

Transport – Verwarming of Koeling – Dimensionering van Leidingen

Kennisbank Bouwfysica

Auteurs: dr.ir. Peter van den Engel, 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/kgK ($c_{\text{lucht}} \approx 1000 \text{ J}/\text{kgK}$, $c_{\text{water}} \approx 4200 \text{ J}/\text{kgK}$)

$\Delta\theta$ = 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,

$\approx 0,5 - 1,2 \text{ m}/\text{s}$ (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:

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

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 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.

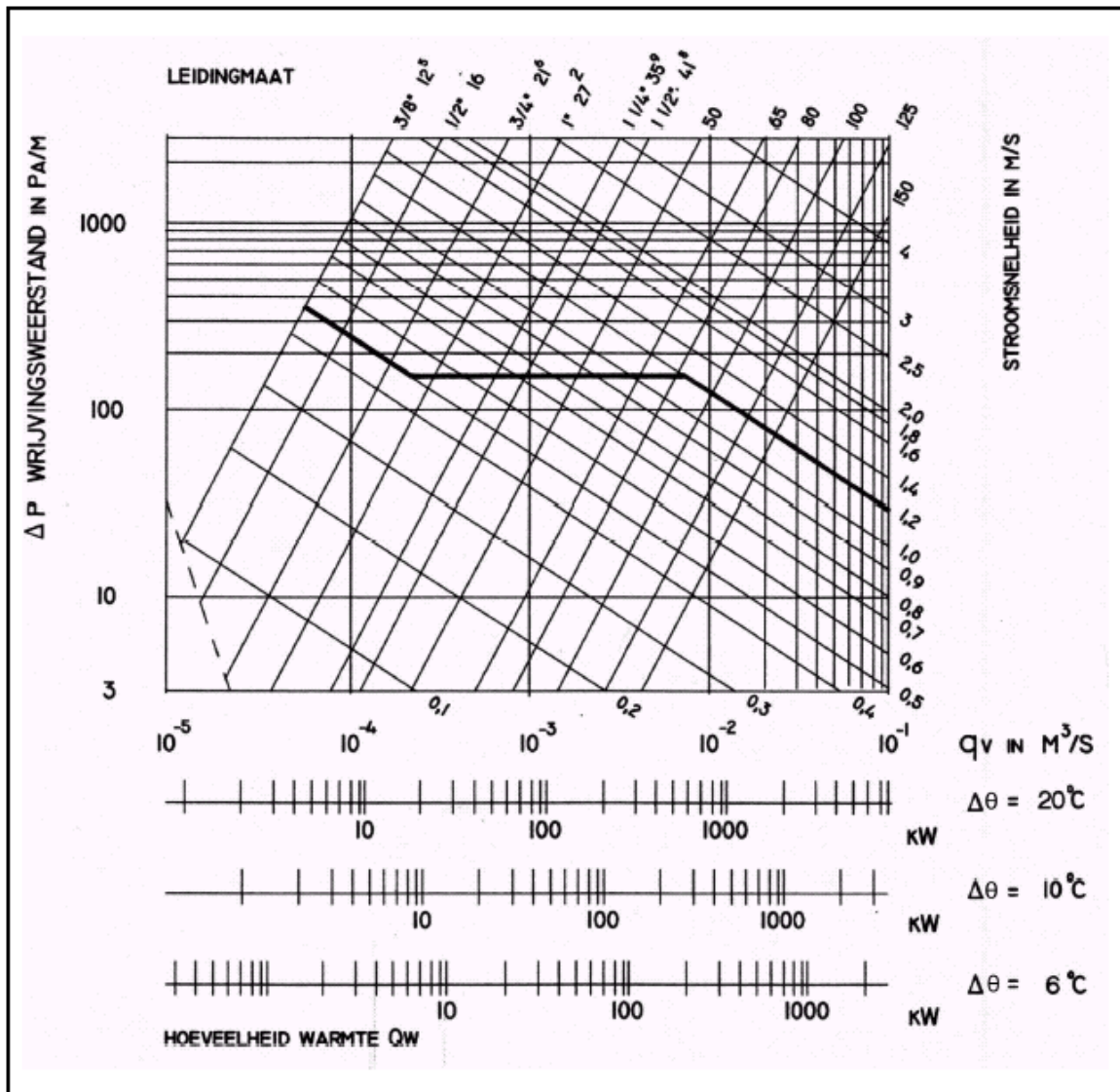
1.3 Dimensionering van verwarmings- en koelleidingen

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 $20 \text{ }^\circ\text{C}$ (aanvoer $90 \text{ }^\circ\text{C}$ en retour $70 \text{ }^\circ\text{C}$) 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}) m^3/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 debiet	verwarmings- en koelleidingen, afmetingen en inbouwhoogte								
	leiding			inbouw hoogte	verwarmings/koelvermogen				te verwarmen vloeroppervlakte bij 100 W/m ² en Δθ=20 °C
	diameter				bij Δθ van				
m ³ /s x10 ⁻³	nom. mm	inw. mm	uitw*) mm	mm	6 °C kW	10 °C kW	20 °C kW	40 °C 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

