

ISSO-publicatie 17 Luchtkanaalsystemen in woningen en utiliteit

Kwaliteitseisen

Status

Actueel

Publicatiedatum

01-03-2022

Uitgever

ISSO

ISBN

978-90-5044-358-6

Taal

nl

Herkomst print

{ {date-of-print} }

Samenvatting

In deze publicatie is praktische kennis te vinden over de drukverliesberekening en het bepalen van de lekverliezen. Verder gaat de publicatie ook over alle aspecten die te maken hebben met montage, ophanging en oplevering van stelsels van luchtkanalen. Van ronde luchtkanalen, tot rechthoekige en ovale luchtkanalen van metaal en kunststof. In deze editie zijn eerder ontdekte fouten gecorrigeerd. Deze publicatie geeft een gestandaardiseerde drukverliesberekening voor luchtkanalensystemen. Dit gaat over de te hanteren berekeningsgrondslagen, en over de in rekening te brengen weerstandcoëfficiënten van hulpstukken en aanwezige apparatuur. Deze publicatie is een herziene versie van de oorspronkelijk in 1993 uitgegeven gelijknamige publicatie. Het belangrijkste verschil met de oude publicatie is de aansluiting op Europese normen en enige aanpassingen in het licht van de huidige inzichten en kennis. De versie uit 2022 bevat de errata die sinds 2010 zijn verschenen. Deze errata zijn ook los te downloaden van [ISSO.nl](https://www.issol.nl). [Klik hier voor een inkijkek exemplaar](https://issuu.com/stichtingisso/docs/publicatie_17-2022_issuu)

Inhoudsopgave: ISSO-publicatie 17 Luchtkanaalsystemen in woningen en utiliteit

- Algemeen deel
 - Samenvatting
 - Symbolenlijst
 - Begrippenlijst
 - 1 Inleiding
 - 1.1 Opzet publicatie
 - 2 Classificatie van luchtkanalen
 - 2.1 Algemeen
 - 2.2 Luchtdichtheidsklassen
 - 2.3 Lekluchthoeveelheid
 - 3 Standaardisatie van kanalen en hulstukken
 - 3.1 Ronde metalen kanalen
 - 3.1.1 Algemeen
 - 3.1.2 Afmetingen en toleranties
 - 3.1.3 Constructieve uitvoering
 - 3.1.4 Plaatkwaliteit en dikte
 - 3.1.5 Dwars- en langsverbindingen
 - 3.1.6 Borging
 - 3.1.7 Hulstukken
 - 3.1.7.1 Bochten
 - 3.1.7.2 Verloopstukken
 - 3.1.7.3 Aftakkingen
 - 3.1.7.4 Splitsingen
 - 3.2 Ronde kunststofkanalen
 - 3.2.1 Algemeen
 - 3.2.2 Afmetingen en toleranties
 - 3.2.3 Constructieve uitvoering
 - 3.2.4 Plaatkwaliteit en dikte
 - 3.2.5 Dwars- en langsverbindingen
 - 3.2.6 Borging
 - 3.2.7 Hulstukken
 - 3.2.7.1 Bochten
 - 3.2.7.2 Verloopstukken
 - 3.2.7.3 Aftakkingen en splitsingen
 - 3.3 Ovale metalen kanalen
 - 3.3.1 Algemeen
 - 3.3.2 Afmetingen en toleranties
 - 3.3.3 Constructieve uitvoering
 - 3.3.4 Plaatkwaliteit en dikte
 - 3.3.5 Dwars- en langsverbindingen
 - 3.3.6 Borging
 - 3.3.7 Hulstukken
 - 3.3.7.1 Bochten
 - 3.3.7.2 Verloopstukken
 - 3.3.7.3 Aftakkingen
 - 3.3.7.4 Sprongstukken
 - 3.4 Rechthoekige metalen kanalen
 - 3.4.1 Algemeen
 - 3.4.2 Afmetingen en toleranties
 - 3.4.3 Constructieve uitvoering
 - 3.4.4 Plaatkwaliteit en dikte
 - 3.4.5 Dwars- en langsverbindingen
 - 3.4.6 Borging
 - 3.4.7 Hulstukken
 - 3.4.7.1 Symmetrische bochten
 - 3.4.7.2 Verlopende bochten
 - 3.4.7.3 Verloopstukken
 - 3.4.7.4 Aftakkingen
 - 3.4.7.5 Splitsingen
 - 3.5 Rechthoekige kunststofkanalen
 - 3.5.1 Algemeen
 - 3.5.2 Afmetingen en toleranties
 - 3.5.3 Constructieve uitvoering
 - 3.5.4 Plaatkwaliteit en dikte
 - 3.5.5 Dwars- en langsverbindingen
 - 3.5.6 Borging
 - 3.5.7 Hulstukken
 - 3.5.7.1 Symmetrische bochten
 - 3.5.7.2 Verlopende bochten
 - 3.5.7.3 Verloopstukken
 - 3.5.7.4 Aftakkingen
 - 3.5.7.5 Splitsingen
 - 3.6 Rechthoekige kanalen van vezelplaat of hardschuim
 - 3.6.1 Algemeen
 - 3.6.2 Afmetingen en toleranties
 - 3.6.3 Constructieve uitvoering

- 3.6.4 Plaatkwaliteit en dikte
- 3.6.5 Dwars- en langsverbindingen
- 3.6.6 Borging
- 3.6.7 Hulpstukken
 - 3.6.7.1 Bochten
 - 3.6.7.2 Verlopen
 - 3.6.7.3 Aftakkingen
- 3.7 Flexibele metalen kanalen/slangen
 - 3.7.1 Algemeen
 - 3.7.2 Afmetingen en toleranties
 - 3.7.3 Constructieve uitvoering
 - 3.7.4 Plaatkwaliteit en dikte
 - 3.7.5 Dwars- en langsverbindingen
- 3.8 Flexibele kunststof slangen
 - 3.8.1 Algemeen
 - 3.8.2 Afmetingen en toleranties
 - 3.8.3 Constructieve uitvoering
 - 3.8.4 Plaatkwaliteit en dikte
 - 3.8.5 Dwars- en langsverbindingen
- 3.9 Textiele kanalen
 - 3.9.1 Algemeen
 - 3.9.2 Afmetingen en toleranties
 - 3.9.3 Constructieve uitvoering
 - 3.9.4 Dwars- en langsverbindingen
- 3.10 Het coaten van luchtkanalen
 - 3.10.1 Doel van het coaten
 - 3.10.2 Typen coating
- 4 Kwaliteit van het ontwerp
 - 4.1 Algemeen
 - 4.2 Ontwerpuitgangspunten
 - 4.3 Situering en uitvoering
 - 4.4 Werktekeningen
 - 4.5 Akoestische aspecten
- 5 Drukverliesberekening
 - 5.1 Berekeningsgrondslagen
 - 5.1.1 Algemeen
 - 5.1.2 Stroming van lucht
 - 5.1.3 Drukverlies in rechte kanalen
 - 5.1.4 Hydraulische diameter
 - 5.1.5 Drukverlies door plaatselijke weerstanden
 - 5.1.6 Drukverlies t.g.v. ventilatoropstelling
 - 5.1.7 Totaal drukverlies kanaalsysteem
 - 5.1.8 Eigenschappen van lucht
 - 5.2 Ontwerpmethoden
 - 5.2.1 Algemeen
 - 5.2.2 Methode van constante wrijving
 - 5.2.3 Methode van constante snelheid
 - 5.2.4 Methode van geleidelijke snelheidsreductie
 - 5.2.5 Methode van statische drukterugwinning
 - 5.2.6 Methode van gebalanceerd drukverlies
 - 5.2.7 Randvoorwaarden
 - 5.3 Drukverlies van hulpstukken
 - 5.3.1 Algemeen
 - 5.3.2 Drukverlies ronde hulpstukken
 - 5.3.2.1 Symmetrische gladde bochten
 - 5.3.2.2 Symmetrische gesegmenteerde bochten
 - 5.3.2.3 Symmetrische verloopstukken
 - 5.3.2.4 Asymmetrische verloopstukken
 - 5.3.2.5 Aftakkingen
 - 5.3.3 Drukverlies van rechthoekige hulpstukken
 - 5.3.3.1 Symmetrische ronde bochten
 - 5.3.3.2 Symmetrische verloopstukken
 - 5.3.3.3 Asymmetrische verloopstukken
 - 5.3.3.4 Aftakkingen
 - 5.3.4 Drukverlies van hulpstukken - rond op rechthoekig
 - 5.3.4.1 Symmetrische verloopstukken
 - 5.3.4.2 Asymmetrische verloopstukken
 - 5.3.4.3 Aftakkingen
 - 5.3.5 Drukverlies van ovale hulpstukken
 - 5.4 Ontwerpaanbevelingen
- 6 Ophanging en ondersteuning
 - 6.1 Algemeen
 - 6.1.1 Brandwerendheidseisen
 - 6.1.2 Corrosiebestendigheid ophangsystemen
 - 6.2 Horizontale kanalen
 - 6.2.1 Ronde luchtkanalen
 - 6.2.2 Rechthoekige luchtkanalen
 - 6.2.3 Ovale metalen luchtkanalen
 - 6.3 Verticale kanalen
 - 6.3.1 Ronde kanalen
 - 6.3.2 Rechthoekige kanalen
 - 6.3.3 Doorvoeringen

- 6.3.4 Flexibele verbindingen
- 7 Transport en opslag
 - 7.1 Algemeen
 - 7.2 Afhandeling
 - 7.3 Transport
 - 7.4 Opslag
 - 7.5 Montagecodering
- 8 Thermische isolatie
 - 8.1 Algemeen
 - 8.2 Toepassingsgebied
 - 8.3 Thermische berekeningen
 - 8.3.1 Warmteverlies door transmissie
 - 8.3.1.1 Ronde kanalen
 - 8.3.1.2 Rechthoekige kanalen
 - 8.3.1.3 Ovale kanalen
 - 8.3.2 Keuze van isolatiedikte
 - 8.4 Minerale wol
 - 8.4.1 Algemeen
 - 8.4.2 Uitvoeringsvormen
 - 8.4.3 Bevestiging op ronde kanalen
 - 8.4.4 Bevestiging op rechthoekige kanalen
 - 8.4.5 Afwerking
 - 8.4.6 Hulpschetsen
 - 8.4.7 Milieu- en gezondheidsaspecten van steen- en glaswol
 - 8.4.7.1 Algemeen
 - 8.4.7.2 Fabricage
 - 8.4.7.3 Verwerking
 - 8.5 Synthetisch schuimrubber
 - 8.5.1 Algemeen
 - 8.5.2 Bevestiging op ronde en ovale kanalen
 - 8.5.3 Bevestiging op rechthoekige kanalen
 - 8.5.4 Afwerking
 - 8.5.5 Hulpschetsen
- 9 Akoestische isolatie
 - 9.1 Algemeen
 - 9.2 Toepassingsgebied
 - 9.3 Akoestische berekeningen
 - 9.4 Akoestische isolatie
 - 9.4.1 Geluid via het kanalensysteem
 - 9.4.2 Geluidsabsorptie
 - 9.4.3 Geluidsisolatie
 - 9.4.4 Akoestische eigenschappen
 - 9.5 Inwendige isolatie
 - 9.5.1 Algemeen
 - 9.5.2 Glaswol
 - 9.5.3 Kunststofschuimen
 - 9.5.4 Bevestiging en afwerking
 - 9.6 Uitwendige isolatie
 - 9.6.1 Kunststof matten
 - 9.6.2 Ondreuningsmaterialen
 - 9.6.3 Sandwichconstructies
- 10 Dampdichte isolatie
 - 10.1 Algemeen
 - 10.2 Toepassingsgebied
 - 10.3 Materialen voor dampdichte isolatie
 - 10.4 Isolatiedikte/materiaaleigenschappen
 - 10.5 Montage/verwerking
 - 10.5.1 Ronde en ovale ventilatie-, lucht- en buitenluchtaanzuigkanalen
 - 10.5.2 Rechthoekige ventilatie-, lucht- en buitenluchtaanzuigkanalen
 - 10.5.3 Afwerking
- 11 Brandwerende isolatie/bekleding
 - 11.1 Algemeen
 - 11.2 Brandcompartimenten
 - 11.3 Rookcompartimenten
 - 11.4 Brandwerend isoleren van ronde en ovale luchtkanalen
 - 11.5 Brandwerend isoleren van rechthoekige luchtkanalen
 - 11.6 Ophanging brandwerend geïsoleerde luchtkanalen
 - 11.7 Brandwerende doorvoering
- 12 Realisatie
 - 12.1 Algemeen
 - 12.2 Corrosiebescherming
 - 12.3 Reinheid luchtkanalen
 - 12.4 Afdichtingmaterialen
 - 12.5 Brandwerendheid
 - 12.6 Montage van luchtkanalen
 - 12.7 Aansluiting op luchtbehandelingskast
 - 12.8 Aansluiting op luchtoramenten
 - 12.9 Aarding
- 13 Keuring en beproeving
 - 13.1 Algemeen
 - 13.2 Luchtdichtheidseisen
 - 13.3 Luchtdichtheidseisen voor luchtkanalen

