeeld over een oppervlak van 5 cm²:

- . zonder blijvende vervorming
- . zonder elastische vervorming van meer dan 10 mm.

De krachten die op de schachtwanden en putvloer worden uitgeoefend, geeft tabel 4.

tabel 4 Krachten op liftschachtwanden en putvloer, ontleend aan Jellema 6C (Krachten in kN)

hefvermogen (kg)	630	1.000	1600	2000
aantal personen:	8	13	20	26
schachtwanden t.p.v. geleider				
F_1 evenwijdig aan	0,7	1,0	1,3	1,6
F_d loodrecht op	0,5	0,6	1,0	1,1
Schachtputvloer				
$F_{v,1}$ (tijdens vangen liftkooi)	13,3	23,0	35,0	41,0
$F_{v,2}$ ((leidergew. per m hefh.))	0,09	0,12	0,18	0,22
$F_v \text{ totaal} = F_{v,1} + F_{v,2} \times h$				
F_k (tijdens stuiting liftkooi)				
op elk van 2 stuitingen/buffers	26,6	46,0	70,0	82,0
F_t (tijdens stuiting tegengew.)				
op één stuiting/buffer	40,6	-	-	-
op elk van 2 stuitingen/buffers	-	36,0	54,0	62,0

Bij tractieliften met de liftmachinekamer boven de schacht heeft de vloer van de liftmachinekamer een dragende functie. De vloer moet de heflast en het gewicht van de kooi kunnen dragen alsmede het tegengewicht en de liftmachine. Daarnaast moet t.b.v. het aanlopen en versnellen een sprongbelasting in rekening worden gebracht. Voor hoogten groter dan 30 m moet tevens met het gewicht van de hijskabels en compensatiekabels rekening worden gehouden. Tabel 5. geeft een overzicht van de krachten waarmee bij tractieliften rekening moet worden gehouden.

tabel 5 krachten op liftschachtwanden en putvloer, ontleend aan Jellema 6C bij directe ophanging van de liftkooi (Krachten in kN; Positie: kooizijde = boven ophangpunt liftkooi; tegengew.zijde = boven ophangpunt tegengewicht)

Hefvermogen (kg) aantal personen	630 8	8000 10	1000 13	1250 16	1600 20
Hefhoogte ≤ 30 m					
kooizijde	19,0	24,5	30,2	36,3	46,6
tegengew.zijde	14,3	18,4	22,7	27,3	35,2
Hefhoogte > 30 m					
kooizijde	19,6	25,3	31,3	38,0	48,9
tegengew.zijde	14,7	19,1	23,6	28,6	36,8
toeslag per m	0,03	0,05	0,06	0,07	0,09
sprongbelasting	0,7	1,0	1,3	1,5	2,0

3 Lawaaibestrijding

Voor woongebouwen is in het Bouwbesluit vastgelegd dat het karakteristieke installatiegeluidsniveau in verblijfsruimten maximaal 30 dB(A) mag bedragen. Om geen hinder te veroorzaken is eigenlijk een niveau ≤ 25 dB(A) gewenst. Het geluidsniveau dat door een liftinstallatie wordt veroorzaakt wordt beïnvloed door:

- de situering van de liftmachine t.o.v. de verblijfsgebieden
- de bouwkundige constructie tussen liftinstallatie en de te beschermen ruimte
- de liftmachine
- de diverse installatieonderdelen zoals deuren, besturingsapparatuur.

De onderdelen c en d zijn fabrikaatgebonden.

In NPR 5073 "Geluidwering in woongebouwen-liftinstallaties" wordt tussen de aspecten a en b een onderlinge relatie gelegd, gecombineerd met voorwaarden aan de liftinstallatiecomponenten zelf.

De NPR geldt alleen voor een machinekamer boven de schacht.

De eisen aan de bouwkundige constructie worden gegeven als functie van een categoriale indeling, zie figuur 3. voor de eisen die gelden voor een vermogen R van de liftmachine kleiner dan 20 kW. In hoofdstuk 4. is een globale methode gegeven om R te berekenen.

Voor de situatie A en B gelden - afhankelijk van de uitvoering van de wanden waarbij in figuur 3. een keuze voor de minimaal vereiste massa is gegeven - aanvullend verschillende akoestische maatregelen voor de installatietechnische uitvoering. Hierbij gaat het over:

- machineopstelling:
 - trillingsvrije opstelling
 - frame verzwaren
- besturingsapparatuur: trillingsisolatie
- schacht: geleiding
- liftkooi:
 - ontruimen
 - sluitingsmechanisme liftdeuren

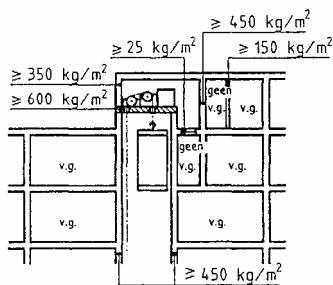
categorie A

Installatie met liftmachine boven schacht en schacht direct grenzend aan verblijfsgebieden, machinekamer niet grenzend aan verblijfsgebieden

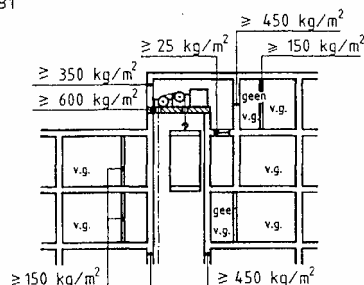
categorie B

Installatie met liftmachine boven schacht en machinekamer en schacht op drie hoogste bouwlagen niet direct grenzend aan verblijfsgebieden

A1



B1

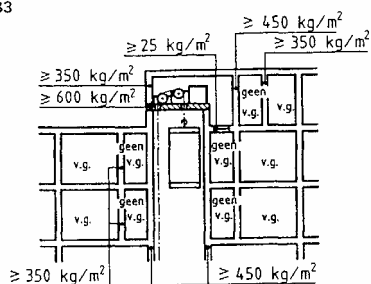
**categorie B**

Installatie met liftmachine boven schacht en machinekamer en schacht op drie hoogste bouwlagen niet direct grenzend aan verblijfsgebieden

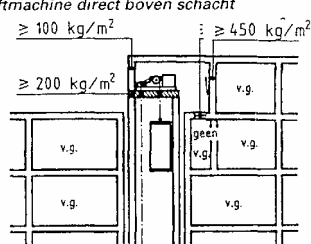
categorie C

Installatie met liftmachine boven of naast schacht waarbij machinekamer en schacht tot op de fundatie bouwkundig zijn gescheiden van woongebouw

B3



C1 liftmachine direct boven schacht



figuur 3 overzicht bouwkundige akoestische maatregelen aan liftschachten en machineruimte van woongebouwen, ontleend aan NPR 5073

4 Elektrisch vermogen

Voor elektrische tractieliften kan het benodigde elektrische vermogen van de liftmachine bepaald worden met de formule

$$R = \frac{9,8 \cdot B \cdot v}{\eta}$$

met

R	=	vermogen liftmachine in W
B	=	maximale onbalansbelasting in kg
v	=	ontwerpsnelheid in m/s
η	=	efficiency overbrenging

De maximale onbalans belasting treft op indien de lift vanuit de onderste stopplaats vertrekt. De maximale onbalansbelasting is dan gelijk aan het hefvermogen minus het tegengewicht plus het gewicht van de kabels en de optredende wrijving aan de geleiders.

Als voorbeeld:

hefvermogen: 630 kg

kabelgewicht: 70 kg

wrijving: 50 kg

contragewicht: 50%

$$B = 630 \times 0,5 + 70 + 50 = 435 \text{ kg}$$

De efficiency van de overbrenging is fabriekaatafhankelijk.

Globaal geldt:

Koppel in Nm	efficiency
≤ 120	0,3
120 - 200	0,45
200 - 300	0,6
300 - 550	0,7

Het optredende koppel volgt uit

$$T = B/r$$

met:

r = straal kabelschijf in m

Dit geeft voor het voorbeeld uitgaande van r = 0,375 m:

$$T = 435 \times 0,375 = 163 \text{ Nm}$$

$$\eta = 0,45$$

Het vermogen van de liftmachine bij v = 1 m/s bedraagt dan

$$R = (9,8 \times 4,35 \times 1) / 0,45 = 9500 \text{ W} = 9,5 \text{ kW}$$

Elektrische installaties - vuistregels

Kennisbank Bouwfysica

Auteur: dr.ir. Peter van den Engels, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijscher, ir. John van der Vliet

1 Elektriciteit algemeen

Elektriciteit is een vorm van energie met als voordeel dat het milieu ter plaatse van het gebruik niet wordt verontreinigd. Dat wil niet zeggen dat het schone energie is, aangezien elektriciteit moet worden opgewekt. Dit gebeurt in een beperkt aantal, zo gunstig mogelijk gelegen elektriciteitscentrales, waar een redelijk rendement gehaald kan worden.