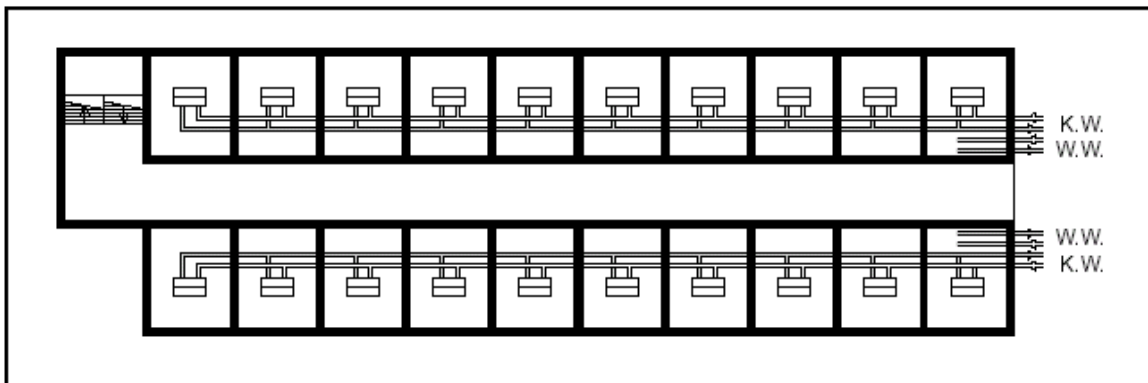
Voorbeeld: Via koelleidingen (een aanvoer- en een retourleiding) moet 0,0001 (10⁻⁴) m³/s worden getransporteerd. Uit de tabel blijkt dat voor dit debiet, afgerond naar boven, leidingen met een diameter van 20 mm nodig zijn.

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 Δθ=20°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.

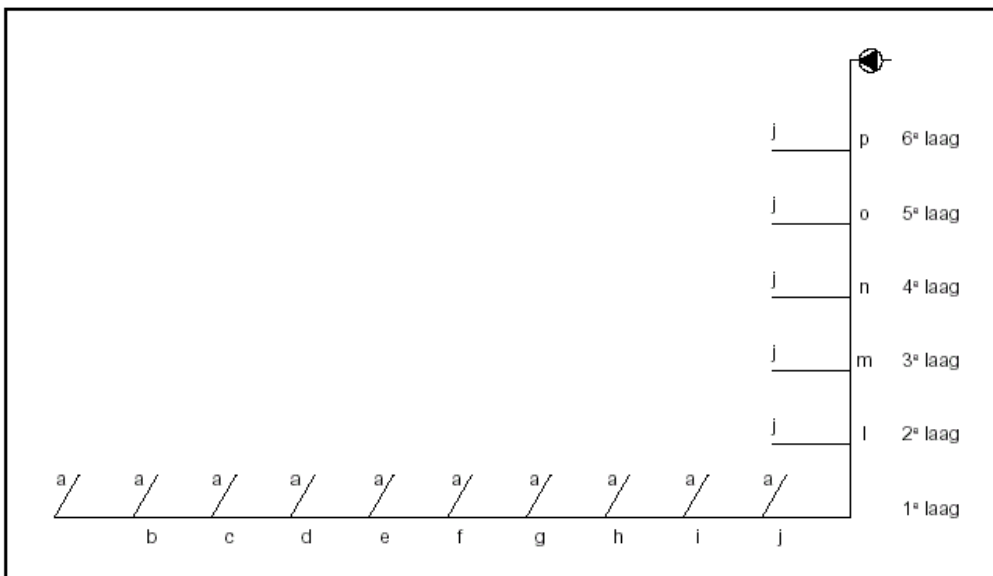


figuur 2 plattegrond kantoorvleugel met 4-pijps inductiesysteem

Per verdieping bevinden zich - aan weerszijde van een gang - twee maal tien vertrekken, elk met een vloeroppervlakte van 20 m². De netto ruimtehoogte is 2,7 m. De ontwerptemperatuur voor de winter is 20 °C, voor de zomer 25 °C. Elk vertrek heeft een warmtebehoefte van 2400 W (=120 W/m²) en een koelbehoefte van 1200 W (=60 W/m²). Op grond van de koelbehoefte wordt een 4-pijps inductiesysteem gekozen. Per vertrek wordt 120 m³/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 °C en in de zomer 25-17=8 °C. Als gevolg hiervan is het koelvermogen van de primaire lucht in winter en zomer respectievelijk:

$$\Phi_{k,prim,winter} = q_{v,prim} \cdot \rho \cdot c \cdot \Delta\theta = 120 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 3 / 3600 = 120 \text{ W en}$$

$$\Phi_{k,prim,zomer} = 120 \cdot 1,2 \cdot 1000 \cdot 8 / 3600 = 320 \text{ W}$$



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 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 leidinggedeelten te bepalen.

tabel 2 rekenvoorbeeld met 4-pijpsinductiesysteem

leiding-deel	aantal ruimten	vloeroppervlakte m ²	verwarming	nom. diameter	koeling	nom. diameter
			W	mm	W	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.