- 13.4 Luchtdichtheidseisen voor het kanalensysteem
- 13.5 Luchtdichtheidseisen voor appendages
- 13.6 Beproevingsprocedure
 - 13.6.1 Beproeving van de luchtkanalen
 - 13.6.2 Beproeving van het kanalensysteem
 - 13.6.3 Beproeving van de apparatuur/appendages
 - 13.6.4 Meetopstelling en apparatuur
 - 13.6.5 Lektestrapport
- 13.7 Oplevering
- 13.8 Gebruikershandleiding
- 14 Identificatie
 - 14.1 Algemeen
 - 14.2 Luchtdichtheidsklasse
 - 14.3 Plaats
 - 14.4 Kleurcodes
 - 14.5 Stromingsrichting
 - 14.6 Overige aanduidingen
 - 14.7 Bevestiging
- 15 Beheer en onderhoud
 - 15.1 Algemeen
 - 15.2 Meetpunten en meetmethoden
 - 15.3 Inregelen
 - 15.4 Instructies
 - 15.5 Filters
 - 15.6 Inspectie en reiniging
- 16 MKK-structuur
 - 16.1 Opzet MKK
 - 16.1.1 Fases
 - 16.1.2 Kwaliteitbeheeraspecten
 - 16.1.3 Matrix
 - 16.2 Overzicht ingevulde cellen
 - 16.3 Celinhoud en specificatiebladen
 - 16.4 Opbouw specificatiebladen
- Literatuurlijst
- Colofon
- Specificatiebladen
 - I.0-1 Programma van eisen
 - I.0-2 Randvoorwaarden
 - I.2-1 Uitwisseling informatie
 - I.3-1 Lekdichtheid van kanalensysteem
 - I.3-2 Geluid van installaties
 - I.3-3 Energie
 - I.3-4 Brandveiligheid
 - I.3-5 Dampdichte isolatie
 - I.3-6 Thermische isolatie
 - I.4-1 Overzicht middelen programmafase
 - I.8-1 Rapportage
 - I.8-2 Vraagspecificatieblad kwaliteitseisen
 - I.8-3 Uitwisseling met architect/bouwer
 - II.0-1 Algemeen
 - II.2-1 Uitwisseling informatie
 - II.3-1 Drukverliesberekening
 - II.3-2 Thermische isolatie
 - II.3-3 Akoestische isolatie
 - II.3-4 Dampdichte isolatie
 - II.3-5 Brandveiligheid
 - II.3-6 Reinigbaarheid
 - II.3-7 Kanalenontwerp
 - II.3-8 Doorvoeren door dak en buitenwand
 - II.3-9 Ophanging en ondersteuning
 - II.3-10 Selectie van luchtkanalen
 - II.4-1 Overzicht middelen ontwerpfas
 - II.8-1 Rapportage
 - II.8-2 Vraagspecificatieblad kwaliteitsaspecten
 - III.0-1 Algemeen
 - III.2-1 Uitwisseling informatie
 - III.3-1 Luchtkanalen
 - III.3-2 Hulstukken
 - III.3-3 Ophanging/ondersteuning luchtkanalen
 - III.3-4 Inregelvoorzieningen
 - III.4-1 Overzicht middelen uitwerkingsfas
 - III.8-1 Rapportage
 - III.8-2 Vraagspecificatieblad kwaliteitsaspecten
 - IV.0-1 Algemeen
 - IV.2-1 Uitwisseling informatie
 - IV.3-1 Montage en installatietechnische eisen
 - IV.4-1 Overzicht middelen realisatiefas
 - IV.8-1 Rapportage
 - V.0-1 Algemeen
 - V.2-1 Uitwisseling informatie
 - V.3-1 Gebruik van het luchtkanaalsysteem
 - V.3-2 Onderhoud van het luchtkanaalsysteem

- V.4-1 Overzicht middelen beheerfase
- Bijlagen
 - Bijlage A Verbinden van kunststofkanalen
 - A.1 Lijmen van PVC
 - A.2 Lassen van PVC
 - A.3 Spiegellassen PE en PP
 - A.4 Electromoflassen PE
 - A.5 Extrusielassen PP en PE
 - A.6 PP Moflassen
 - Bijlage B Checklist eigenschappen isolatiematerialen
 - Bijlage C Thermische berekeningsgrondslagen
 - C.1 Thermische berekeningsgrondslagen
 - C.2 Warmteoverdracht door geleiding
 - C.3 Warmteoverdracht door convectie
 - C.3.1 Warmteoverdracht in kanaal
 - C.3.2 Warmteoverdracht om kanaal
 - C.4 Warmteoverdracht door straling
 - C.5 Stationair warmtetransport
 - C.6 Temperatuurverloop in constructie
 - Bijlage D Energieverlies per meter kanaal
 - Bijlage E Minimale isolatiedikte opdat de afkoeling/opwarming niet meer bedraagt dan 1,5 K
 - Bijlage F Achtergronden lekverlies
 - F.1 Theorie
 - F.2 Invloed op de energiebalans
 - Bijlage G Weerstandscōefficiēnten van hulpstukken
 - G.1 Ronde bochten ○
 - G.2 Uitwerking voor ronde bochten met $R/D = 1$ ○
 - G.3 Interactie bij twee ronde bochten met $R/D=1$ ○
 - G.4 Correctiefactor C_0 voor lengte stroomafwaarts bij ronde bochten ○
 - G.5 Gesegmenteerde bochten $\alpha = 90^\circ$ ○
 - G.6 Verloopstukken ○
 - G.7 Plotselinge diameterovergangen ○
 - G.8 Verzamelend T-stuk 45° (scherp) ○
 - G.9 Verzamelend T-stuk 60° (scherp) ○
 - G.10 Verzamelend T-stuk 90° (scherp) ○
 - G.11 Splitsend T-stuk 45° (scherp) ○
 - G.12 Splitsend T-stuk 60° (scherp) ○
 - G.13 Splitsend T-stuk 90° (scherp) ○
 - G.14 Verzamelend T-stuk 90° (afgerond $R = 0,1 \cdot D_1$) ○
 - G.15 Splitsend T-stuk 90° (afgerond $R = 0,1 \cdot D_1$) ○
 - G.16 Symmetrische broekstukken $A_1 = A_2 = A_3$ ○ [□]
 - G.17 Symmetrische broekstukken $A_1 = A_2 = 0,5 \cdot A_3$ ○ [□]
 - G.18 Verzamelend kruisstuk $A_1 = A_2 = A_3 = A_4$ (90° scherp) ○
 - G.19 Splitsend kruisstuk $A_1 = A_2 = A_3 = A_4$ (90° scherp) ○
 - G.20 Ronde bochten zonder leidchoopen □
 - G.21 Ronde bochten met leidchoopen □
 - G.22 Haakse bochten met eenvoudige airturns □
 - G.23 Verzamelend T-stuk 45° (scherp) □
 - G.24 Verzamelend T-stuk 60° (scherp) □
 - G.25 Verzamelend T-stuk 90° (scherp) □
 - G.26 Splitsend T-stuk 45° (scherp) □
 - G.27 Splitsend T-stuk 60° (scherp) □
 - G.28 Splitsend T-stuk 90° (scherp) □
 - G.29 Verzamelend T-stuk 90° (afgerond $R=0,1 \cdot D_1$) □
 - G.30 Splitsend T-stuk 90° (afgerond $R=0,1 \cdot D_1$) □
 - G.31 Verzamelend T-stuk $A_1 = A_2 = A_3$ (afschuining $S = 0$) □
 - G.32 Verzamelend T-stuk $A_1 = A_2 = A_3$ (afschuining $S = B/8$) □
 - G.33 Verzamelend T-stuk $A_1 = A_2 = A_3$ (afschuining $S = B/2$) □
 - G.34 Splitsend T-stuk $A_1 = A_2 = A_3$ (afschuining $S = 0$) □
 - G.35 Splitsend T-stuk $A_1 = A_2 = A_3$ (afschuining $S = b/8$) □
 - G.36 Splitsend T-stuk $A_1 = A_2 = A_3$ (afschuining $S = b/2$) □
 - G.37 Splitsend T-stuk $A_1 = A_2 = A_3$ (afschuining $S = b$) □
 - G.38 Verzamelende kanaalsplitsing 90° (stromend) □
 - G.39 Splitsende kanaalsplitsing 90° (stromend) □
 - G.40 Instortkanalen-woningbouw stromend eindstuk ○ - □
 - G.41 Instortkanalen-woningbouw lepe hoek ○ - □
 - G.42 Instortkanalen-woningbouw verloop ○ - □
 - G.43 Instortkanalen-woningbouw instortpot ○ - □
 - Bijlage H Weerstandscōefficiēnten van ventilatoropstelling
 - H.1 Ventilator uitblazend in plenum ○
 - H.2 Ventilator met enkelzijdige aanzuiging □
 - H.3 Ventilator met dubbelzijdige aanzuiging □
 - H.4 Ventilator met aanzuiging via bochtstuk ○
 - H.5 Ventilator met aanzuiging via verstek of segmentbocht ○
 - H.6 Ventilator met aanzuiging via bochtstuk □
 - H.7 Opstelling ventilatoren in ventilatorkamer □
 - H.8 Ventilator zonder uitlaatdiffusor □
 - H.9 Ventilator met asymmetrische uitlaatdiffusor □
 - H.10 Ventilator met piramidele uitlaatdiffusor □
 - H.11 Ventilator met symmetrische uitlaatdiffusor aangesloten op kanaalwerk □
 - H.12 Ventilator met asymmetrische uitlaatdiffusor aangesloten op kanaalwerk □
 - H.13 Ventilator met piramidele uitlaatdiffusor aangesloten op kanaalwerk □

- Bijlage I Optimaal kanaalontwerp volgens bouwman
 - I.1 Inleiding
 - I.2 Recht onvertakt kanaalstuk
 - I.3 Recht regelmatig vertakt kanaal
 - I.4 Regelmatisch vertakt kanalensysteem
 - I.5 Lay-out
 - I.6 Aanbevelingen
- Bijlage J Voorbeeld van luchtkanaalberekening

Algemeen deel

Samenvatting

Deze publicatie behandelt naast de drukverliesberekening en het bepalen van de lekverliezen ook alle aspecten met betrekking tot montage, ophanging en oplevering van stelsels van luchtkanalen. Dit betreft ronde luchtkanalen, rechthoekige en ovale luchtkanalen van metaal en kunststof.

BRL6000-10 'Ontwerpen en installeren van ventilatievoorzieningen van woningen' bevat de certificeringsregeling op grond waarvan installatiebedrijven hun klanten duidelijk kunnen maken dat zij ervoor zorgen dat het ontwerp, de uitwerking en de realisatie van het ventilatiesysteem in de woning(en) aan eenduidige kwaliteitseisen voldoet. Voor woningen is er ook de BRL8010 'Beoordelen van ventilatievoorzieningen van woningen' (Ventilatieprestatiekeuring).

Deze BRL biedt (installatie)bedrijven de mogelijkheid om de kwaliteit van gerealiseerde ventilatievoorzieningen van woningen onder certificatie te beoordelen.

Deze publicatie geeft een gestandaardiseerde drukverliesberekening voor luchtkanalensystemen. Dit betreft zowel de te hanteren berekeningsgrondslagen als de in rekening te brengen weerstandscoëfficiënten van hulpstukken en aanwezige apparatuur.

In deze publicatie wordt in principe uitgegaan van hulpstukken volgens LUCA. Voor deze gestandaardiseerde hulpstukken met een ronde en rechthoekige doorsnede worden weerstandscoëfficiënten gegeven. Voor zover hulpstukken niet zijn gestandaardiseerd is uitgegaan van een aantal door de kontaktgroep gekozen hulpstukken.

In verband met het gebruik van computers voor het uitvoeren van drukverliesberekeningen en een eenduidige interpretatie zijn zowel de natuurkundige eigenschappen van lucht als de weerstandscoëfficiënten van hulpstukken in formulevorm gegeven. Voor handberekeningen zijn de weerstandscoëfficiënten in tabelvorm gepresenteerd.

Het is wenselijk om het kanalenontwerp binnen de gestelde randvoorwaarden te optimaliseren, zodanig dat de som van de kosten voor afschrijving, onderhoud en energie een minimum bereikt. De problematiek van het optimaliseren komt in deze publicatie aan de orde.

Aan de hand van uitgewerkte rekenvoorbeelden van een kanalensysteem in de utiliteits- en woningbouw wordt de drukverliesberekening stap voor stap toegelicht, evenals de berekening van het optredende lekverlies.

Verder wordt in deze publicatie aandacht besteed aan een gestandaardiseerde berekeningsmethode voor de thermische isolatie van metalen luchtkanalen in gebouwen. De onderliggende berekeningsgrondslagen zijn voor de stationaire situatie uitgewerkt voor ronde kanalen. De keuze van de isolatiedikte kan, afhankelijk van de situatie, worden bepaald op grond van de volgende in tabelvorm uitgewerkte criteria:

1. Het voorkomen van oppervlaktecondensatie;
2. Het toelaatbare energieverlies per m kanaal;
3. De toelaatbare opwarming/afkoeling in het kanalensysteem;
4. Economische afweging op basis van minimale jaarlijkse kosten.

Deze publicatie is een herziene versie van de in 1993 uitgegeven gelijknamige publicatie. Het belangrijkste verschil met de oude publicatie is de aansluiting op Europese normen en enige aanpassingen in het licht van de huidige inzichten en kennis. In 2022 zijn de errata tot en met 2021 verwerkt.

Symbolenlijst

Symbol	Omschrijving	Enheid
a	(grootste) hoogte van kanaal [m]	[m]
b	(grootste) breedte van kanaal	[m]
c _p	soortelijke warmte	[kJ/(kg·K)]
d _h	hydraulische diameter	[m]
d _{is}	isolatiedikte	[m]
d _j	dikte van laag j	[m]
e	grondtal natuurlijke logaritme	[-]
f	lekvactor	[m ³ /(s·m ² ·Pa ^{0,65})]
g	versnelling van de zwaartekracht	[m/s ²]
h	warmteoverdrachtscoëfficiënt	[W/(m ² ·K)]
h _i	warmteoverdrachtscoëfficiënt binnenzijde	[W/(m ² ·K)]
h _u	warmteoverdrachtscoëfficiënt buitenzijde	[W/(m ² ·K)]
h _c	warmteoverdrachtscoëfficiënt voor convectie	[W/(m ² ·K)]
h _s	warmteoverdrachtscoëfficiënt voor straling	[W/(m ² ·K)]
i	aantal rechte kanaalstukken in de desbetreffende tak	[-]
j	aantal hulpstukken, appendages en apparaten in de desbetreffende tak	[-]
n	aantal lagen	[-]
P _b	luchtdruk	[kPa]
P ₀	luchtdruk op zeeniveau	[kPa]
P	statische druk	[Pa]
P _t	totale druk	[Pa]
q _v	volumestroom	[m ³ /s]
q _{vl}	lekluichhoeveelheid	[m ³ /(s·m ²)]
q'	lineaire warmtestroomdichtheid	[W/m]
v	gemiddelde luchtsnelheid	[m/s]
x	absolute vochtigheid	[kg/kg]
z	hoogte boven een gekozen referentieniveau	[m]
A	inwendige oppervlakte van dwarsdoorsnede	[m ²]
B	breedtegraad	[°]
C _s	constante van Sutherland	[K]
D	inwendige diameter van kanaal	[m]
D _{eq}	equivalente diameter	[m]
D _i	inwendige diameter van kanaal	[m]
D _u	uitwendige diameter van kanaal	[m]
H	hoogte boven zeeniveau	[m]
L	lengte van kanaal	[m]
O	omtrek van de dwarsdoorsnede	[m]
Q	warmteverlies door transmissie	[W]
Pr	kengetal van Prandtl (= 0,7 voor lucht)	[-]
R	thermische weerstand	[m ² ·K/W]
R'	lineaire weerstand van cilindrische laag	[m·K/W]
Re	kengetal van Reynolds, betrokken op kanaallucht	[-]
U'	lineaire warmteovergangscoëfficiënt	[W/(m·K)]
U _{A'}	lineaire warmteovergangscoëfficiënt deel A	[W/(m ² ·K)]
U _B	warmteovergangscoëfficiënt deel B	[W/(m ² ·K)]
η	dynamische viscositeit	[Pa·s]
η ₀	dynamische viscositeit bij 0 °C	[Pa·s]
λ	warmtegeleidingscoëfficiënt	[W/(m·K)]
λ	wrijvingsfactor	[-]
λ _{is}	warmtegeleidingscoëfficiënt van isolatielaag	[W/(m·K)]
λ _j	warmtegeleidingscoëfficiënt van laag j	[W/(m·K)]
λ _L	wrijvingsfactor bij laminaire stroming bij Re = 2300	[-]
λ _T	wrijvingsfactor bij turbulente stroming bij Re = 3500	[-]
ρ	soortelijke massa van kanaallucht	[kg/m ³]
υ	kinematische viscositeit van lucht	[m ² /s]
ζ ₀	weerstandscôefficiënt i.v.m. ventilatoropstelling	[-]
ΔP ₀	in gebouw te onderhouden over-/onderdruk	[Pa]
ΔP ₁	totale kanaalweerstand	[Pa]
ΔP ₂	uitstroomverlies	[Pa]
ΔP ₃	schoorsteeneffect	[Pa]
ΔP ₄	drukverlies t.g.v. ventilatoropstelling	[Pa]
ΔP _m	gemiddelde onder-/overdruk	[Pa]

