

Transport – lucht – dimensionering leidingen en luchtkanalen

Kennisbank Bouwfysica

Auteurs: dr.ir. Peter van den Engel, Martine Verhoeven, ir. Leo de Ruijsscher, 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):

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

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 $^\circ\text{C}$

„ koelleidingen, meestal 6 $^\circ\text{C}$

„ CV-leidingen, meestal 20 $^\circ\text{C}$ of 10 $^\circ\text{C}$ (bij lage temperatuurverwarming)

„ heetwaterleidingen, meestal 40 $^\circ\text{C}$

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,

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

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

$\approx 3,0 - 20 \text{ m}/\text{s}$ (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:

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

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:

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

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 kanaalsysteem 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.

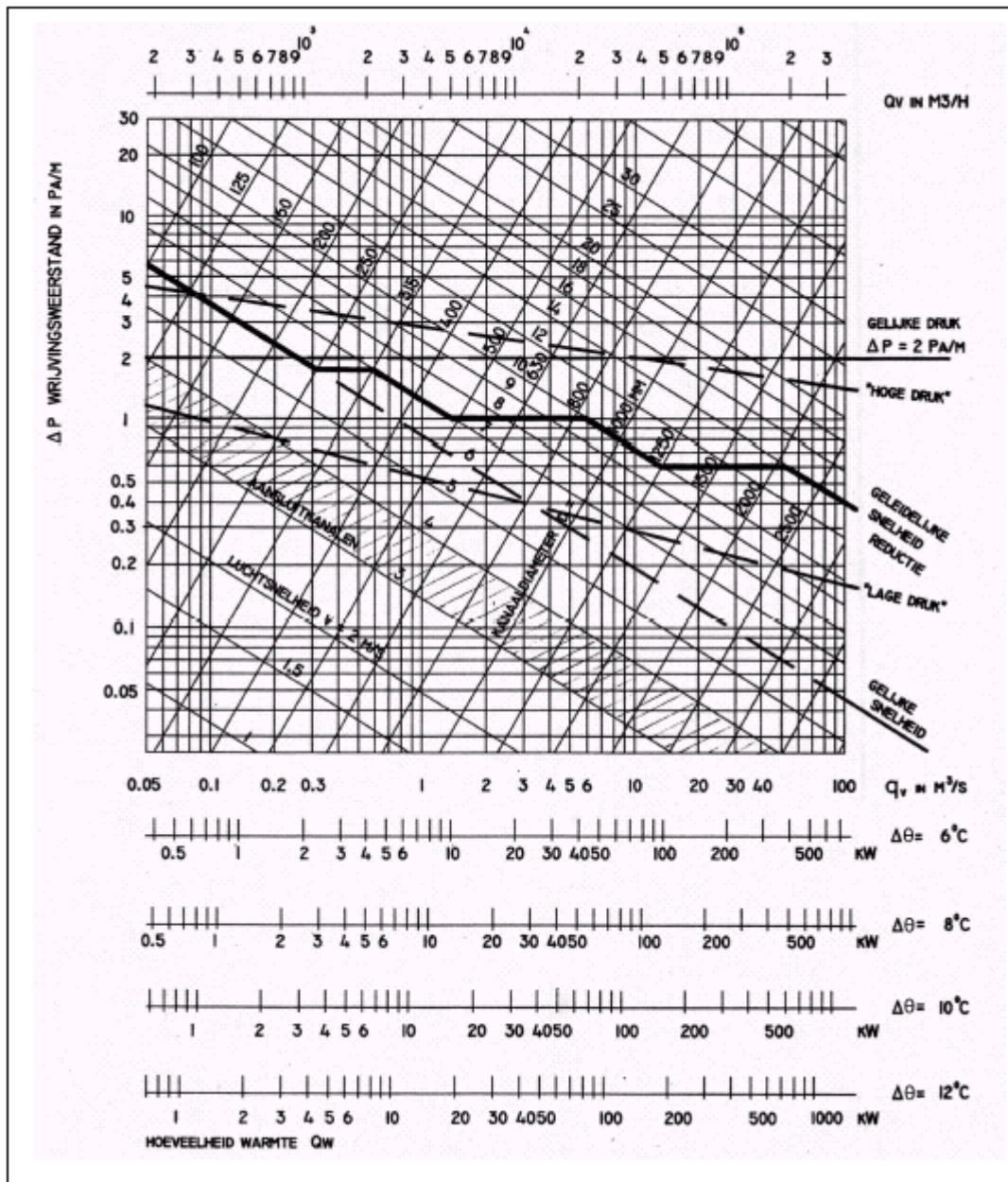
2.3. Luchtkanalen

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 x 50 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 $8 \text{ }^\circ\text{C}$ worden genomen.