In Nederland wordt in de meeste centrales vernevelde olie, poederkool (gemalen steenkool) of aardgas verbrand. Door de vuurhaard van de ketels waarin de verbranding plaats vindt loopt een pijpenstelsel, waarin zich water bevindt. Door de verhitting van het water ontstaat stoom onder een hoge druk (130 bar). Deze stoom wordt via hoge drukleidingen naar een turbine gevoerd. In de turbine stoot de stoom tegen de schoepen van een aantal achter elkaar geplaatste schoepenraden die daardoor gaan draaien. Ieder schoepenrad vormt, samen met de vaste geleidschoepen in het turbinehuis, een druktrap. Bij ieder schoepenrad expandeert de stoom verder en neemt de druk af. De schoepenraden zijn op een as gemonteerd waaraan een draaistroomgenerator is gekoppeld. Deze generator wekt een spanning op van 10.000 volt. Na expansie in de turbine gaat de stoom naar een condensor, waar koelwater de restwarmte aan de stoom onttrekt waardoor weer water ontstaat dat opnieuw naar de ketel wordt gevoerd. Bij dit elektriciteitsopwekkingsproces werd tot voor kort een elektrisch rendement gehaald van ongeveer 38%. Bij het transport ging ongeveer 6% verloren, zodat uiteindelijk een effectief rendement (van opwekking t/m gebruiker) van zo'n 32% werd gehaald. Door verbetering van het opwekkingsrendement van de centrales wordt momenteel een effectief rendement van 39% gehaald. Dit rendement wordt momenteel in EPN-berekeningen aangehouden. De verwachting is dat dit in de toekomst verder zal stijgen. Doordat de energiecentrales - bij een gunstige locatie - hun koelwater zo veel mogelijk verstrekken aan een stadsverwarmingsnet is hun totaalrendement meestal hoger.

Een alternatief voor via centrales opgewekte elektriciteit is warmtekrachtkoppeling. Hier mee kan lokaal zowel warmte- als elektriciteit worden opgewekt, zoals in de tuinbouw, bij ziekenhuizen en veel andere gebouwen of wijkverwarmingsnetten het geval is. In het wijkverwarmingsnet van de TU-Delft is bij voorbeeld ook warmtekrachtkoppeling opgenomen.

De elektrische apparaten, machines en toestellen hebben een rendement van 90% tot wel 98%, en hebben verder nog vele voordelen, zoals verplaatsbaarheid, bedieningsgemak, weinig onderhoud enzovoort.

Momenteel wordt in Nederland ongeveer 5% van de elektrische energie opgewekt in kerncentrales. Verder neemt het gebruik van wind- en zonne-energie en energie uit biomassa toe. Het totale elektriciteitsgebruik in Nederland neemt ongeveer met 1,4% per jaar toe. Het streven van de overheid is evenwel om door efficiency verbetering dit effect te neutraliseren. Daarnaast is het streven om het totale percentage duurzame energie in 2020 tenminste 10% te laten zijn. Dit is inclusief hernieuwbare energie zoals opwekking via biobrandstoffen. In 2010 moet ca. 9% van de elektriciteit duurzaam zijn opgewekt.

In Nederland staan ca. 30 centrales, inclusief twee kerncentrales. Hiermee wordt te weinig elektriciteit geproduceerd, zodat een deel van de in Nederland gebruikte elektrische energie geïmporteerd moet worden. In 1990 was dit ongeveer 10% van de totale elektriciteitsbehoefte, in 2010 moet dit zijn teruggebracht tot 0. De centrales zijn onderling gekoppeld, door middel van het zogenaamde koppelnet. Dit net is, o.a. voor de import, weer gekoppeld aan het net van België en Duitsland. Dit koppelnet zorgt ervoor dat bij uitvallen van een centrale één, of meerdere, andere centrale(s) aan de vraag kunnen voldoen, desnoods centrales in het buitenland. Hierdoor is het niet meer nodig in een centrale veel reservecapaciteit in te bouwen. De Samenwerkende Elektrische Productiebedrijven (SEP) beheert het net en zorgt voor verrekening van geleverde elektriciteit. Verder is de organisatie op regionaal niveau, wat verschillen in tarieven en aansluitvoorwaarden verklaart.

2 Elektriciteitstransport

In de elektriciteitscentrale levert de generator een spanning van 10.000 volt. In 'step-up' transformatoren wordt de spanning opgevoerd naar 110, 150, 220 of 380 kilovolt (kV). In het koppelnet, welke door heel Nederland loopt en ook met de buurlanden verbonden is, wordt 220 of 380 kV gebruikt (zie www.tennet.nl).

In onderstations wordt de spanning naar 110 tot 150 kV getransformeerd. Dit wordt hoogspanning genoemd. De hoogte van de spanning hangt af van de te overbruggen afstand. Hoe groter de afstand, hoe hoger de spanning. Daarom wordt in de provinciale netten met hogere spanningen gewerkt dan in de stadsnetten. Buiten de steden wordt zoveel mogelijk gebruik gemaakt van hoogspanningsmasten. Door weerstand in de draden ontstaat warmte. Bij leidingen in de lucht wordt deze warmte eenvoudig aan de lucht afgestaan. Bij hoogspanningsleidingen in de grond levert de warmte al snel problemen op. Voor luchtleidingen is wel veel ruimte nodig. De spanning in de leidingen is te hoog voor de gebruikers. Daarom wordt per voorzieningsgebied de spanning omlaag getransformeerd naar 50, 25 of 10kV. Dit gebeurt in een hoogspanningsstation. Vanuit het hoogspanningstation wordt de elektriciteit via een distributienet verder getransporteerd naar transformatorhuisjes die per dorp, wijk of gedeelte daarvan de spanning op 230/380 volt brengen. Dit is de 'netspanning'. Dit laagspanningsnet is driefasig, wat wil zeggen dat er drie draden in de leiding zitten die elk 230 V leveren. Verder zit er een nulleider en een aardendraad in de leiding. Grote bedrijven of kantoren hebben vaak een eigen aansluiting op het distributienet, en hebben dan ook één of meer eigen transformatoren nodig.

Het distributienet wordt ondergronds uitgevoerd, evenals de woningaansluitingen. Voor het distributienet (10.000 - 50.000 volt) is een gronddekking van 900 mm voorgeschreven. Voor het lokale laagspanningsnet (netspanning) wordt een gronddekking van 600 mm aangehouden. Alleen gepantserde papierloodbekabels komen in aanmerking om direct in de grond te worden gelegd. Andere kabelsoorten worden in goten, kokers, buizen of iets dergelijks gelegd.

3 Woninginstallaties

3.1 Algemeen

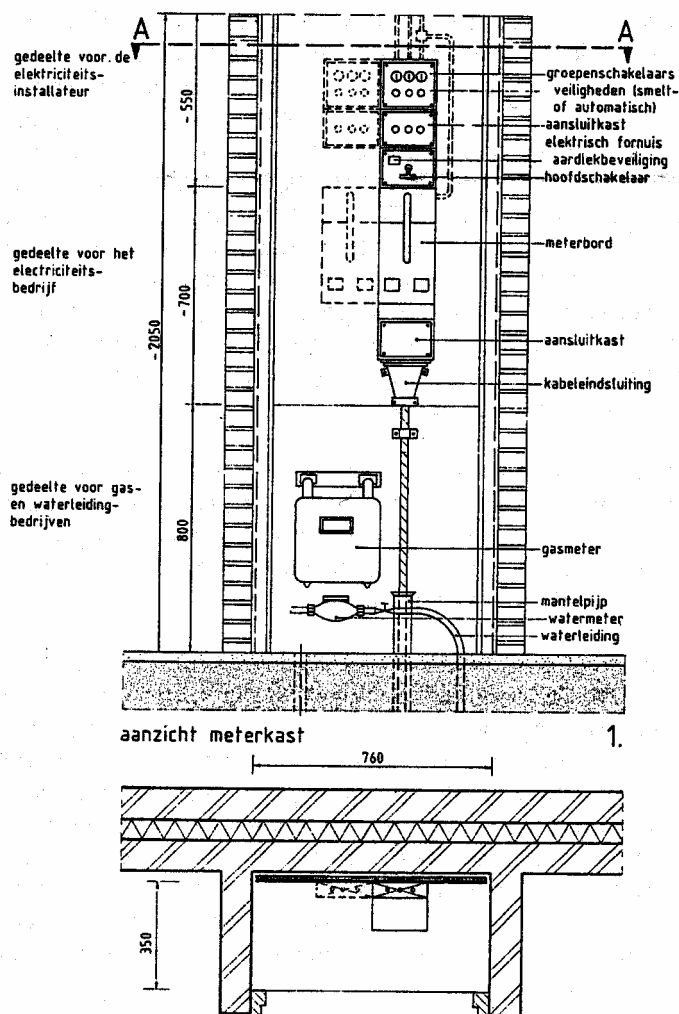
Afhankelijk van de omvang van de woninginstallatie wordt aangesloten op één van fasenleiders en de nulleider of op de drie fasen en de nulleider. In woonwijken, waar meestal enkelfasige aansluitingen voorkomen, worden de huizen in volgorde aangesloten op achtereenvolgende fasen. Dit om de belasting ongeveer gelijk te verdelen over de fasen. Meestal wordt een woninginstallatie enkelfasig aangesloten als het vermogen niet boven de 8 kW komt. Bevindt zich

in de woning een elektrisch apparaat met een vermogen van meer dan 3,5 kW, bij voorbeeld een elektrisch fornuis, dan wordt de aansluiting driefasig uitgevoerd.