Symbol	Omschrijving	eenheid
θ	luchttemperatuur	[°C]
θ_1	luchttemperatuur aan begin van kanaal	[°C]
θ_2	luchttemperatuur aan eind van kanaal	[°C]
θ_i	temperatuur van lucht in kanaal	[°C]
θ_0	temperatuur van de omgeving	[°C]
θ_{si}	oppervlaktetemperatuur aan binnenzijde	[°C]
θ_{su}	oppervlaktetemperatuur aan buitenzijde	[°C]
ΣL	lengte van rechte kanaalstukken	[m]
ΣL_{eq}	equivalente lengte van hulpstukken, appendages en apparaten	[m]

Begrippenlijst

Begrip	Omschrijving
Airturn	Schoopenrooster om lucht een hoek om te geleiden.
Binnencondities	Ontwerp binnenluchttemperatuur, luchtsnelheid en relatieve vochtigheid.
Buitencondities	Ontwerp buitenluchttemperatuur, relatieve vochtigheid en luchtsnelheid.
Binnenklimaat	Het complex van fysische factoren, veroorzaakt door het geheel van het gebouw zelf, de toegepaste bouwmaterialen, de voorzieningen in het gebouw en de daarin aangebrachte installaties.
Brandcompartiment	Een besloten gedeelte van een gebouw, bestemd als maximaal uitbreidingsgebied voor brand.
Component	Het in het kanalensysteem opgenomen onderdeel dat verband houdt met de conditionering van de lucht, het inregelen, de in- en uitstroming van de ruimten en de akoestische isolatie.
Drukverlies	Het bij de stroming van lucht in kanalen, hulpstukken en componenten tussen 2 punten optredende verschil aan totale druk als som van de statische en dynamische druk ($\frac{1}{2}\rho v^2$).
Equivalentie diameter	De aan kanalen met een rechthoekige of ovale doorsnede toe te kennen zodanige denkbeeldige diameter dat daarbij bij een gelijk blijvende snelheid van de lucht een gelijkblijvende weerstand per meter kanaal zou optreden.
Geluiddrukniveau (dB)	10 maal de 10-logaritme van de verhouding tussen het kwadraat van de geluiddruk en het kwadraat van de referentiegeluiddruk ($2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2$).
Hulpstuk	Het ten behoeve van het transport van lucht in het kanalensysteem opgenomen onderdeel dat de rechte kanaalstukken en/of componenten onderling verbindt.
Hydraulische diameter	Diameter van een luchtkanaal met een ronde doorsnede die hetzelfde drukverlies heeft bij gelijke luchtsnelheid en wrijvingsfactor als het beschouwde luchtkanaal met een rechthoekige doorsnede.
Installatiegeluid	Geluid afkomstig van de technische installaties in het gebouw.
Interactie	De beïnvloeding van de weerstandscoëfficiënt van een hulpstuk door op korte afstand voor of achter het hulpstuk in het kanalensysteem opgenomen andere hulpstukken of componenten.
Inspectieluik	Voorziening in luchtkanaal om na te kunnen gaan of kanalen vervuild zijn en die zo nodig gebruikt kan worden om kanalen te reinigen.
Instortkanaal	Luchtkanaal dat in de dekvloer in de betonmortel geplaatst wordt.
Leidschoep	Voorziening in luchtkanaal of appendage om luchtstroming te geleiden bij richtingsverandering.
Lekverlies	Ongewenst verlies van ventilatielucht bij het transport als gevolg van ondichtheden in kanalen, kanaalaansluitingen en opgenomen apparatuur.
Luchtkanaal	Component van het ventilatiesysteem, bedoeld voor het transport van lucht.
Ontwerpcondities	De gekozen binnen- en buitencondities die dienen als basis voor het ontwerp van een ventilatiesysteem.
Programma van Eisen	Document waarin behoeften, eisen en wensen en verwachtingen van een opdrachtgever en de gebruikers zijn verwoord. Het dient als communicatiemiddel tussen opdrachtgever, gebruikers en ontwerpende partijen, via een samenhangend geheel van activiteiten, gericht op het eenduidig en volledig verzamelen, bewerken, evalueren en overdragen van informatie op basis van uitgangspunten en voorwaarden.
Rookcompartiment	Een besloten gedeelte van een gebouw, bestemd als maximaal uitbreidingsgebied voor rook bij brand.
Rooster	Constructieve (en regelbare) voorziening voor het toevieren van verse lucht of het afvoeren van lucht rechtstreeks naar buiten (zonder ventilator). Meestal rechthoekig uitgevoerd.
Ventiel	Constructief en instelbaar einddeel van een luchtkanaal waardoor lucht gecontroleerd in een ruimte wordt toegevoerd of afgevoerd.
Ventilatie	De luchtvolumestroom die wordt teweeggebracht door speciaal daartoe aangebrachte ventilatievoorzieningen.
Volledig ontwikkelde stroming	De bij stationaire omstandigheden van de plaats in de lengterichting van het kanaal onafhankelijke toestand van de stroming.
Wandruwheid	De voor drukverliesberekeningen aan te houden karakteristieke ruwheidshoogte van de inwendige kanaalwand.
Weerstandscoëfficiënt	De aan een hulpstuk toe te kennen dimensielloze factor waarmee het drukverlies van een hulpstuk wordt berekend.
Wrijvingsfactor	De aan rechte kanalen toe te kennen dimensielloze factor waarmee het drukverlies van rechte kanalen wordt berekend.

1 Inleiding

Ontwikkelingen zowel in de bouw als in het gebruik en de indeling van gebouwen hebben geleid tot het toepassen van luchtkanalensystemen om in de noodzakelijke ventilatie te voorzien. In het verleden kwam de luchtverversing voornamelijk op natuurlijke wijze via bedoelde en onbedoelde openingen in de gevel tot stand onder invloed van de wind en temperatuurverschillen. Thans vormen in vrijwel alle moderne utiliteitsgebouwen mechanische ventilatiesystemen een geïntegreerd installatieonderdeel om de gewenste ventilatie onder beheerde omstandigheden te realiseren.

De toepassing van mechanische ventilatiesystemen is mede bevorderd door het in de loop der jaren verlagen van de verdiepingshoogte, het creëren van nieuwe indelingsvormen (kantoortuin) en het toenemen van de personenbezetting, waardoor natuurlijke ventilatie niet meer toereikend bleek om zonder klachten in de vereiste luchtverversing te voorzien. Daarnaast maakte de toegenomen warmtebelasting, als gevolg van de hogere bezettingsgraad, het toepassen van grotere glasvlakken, het toenemende gebruik van warmtedissiperende kantoorapparatuur, hogere verlichtingsniveaus en de toepassing van thermisch lichtere bouwkundige constructies, de afvoer van warmte en daarmee de introductie van luchtkanalensystemen in combinatie met centrale luchtbehandeling wenselijk. Daarmee was de integratie tussen ventilatie en koeling, hetzij natuurlijk, hetzij mechanisch, met gebruikmaking van luchtkanalen een feit.

De functie van een kanalensysteem is het toevoeren van geconditioneerde lucht in de juiste hoeveelheden vanaf het luchtbehandelingsapparaat naar de diverse ruimten en het afvoeren van de gebruikte lucht. Een kanalensysteem is opgebouwd uit rechte kanaalstukken met een ronde, rechthoekige of ovale doorsnede en hulpstukken, zoals bochten, verlopen, aftakkingen, die in combinatie met het luchtbehandelingsapparaat, kleppen, geluiddemper, luchtornamen e.d. één geïntegreerd geheel vormen met het bouwkundige concept. Deze integratie vraagt een zorgvuldig kanalenontwerp, waarbij rekening moet worden gehouden met:

1. De beschikbare ruimte;
2. Het toelaatbare geluidniveau;
3. De warmte- en lekverliezen;
4. De optredende drukverliezen;
5. De investeringskosten.

Het is wenselijk het kanalenontwerp binnen de gestelde randvoorwaarden te optimaliseren, zodanig dat de som van de jaarlijkse kosten voor afschrijving, onderhoud en energie een minimum bereikt. Het belang van optimalisatie van luchtkanalen wordt duidelijk als men bedenkt dat de investeringen in de orde van grootte van 30% van die voor de totale werktuigkundige installaties kunnen bedragen en dat het jaarlijkse elektriciteitsgebruik van de ventilatoren tot ca. 35% van het totale gebruik kan oplopen.

Een belangrijk onderdeel van de optimalisatieberekening is de bepaling van het drukverlies in het kanalensysteem en daarmee samenhangend het lekverlies en de voor het transport van de lucht benodigde energie. Een nauwkeurige drukverliesberekening, met name die voor de hulpstukken, is daarom een eerste vereiste.

Deze publicatie geeft een gestandaardiseerde drukverliesberekening voor luchtkanalen, waaraan in bestekken kan worden gerefereerd. Dit betreft zowel de te hanteren berekeningsgrondslagen als de in rekening te brengen weerstandscoëfficiënten van hulpstukken en apparatuur. Vanwege de eenduidige interpretatie zijn zowel de natuurkundige eigenschappen van lucht als de weerstandscoëfficiënten van hulpstukken en zo mogelijk bij apparatuur in formulevorm gegeven.

Kanalen en hulpstukken worden steeds in een vaste volgorde behandeld:

1. Ronde metalen kanalen;
2. Ronde kunststofkanalen;
3. Ovale metalen kanalen;
4. Rechthoekige metalen kanalen;
5. Rechthoekige kunststofkanalen;
6. Flexibele metalen slangen;
7. Flexibele kunststofslangen;
8. Textiele kanalen.

Een rekenvoorbeeld is in bijlage J opgenomen.

De functie van een luchtkanalensysteem is het toevoeren van geconditioneerde lucht in de juiste hoeveelheden met de juiste temperatuur en vochtigheid en het afvoeren van de gebruikte lucht, zonder dat hinder van tocht of geluid wordt ondervonden.

Om deze functie naar behoren te kunnen uitvoeren dient het voor het transport van de lucht benodigde kanalensysteem aan kwaliteitseisen te voldoen die in dit rapport zijn vastgelegd. Deze kwaliteitseisen sluiten aan op die welke zijn vermeld in het Luka Kwaliteitshandboek Luchtkanaalsystemen 2009 [21].

Verder is in deze publicatie een gestandaardiseerde berekeningsmethode voor de thermische isolatie opgenomen. Kort wordt ingegaan op akoestische aspecten. Voor het maken van akoestische berekeningen om te bepalen of bijvoorbeeld geluiddemper noodzakelijk zijn, wordt verwezen naar ISSO-publicatie 24 'Installatiegeluid' [7].

Bij toepassing van instortkanalen is overleg met de bouwer/architect in vroeg stadium noodzakelijk. Nagegaan moet worden of er voldoende ruimte is om de beoogde kanalen in de vloer onder te brengen. Het gaat bijvoorbeeld om vragen of de vloer voldoende dik is om een rond kanaal Ø 125 mm onder te brengen of dat een aantal kanalen van 220 · 80 mm de vloer niet te veel verzwakt. Ook moet nagegaan worden of er voldoende ruimte in de schacht aanwezig is om alle componenten (water, cv, sanitair en ventilatie en eventueel kanaal van de afzuigkap) in onder te brengen.

1.1 Opzet publicatie

De ISSO-publicatie bestaat uit twee delen:

1. Een beschrijvend deel;
2. Een set specificatiebladen volgens de MKK-structuur met kwaliteitseisen voor selectie, ontwerp, uitvoering en beheer. Bij verwijzingen in de tekst wordt dit weergegeven door SB XXX waarbij XXX het betreffende specificatieblad nummer is.

Voor het structureren van de informatie is gebruik gemaakt van het Model Kwaliteitsbeheersing Klimaatinstallaties, de zogenaamde MKK-structuur. Het MKK (Model Kwaliteitsbeheersing Klimaatinstallaties) is een instrument voor het beheersen van het voortbrengingsproces van klimaatinstallaties

en levert voor iedere fase van het proces de vereiste informatie aan partijen om een goede combinatie van een woning en het geselecteerde ventilatiesysteem te kunnen realiseren.

In de MKK-structuur wordt het realisatieproces verdeeld in 5 fasen:

I Programmafase

In de programmafase worden de eisen, wensen en verwachtingen met betrekking tot het ventilatiesysteem geïnventariseerd en beperkende randvoorwaarden geformuleerd. Van de keuze voor verschillende ventilatiesystemen worden de consequenties op hoofdlijnen zichtbaar gemaakt. Aan het eind van de programmafase heeft de opdrachtgever/architect /installatiedeskundige voldoende informatie om een voorlopige systeemkeuze te kunnen maken.

II Ontwerpfase

In de ontwerpfase worden op basis van de voorlopige systeemkeuze de voorzieningen voor de ventilatie van de woning door architect en installatiedeskundige uitgewerkt. Er vindt terugkoppeling met de uitgangspunten uit de programmafase plaats. Aan het eind van de ontwerpfase wordt een definitieve systeemkeuze gemaakt.