Nauwkeuriger bepaling kanaaldiameter

Een nauwkeuriger bepaling van de kanaaldiameter is mogelijk door eerst de warmte- en koelbehoefte 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 m³/s en boven in m³/h. Op de verticale as staat de wrijvingsweerstand in Pa/m kanaallengte. De wrijvingsweerstand neemt evenredig toe met het kwadraat van de lichtsnelheid. De schuin, van linksonder naar rechtsboven, lopende lijnen geven de kanaaldiameters in mm aan. Van linksboven naar rechtsonder lopen de lijnen die de lichtsnelheid 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 = 10³ m³/h lucht toegevoerd. De diameter van het aansluitkanaal kan worden gevonden door vanaf de m³/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 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 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 m³/s en in m³/h. De kolommen daarnaast vermelden de bijbehorende kanaaldiameters voor hoofd- en

aansluitkanalen. De volgende kolommen noemen het aantal m² 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		te ventileren vloeroppervlakte								koelvermogen		
m ³ /s	m ³ /h	hoofd- kanaal	aansluit- kanaal	bij h = 2,7 m				bij h = 3,0 m				bij Δθ van		
				ventilatievoud				ventilatievoud				8°C	10°C	12°C
		mm	mm	3	4	5	6	3	4	5	6	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 mm	rechthoekig kanaal 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

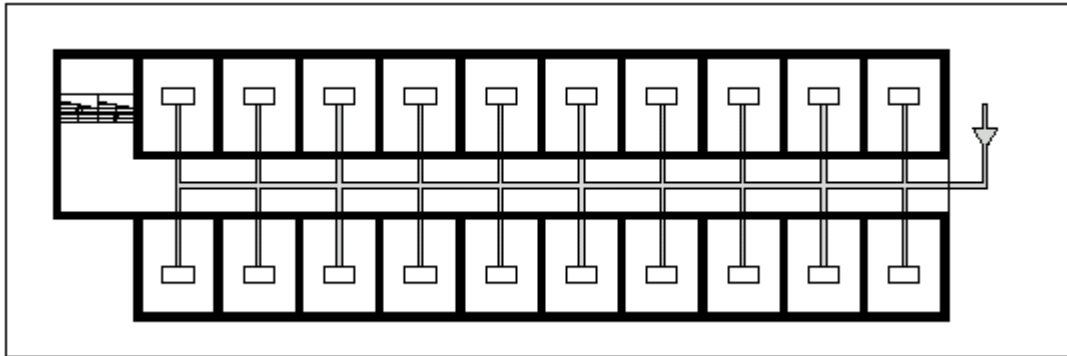
Via een hoofdkanaal moet een koelvermogen van 20 kW worden getransporteerd. Het verschil tussen aanvoer- en retourtemperatuur is 8 °C. Uit tabel 1, derde kolom van rechts, blijkt hiervoor (naar boven afgerond) een kanaal met een diameter van 630 mm nodig te zijn. Ook kan een rechthoekig kanaal van 300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



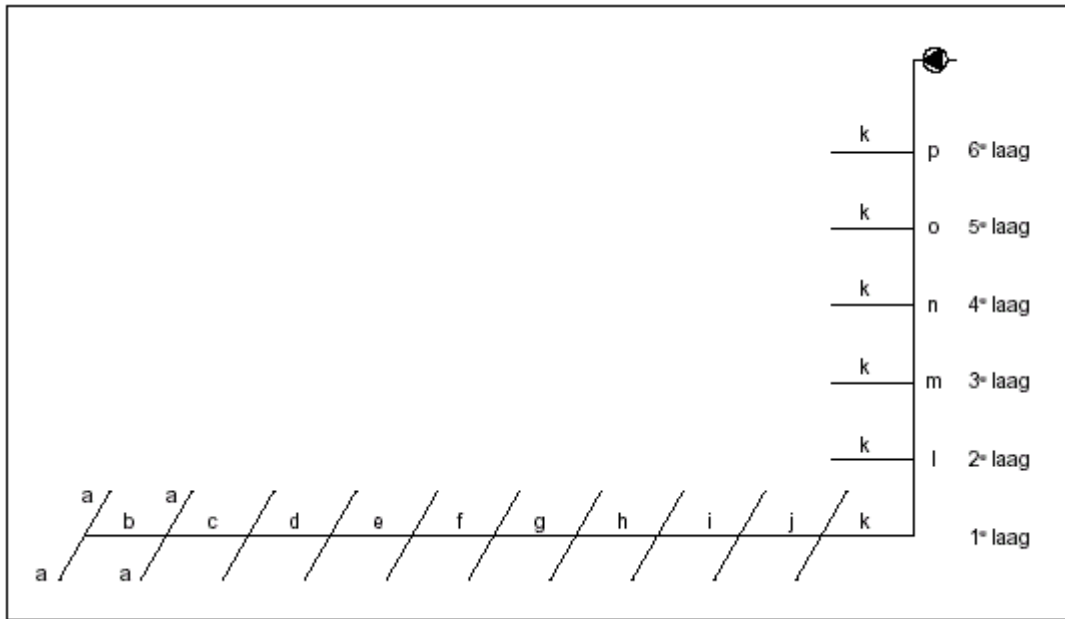
figuur 2 kantoorvleugel met variabel volumesysteem (plattegrond)

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 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (verwarming) en $25 \text{ }^\circ\text{C}$ (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 $8 \text{ }^\circ\text{C}$. 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)