3.2 Meterkast

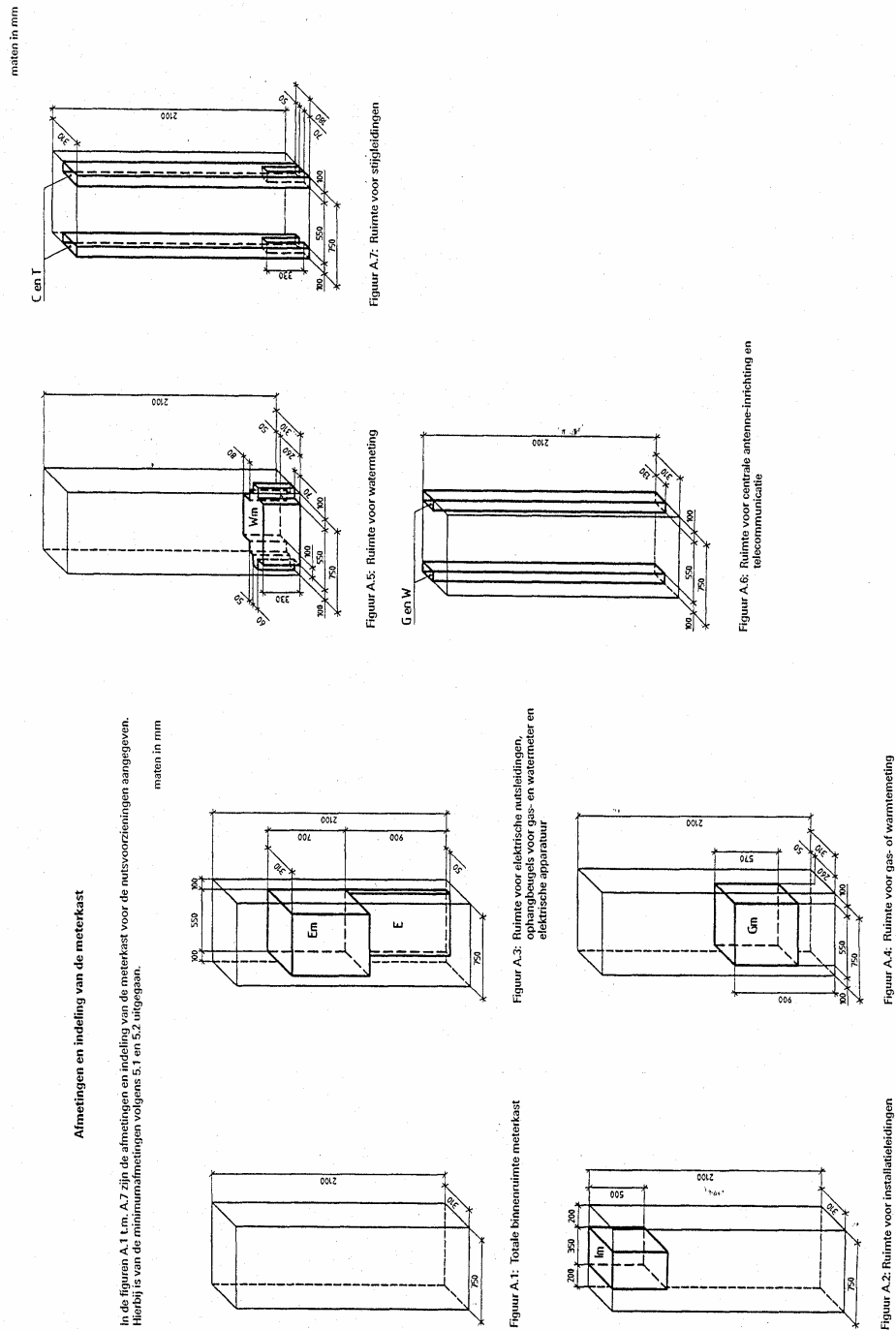
De aansluitkabel van woningen is meestal een grondpapierloodkabel, welke via een mantelbuis tot in de meterkast wordt gevoerd. De mantelbuis mag in sommige gevallen alleen ter plaatse van de fundering en de vloer worden aangebracht. De leiding komt op 500 mm onder het maaiveld binnen.

De elektriciteitsmeter zit in de meterkast. Deze moet zo dicht mogelijk bij de voordeur zitten (maximaal 3 meter vanaf de deur) en mag zich niet in een natte ruimte bevinden. De meterkast heeft vaste afmetingen (350 x 750 x 2200 mm) en herbergt naast de elektriciteitsmeter doorgaans ook de watermeter en eventueel de gas- en stadsverwarmingmeter. De plaats, afmeting en indeling van de meterkast is vastgelegd in NEN 2768. De aansluiting van de woninginstallatie op het elektriciteitsnet vindt dus in de meterkast plaats. De elektriciteitsmeter zit na deze aansluiting en wordt gevolgd door de hoofdschakelaar en de aardlekbeveiliging. Als laatste zit in de meterkast een groepenkast met groepenschakelaars en -zekeringen (stoppen) en eventueel een kast voor de aansluiting van bij voorbeeld een elektrisch fornuis. Zie figuur 1.



figuur 1 inrichting van een meterkast

De levering van gas, water, elektra, hoe langer hoe meer warmtelevering en CAI (telematica) vragen om een duidelijke ordening. Dit is geregeld in het Bouwbesluit, in de leveringsvoorwaarden van de nutsbedrijven en in de NEN 2768. In bijlage A van deze norm wordt de indeling van de meterkast nader toegelicht, zie figuur 2, A.1 t/m A.7.



figuur 2 nadere specificatie van de indeling van de meterkast volgens de NEN 2768

3.3 Vermogens

In een gezinshuishouden worden veel elektrische apparaten gebruikt, bijna iedereen heeft een koelkast, stofzuiger, audio apparatuur en televisie. Per huishouden zijn meestal nog een behoorlijk aantal andere elektrische apparaten aanwezig. Computers, printer en faxen zullen in de toekomst nog een veel grotere penetratiegraad krijgen (denk aan telewerken en teleshopping). Het is daarom verstandig de elektrische installatie van woningen niet te krap te dimensioneren. Er zijn minimum eisen voor woninginstallaties vastgelegd, maar voor het moderne huishoudens zijn deze doorgaans niet toereikend. In tabel 1 wordt van de benodigde vermogens een overzicht gegeven:

tabel 1 vermogen van diverse elektrische apparaten

Toestel	Vermogen (Watt)
accumulerende kachel	2000 - 10000
boiler	1000 - 2500
cassettespeler	100
centrifuge	300
cd speler	50
computer	100
droogtrommel	1000 - 2000
elektrische deken	100
elektrische dhz gereedschappen	500 - 1000
elektronisch orgel	400
elektrisch fornuis	6000 - 10000
geluidsversterker	100 - 200
haardroger	700
halogeenlamp-uplight	300
hoogtezon	500
klok	10
koelkast 120 liter	300
koffiezetapparaat	1000
kopieerapparaat	1500
mixer	300
naaimachine	200
printer (inkjet)	50
radio	50 - 100
scheerapparaat	20
schemerlamp	40 - 100
stofzuiger	600 - 1000
strijkijzer	1000
televisie	100 - 200
vaatwasmachine	2500 - 3000
ventilator	100
ventilatorkachel	1000 - 2000
video	100
vrieskast of -kist 150 liter	350
wasmachine	2000 - 3000
waterkoker	1000

3.4 Leidingen en aansluitingen

Er zijn twee mogelijkheden om elektrische apparaten aan te sluiten, een vaste aansluiting, zoals bij plafondverlichting en vast opgestelde elektrische apparaten, of losse aansluitingen met losse snoeren en stekkers op (wand)contactdozen. Er bestaan minimum eisen ten aanzien van het aantal schakelbare lichtpunten en het aantal contactdozen. Voor contactdozen gelden de eisen zoals die in tabel 2 zijn samengevat:

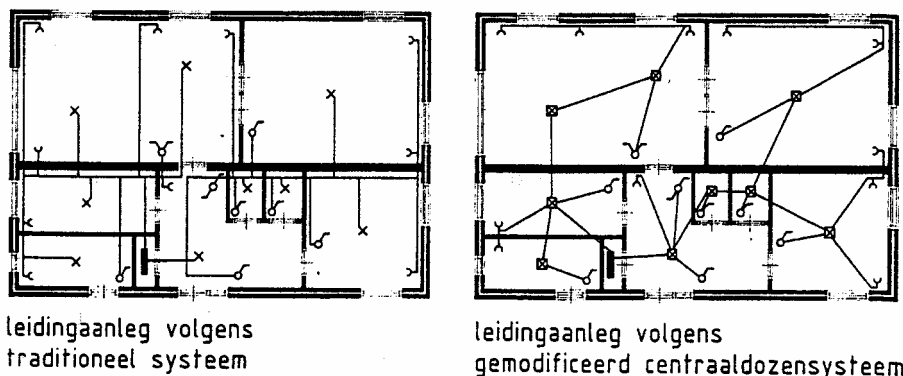
Tabel 2 Minimum aantal contactdozen per ruimte

Ruimte	Aantal
hoofdwoonkamer <20 m ²	drie meervoudige
hoofdwoonkamer >20 m ²	vier meervoudige
overige kamers <10 m ²	één meervoudige
overige kamer >10 m ²	twee meervoudige
keuken	twee meervoudige
bijkeuken of wasruimte	één meervoudige
zolder of begaanbare vliering	één enkelvoudige
garage of bergplaats, in of aan het gebouw grenzend	één enkelvoudige

Verder geldt dat in alle in tabel 2 genoemde vertrekken ten minste één aansluitpunt aanwezig moet zijn voor algemene verlichting. De bij dat lichtpunt behorende schakelaar moet zich nabij de toegang van die ruimte bevinden. Bij een keuken, badruimte, toilet, bijkeuken en wasruimte mag deze schakelaar ook aan de buitenzijde van deze ruimten zitten.

De aansluitpunten worden verdeeld over ten minste twee groepen, om te voorkomen dat als er een zekering defect raakt alle elektriciteit in de woning afgesloten wordt. Voor woningen zijn twee tot zes groepen gebruikelijk. Voor elektrische warmwaterboilers, elektrische fornuizen en dergelijke zijn per apparaat aparte eindgroepen vereist.

Voor de aanleg van elektriciteitsleidingen in woningen bestaan verschillende systemen en materialen. In de woningbouw is het (gemodificeerd) centraaldozensysteem op dit moment het meest gebruikelijk. Bij renovatie van oude woningen moet soms nog volgens het traditionele systeem gewerkt worden. Ook in vakantiewoningen e.d. wordt dit nog wel toegepast. Zie figuur 3. Op dit systeem zal verder niet worden ingegaan.



figuur 3 vergelijking traditioneel systeem met centraaldozensysteem

Bij het centraaldozensysteem zit in de woning per ruimte een centraaldoos. Vanuit de meterkast, of vanuit een andere centraaldoos, loopt daar naartoe een elektriciteitsleiding. Per eindgroep zijn

de centraaldozen geschakeld. De centraaldoos wordt vrijwel altijd op het punt gemonteerd waar het lichtaansluitpunt zal komen, dus meestal midden in het plafond. In de wand is echter ook mogelijk. Vanuit deze centraaldoos lopen leidingen naar normaaldozen, waarop contactdozen, schakelaars en dergelijke gemonteerd kunnen worden. De verbindingen tussen de draden moeten in de dozen worden gemaakt. Dat wil dus niet zeggen dat een draad in elke doos onderbroken moet worden. Men streeft ernaar per doos zo min mogelijk verbindingen te maken. Om de draden gemakkelijk door de leidingen te kunnen trekken mogen per buis (tussen twee dozen) niet meer dan vier bochten worden gemaakt. Deze bochten mogen niet te scherp worden gemaakt en verbindingstukken moeten zoveel mogelijk worden vermeden. Omdat dit systeem veel overzichtelijker is dan het traditionele systeem, worden de extra kosten (door de grotere totale lengte van de leidingen) voor lief genomen. Om de aanlegkosten te drukken heeft men echter enige veranderingen aangebracht. Dit wordt het gemodificeerde centraaldozensysteem genoemd. Hierbij wordt als er in één wand meerdere aansluitpunten voorkomen niet per aansluitpunt een leiding gelegd naar de centraaldoos, maar worden de aansluitpunten onderling verbonden. Als beperking geldt dat dit alleen mag als de aansluitpunten zich in één wand bevinden. Dit om te voorkomen dat het systeem te ver naar het oude traditionele systeem toegroeit en te onoverzichtelijk wordt.

Het modernste systeem is het koker- of kanalen systeem. Het wordt nu vooral bij bedrijven toegepast, maar in de toekomst ook in de woningbouw. Dit systeem is ontstaan door het toenemende aantal elektrische apparaten, en daarmee elektraleidingen en vele andersoortige leidingen, zoals telefoon en andere communicatie leidingen. Vaak spreekt men over een leidinggoot. In een koker, meestal op plintheoogte aangelegd, worden alle leidingen overzichtelijk opgeborgen. Aansluitpunten voor elektra (contactdozen) worden in de koker aangebracht, net als de andere aansluitpunten. Reparaties en uitbreidingen zijn zeer gemakkelijk uit te voeren. Voorlopig is het systeem nog duurder dan het centraaldozensysteem, maar met het oog op de toekomstige ontwikkelingen eigenlijk de beste oplossing.

Bij het traditionele en het (gemodificeerde)centraaldozensysteem kunnen de leidingen zowel in als uit het zicht worden aangelegd. Als leidingmateriaal wordt tegenwoordig bijna altijd PVC buis gebruikt. Bij montage uit het zicht moeten deze buizen in sleuven in de muur en soms in plafond en vloer worden gelegd. Het maken van deze sleuven is kostbaar werk omdat gehakt of gefreesd moet worden. Als de leidingen aangelegd worden vóórdat het beton gestort wordt moeten de leidingen met binddraad aan de wapening gebonden worden. Hierbij moet zoveel mogelijk met buizen uit één stuk worden gewerkt. Dit om risico van lekkages en het dichtlopen van leidingen tijdens het beton storten te voorkomen. Gemakkelijker, maar esthetisch minder aantrekkelijk, is het in het zicht aanbrengen van de leidingen. Hierbij worden de PVC buizen met beugels bevestigd.

Voor de draden in de buizen zijn afspraken gemaakt over de gebruikte draadkleuren:

<u>Enkelfase</u>	blauw:	nulleider, N 2,5 mm ²	<u>Driefase</u>	rood: fase 1
	bruin:	fasedraad, N 2,5 mm ²		geel: fase 2
	geel-groen:	aardendraad, N 2,5 mm ²		bruin: fase 3
	zwart:	schakeldraad, N 1,5 mm ²		overige draden gelijk enkelfase

Door deze afspraken is het systeem overzichtelijk, en dus veiliger, en is meteen duidelijk welke draad waarvoor gebruikt wordt. Vooral bij aanpassingen en uitbreidingen van het systeem is dit een groot voordeel. De genoemde draaddoorsneden zijn in de woningbouw gebruikelijk. Worden grote vermogens gevraagd, zoals bij sommige huishoudelijke apparaten of bij bedrijven, dan moeten de draaddoorsneden daarop worden afgestemd.