III Uitwerkingsfase (besteksfase)

In de uitwerkingsfase wordt het systeemontwerp tot in detail uitgewerkt.

IV Realisatiefase

In de realisatiefase wordt de installatie aangelegd en opgeleverd.

V Beheerfase

In de beheerfase wordt de woning in gebruik genomen. Onderhoudsvoorschriften en instructie van bewoners zijn aspecten die in de beheerfase van belang zijn.

Meer informatie over de MKK-structuur kan worden gevonden in hoofdstuk 16.

2 Classificatie van luchtkanalen

2.1 Algemeen

Voor het waarborgen van de kwaliteit van luchtkanalensystemen is het noodzakelijk dat er eisen worden gesteld aan de toe te passen materialen, de vormgeving, de maatvoering, de bevestiging, de stabiliteit, de afwerking, brandveiligheid en luchtdichtheid. Dit hoofdstuk gaat in op de luchtdichtheidseisen.

2.2 Luchtdichtheidsklassen

De kwaliteit van de luchtkanalen ten aanzien van de luchtdichtheid wordt vastgelegd in de luchtdichtheidsklassen A t/m D. Het toelaatbare statische drukverschil en de toelaatbare lekfactor van geïnstalleerde luchtkanalensystemen zijn gespecificeerd in:

1. Tabel 2.1 voor ronde en ovale metalen kanalen;
2. Tabel 2.2 voor rechthoekige metalen kanalen;
3. Tabel 2.3 voor flexibele ronde luchtkanalen.

Tabel 2.1 Luchtdichtheidsklassen voor ronde en ovale metalen luchtkanalensystemen [22]

Luchtdichtheidsklasse	Drukklasse	Toelaatbaar statisch drukverschil		Toelaatbare lekfactor f [m ³ /(s·m ² ·Pa ^{0.65})]
		Overdruk [Pa]	Onderdruk [Pa]	
A	1	500	500	0,027 · 10 ⁻³
B	2	1.000	750	0,009 · 10 ⁻³
C	3	2.000	750	0,003 · 10 ⁻³
D	3	2.000	750	0,001 · 10 ⁻³

Tabel 2.2 Luchtdichtheidsklassen voor rechthoekige metalen luchtkanalensystemen [23]

Luchtdichtheidsklasse	Toelaatbaar statisch drukverschil			Toelaatbare lekfactor f [m ³ /(s·m ² ·Pa ^{0.65})]	
	Overdruk [Pa]				
	Drukklasse 1	Drukklasse 2	Drukklasse 3		
A	400			200	0,027 · 10 ⁻³
B	400	1.000	2.000	500	0,009 · 10 ⁻³
C	400	1.000	2.000	750	0,003 · 10 ⁻³
D	400	1.000	2.000	750	0,001 · 10 ⁻³

Tabel 2.3 Luchtdichtheidsklassen voor flexibele ronde luchtkanalen [24]

Luchtdichtheidsklasse	Toelaatbaar statisch drukverschil			Toelaatbare lekfactor f [m ³ /(s·m ² ·Pa ^{0.65})]	
	Overdruk [Pa]				
	Drukklasse 1	Drukklasse 2	Drukklasse 3		
A		400		400	0,027 · 10 ⁻³
B	1.000			1.000	0,009 · 10 ⁻³
C	1.000			1.000	0,003 · 10 ⁻³

De eisen die aan de luchtdichtheid van luchtkanalen moeten worden gesteld hangen af van het toepassingsgebied. Tabel 2.4 geeft aanbevelingen voor de luchtdichtheidsklassen van luchtkanalensystemen.

Tabel 2.4 Aanbevolen luchtdichtheidseisen voor luchtkanalen

Luchtdichtheidsklasse	Voorbeelden van toepassingsgebied
A	Niet toepassen
B	Onder- en overdrukkanalen voor: 1. Garages; 2. Fabriekshallen; 3. Gymnastieklokalen; 4. Sporthallen, enz.; 5. Kantoren; 6. Vergaderruimten; 7. Laboratoria; 8. Collegezalen; 9. Ziekenhuizen, algemene ruimten; 10. Woningen.
C	Onder- en overdrukkanalen voor: 1. Kantoren; 2. Vergaderruimten; 3. Laboratoria; 4. Collegezalen; 5. Ziekenhuizen, algemene ruimten; 6. Woningen; 7. Stoofarme ruimten; 8. Ziekenhuizen, bijzondere ruimten.
D	Onder- en overdrukkanalen voor: 1. Kerncentrales; 2. Laboratoria; 3. Stralingsruimten; 4. Cleanrooms.

In principe dient men bij het ontwerp van een luchtkanalensysteem van vooroemde luchtdichtheidsklassen en bijbehorende lekfactoren uit te gaan, tenzij men andere gespecificeerde eisen overeenkomt.

Opmerking: Met ronde kanalen wordt makkelijker aan de luchtdichtheidseisen voldaan. Bij rechthoekige kanalen is de aansluiting tussen de verschillende delen moeilijker goed luchtdicht uit te voeren.

(Zie ook SB I.3-1).

2.3 Lekluchthoeveelheid

De toelaatbare hoeveelheid leklucht die per m² kanaalwandoppervlak mag ontwijken bij de desbetreffende luchtdichtheidsklasse heersende statische over- of onderdruk wordt berekend met formule 2.1:

$$q_{vl} = f \cdot \Delta p_m^{0.65} \quad [m^3/(s \cdot m^2)] \quad (2.1)$$

Waarin:

q_{vl}	=	lekluchthoeveelheid	$[m^3/(s \cdot m^2)]$
f	=	lekfactor	$[m^3/(s \cdot m^2 \cdot Pa^{0.65})]$
Δp_m	=	gemiddelde onder-/overdruk	$[Pa]$

De in de tabellen 2.1 t/m 2.3 vermelde lekfactor betreft een productieis, die betrekking heeft op het gerede **product**. De lekfactor is inclusief het lekverlies van de verbindingen en dat van de hulpsystemen. De daarvoor ontwikkelde beproefingsprocedure wordt beschreven in hoofdstuk 13 (keuring en beproeving). Hierin zijn tevens de eisen voor het gerealiseerde ontwerp van het kanalensysteem opgenomen en de wijze waarop dat in situ wordt beproefd.

3 Standaardisatie van kanalen en hulpstukken

Er zijn kanalen in vele maten en materialen te koop. In deze publicatie worden de volgende typen kanalen behandeld:

1. Ronde metalen kanalen;
2. Ronde kunststofkanalen;
3. Ovale metalen kanalen;
4. Rechthoekige metalen kanalen;
5. Rechthoekige kunststofkanalen;
6. Rechthoekige kanalen van vezelplaat of hardschuim;
7. Flexibele metalen slangen;
8. Flexibele kunststof slangen.

3.1 Ronde metalen kanalen

3.1.1 Algemeen

Ronde metalen luchtkanalen en de daarbij behorende hulpstukken kunnen in principe in iedere afmeting worden geleverd. Om redenen van economische en fabricage technische aard wordt het assortiment van zowel de rechte luchtkanalen als de hulpstukken beperkt tot die afmetingen die in de praktijk het meest worden toegepast. Hetzelfde geldt voor de constructiewijze en het type verbinding.

De ronde metalen luchtkanalen zijn leverbaar in:

1. Verzinkt staal;
2. Roestvast staal;
3. Aluminium.

Toepassing van de verschillende materialen

1. Verzinkt stalen kanalen worden in 't algemeen standaard toegepast als voor metalen kanalen gekozen is. Voor specifieke toepassingen worden soms andere materialen gebruikt (zie onderstaand);
2. Roestvast stalen kanalen hebben als eigenschap dat ze goed corrosiebestendig zijn. Ze worden vooral in de voedingsmiddelen industrie toegepast. Roestvast stalen kanalen (met uitzondering van RVS met werkstofnummer 1.4529) moeten niet gebruikt worden in omgevingen met chloor zoals bijvoorbeeld zwembaden (zie ook 6.1.2);
3. Aluminium wordt toegepast in de procesindustrie of bij kanalen waar men later niet meer bij kan (bijvoorbeeld achter een voorzetwand). Let op: contact met kalkhoudende bouwmaterialen moet worden vermeden om sterke corrosie van het aluminium kanaal te voorkomen.

3.1.2 Afmetingen en toleranties

Voor de diameters van ronde kanalen van verzinkt staal, roestvast staal en aluminium wordt de reeks volgens NEN-EN 1506 [25] aanbevolen met een verhouding van 1,25 tussen de opvolgende inwendige diameters (R10-reeks). De gestandaardiseerde diameters zijn: 63, 80, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1.000 en 1.250 mm.

Aanvullend zijn de volgende diameters leverbaar: 150, 300, 355, 450, 560, 710, 900 en 1.120 mm. De aanvullende diameters, zijn met uitzondering van 150 en 300 mm, gebaseerd op de R20-reeks met een verhouding tussen de opvolgende diameters van 1,125.

De luchtkanalen worden standaard geleverd in lengten (L) van 3.000 of 6.000 mm met een tolerantie van $\pm 0,005 \cdot L$. Uit technische overwegingen wordt de lengte in principe niet kleiner uitgevoerd dan de diameter van het kanaal met een minimum lengte van 300 mm.

De gestandaardiseerde afmetingen en de gehanteerde toleranties zijn in tabel 3.1 weergegeven.

Tabel 3.1 Gestandaardiseerde afmetingen en toleranties bij ronde metalen kanalen¹⁾

Kanaaldiameter (inwendig) [mm]	Rechte kanalen			Hulpstukken
	Oppervlakte dwarsdoorsnede [m ²]	Oppervlakte omtrek [m ² /m]	Tolerantie [mm]	Tolerantie [mm]
63	0,00312	0,197	-0,0 / +0,5	-0,7 / -1,2
80	0,00503	0,251	-0,0 / +0,5	-0,7 / -1,2
100	0,00785	0,314	-0,0 / +0,5	-0,7 / -1,2
125	0,0123	0,393	-0,0 / +0,5	-0,7 / -1,2
(150)	0,0177	0,471	-0,0 / +0,6	-0,7 / -1,3
160	0,0201	0,502	-0,0 / +0,6	-0,7 / -1,3
200	0,0314	0,628	-0,0 / +0,7	-0,0 / +0,7
250	0,0491	0,785	-0,0 / +0,8	-0,7 / -1,5
(300)	0,0707	0,943	-0,0 / +0,9	-0,7 / -1,6
315	0,0779	0,990	-0,0 / +0,9	-0,7 / -1,6
(355)	0,0989	1,11	-0,0 / +1,0	-0,7 / -1,7
400	0,126	1,26	-0,0 / +1,0	-0,7 / -1,7
(450)	0,159	1,41	-0,0 / +1,1	-0,7 / -1,8
500	0,196	1,57	-0,0 / +1,1	-0,7 / -1,8
(560)	0,246	1,76	-0,0 / +1,2	-0,7 / -1,9
630	0,312	1,98	-0,0 / +1,2	-0,7 / -1,8
(710)	0,396	2,23	-0,0 / +1,5	-0,7 / -2,0
800	0,503	2,51	-0,0 / +1,6	-0,7 / -2,0
(900)	0,636	2,83	-0,0 / +2,0	-0,7 / -2,1
1.000	0,785	3,14	-0,0 / +2,0	-0,7 / -2,1
(1.120)	0,985	3,52	-0,0 / +2,5	-0,7 / -2,2
1.250	1,23	3,93	3,93	-0,7 / -2,2

1) Betreft kanalen van verzinkt staal, roestvast staal en aluminium.

De tussen haakjes aangegeven diameters zijn niet standaard.

Instortkanalen

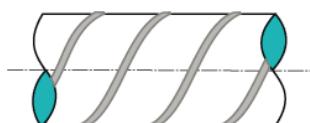
Ten behoeve van de woningbouw worden ronde instortkanalen van verzinkt staal toegepast met de volgende diameters: 80, 100, 125, 150 160, 180 en 200 mm. De hiervoor bestemde bochten wordt als plooiboot uitgevoerd met hoeken van: 15°, 30°, 45°, 60° en 90° [21].

3.1.3 Constructieve uitvoering

Ronde metalen luchtkanalen worden uitgevoerd als:

1. Spiraalgefist kanaal;
2. Kanaal met langsnaad.

De voor spiraalgefiste kanalen gebruikelijke verbindingen bieden het kanaal voldoende stijfheid, terwijl deze eveneens, zelfs zonder toevoeging van kit, geschikt zijn om in alle drukklassen te worden toegepast. De vereiste plaatdikte is afhankelijk van de diameter en niet van de statische druk (zie tabel 3.2).



Afb. 3.1 Spiraalgefist kanaal



Afb. 3.2 Kanaal met langsnaad

Kanalen met langsnaad worden uitgevoerd met een felsnaad, voorzien van kit, of met een lasnaad in de vorm van een punt- of continue las. Deze uitvoering is ten opzichte van het spiraalgefiste kanaal minder stijf, zodat de vereiste plaatdikte behalve van de diameter ook van de statische druk afhangt.

Toepassingen:

1. Stofafzuiging;
2. Cleanrooms.

3.1.4 Plaatkwaliteit en dikte

Verzinkt stalen kanalen

Voor het vervaardigen van ronde verzinkte luchtkanalen wordt plaatstaal toegepast in de kwaliteit DX51 DZ 275 MAC met een tweezijdige zinklaag volgens het sendzimir-procéde aangebracht, met een laagdikte van 275 g/m² tweezijdig volgens de drievlakkenproef gemeten. De plaat- en zinkkwaliteit zijn conform NEN-EN 10143 [32], de toleranties conform NEN-EN 10146 [31].

De ronde kanalen en hulpstukken van verzinkt staal worden uitgevoerd in een plaatdikte die afhankelijk is van de diameter en fabricagegewijze zoals in tabel 3.2 is gespecificeerd.

Tabel 3.2 Minimale plaatdikte in mm bij ronde kanalen van verzinkt staal

Kanaaldiameter (inwendig) [mm]	Recht kanaal spiraalgefist	Hulpstukken
63	0,4	0,5
80	0,4	0,5
100	0,4	0,5
125	0,4	0,5
(150)	0,4	0,5
160	0,5	0,5
200	0,5	0,5
250	0,5	0,5
(300)	0,6	0,6
315	0,6	0,6
(355)	0,6	0,6
400	0,6	0,6
(450)	0,6	0,7
500	0,6	0,7
(560)	0,8	0,7
630	0,8	0,7
(710)	0,8	0,7
800	0,8	0,7
(900)	1,0	0,9
1.000	1,0	0,9
(1.120)	1,0	0,9
1.250	1,0	0,9

De plaatdikte is inclusief de zinklaag.

Roestvast stalen kanalen

Voor het vervaardigen van ronde roestvaste luchtkanalen wordt plaatstaal toegepast in de kwaliteit X 5 CrNi-18-10-14301 volgens NEN-EN 10088 (AISI 304) [33].

Voor specifieke toepassingen kan roestvast staal in de kwaliteit X 5 CrNi-18-10-14404 volgens NEN-EN 10088-2 (AISI 316) [34] worden toegepast (voor zwembaden zie 6.1.2).

De ronde kanalen en hulpstukken van roestvast staal worden uitgevoerd in een plaatdikte die afhankelijk is van de diameter en fabricagewijze zoals in tabel 3.3 is gespecificeerd.

Tabel 3.3 Minimale plaatdikte in mm bij ronde kanalen van roestvast staal

Kanaaldiameter (inwendig) [mm]	Recht kanaal spiraalgefist	Hulpstukken
63	0,5	0,6
80	0,5	0,6
100	0,5	0,6
125	0,5	0,6
(150)	0,5	0,6
160	0,5	0,6
200	0,5	0,6
250	0,5	0,6
(300)	0,5	0,6
315	0,6	0,6
(355)	0,6	0,6
400	0,6	0,6
(450)	0,6	0,6
500	0,6	0,6
(560)	0,6	0,6
630	0,6	0,6
(710)	0,7	0,6
800	0,7	0,6
(900)	0,7	0,6
1.000	0,7	0,6
(1.120)	0,7	0,6
1.250	0,7	0,6

Aluminium kanalen

Voor het vervaardigen van ronde aluminium luchtkanalen wordt plaatmateriaal toegepast in de kwaliteit Al Mg3-EN AW 5754 Mill Finisch volgens NEN-EN 485-1 [35].

De ronde kanalen en hulpstukken van aluminium worden uitgevoerd in een plaatdikte die afhankelijk is van de diameter en fabricagewijze zoals in tabel 3.4 is gespecificeerd.

Tabel 3.4 Minimale plaatdikte in mm bij ronde kanalen van aluminium

Kanaaldiameter (inwendig) [mm]	Recht kanaal spiraalgefist	Hulpstukken
63	0,5	0,5
80	0,5	0,5
100	0,5	0,5
125	0,5	0,5
(150)	0,5	0,5
160	0,5	0,5
200	0,7	0,7
250	0,7	0,7
(300)	0,7	0,7
315	0,7	0,7
(355)	1,0	1,0
400	1,0	1,0
(450)	1,0	1,0
500	1,0	1,0
(560)	1,0	1,0
630	1,0	1,0
(710)	1,0	1,0
800	1,0	1,0
(900)	1,0	1,0
1.000	1,0	1,0
(1.120)	1,0	1,0
1.250	1,0	1,0

3.1.5 Dwars- en langsverbindingen

Verzinkte metalen kanalen

De spiraalgefiste kanalen worden uit verzinkte bandplaat vervaardigd dat door middel van een vlakke felsverbinding wordt verbonden, waarbij voldoende stijfheid en luchtdichtheid wordt verkregen.

Voor zowel de dwars- als de langsverbindingen wordt in de praktijk een groot aantal typen van verbindingen toegepast, waarvan de uitvoering en toepassing in tabel 3.5 zijn weergegeven.

Tabel 3.5 Dwars- en langsverbindingen bij ronde kanalen

Uitvoering	Toepassing	
	Dwarsverbindingen	Langsverbindingen
Demontabel	Flensverbinding Klembandverbinding	-
Niet demontabel	Lasverbinding Insteekverbinding Flexibele verbinding Krimpbandverbinding	Lasverbinding Felsnaadverbinding

Van praktisch belang zijn vooral de insteekverbindingen, waarvan de meest voorkomende typen in tabel 3.6 zijn samengevat onder vermelding van het toepassingsgebied [25].

Het verdient aanbeveling deze verbindingen met mastiek of chemische tape (reactief kleefband) af te werken, nadat de kanalen stof- en vettvrij zijn gemaakt.

Tabel 3.6 Insteekverbindingen bij ronde kanalen

Toepassing	Benaming	Uitvoering	Toepassingsgebied	
			Max. diameter	Drukklasse
Kanaaleinde	Vlak einde			
	Met losse flens		1.250 mm	1, 2, 3
	Met geïntegreerde flens			
Hulpstukken	Vlak einde			
	Met stootrand			
	Met flens		1.250 mm	1, 2, 3
	Met enkele afdichting			
	Met dubbele afdichting			
Connector	Mof			
	Met enkele afdichting		1.250 mm	1, 2, 3
	Met dubbele afdichting			

Opmerking: Tabel 3.6 geeft aan welke verbinding geschikt is voor welke drukklasse. Daarmee is nog niet vastgelegd wat het specifieke lekverlies van de verbindingen is. Aangezien deze gegevens niet beschikbaar zijn wordt ervan uitgegaan dat in de lekfactor voor de luchtkanalen eveneens het lekverlies van de (dwars)verbindingen is verdisconteerd.

De insteekverbindingen volgens tabel 3.6 dienen met een minimale insteeklengte volgens tabel 3.7 te worden aangebracht.

Tabel 3.7 Minimale insteeklengte bij insteekverbindingen

Kanaaldiameter (inwendig) [mm]	Insteeklengte [mm]
63 t/m 315	≥ 25
315 t/m 800	≥ 50
800 t/m 1.250	≥ 100

Verbindingen die zijn vastgezet door middel van zelftappende schroeven (zelfborende parkers) worden bij toe- en afvoerkanalen op verschillende manieren afgewerkt.

Bij toekoorkanalen:

1. Tape met synthetische rubbermassa (zelfvulkaniserende krimpband);
2. Versterkte PE tape met acrylische lijm massa;
3. Twee componentenband.

Bij afvoorkanalen:

1. PVC-tape;
2. Aluminiumtape;
3. Linnentape.

De genoemde tapes dienen volgens de voorschriften van de tapeleverancier te worden aangebracht.

Bij het gebruik van insteekverbindingen, voorzien van een rubber afdichting, blijft bij eenmalige montage de afwerking met tape normaliter achterwege.

3.1.6 Borging

Voor de bevestiging en borging van de rechte plaatstalen kanalen, aan elkaar of aan hulpstukken, worden de volgende middelen toegepast:

1. Popnagels;
2. Puntlassen;
3. Bouten en moeren;
4. Zelftappende schroeven.

Bovengenoemde bevestigingsmiddelen dienen door galvaniseren, sherardiseren of volgens een andere methode tegen corrosie te zijn beschermd. Popnagels mogen alleen worden gebruikt in afgedichte uitvoering. Alle door de bevestigingsmiddelen veroorzaakte gaten in de kanaalwand dienen in principe te worden afgedicht, tenzij afdoende aanvullende maatregelen zijn genomen (zie par. 12.4).

Opmerking: Bouten, moeren en zelftappende schroeven worden om de volgende redenen afgeraden:

1. Het reinigen van de luchtkanalen wordt moeilijker: zij vormen lokale verontreinigingsbronnen;
2. Geluidshinder.

Voor de minimale afstand (steek) tussen de bevestigingspunten moet men de waarden volgens tabel 3.8 aanhouden.

Tabel 3.8 Minimale steek in mm

Bevestiging d.m.v.	Dwarsverbinding	Langsverbinding ¹⁾
Popnagels	300 ²⁾	150
Puntlassen	-	150
Bouten en moeren	-	300
Zelftappende schroeven	300 ²⁾	300

1) Betreft alleen kanalen met langsnaad.

2) Minimaal aantal bevestigingen bedraagt 3.

Bij toepassing van zelftappende schroeven moeten de minimale afmetingen volgens tabel 3.9 worden aangehouden.

Tabel 3.9 Minimale afmetingen van zelftappende schroeven

Kanaaldiameter (inwendig) [mm]	Diameter x lengte [mm]
t/m 630	4,2 x 9,5
boven 630	4,8 x 13

De schroeven moeten zijn verzinkt met een minimale laagdikte van 25 µm.

Let op: Bij toepassing van roestvast stalen kanalen moeten ook roestvaste schroeven gebruikt worden.

Neem de zelftappende schroeven niet te lang. Risico's van te lange schroeven zijn:

1. Kans op stromingsgeluid;
2. Kans op vervuiling rond de doorstekende delen;
3. Toegankelijkheid van kanalen wordt beperkt;
4. Reinigbaarheid wordt beperkt/reiniging wordt onmogelijk.

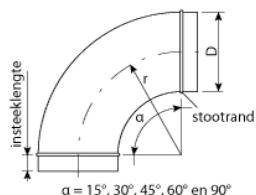
3.1.7 Hulpstukken

De volgende hulpstukken zijn gestandaardiseerd:

1. Bochten;
2. Verloopstukken;
3. Aftakkingen;
4. Splitsingen.

3.1.7.1 Bochten

De bochten worden symmetrisch (met constante doorsnede) en glad uitgevoerd met een straal, gemeten over het hart van de bocht, gelijk aan de diameter ($R = D$), met uitzondering van de diameters 63 en 80 mm, waarvan de straal 100 mm is.

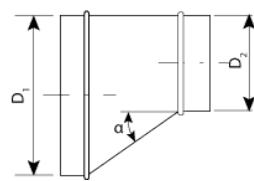
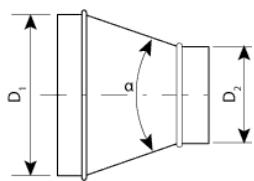


Afb. 3.3 Symmetrische gladde bocht

Standaard worden de bochten uitgevoerd met hoeken van 15°, 30°, 45°, 60° en 90°, in geperste of gesegmenteerde uitvoering met een tolerantie van ± 2°. De segmentbochten met een hoek ≥ 45° bestaan uit 3 segmenten.

3.1.7.2 Verloopstukken

Verloopstukken kunnen zowel symmetrisch als asymmetrisch worden uitgevoerd, met een tophoek van minimaal 15° en maximaal 60°. Voor geperste verloopstukken mag de tophoek maximaal 90° zijn.



Afb. 3.4 Verloopstukken

Standaard worden symmetrische verloopstukken toegepast, waarvan de diametercombinaties volgens tabel 3.10 beschikbaar zijn [25].

Tabel 3.10 Standaard (inwendige) diametercombinaties bij symmetrische ronde verloopstukken

D1 [mm]	D2 [mm]																				
	63	80	100	125	(150)	160	200	250	(300)	315	(355)	400	(450)	500	(560)	630	(710)	800	(900)	1.000	(1.120)
80	S																				
100	S	S																			
125	S	S	S																		
(150)		A	A	A																	
160		S	S	S	A																
200			S	S	A	S															
250				S	A	S	S														
(300)					A	A	A	A													
315						S	S	S													
(355)							A	A	A	A											
400							S	A	S	A											
(450)								A	A	A	A										
500									A	S	A										
(560)										A	A	A									
630										A	S	A									
(710)											A	A	A								
800											A	S	A								
(900)												A	A	A							
1.000												S	S	A							
(1.120)													A	A	A						
1.250													A	S							

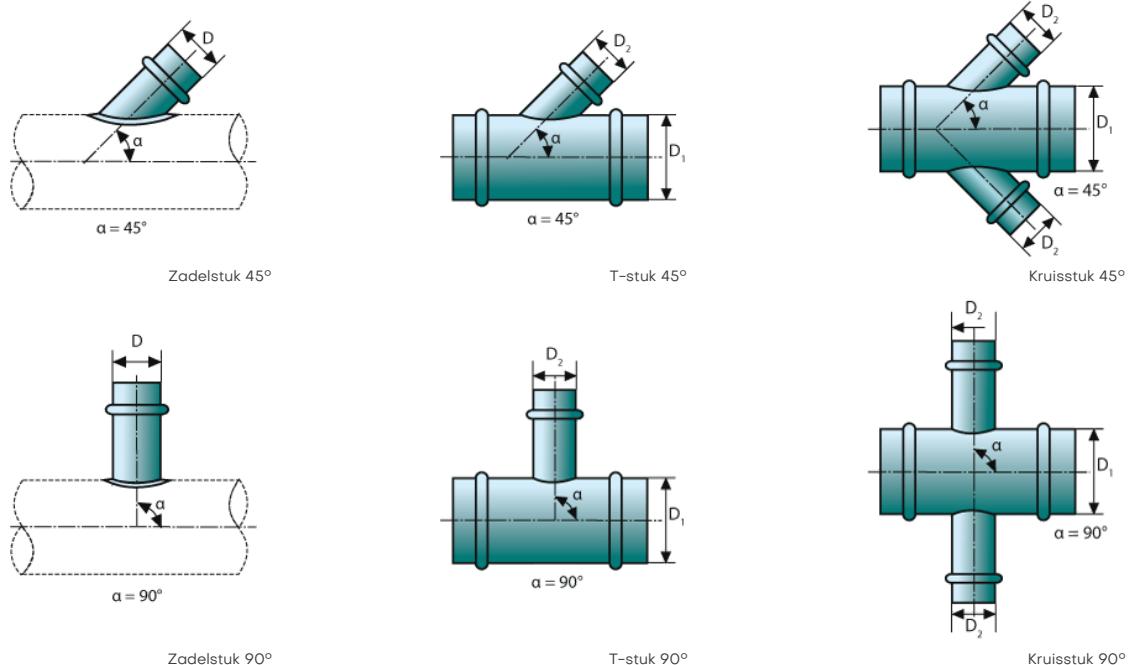
S = standaard
A = aanvullend

3.1.7.3 Aftakkingen

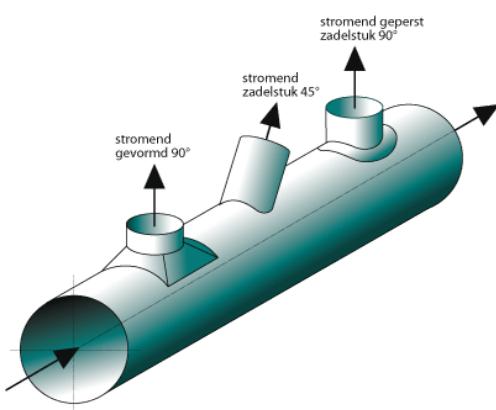
Aftakkingen van een doorgaand hoofdkanaal worden standaard geleverd met hoeken van 45° en 90° in de vorm van:

1. Zadelstuk, in combinatie met een recht kanaal;
2. T-stuk, als compleet hulpstuk;
3. Kruisstuk, als compleet hulpstuk.

De aftakkingen zijn er in de volgende uitvoeringsvormen (zie afbeelding 3.5 voor verzinkt stalen kanalen en afbeelding 3.6 voor roestvast stalen kanalen).