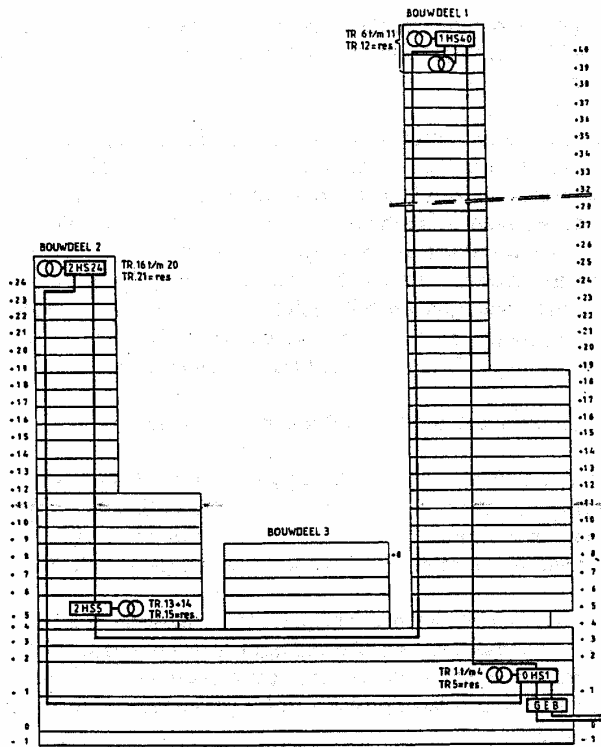
4 Bedrijfsinstallaties

4.1 Algemeen

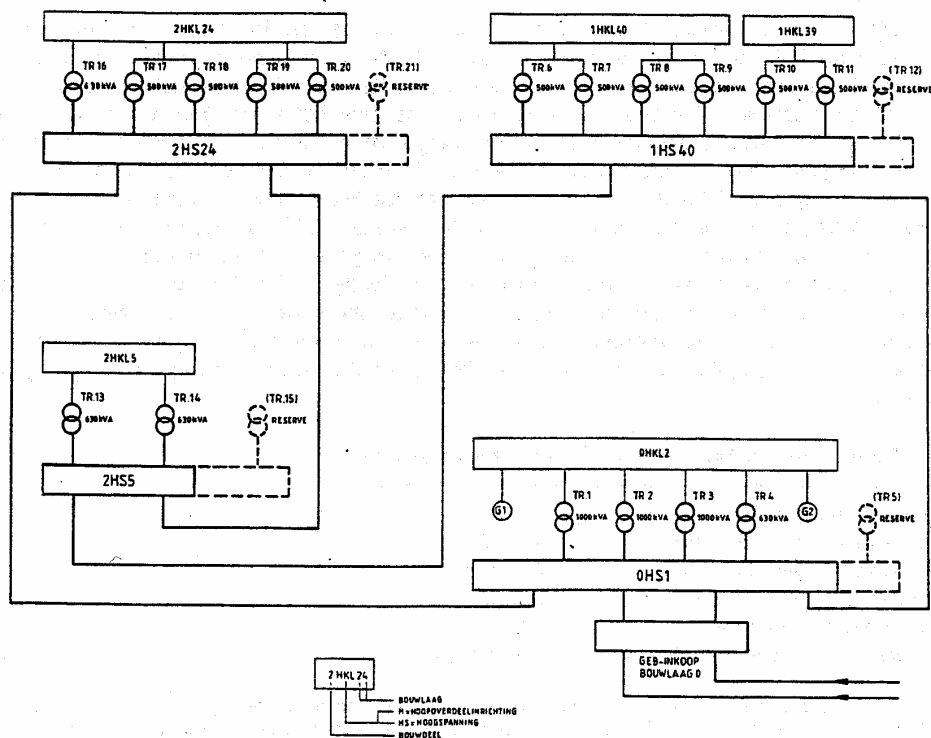
Kleine bedrijven, zoals winkels, kleine kantoren en werkplaatsen hebben vaak een elektrische installatie waarvan het vermogen niet groter is dan 20 kW, maar bijna altijd wel boven de 8 kW. Deze bedrijven worden aangesloten op het driefasennet 220/380 V. Deze installaties worden nog gerekend tot de kleinere installaties. Bij grote installaties gaat het vermogen de 20 kW te boven. Deze worden altijd op het driefasennet 220/380 V aangesloten.

Bij grotere bedrijven wordt ook wel een eigen hoogspanningstransformator geïnstalleerd. Hierin wordt de hoogspanning uit het distributienet teruggebracht tot 230/380 V of soms ook tot 380/660 V. Dit laatste heeft een aantal technische voordelen, waarop hier verder niet wordt ingegaan. Blijkbaar gebruikt een groot bedrijf evenveel elektrische energie als een stadswijk.

In extreme gevallen, zoals in het gebouw van Nationale Nederlanden in Rotterdam (Delftse Poort) lopen de hoogspanningsleidingen door het gebouw en bevinden de onderstations zich verspreid door het gebouw. In zo'n geval komt de elektriciteit centraal binnen en wordt het verbruik gemeten, dit gebeurt in het 'inkoopstation'. Zie figuur 4.



Lokaties HS-Verdeelstations
Figuur 2.



Blokschema HS-distributiesysteem

figuur 4 schema distributiesysteem elektriciteit in het Delftse Poortgebouw

Behalve dat leidingen dikwijls langer zijn, en dus zwaarder zullen worden uitgevoerd, verschilt het systeem van aanleg niet met dat van woningen. Wel wordt vaker met leidinggoten en dergelijke

gewerkt. Apparaten die veel stroom gebruiken moeten met dikkere leidingen worden aangesloten. Door de grote stroomsterkte zou een dunne leiding teveel weerstand geven en zou de daarbij optredende warmteontwikkeling het beschermende omhulsel laten smelten met alle gevolgen van dien.

Zoals eerder aangegeven, wordt bij bedrijven vaker gebruik gemaakt van kanaalsystemen. Dit met het oog op de flexibiliteit die in bedrijven wordt verlangd. Bij kantoorruimten die zo groot zijn dat de apparatuur niet direct naast een wand komt te staan (kantoortuin) worden in plaats van wandgoten ook wel vloergoten toegepast. Wordt een zeer grote flexibiliteit verlangd wordt dan stapt men ook wel over op zogenaamde computervloeren. Hierbij ligt de vloer iets verhoogd, en liggen de leidingen onder de vloer.

Bij tal van bedrijfsinstallaties komen ruimten voor die permanent vochtig zijn, wat iets anders is dan de vochtigheid in de keuken of badkamer van woningen. Ook komen ruimten voor met bijtende gassen of brandgevaarlijke stoffen. Voor al dit soort gevallen zijn er aparte voorschriften en eisen.

Bij grote elektrische installaties zijn de schakel- en verdeelinrichtingen in één of meer afzonderlijke afgesloten ruimten ondergebracht. Het hoogspanningsdeel is hierbij afgesloten van het bedrijfsspanningsdeel, en met bordjes is aangegeven dat het hier gaat om elektrische bedrijfsruimten. Deze ruimten zijn alleen voor bevoegd personeel toegankelijk. Eisen ten aanzien van bijzondere bedrijfsruimten staan in NEN 1010 (stoffige ruimten, brandgevaarlijke ruimten, explosiegevaarlijke ruimten, vochtige ruimten, enzovoort).

4.2 Noodstroom

Een apart verhaal is de noodstroomvoorziening. Zeker ziekenhuizen, maar ook theaters en bedrijven kunnen niet zonder stroom. Dat zou tot rampen kunnen leiden. Er zijn twee mogelijkheden om in geval van uitvallen van de elektriciteitsvoorzieningen over stroom te kunnen beschikken:

- A. Statische of dynamische no-breakvoorzieningen (accu's of vliegwielen).
- B. Noodstroomaggregaten (deze kunnen ook worden ingezet als warmtekrachtkoppeling).

Vaak worden de systemen ook gecombineerd zoals in ziekenhuizen en computercentra het geval is waar in geen geval de spanning van het net mag vallen.

Als alleen hoeft te worden verlicht wordt dikwijls voor accubatterijen (statische no-break) gekozen. Nadeel van een no-breakinrichting is het hoge stand-by energieverlies, doorgaans ca. 10% van het vermogen. Het voordeel daarvan is dat bij uitvallen van de stroom direct kan worden overgeschakeld.

De tweede mogelijkheid is een noodstroomaggregaat. Hierbij zal er altijd een korte tijd geen stroom zijn. Een voordeel van een aggregaat is dat er een hoog vermogen mee gehaald wordt, zodat ook liften en dergelijke gebruikt kunnen blijven worden.

Het noodstroomnet moet geheel apart uitgevoerd worden. Vloeren en wanden van accurumten moeten zuurvast (tegels en mortel) worden uitgevoerd. Aggregaten moeten in aparte ruimten geplaatst worden, waarbij rekening gehouden moet worden met de geluidsproductie van deze apparaten, en de ruimte die nodig is voor opslag van de brandstof (al snel een paar duizend liter).

5 Bepalen van het benodigde elektrisch vermogen

5.1 Vermogensbepaling

Om het totale vermogen van de elektrische installatie te bepalen, dienen de benodigde vermogens voor verlichting, vaste aansluitingen, het aantal wandcontactdozen, eventuele noodstroomvoorzieningen en liften, en andere elektriciteit gebruikende installaties bepaald te worden.

Bij woninginstallaties worden de vaste lichtpunten geteld, en wordt per punt 100 Watt gerekend. Bij kantoorgebouwen met een normale verdiepingshoogte kan men uitgaan van een benodigd vermogen voor verlichting van 10 -19 W/m², bij HF verlichting met hoogwaardige spiegeloptiek of 25-35 W/m² bij TL met traditionele voorschakelapparaten (VSA's). Voor luchtbehandeling wordt 10 tot 18 W/m² gerekend en voor kantoorapparatuur 10 tot 25 W/m². Dit vermogen moet worden vermenigvuldigd met een gelijktijdigheidsfactor, die voor verlichting 0,9 bedraagt. Deze factor is opgenomen omdat, zoals de naam al zegt, de apparatuur, ook tijdens een piek, niet allemaal aan zal staan. Op dezelfde manier moeten de vermogens van vast opgestelde elektrische apparaten worden opgeteld en vermenigvuldigd (zie paragraaf 3.3. voor vermogens van elektrische apparaten).

De volgende gelijktijdigheidsfactoren kunnen worden aangehouden:

- bedrijven 0,7 - 0,8
- woningen 0,6
- scholen 0,8

Als laatste (noodstroom, liften e.d. daargelaten) worden de wandcontactdozen geteld. Per wandcontactdoos wordt 400 Watt gerekend, ongeacht of het een enkele of meervoudige wandcontactdoos is. Ook hier moet met de gelijktijdigheid rekening worden gehouden.