Afb. 3.5 Aftakkingen bij ronde verzinkt stalen kanalen



Afb. 3.6 Aftakkingen bij roestvast stalen kanalen

Standaard zijn voor T-stukken en zadelstukken de diametercombinaties beschikbaar volgens tabel 3.11 [25].

Tabel 3.11 Standaard (inwendige) diametercombinaties bij T-stukken en zadelstukken bij ronde kanalen

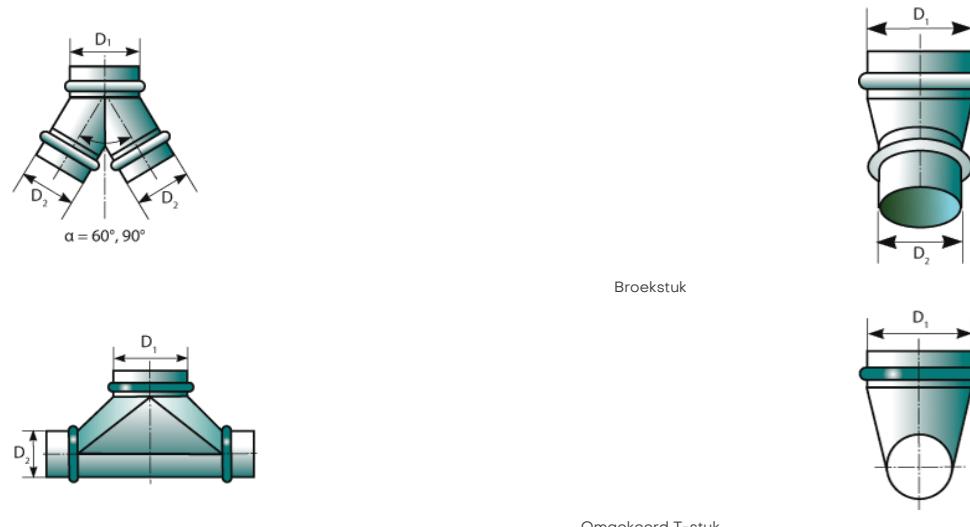
D1 [mm]	D2 [mm]																				
	63	80	100	125	(150)	160	200	250	(300)	315	(355)	400	(450)	500	(560)	630	(710)	800	(900)	1.000	(1.120)
80	S																				
100	S	S																			
125	S	S	S																		
(150)	A	A	A																		
160	S	S	S	A	S																
200	S	S	S	A	S	S															
250	S	S	S	A	S	S	S														
(300)	A	A	A	A	A	A	A														
315	S	S	A	S	S	S	A	S													
(355)					A	A	A	A	A	A	A										
400					S	S	S	A	S	A	S										
(450)						A	A	A	A	A	A	A	A								
500						S	S	A	S	A	S	A	S								
(560)							A	A	A	A	A	A	A	A							
630							S	A	S	A	A	A	S	A	S						
(710)								A	A	A	A	A	A	A	A						
800								S	A	S	A	S	A	S	A	S					
(900)									A	A	A	A	A	A	A	A					
1.000									S	A	S	A	S	A	S	A	S				
(1.120)										A	A	A	A	A	A	A	A	A			
1.250										S	A	A	A	S	A	S	A	S			

S = standaard
A = aanvullend

3.1.7.4 Splitsingen

Een splitsing van een hoofdkanaal in twee doorgaande kanalen wordt standaard uitgevoerd door middel van:

1. Broekstuk, onder hoeken van 60° of 90° ;
2. Omgekeerd T-stuk, onder een hoek van 180° .



Afb. 3.7 Splitsingen bij ronde kanalen

Het gebruik van in het werk vervaardigde hulpstukken wordt afgeraden.

3.2 Ronde kunststofkanalen

3.2.1 Algemeen

Kunststof luchtkanalen zijn duurzaam en betrouwbaar. De volgende kunststoffen komen in aanmerking voor de realisatie van luchtkanalen: PVC, PVC-C, HDPE, PP en PP-S.

Deze kunststoffen zijn chemisch- en corrosiebestendig. Hierdoor komen ze ook in aanmerking voor de afzuiging van agressieve dampen en stoom. Ze zijn bovendien onderhoudsvrij en garanderen een lange levensduur.

Voor het vervaardigen van ronde kunststof luchtkanalen worden verschillende kunststoffen toegepast.

PVC

PVC is uitermate geschikt voor corrosieve en agressieve omstandigheden. De PVC luchtkanalen hebben een grijze kleur volgens RAL 7011. De verwerking geschiedt door middel van lijmen of draadlassen. De maximale bedrijfstemperatuur bedraagt 60°C .

PVC-C

PVC-C heeft een hogere chemische bestendigheid en een betere temperatuurweerstand dan PVC. De verwerking gebeurt meestal door middel van lijmen. De maximale bedrijfstemperatuur bedraagt 90 °C.

HDPE

HDPE is een inert materiaal dat goed bestand is tegen abrasieve en corrosieve stoffen. Het materiaal heeft een zeer glad oppervlak en is vrij slagvast. De verwerking gebeurt door middel van lassen. De maximale bedrijfstemperatuur bedraagt 70 °C.

PP en PP-S

De industrieel gebruikte PP-buis wordt geleverd in een lichtgrijze-beige kleur RAL 7032. Dunwandige PP-buizen worden toegepast voor lage druk ventilatiesystemen. De maximale bedrijfstemperatuur bedraagt 100 °C.

PP-S is een moeilijk ontvlambaar polypropyleen met zelfdovende eigenschappen. De buizen hebben een grijze kleur volgens RAL 7037. De verwerking gescheert door middel van lassen. De maximale bedrijfstemperatuur bedraagt 100 °C.

PP-H

PP-H heeft een glad oppervlak en daardoor een lage stromingsweerstand. Boven 5 °C zeer slagvast. Bij toepassing in de buitenlucht beschermen tegen UV. Toepasbaar voor bedrijfstemperaturen tot 110 °C.

3.2.2 Afmetingen en toleranties

De gestandaardiseerde afmetingen voor ronde kunststofkanalen zijn in tabel 3.12 weergegeven.

Tabel 3.12 Gestandaardiseerde afmetingen (uitwendig) bij ronde kunststofkanalen voor ventilatie

D _{uitw} [mm]	PVC-C	Ventilatiebuizen		
		HDPE-80		PP-S
		DIN 8074/75		
50	2,4	1,8		4,6
63	3,0	1,8		2,0
75	3,6	1,9		1,9
90	4,3	2,2		2,2
110	3,2	2,7		2,7
125	3,7	3,1		3,1
140	3,2	3,5		3,0
160	4,7	3,9		3,0
180	3,6	4,4		3,0
200	4,0	4,9		3,0
225		5,5		3,5
250	4,9	6,1		3,5
280		6,9		4,0
315	4,5	7,7		5,0
355	2,9	8,7		5,0
400	3,2	8,0		6,0
450	3,6	8,0		6,0
500	4,0	8,0		8,0
560		10,0		8,0
600				10,0
630		10,0		10,0
700				
710		12,0		12,0
800		12,0		12,0
900		15,0		15,0
1.000		15,0		15,0
1.200		18,0		18,0
1.250				
1.400		20,0		21,0

De volgende toleranties worden aangehouden:

Op diameter: D = 0 tot 0,0015D + 0,1 mm;

Op wanddikte: S = 0 tot 0,1S + 0,2 mm.

Standaard lengte van de luchtkanalen: 5 meter.

3.2.3 Constructieve uitvoering

Kunststof luchtkanalen worden volgens het extrusieproces of door middel van lassen vervaardigd.

3.2.4 Plaatkwaliteit en dikte

De buizen en hulpstukken worden uitgevoerd in een wanddikte, die afhankelijk is van de diameter, met een minimale dikte van 1,8 mm (tabel 3.12).

3.2.5 Dwars- en langsverbindingen

Bij ronde kunststofkanalen worden de kanaalstukken aan elkaar bevestigd door middel van:

1. PVC: lijmen, lassen of mechanisch verbinden;
2. PVC-C: lijmen of mechanisch verbinden;
3. HDPE: lassen of mechanisch verbinden;
4. PP: lassen of mechanisch verbinden;
5. PP-S: lassen of mechanisch verbinden.

De hulpstukken zijn standaard uitgerust met mofaansluitingen.

Bijlage A gaat nader in op het lijmen en lassen van diverse kunststoffen.

3.2.6 Borging

Doordat de kanalen en de hulpstukken gelijmd of gelast worden is geen verdere borging noodzakelijk.

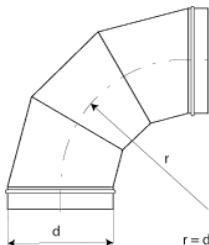
3.2.7 Hulpstukken

De volgende hulpstukken zijn gestandaardiseerd:

1. Bochten;
2. Verloopstukken;
3. Aftakkingen;
4. Splitsingen.

3.2.7.1 Bochten

De bochten worden symmetrisch (met constante doorsnede) en glad uitgevoerd met een straal, gemeten over het hart van de bocht, gelijk aan de diameter ($R = D$), met uitzondering van de diameters 63 en 80 mm, waarvan de straal 100 mm is.

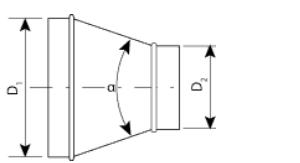


Afb. 3.8 Gesegmenteerde bocht

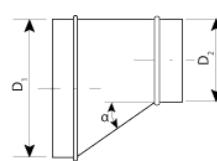
Standaard worden de bochten uitgevoerd met hoeken van 15°, 30°, 45°, 60° en 90°, in geperste of gesegmenteerde uitvoering met een tolerantie van $\pm 2^\circ$. De segmentbochten met een hoek $\geq 45^\circ$ bestaan uit 3 segmenten.

3.2.7.2 Verloopstukken

Verloopstukken kunnen zowel symmetrisch als asymmetrisch worden uitgevoerd, met een tophoek van minimaal 15° en maximaal 60°. Voor geperste verloopstukken mag de tophoek maximaal 90° zijn.



Symmetrisch verloopstuk



Asymmetrisch verloopstuk

Afb. 3.9 Verloopstukken

Standaard worden symmetrische verloopstukken toegepast, waarvan de diametercombinaties volgens tabel 3.13 beschikbaar zijn [25].

Tabel 3.13 Standaard (uitwendige) diametercombinaties bij symmetrische ronde verloopstukken

D1 [mm]	D2 [mm]																				
	63	80	100	125	(150)	160	200	250	(300)	315	(355)	400	(450)	500	(560)	630	(710)	800	(900)	1.000	(1.120)
80	S																				
100	S	S																			
125	S	S	S																		
(150)		A	A	A																	
160	S	S	S	A																	
200		S	S	A	S																
250			S	A	S	S															
(300)				A	A	A	A														
315					S	S	S														
(355)						A	A	A	A												
400						S	A	S	A												
(450)							A	A	A	A	A										
500								A	S	A											
(560)									A	A	A										
630										A	S	A									
(710)											A	A	A								
800											A	S	A								
(900)												A	A	A							
1.000												S	S	A							
(1.120)													A	A	A						
1.250													A	S							

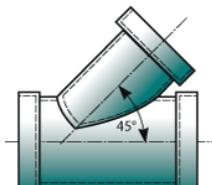
S = standaard
A = aanvullend

3.2.7.3 Aftakkingen en splitsingen

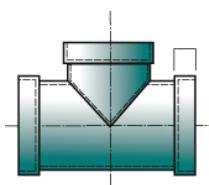
Aftakkingen van een doorgaand hoofdkanaal worden standaard geleverd met hoeken van 45° en 90° in de vorm van:

1. Zadelstuk, in combinatie met een recht kanaal;
2. T-stuk, als compleet hulpstuk;
3. Kruisstuk, als compleet hulpstuk.

De aftakkingen/splitsingen zijn er in de volgende uitvoeringsvormen:



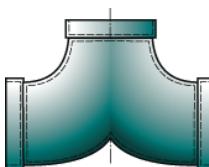
Aftakking 45°



T-stuk



Splitsing



Omgekeerd T-stuk

Afb. 3.10 Aftakkingen bij ronde kanalen

Standaard zijn voor T-stukken en zadelstukken de diametercombinaties beschikbaar volgens tabel 3.14 [25].

Tabel 3.14 Standaard (uitwendige) diametercombinaties bij T-stukken en zadelstukken bij ronde kanalen

D1 [mm]	D2 [mm]																				
	63	80	100	125	(150)	160	200	250	(300)	315	(355)	400	(450)	500	(560)	630	(710)	800	(900)	1.000	(1.120)
80	S																				
100	S	S																			
125	S	S	S																		
(150)	A	A	A																		
160	S	S	S	A	S																
200	S	S	S	A	S	S															
250	S	S	S	A	S	S	S														
(300)	A	A	A	A	A	A	A														
315	S	S	A	S	S	S	A	S													
(355)				A	A	A	A	A	A	A											
400				S	S	S	A	S	A	S											
(450)					A	A	A	A	A	A	A	A									
500					S	S	A	S	A	S	A	S									
(560)						A	A	A	A	A	A	A	A								
630						S	A	S	A	A	A	S	A	S							
(710)							A	A	A	A	A	A	A	A							
800							S	A	S	A	S	A	S	A	S						
(900)								A	A	A	A	A	A	A	A	A					
1.000								S	A	S	A	S	A	S	A	S	A	S			
(1.120)										A	A	A	A	A	A	A	A	A	A		
1.250										S	A	A	A	S	A	S	A	S	A		

S = standaard
A = aanvullend

3.3 Ovale metalen kanalen

3.3.1 Algemeen

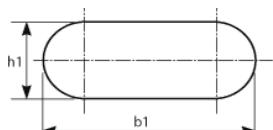
Ovale kanalen worden toegepast in projecten waar ruimtebesparing en esthetiek een belangrijke rol spelen. Het gaat hierbij om aan ruimten met beperkte inbouwhoogte of juist aan plaatsen waar kanalen op fraaie wijze in het zicht worden verwerkt zoals in bijvoorbeeld scholen, restaurants en winkelcentra.

Ovale kanalen zijn net als de ronde equivalent eenvoudig te reinigen, flexibel in montage en beschikken over een hoge stijfheid.

3.3.2 Afmetingen en toleranties

Ovale luchtkanalen worden standaard geleverd in lengten (L) van 3.000 met een tolerantie van $\pm 0,005 \cdot L$. Voor drukverliesberekeningen kan met de equivalente diameter (D_{eq}) gerekend worden.

De gestandaardiseerde afmetingen, de equivalente diameter en de bijbehorende wanddikten zijn in tabel 3.15 weergegeven. De definities van de afmetingen zijn gegeven in afbeelding 3.11.



Afb. 3.11 Afmetingen van een ovaal kanaal

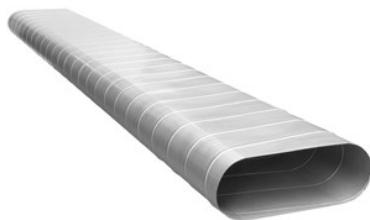
Tabel 3.15 Standaard afmetingen (inwendig), wanddikten en equivalente diameters van verzinkt staal ovale luchtkanalen

h1 [mm]	b1 [mm]	D_{eq} [mm]	Wanddikte [mm]
150	410	255	0,6
150	480	280	0,6
150	540	300	0,8
150	620	315	0,8
150	700	350	0,8
150	790	365	0,8
200	450	315	0,6
200	520	330	0,8
200	600	355	0,8
200	680	375	0,8
200	770	400	0,8
200	880	425	0,8
250	570	400	0,6
250	650	425	0,6
250	740	450	0,8
250	850	475	0,8
250	980	500	1,0
250	1.120	530	1,0
300	610	475	0,8
300	710	500	0,8
300	820	530	0,8
300	940	560	1,0
300	1.090	600	1,0
350	690	530	0,8
350	790	560	0,8
350	920	600	1,0
350	1.070	630	1,0
400	660	560	0,8
400	770	600	0,8
400	900	630	1,0
400	1.040	670	1,0
450	740	630	0,8
450	870	670	1,0
450	1.010	710	1,0

3.3.3 Constructieve uitvoering

Ovale metalen luchtkanalen worden uitgevoerd als spiraalgefistel kanaal.

De voor spiraalgefisteerde kanalen gebruikelijke verbindingen bieden het kanaal voldoende stijfheid, terwijl deze eveneens, zelfs zonder toevoeging van kit, geschikt zijn om in alle drukklassen te worden toegepast. De vereiste plaatdikte is afhankelijk van de afmetingen.



Afb. 3.12 Spiraalgefistel ovaal kanaal

3.3.4 Plaatkwaliteit en dikte

Voor het vervaardigen van ronde verzinkte luchtkanalen wordt plaatstaal toegepast in de kwaliteit DX51 DZ 275 MAC met een tweezijdige zinklaag volgens het sendzimir-procéde aangebracht, met een laagdikte van 275 g/m² tweezijdig volgens de drievlakkenproef gemeten. Plaatkwaliteit/zinkkwaliteit volgens NEN-EN 10.346 [31], tolerantie volgens NEN-EN 10143 [32].

De ovale kanalen en hulpstukken van verzinkt staal worden uitgevoerd in een plaatdikte die afhankelijk is van de afmetingen zoals in tabel 3.15 is gespecificeerd.

De wanddikte is gegeven inclusief de zinklaag.

3.3.5 Dwars- en langsverbindingen

De spiraalgefisteerde ovalen kanalen worden uit verzinkte bandplaat vervaardigd dat door middel van een vlakke felsverbinding wordt verbonden, waarbij voldoende stijfheid en luchtdichtheid wordt verkregen.

Voor zowel de dwars- als de langsverbindingen wordt in de praktijk een groot aantal typen van verbindingen toegepast, waarvan de uitvoering en toepassing in tabel 3.16 zijn weergegeven.

Tabel 3.16 Dwars- en langsverbindingen bij ovale kanalen

Uitvoering	Toepassing	
	Dwarsverbindingen	Langsverbindingen
Demontabel	Flensverbinding Klembandverbinding	-
Niet demontabel	Lasverbinding Insteekverbinding Flexibele verbinding Krimpbandverbinding	Felsnaadverbinding

Insteekverbindingen dienen met een minimale insteeklengte volgens tabel 3.17 te worden aangebracht.

Tabel 3.17 Minimale insteeklengte bij insteekverbindingen

Kanaalbreedte b1 (inwendig) [mm]	Insteeklengte [mm]
150 t/m 250	≥ 25
250 t/m 450	≥ 50

Verbindingen die zijn vastgezet door middel van zelftappende schroeven (zelfborende parkers) worden bij toe- en afvoerkanalen op verschillende manieren afgewerkt.

Bij tovoerkanalen:

1. Tape met synthetische rubbermassa (zelfvulkaniserende krimpband);
2. Versterkte PE tape met acrylische lijm massa;
3. Twee componentenband.

Bij afvoerkanalen:

1. Tape met synthetische rubbermassa (zelfvulkaniserende krimpband);
2. PVC-tape;
3. Aluminiumtape;
4. Linnentape.

De genoemde tapes dienen volgens de voorschriften van de tapeleverancier te worden aangebracht.

3.3.6 Borging

Voor de bevestiging en borging van de rechte plaatstalen kanalen, aan elkaar of aan hulpstukken, worden de volgende middelen toegepast:

1. Popnagels;
2. Puntlassen;
3. Bouten en moeren;
4. Zelftappende schroeven.

Bovengenoemde bevestigingsmiddelen dienen door galvaniseren, sherardiseren of volgens een andere methode tegen corrosie te zijn beschermd. Popnagels mogen alleen worden gebruikt in afdichte uitvoering. Alle door de bevestigingsmiddelen veroorzaakte gaten in de kanaalwand dienen in principe te worden afdicht, tenzij afdoende aanvullende maatregelen zijn genomen (zie par. 12.4).

Opmerking: Bouten, moeren en zelftappende schroeven worden om de volgende redenen afgeraad: het reinigen van de luchtkanalen wordt moeilijker zij vormen lokale verontreinigingsbronnen.

Voor de minimale afstand (steek) tussen de bevestigingspunten moet men de waarden volgens tabel 3.18 aanhouden.

Tabel 3.18 Minimale steek in mm

Bevestiging d.m.v.	Dwarsverbinding	Langsverbinding ¹⁾
popnagels	300 ²⁾	150
puntlassen	-	150
bouten en moeren	-	300
zelftappende schroeven	300 ²⁾	300

1) Betreft alleen kanalen met langsnaad.

2) Minimaal aantal bevestigingen bedraagt 3.

Bij toepassing van zelftappende schroeven moeten de minimale afmetingen volgens tabel 3.19 worden aangehouden.

Tabel 3.19 Minimale afmetingen van zelftappende schroeven

Kanaaldiameter (inwendig) [mm]	Diameter x lengte [mm]
t/m 630	4,2 x 9,5
boven 630	4,8 x 13

De schroeven moeten zijn verzinkt of vercadmiumd met een minimale laagdikte van 25 µm.

Let op: Bij toepassing van roestvast stalen kanalen moeten ook roestvaste schroeven gebruikt worden.

Neem de zelftappende schroeven niet lang. Risico van te lange schroeven:

1. Kans op stromingsgeluid;
2. Kans op vervuiling rond de doorstekende delen;
3. Toegankelijkheid van kanalen wordt beperkt;
4. Reinigbaarheid wordt beperkt/reiniging wordt onmogelijk.

3.3.7 Hulpstukken

De volgende hulpstukken zijn gestandaardiseerd:

1. Bochten;
2. Verloopstukken;
3. Aftakkingen;
4. Sprongstukken.

3.3.7.1 Bochten

Standaard worden de bochten uitgevoerd met hoeken van 15°, 30°, 45°, 60° en 90°, in geperste of gesegmenteerde uitvoering met een tolerantie van ± 2°. De segmentbochten met een hoek ≥ 45° bestaan uit 3 segmenten.



Afb. 3.13 Gesegmenteerde ovale bochten

3.3.7.2 Verloopstukken

Voor ovale kanalen zijn er verschillende verloopstukken:

1. Van ovaal naar ovaal (zowel centrisch als excentrisch);
2. Van ovaal naar rond (zowel centrisch als excentrisch);
3. Van ovaal naar vierkant (zowel centrisch als excentrisch).



Afb. 3.14 Voorbeelden van verloopstukken

3.3.7.3 Aftakkingen

Aftakkingen van een doorgaand hoofdkanaal worden standaard geleverd met hoeken van 45° en 90° in de vorm van een zadelstuk, in combinatie met een recht kanaal (zie afbeelding 3.14 voor zadelstukken).



Afb. 3.15 Voorbeelden van zadelstukken

3.3.7.4 Sprongstukken

Voor het 'parallel verschuiven' van kanalen wordt gebruik gemaakt van zogenoemde sprongstukken. De sprong die gemaakt wordt is gelijk aan de hoogte cq de breedte van het kanaal (afhankelijk van de sprongrichting).



Afb. 3.16 Voorbeelden van spongstukken.

3.4 Rechthoekige metalen kanalen

3.4.1 Algemeen

Rechthoekige metalen luchtkanalen en de daarbij behorende hulpstukken kunnen in principe in iedere afmeting worden geleverd. Om redenen van economische en fabricage-technische aard wordt het assortiment van zowel de rechte luchtkanalen als de hulpstukken beperkt tot die afmetingen die in de praktijk het meest worden toegepast. Hetzelfde geldt voor de constructiewijze en het type verbinding.

De rechthoekige metalen luchtkanalen zijn leverbaar in:

1. Verzinkt staal;
2. Roestvast staal;
3. Aluminium.

3.4.2 Afmetingen en toleranties

De inwendige afmetingen van rechthoekige luchtkanalen zijn gestandaardiseerd volgens NEN-EN 1505 [36]. De gestandaardiseerde inwendige afmetingen zijn in tabel 3.20 aangegeven.

Tabel 3.20 Standaard afmetingen van rechthoekige metalen luchtkanalen in mm

Zijden	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1.000	1.200
200											
250											
300											
400											
500											
600											
800											
1.000											
1.200											
1.400											
1.600											
1.800											
2.000											

Het gemarkeerde gebied verdient de voorkeur uit luchttechnische overwegingen

De aangegeven afmetingen hebben betrekking op de inwendige afmetingen met een tolerantie van +0 tot -4 mm.

De maximale tolerantie voor de lengte (L) van een rechtkanaal is $\pm 0,005 \cdot L$.

Instortkanalen

Voor de woningbouw worden rechthoekige instortkanalen van verzinkt staal toegepast in verschillende afmetingen en plaatdikte.

Tabel 3.21 Afmetingen en plaatdikte bij instortkanalen van verzinkt staal

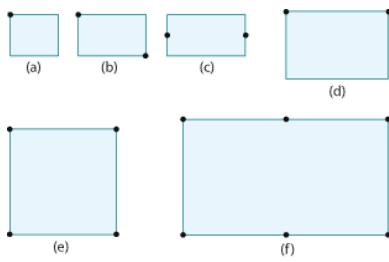
Kanaalafmetingen [mm]	Plaatdikte [mm]
170 x 70	0,5
170 x 80	0,5
200 x 80	0,6
220 x 80	0,6

Deze kanalen worden geleverd in standaardlengten van 3 m.

3.4.3 Constructieve uitvoering

Rechte rechthoekige metalen luchtkanalen worden afhankelijk van de afmetingen vervaardigd uit:

1. Een enkele plaat, die op 3 plaatsen is omgezet, zodat in de lengterichting één naad ontstaat (afbeelding 3.17a);
2. 2 Omgezette platen, die, verbonden door 2 langsnaden, het kanaal vormen (afbeelding 3.17b, c en d);
3. 4 Vlakke platen, die, verbonden door 4 langsnaden, het kanaal vormen (afbeelding 3.17e);
4. 6 Vlakke platen, die, verbonden door 6 langsnaden, het kanaal vormen (afbeelding 3.17f).



Afb. 3.17 Mogelijke langsnaden bij rechthoekige kanalen

De keuze van de constructie hangt af van de plaatgrootte en de fabricagewijze: bij de constructie volgens afbeelding 3.17 bestaat vanwege materiaalspanningen gevaar voor torderen van het kanaal, terwijl bij constructie 3.17f afstandhouders worden toegepast.

Verstijvingen

Rechthoekige luchtkanalen moeten met een zodanige stijfheid worden uitgevoerd dat hinderlijke trillingen en vervormingen niet kunnen optreden. Uitgaande van de aanbevolen minimale plaatdikten volgens de tabellen 3.23 t/m 3.25 (zie 3.4.4) wordt hieraan voldaan voor zover de grootste kanaalzijde kleiner is dan of gelijk aan 400 mm. Bij grotere afmetingen zijn extra voorzieningen noodzakelijk.

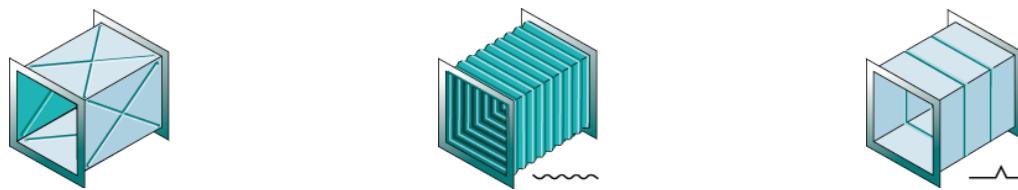
1. Grootste kanaalzijde > 400 t/m 800 mm in de vorm van (zie afbeelding 3.18):

1. Cross-breakings: naar buiten gerichte kruislinge doordrukkingen;

2. Rillingen of zettingen, aangebracht dwars op de lengterichting van het kanaal, met een onderlinge afstand van maximaal 500 mm.

2. Grootste kanaalzijde groter dan 800 mm

Voor kanalen met een zijde groter dan 800 mm worden in principe op dezelfde wijze verstijfd als bovenstaand, met dien verstande dat vlakken met een oppervlakte groter dan $1,5 \text{ m}^2$ worden onderverdeeld in vlakken van ten hoogste 1 m^2 , die extra worden verstijfd door middel van in- of uitwendig aangebrachte stripjes, profielen, buizen of platen.



Afb. 3.18 Verstijving door doordrukking, rilling of zetting

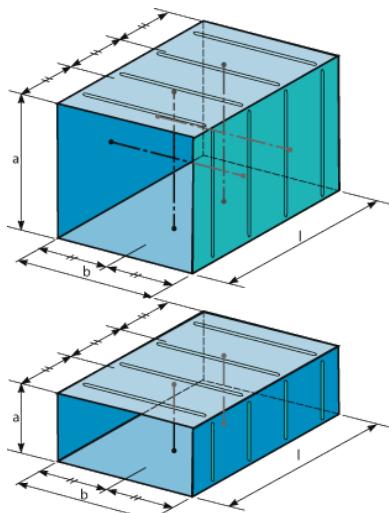
Indien afstandhouders als inwendige verstijvingen worden toegepast dienen deze volgens tabel 3.22 en afbeelding 3.19 te worden aangebracht.