De zo verkregen waarden worden bij elkaar opgeteld, en vermenigvuldigd met een reservefactor, in verband met eventuele uitbreidingen van het gebouw en de mogelijke toename van het elektriciteitsgebruik. Gebruikelijk is hiervoor een factor 1,2 te nemen. Hiermee is dan het totale benodigde elektrisch vermogen bepaald. Dit moet voor elk gebouw afzonderlijk gebeuren, tenzij binnen een project de elektrische installaties gelijk zijn, denk bij voorbeeld aan rijtjeshuizen, flatgebouwen , e.d..

Tabel 3 Voorbeeld berekening benodigd elektrisch vermogen gebouw

ruimte	apparaat	aantal	VA/app	VA totaal
Verlichting				
keuken	verlichting	1	100	100
administratie	verlichting	2	100	200
repro afd.	verlichting	1	100	100
expo (100m ²)	verlichting	20 W/m ²		2000
toilet	verlichting	1	100	<u>100 +</u>
				3500 VA

3500 W * 0,9 (gelijktijdigheidsfactor) = 3150 VA.

Vaste aansluitingen

keuken	afzuigkap	1	250	250
	koel/diepvries	1	300	300
	koffiezetapparaat	1	1000	1000
	magnetron	1	1500	1500
	elektr. boiler	1	2950	2950
administratie	computer	2	100	200
	printer	1	50	50
repro afd.	kopieerapparaat	1	1500	1500
expo ruimte	dia projector	1	250	250
	film projector	1	250	250
	video	1	100	100
	geluidsinstallatie	1	250	250
	televisie	1	200	200
toilet	elektr. haardrog.	1	150	<u>150 +</u>
				8950 VA

8950 * 0,8 (gelijktijdigheidsfactor) = 7160 VA.

Wandcontactdozen

keuken	dubb. wcd.	3	400	1200
administratie	dubb. wcd.	3	400	1200
repro afd.	dubb. wcd.	3	400	1200
expo ruimte	dubb. wcd.	5	400	2000
bergruimte	enkel. wcd.	1	400	400
gang	dubb. wcd.	1	400	<u>400 +</u>
				6400 VA

6400 * 0,8 (gelijktijdigheidsfactor) = 5120 VA

Totaal 15430 W, i.v.m. reserve vermenigvuldigen met 1,2 = 18516 W

1 Watt = 1,52 VA

In dit voorbeeld zijn willekeurige ruimten uit een project opgenomen; de lijst is derhalve niet volledig.

5.2 Transformatoren

Bij grote vermogens kan een eigen transformator noodzakelijk zijn. Bij grotere bedrijven is dit vaak het geval. Hierbij speelt de plaats van het gebouw ook een rol. Een afgelegen gebouw zal eerder een eigen transformator nodig hebben omdat de verliezen in een hoogspanningsleiding minder groot zijn. Ook een sterk wisselend elektriciteitsgebruik zal een eigen transformator

eerder noodzakelijk maken. Uiteindelijk beslist het elektriciteitsbedrijf hierover, en elk elektriciteitsbedrijf heeft zij eigen maatstaven. Dus altijd met gegevens over het project (vermogen, plaats e.d.) navraag doen bij het plaatselijke elektriciteitsbedrijf.

Als er een transformator nodig is zijn er meestal twee mogelijkheden:

- een eigen / privé transformator
- een transformator van het elektriciteitsbedrijf

Bij de laatste mogelijkheid kan de transformator ook gebruikt worden voor andere gebruikers, waardoor de kosten doorgaans lager liggen dan bij een eigen transformator. Bij omvangrijke elektrische installaties zal meestal voor een eigen transformator gekozen worden, zodat deze niet afhankelijk is van andere gebruikers (vermogen, storing e.d.). Verder kan er een keuze gemaakt worden of een transformatorruimte in het gebouw of daarbuiten geplaatst wordt. Bij een gedeelde transformator zal meestal gekozen worden voor een transformatorruimte buiten het gebouw, bij een transformator voor eigen gebruik zal meestal gekozen worden voor een in pandige transformatorruimte. Direct daaraan gekoppeld kan dan de laagspanningruimte worden geplaatst. In pandige transformatorruimten moeten doorgaans rechtstreeks van buiten bereikbaar zijn.

In bijlage 7.4 is een voorbeeld van een indeling en van richtlijnen ten behoeve van de bouw van een transformatorstation opgenomen. Let op de benodigde ruimte onder de eigenlijke transformatorruimte. Dit is alleen nodig als de transformator oliegekoeld is, wat in de meeste gevallen zo is. Andere mogelijkheid is een luchtgekoelde transformator. De ruimte die nodig is hangt af van de gebruikte transformator:

tabel 4 ruimte voor trafo's en schakel- en verdeelkasten

- traforuimte vermogen 400 KVA	5,5 m ²
- traforuimte vermogen 630 KVA	6,0 m ²
- traforuimte vermogen 800 KVA	6,6 m ²
- traforuimte vermogen 1000 KVA	8,2 m ²
- toeslag schakeleenheid trafo	3,0 m ²
- opstellingsruimte hoofdverdeelinrichting	0,3 % b.v.o.

NB een aantal energiebedrijven in Nederland maakt geen onderscheid tussen de omvang van de opstellingsruimten voor trafo's tot een vermogen van 630 KVA. De door deze bedrijven gewenste omvang van de opstellingsruimte voor trafo's tot 630 KVA inclusief de ruimte voor de schakeleenheid is 9,0 m².

De elektriciteitsmeter wordt voor of na de transformator geplaatst, in een ruimte waar zich alleen de elektriciteitsmeter bevindt (dit in tegenstelling tot de meterkast in woningen). Bij plaatsing na de transformator wordt er 1 tot 2 % verlies in de transformator gerekend, die voor rekening komt van de gebruiker.

6 Voorschriften en keuring

Normen worden opgesteld in opdracht van de gezamenlijke bedrijven, om verwarring omtrent producten en de kwaliteit hiervan te voorkomen. De normen worden uitgegeven door het Nederlands Normalisatie Instituut, het NNI. Dit zijn de NEN normen, die vastgelegd worden in normbladen. Ook voorschriften voor uitvoering van elektrische installaties zijn vastgelegd in een normblad, te weten NEN 1010. Dit geldt voor installaties met bedrijfsspanningen tot 500 volt. Daar deze norm door alle elektriciteit leverende bedrijven geaccepteerd is moeten alle installaties hieraan voldoen (anders worden ze niet aangesloten). De verantwoordelijkheid voor het voldoen

aan de voorschriften ligt bij de uitvoerder van de installatie. De installatie wordt wel geïnspecteerd voordat deze aangesloten wordt, maar dit is slechts een controle, en niet een keuring. Bij het maken van bestekken moet met alle voorschriften, normen en verordeningen rekening worden gehouden.

Om materialen en toestellen te weren die niet aan de voorschriften voldoen is vroeger een keuring ingesteld. Deze werd uitgevoerd door de KEMA, N.V. tot Keuring van Elektrotechnische Installaties. Een goedgekeurd product kreeg een KEMA keuringsteken. Doordat de EG heeft bepaald dat er geen landelijke handelsbelemmerende eisen gesteld mogen worden is deze keuring vervallen. Toch zijn de keuringstekens blijven bestaan, en de verwachting is dat men producten met zo'n keuring zal blijven prefereren boven niet gekeurde producten. Zo'n product voldoet in ieder geval aan de eisen. In de toekomst zal er één Europese norm komen, de zogenaamde Euronorm.

De eindinspectie van een installatie wordt gedaan door de elektriciteitsbedrijven. Hiervoor hebben deze een inspectie afdeling, die naast inspectie ook voorlichting aan o.a. architecten en aannemers geeft. Nieuwe, gerenoveerde en later gewijzigde of uitgebreide installaties worden geïnspecteerd op het nakomen van de bepalingen van NEN 1010, en eventuele andere voorschriften. Bij de inspectie wordt de isolatie weerstand gemeten tussen de leidingen onderling en aarde. Ondanks de inspectie blijft de installateur verantwoordelijk voor de installatie.

7 Bijlagen

7.1 Literatuur

1. NEN 1010, Normen voor laagspanningsinstallaties.
2. Jellema Bouwkunde 6.
3. Rapport B21E, Elektrische leidingen in de woningbouw.
4. Electric design details, McPartland and Novak.
5. Haustechnik 1, hoofdstuk 2, Elektrische Anlagen, Sage.
6. Natuur en milieuplanbureau. Dossier Energie en Energievoorziening: Beleidsevaluaties. Augustus 2007. (website).
7. NEN 2768. Meterruimten en bijbehorende voorzieningen in een woonfunctie. December 2005.

7.2 Begrippen elektriciteit

aardlekschakelaar	automatische schakelaar die ervoor zorgt dat bij wegvloeien van stroom naar de aarde de stroom afgesloten wordt.
centraaldoos distributienet kV.	'doos' van waaruit aftakkingen gemaakt worden naar andere dozen. aftakking van het transportnet, net op stadsniveau. Spanning 10 - 50 kV.
draaistroom	zie krachtstroom
driefasenstroom	zie krachtstroom
gelijktijdigheidsfactor	factor die gehanteerd wordt bij het berekenen van het vermogen van de elektrische installatie. De factor geeft het percentage van alle op de installatie aangesloten elektrische apparatuur die tijdens piek uren gebruikt wordt.
generator	toestel waarin mechanische energie wordt omgezet in elektrische energie.
hoogspanningsstation KEMA	transformatorstation tussen transportnet en distributienet. N.V. tot Keuring Elektrotechnisch Materialen.
koppelnets	net van elektriciteitsleidingen die de elektriciteitscentrales in Nederland onderling koppelt, en ook aansluiting geeft op buitenlandse netten. Spanning 220 - 380 kV.
krachtstroom	aansluiting met spanning van 220/380 V, waarmee apparaten met een groter vermogen aan gesloten kunnen worden. Er wordt dan aangesloten op alle (drie) fasedraden in plaats van op één.
laagspanningnet mantelbuis	aftakking van distributienet, net op wijkniveau. Spanning 220/380 V. beschermende buis voor leidingen, gebruikt bij bijvoorbeeld geveldoorvoer.
middenspanning	een verouderd begrip, wordt nu ook hoogspanning genoemd. 10 kV-50kV.
onderstation scheidingstrafo.	transformatorstation tussen koppelnets en transportnet. toestel waarin elektrisch energie wordt omgezet in elektrische energie met dezelfde spanning, en de systemen los van elkaar koppelt, zodat bij storing in systeem deze storing niet doorgegeven wordt aan het andere systeem.

SEP	Samenwerkende Elektriciteits Productiebedrijven.
transformator	toestel waarin elektrische energie wordt omgezet in elektrische energie van een andere spanning.
transportnet	aftakking van het koppelnet, net op regionaal niveau. Spanning 110 - 150kV.
trekveer	hulpmiddel om draden te trekken door de buizen. Lengte 10 m. of 20 m.
VA	vermogen, zie Watt.
Volt	eenheid van spanning.
wandcontactdoos	stopcontact.
Watt	vermogen, produkt van spanning en stroom: $W = U \times I$.
zekering	element wat ervoor zorgt dat systeem niet te hoog belast wordt, gaat in elektrische installatie per groep. Bij te hoge belasting raakt de zekering defect en laat geen stroom meer door. Ook wel 'stop' genoemd.

7.3 Symbolen en elektriciteitsinstallaties

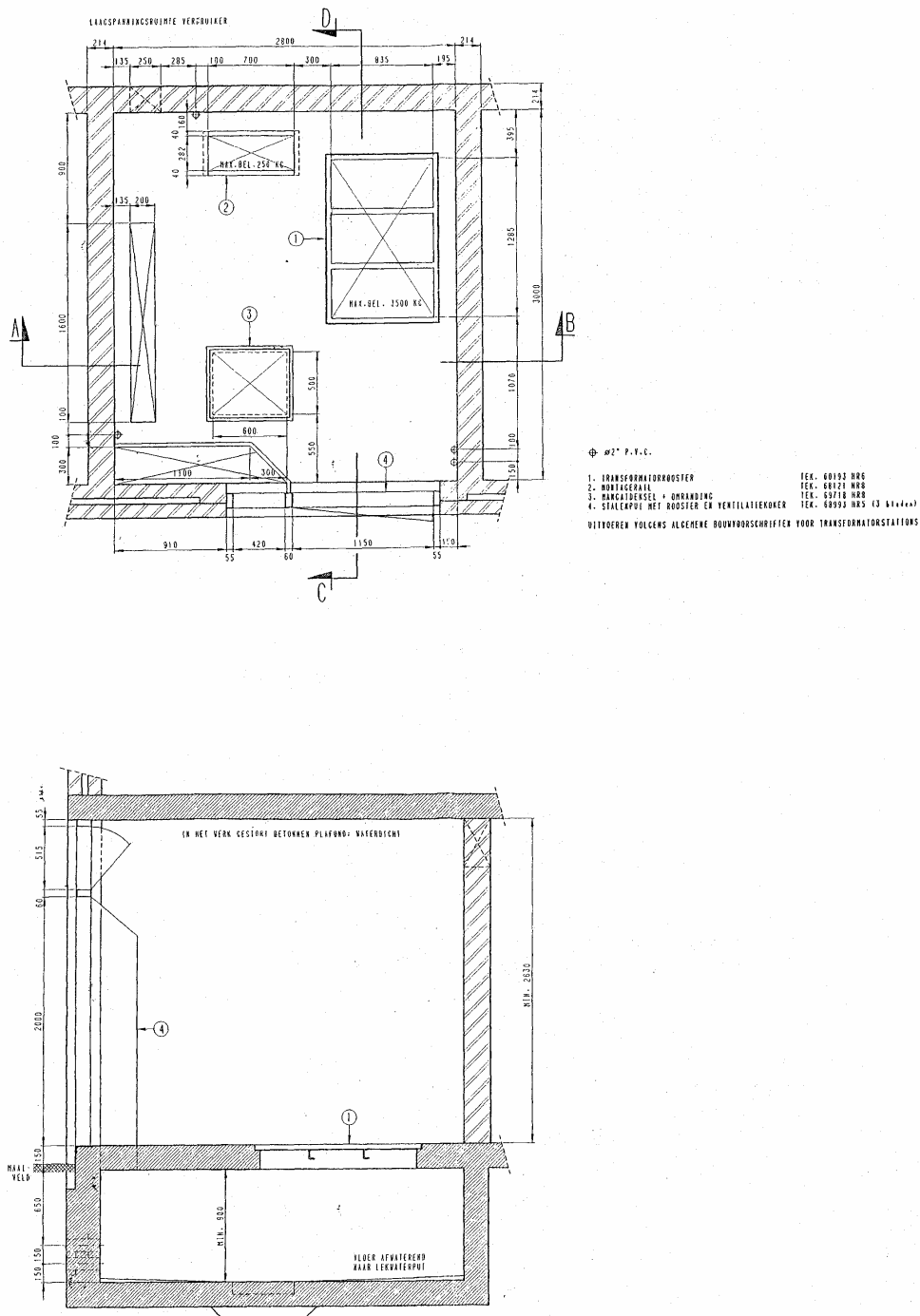
symbool	verklaring	symbool	verklaring
	kilowattuurmeter		wandcontactdoos
	lichtverdeelkast		wandcontactdoos met randaarde
	besturingskast		wandcontactdoos met randaarde waterdicht
	aardlek automaat		PERILEX wandcontactdoos
	installatie automaat		PERILEX wandcontactdoos 380V met aarde en nul
	klok		aansluitpunt algemeen
	beltrafo		1-fase aansluitpunt met aarde en nul
	van beneden komende leiding		verlichtingsarmatuur
	naar boven gaande leiding		TL-armatuur
	van boven komende leiding		wandarmatuur
	naar beneden gaande leiding		waterdicht wandarmatuur
	enkelpolige schakelaar		waterdichte drukknop
	enkelpolige trekschakelaar		tweetonige bel
	wisselschakelaar		thermostaat
	wisselschakelaar met signaallamp		aansluitpunt PTT
	serieschakelaar		aansluitpunt CAI
	kruisschakelaar		aardpunt
			aardingsmat
			aardelektrode

figuur 5 symbolen elektrische installaties

7.4 Richtlijnen voor de bouw van een 10 KV-transformatorstation

Indeling tranformatorstation

In utiliteitsgebouwen is vaak de plaatsing van een transformatorstation nodig. Ook hier geldt dat de energieleverancier strikte bouwvoorschriften voor de traforuimte hanteert.



Figuur 6 Voorbeeld afmetingen van een transformatorunit van 10 kV

Richtlijnen voor de bouw van 10 kV-transformatorstation (voorbeeld)

Deze richtlijn is overgenomen van het Energiebedrijf Noord-Holland, de PEN (1992), en dient als voorbeeld voor bouwkundige eisen t.a.v. transformatorruimten.

1. INLEIDING

- 1.1 Voor een rechtstreekse aansluiting op het hoogspanningsnet moet de aanvrager zorgen voor een vrijstaande of in een pand opgenomen en afgesloten elektrische bedrijfsruimte. Gegevens hiervoor worden, met inachtneming van de op het werk betrekking hebbende normbladen en voorschriften van de Stichting Nederlands Normalisatie-instituut en de Aansluitvoorwaarden PEN, door het PEN verstrekt.
- 1.2 De aanvrager moet de volgende tekeningen in viervoud bij het PEN indienen:
 - a. een situatietekening op schaal 1 : 500 minimaal en
 - b. de werktekeningen op schaal 1 : 20.Na beoordeling door het PEN wordt één exemplaar met eventuele opmerkingen aan de aanvrager teruggezonden.
- 1.3 Het PEN houdt geen toezicht maar treedt tijdens de bouw adviserend op en controleert de naleving van de door het PEN goedgekeurde tekeningen.
- 1.4 De in punt 1.1 genoemde ruimte moet kosteloos aan het PEN ter beschikking worden gesteld.
- 1.5 De gebruiker blijft verantwoordelijk voor het bouwkundig onderhoud van de in punt 1.1 genoemde ruimte.

2. BEGRIPSBEPALINGEN

- 2.1 Een vrijstaande en afgesloten elektrische bedrijfsruimte verder te noemen "vrijstaand station"
- 2.2 Een in een perceel opgenomen en afgesloten elektrische bedrijfsruimte verder te noemen "inbouwstation".
- 2.3 Onder percelen worden verstaan : kantoren, fabrieken, werkplaatsen, bedrijfshallen, etc.

3. ALGEMEEN

- 3.1 Het onderstaande geldt zowel voor vrijstaande stations als voor inbouwstations:
 - a. direct grenzend aan de hoogspanningsruimte moet een laagspanningsruimte worden gemaakt;
 - b. onder beide ruimten een kelder aanbrengen;
 - c. afhankelijk van de grootte van de op te stellen laagspanningsverdeelinrichting kan in sommige gevallen in de laagspanningsruimte volstaan worden met een kabelgoot ter breedte van ca. 500 mm. en een diepte van minimaal 600 mm;
 - d. de scheiding tussen hoogspannings- en laagspanningsruimte moet ook in de kelder aanwezig zijn en
 - e. voorkomen met worden dat men via de kelder van de laagspanningsruimte in de kelder van de hoogspanningsruimte kan komen. Dit geldt ook voor kelders en kruipruimten van nevenruimten.

4. KELDERS

- 4.1 De keldervloeren moeten zijn van gewapend beton.
- 4.2 De kelderwanden moeten zijn van gewapend beton en/of schoon metselwerk.
- 4.3 De bovenkant van de keldervloeren en de binnenzijde van de kelderwanden vlak en glad afwerken.
- 4.4 Afhankelijk van de plaatselijke omstandigheden kan na toestemming van het PEN, een andere uitvoering worden toegepast.
- 4.5 Bij vrijstaande stations is een geringe hoeveelheid water in de kelder niet hinderlijk.
Opmerking: Bij inbouwstations kan water in de kelder via de sparing in de kelderwand t.b.v. de laagspanningskabels (transformatorleidingen), of doorslag door gemetselde scheidingswanden naar nevenruimten of kelders van nevenruimten doorstromen.

5. VLOEREN

- 5.1 De vloer in de hoogspanningsruimte moet zijn van gewapend beton.
- 5.2 De bovenkant van de betonvloer vlak en glad afwerken of voorzien van een harde afwerklaag.

- 5.3 De betonvloer berekenen op een totale vloerbelasting. (zie voorbeeld figuur **)
- 5.4 In de laagspanningruimte is een betonvloer niet noodzakelijk.
Volstaan kan worden met een degelijke houten vloer op balklaag. Hierbij wel rekening houden met de te verwachten vloerbelasting van eventueel op te stellen laagspanningskastenbatterij.
6. DAKEN
- 6.1 Buitendak hoogspanningsruimte, vrijstaand station:
- a. een gewapend betonnen dak met daarop een waterdichte afwerking of
 - b. elementendak met daarop betonnen druklaag en waterdichte afwerking.
- 6.2 Binnendak hoogspanningruimte, inbouwstation:
- a. een gewapend betonnen dak of
 - b. elementenvloer met daarop een betonnen druklaag.
- 6.3 Buitendak laagspanningsruimte, vrijstaand station:
- a. voorkeur als genoemd onder punt 6.1.
volgens eerdere genoemde voorschriften is dit niet noodzakelijk. Volstaan kan worden met een degelijke dakconstructie.
- 6.4 Binnendak laagspanningsruimte, inbouwstation:
- a. voorkeur als genoemd onder punt 6.2.
Volgens eerder genoemde voorschriften is dit niet noodzakelijk. Volstaan kan worden met een degelijke houten vloer op balklaag.
7. METSELWERKEN
- 7.1 Metselwerken van een vrijstaand station:
- a. het buitenmetselwerk uitvoeren in twee keer halfsteens muur met spouw;
 - b. het binnenmetselwerk van de scheidingsmuren uitvoeren als steensmetselwerk en
 - c. het metselwerk in de ruimten uitvoeren als schoon metselwerk, platvol gevoegd.
- 7.2 Metselwerk van een inbouwstation:
- a. de metselwerken uitvoeren als onder punt 7.1 is omschreven.
- 7.3 De binnenmuren van de laagspanningruimte mogen uitgevoerd worden in halfsteens werk. Dit geldt niet voor de scheidingswand tussen de hoogspannings- en laagspanningsruimte.
8. SCHILDERWERKEN
- 8.1 Hoogspanningruimte:
- a. plafond goed dekkend behandelen met witte latex muurverf;
 - b. eventueel aanwezige betonwanden en kolommen goed dekkend behandelen met witte latex muurverf;
 - c. indien de kwaliteit van het metselwerk het noodzakelijk maakt de wanden goed dekkend behandelen met witte latex muurverf en
 - d. de vloer behandelen met een lichtgrijze betonverf (in verband met stofbinding)
- 8.2 De in het station aanwezige hout- en staalwerken na de nodige voorbehandelingen afschilderen met een lichtgrijze glansverf.
- 8.3 De kleur van het buitenschilderwerk van het kozijn met deur en ventilatierooster moet zijn donkerblauw Sikkens, nr. s2.20.10 (huiskleur PEN), of volgens opgave van de gebruiker, echter in overleg met het PEN.
- 8.4 De kleur van het overige buitenschilderwerk door de gebruiker zelf te bepalen.
9. BORDESSEN
- 9.1 De afstand tussen de bovenkant van de terreinverharding en de bovenkant van de afgewerkte vloer moet minimaal 100 mm. en mag maximaal 300 mm. bedragen.

- 9.2 Is de opstalhoogte bij voorbeeld 400 mm. dan kan overwogen worden om ter plaatse van het station een verhoogd bestratingsgedeelte, ter breedte van 1200 mm, aan te brengen.
- 9.3 In het algemeen geldt dat bij een opstaphoogte van meer dan 300 mm. een bordes met hekwerk vereist is.
- 9.4 Het bordes kan bestaan uit een betonconstructie of een staalconstructie met stalen roosters.
- 9.5 Het bordes moet een zodanige breedte hebben dat de deur verder dan 90° geopend kan worden.
- 9.6 Het bordes, t.p.v. de hoogspanningstoegangsdeur, voorzien van een hekwerk met een wegneembaar gedeelte t.b.v. het transporteren van de transformator en grotere hoogspanningsinstallaties.
- 9.7 Het toegangstrapje aanbrengen in de richting van de vluchtweg.
- 9.8 Bij enkel toepassen van transformatorcellen is een bordes niet noodzakelijk. De bereikbaarheid kan dan verkregen worden door toepassen van klimijzers en handgrepen.
- 9.9 Bij het toepassen van een bordes moet dit zo worden uitgevoerd dat het transport van de transformator ongehinderd kan plaatsvinden.
- 10. TOEGANKELIJKHEID
- 10.1 Krachtens de aansluitvoorwaarden PEN, die tegen betaling bij het PEN verkrijgbaar zijn, moet het station blijvend toegankelijk zijn vanaf de openbare weg.
- 10.2 Indien het station op een afgesloten terrein komt te staan, moet bij de toegang tot het terrein een sleutelkastje van het PEN worden aangebracht. Het sleutelkastje is tegen betaling bij het PEN verkrijgbaar. In het kastje moet een sleutel van het toegangshek of toegangspoort aanwezig zijn.
- 10.3 In principe dient als uitgangspunt genomen te worden dat het station met een vrachtauto bereikbaar moet zijn, dit geldt vooral bij verhoogde transformatorruimten. Wanneer het station niet bereikbaar is voor een vrachtauto is het een voorwaarde dat het verharde toegangspad een breedte heeft van minimaal 2000 mm, zodat het plaatsen en verwijderen van een transformator zonder beletsel kan geschieden.
- 10.4 De meetopstelling veelal gelegen in de laagspanningsruimte moet voor het PEN vrij toegankelijk zijn: d.w.z. nabij een reguliere ingang of in een van buitenaf toegankelijke ruimte, voorzien van een deur met eventueel een combinatieslot (levering PEN). De meetopstelling bij voorkeur direct grenzend aan de hoogspannings-/laagspanningsruimte.
- 10.5 De voor de meetopstelling benodigde ruimte bedraagt 400 x 1000 x 2000 mm. (lxbxh) en moet zodanig gelokaliseerd zijn dat beschadigingen aan de meetopstelling uitgesloten zijn. Voor de meetopstelling dient ten alle tijden een vrije ruimte aanwezig te zijn van 0,75 m².