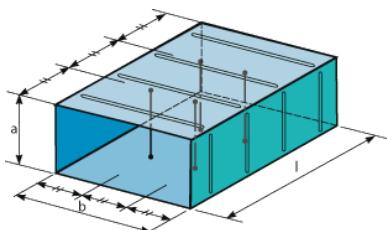
Tabel 3.22 Toepassing van afstandhouders bij rechthoekige metalen kanalen

Kanaallengte l (inwendig) [mm]	Grootste kanaalzijde a resp. b [mm]	Aantal afstandhouders [-]
l < 750	1.000 < a resp. b < 1.500	-
	1.500 < a resp. b < 2.000	-
750 < l < 1500	1.000 < a resp. b < 1.500	1
	1.500 < a resp. b < 2.000	2
l > 1500	1.000 < a resp. b < 1.500	2
	1.500 < a resp. b < 2.000	4

Nadeel van afstandhouders en inwendige verstijvingen:

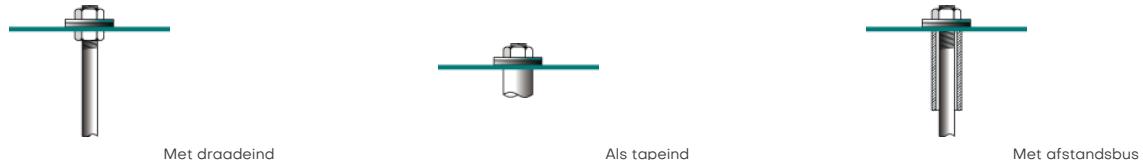
1. Stofophoping achter verstijving/afstandhouder;
2. Geluidsproductie;
3. Extra stromingsweerstand.





Afb. 3.19 Plaats van afstandhouders

De verschillende uitvoeringsvormen van de afstandhouders zijn in afbeelding 3.20 gegeven.



Afb. 3.20 Uitvoeringsvormen van afstandhouders

Bij toepassing van inwendige verstijvingen mag de resulterende kanaaldoorsnede ter plaatse niet meer dan 4% verminderen.

3.4.4 Plaatkwaliteit en dikte

Verzinkt stalen kanalen

Voor het vervaardigen van rechthoekige verzinkte luchtkanalen wordt plaatstaal toegepast in de kwaliteit DX51 DZ 275 MAC met een tweezijdige zinklaag volgens het sendzimir-procédé aangebracht, met een laagdikte van 275 g/m² tweezijdig volgens de drievlakkenproef gemeten. De plaat- en zinkkwaliteit zijn conform NEN-EN 10146 [31], de toleranties conform NEN-EN 10143 [32].

De rechthoekige verzinkte luchtkanalen worden uitgevoerd in een plaatdikte die afhankelijk is van de grootste kanaalzijde (a), zoals in tabel 3.23 is gespecificeerd.

Tabel 3.23 Minimale plaatdikte bij verzinkt stalen rechthoekige kanalen

Grootste kanaalzijde [mm]	Minimale plaatdikte [mm]
a ≤ 250	0,50
250 < a ≤ 500	0,75
500 < a ≤ 1000	0,88
1000 < a ≤ 1500	1,00
a > 1500	1,25

Roestvast stalen rechthoekige kanalen

Voor het vervaardigen van ronde roestvaste luchtkanalen wordt plaatstaal toegepast in de kwaliteit X 5 CrNi-18-10-14301 volgens NEN-EN 10088 (AISI 304) [33].

Voor specifieke toepassingen kan roestvast staal in de kwaliteit X 5 CrNi-18-10-14404 volgens NEN-EN 10088-2 (AISI 316) [34] worden toegepast.

De rechthoekige roestvast stalen luchtkanalen worden uitgevoerd in een plaatdikte die afhankelijk is van de grootste kanaalzijde (a), zoals in tabel 3.24 is gespecificeerd. Uit technische overwegingen worden dikten groter dan 1 mm vermeden.

Tabel 3.24 Minimale plaatdikte bij rechthoekige roestvast stalen kanalen

Grootste kanaalzijde [mm]	Minimale plaatdikte [mm]
a ≤ 500	0,80
a > 1500	1,00

Aluminium rechthoekige luchtkanalen

Voor het vervaardigen van rechthoekige aluminium luchtkanalen wordt in het algemeen plaatmateriaal toegepast in de kwaliteit Al 99,5 / EN AW 1050 A. Voor specifieke toepassingen kan zeewaterbestendig aluminium in de kwaliteit AlMg 3 / EN AW 5754 worden toegepast.

De rechthoekige aluminium luchtkanalen worden uitgevoerd in een plaatdikte die afhankelijk is van de grootste kanaalzijde (a), zoals in tabel 3.25 is gespecificeerd.

Tabel 3.25 Minimale plaatdikte bij rechthoekige aluminium kanalen

Grootste kanaalzijde (inwendig) [mm]	Minimale plaatdikte [mm]
a ≤ 500	1,00
500 < a ≤ 1500	1,25
a > 1500	1,50

3.4.5 Dwars- en langsverbindingen

Bij rechthoekige metalen kanalen worden verschillende typen dwarsverbindingen toegepast. De kwaliteit van de plaat waaruit de verbindingsprofielen worden gevormd moet ten minste voldoen aan die van het materiaal waaruit het kanaal is vervaardigd.

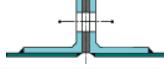
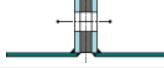
De dwarsverbindingen die, afhankelijk van het materiaal van het kanaal, van verzinkt staal, roestvast staal of aluminium zijn, kunnen aan het kanaal zijn gewalst of door middel van doordrukkingen, puntlassen, parkers of popnagels aan het kanaal worden bevestigd. De dwarsverbindingen worden met clips, schuiflijsten of klemmen met een maximale hart op hart afstand van 500 mm aan elkaar gekoppeld. Tussen de dwarsverbindingen wordt ten behoeve van de luchtdichtheid een afdichtband met een gesloten celstructuur aangebracht met een minimale afmeting 18 x 4 mm. De dwarsverbindingen worden in alle vier hoeken aan elkaar bevestigd door middel van verzinkte bouten en moeren, minimaal M 6 x 20 mm.

Indien over de volle kanaalomtrek schuiflijsten worden toegepast kan de bevestiging met bouten en moeren vervallen. Daar waar nodig wordt ten behoeve van de luchtdichtheid in- of uitwendig elastisch blijvende kit aangebracht.

De langsverbindingen tussen kanaaldelen worden in principe als felsverbinding uitgevoerd. Daar waar nodig wordt ten behoeve van de luchtdichtheid in- of uitwendig elastisch blijvende kit aangebracht.

Voor zowel de dwars- als de langsverbindingen wordt in de praktijk een groot aantal typen verbindingen toegepast, waarvan de meest voorkomende typen in tabel 3.26 zijn samengevat onder vermelding van het toepassingsgebied.

Tabel 3.26 Veel toegepaste verbindingen bij rechthoekige metalen luchtkanalen

Toepassing	Benaming	Uitvoering	Toepassingsgebied	
			Grootste kanaalzijde	Drukklasse
Dwarsverbinding	Vaste hoekflens		Afhankelijk van flensafmetingen	1, 2, 3
	Vaste hoekflens		Afhankelijk van flensafmetingen	1, 2, 3
	Schuiflijstflens		< 1750 mm	1, 2
	Schuiflijstflens		> 1750 mm	1, 2, 3
	Schuiflijstflens		< 1750 mm	1, 2
	Geïntegreerde schuiflijstflens		< 1750 mm	1, 2, 3
Langsverbinding	Snaplockfels		-	1, 2
	Pittsburghfels		-	1, 2, 3
	Dubbele fels		-	1, 2, 3

3.4.6 Borging

Voor de bevestiging van de profielen die de (dwars)verbinding tussen de rechte plaatstaal kanalen onderling en aan hulpstukken verzorgt, worden de volgende middelen toegepast:

1. Popnagels;
2. Puntlassen;
3. Bouten en moeren;
4. Zelftappende schroeven;
5. Doordrukverbindingen.

Bovengenoemde bevestigingsmiddelen dienen door galvaniseren, sherardiseren of volgens een andere methode tegen corrosie te zijn beschermd. Popnagels mogen alleen worden gebruikt in afdichte uitvoering. Alle door de bevestigingsmiddelen veroorzaakte gaten in de kanaalwand dienen in principe te worden afdicht, tenzij afdoende aanvullende maatregelen zijn genomen. (zie par 12.4).

Opmerking: Bouten, moeren en zelftappende schroeven worden om de volgende redenen afgeraden:

1. Het reinigen van de luchtkanalen wordt moeilijker;
2. Zij vormen lokale verontreinigingsbronnen.

Voor de minimale afstand (steek) tussen de bevestigingspunten waarmee de profielen op het kanaal zijn bevestigd moet men de waarden volgens tabel 3.27 aanhouden.

Tabel 3.27 Minimale steek in mm

Bevestiging d.m.v.	Dwarsverbinding¹⁾	
	Hoekflens	Schuiflijstflens
Popnagels	150	300
Puntlassen	75	300
Bouten en moeren	150	300
Zelftappende schroeven	150	300
Doordrukverbindingen	-	150

1) Minimaal aantal bevestigingen bedraagt 4 de maximale afstand tot de hoeken is 50 mm.

Bij toepassing van zelftappende schroeven moeten de minimale afmetingen volgens tabel 3.28 worden aangehouden.

Tabel 3.28 Minimale afmetingen van zelftappende schroeven

Grootste kanaalzijde (inwendig) [mm]	Diameter x lengte [mm]
t/m 600	4,2 x 9,5
boven 600	4,8 x 13

De schroeven moeten zijn verzinkt of vercadmiumd met een minimale laagdikte van 25 µm.

Let op: Bij toepassing van roestvast staal kanalen moeten ook roestvaste schroeven gebruikt worden.

Neem de zelftappende schroeven niet te lang. Risico's van te lange schroeven zijn:

1. Kans op stromingsgeluid;
2. Kans op vervuiling rond de doorstekende delen;
3. Toegankelijkheid van kanalen wordt beperkt;
4. Reinigbaarheid wordt beperkt/reiniging wordt onmogelijk.

De afdichting tussen de flenzen wordt verzorgd door schuimrubber pakking, dat bij voorkeur als één stuk wordt aangebracht. De flenzen worden onderling als volgt verbonden:

1. Hoekflens: door middel van bouten en moeren op de hoekpunten en op de zijden op een onderlinge afstand van maximaal 150 mm;
2. Schuiflijstflens: door middel van bouten en moeren op de hoekpunten en op de zijden door middel van overschuifprofielen, die over de flens worden geschoven, bij voorkeur over de volle lengte.

De langsverbindingen, die in principe worden gefelst en bij voorkeur gekit, behoeven geen additionele bevestigingsmiddelen met uitzondering van de staande fels, die om de 150 mm met een puntlas wordt verbonden of om de 300 mm wordt voorzien van popnagels of zelftappende schroeven.

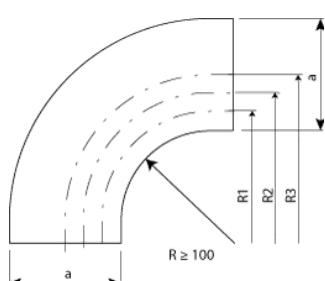
3.4.7 Hulstukken

Bij rechthoekige metalen en kunststofkanalen zijn de volgende hulstukken gestandaardiseerd:

1. Symmetrische bochten;
2. Verlopende bochten;
3. Verloopstukken;
4. Aftakkingen;
5. Splitsingen.

3.4.7.1 Symmetrische bochten

De bochten worden in principe rond en symmetrisch, dat wil zeggen met een constante binnen- en buitenstraal en glad uitgevoerd. De binnenstraal is minimaal 100 mm. De breedte van het kanaal (b) is constant. In standaarduitvoering worden de bochten geleverd met hoeken van 30°, 45°, 60° en 90°.



Afb. 3.21 Symmetrische bocht

Om de luchtweerstand te beperken worden de bochten van leidschoepen voorzien volgens tabel 3.29 voor bochten:

1. Met een hoek groter dan of gelijk aan 45°;

2. Met een kanaalhoogte (a) groter dan of gelijk aan 400 mm.

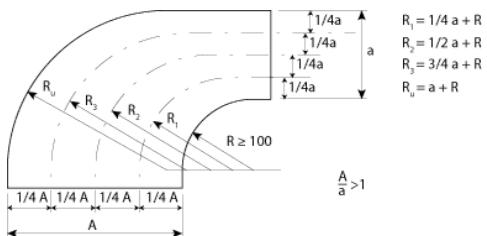
Tabel 3.29 Plaats en aantal schoopen

Kanaalhoogte a [mm]	Aantal schoopen	Stralen [mm]		
		R1	R2	R3
> 400 - ≤ 800	1	a/3		
> 800 - ≤ 1600	2	a/4	a/2	
> 1600 - ≤ 2000	3	a/8	a/3	a/2

De schoopen worden uitgevoerd in enkele plaat. Het plaatmateriaal is gelijk aan het materiaal waaruit het kanaal is vervaardigd. De uitvoering en bevestiging zijn van voldoende sterkte en luchtdichtheid. De schoopeinden zijn verstijfd.

3.4.7.2 Verlopende bochten

De bochten worden rond met een verlopende doorsnede en glad uitgevoerd. De binnenstraal heeft een maat van minimaal 100 mm. De breedte van het kanaal (b) is constant. In standaard uitvoering worden de bochten geleverd met een hoek van 90°.

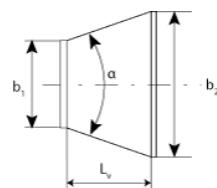


Afb. 3.22 Verlopende bocht

Bij verlopende bochten is de kleinste kanaalbreedte maatgevend voor het aantal schoopen, overeenkomstig tabel 3.29. De plaats van de schoopen van de grootste kanaalhoogte is in verhouding gelijk aan die van de kleinste kanaalhoogte.

3.4.7.3 Verloopstukken

De verloopstukken zijn leverbaar in symmetrische uitvoering, waarbij de lengte L_v zo kort wordt gekozen dat de tophoek α niet meer dan 60° bedraagt.

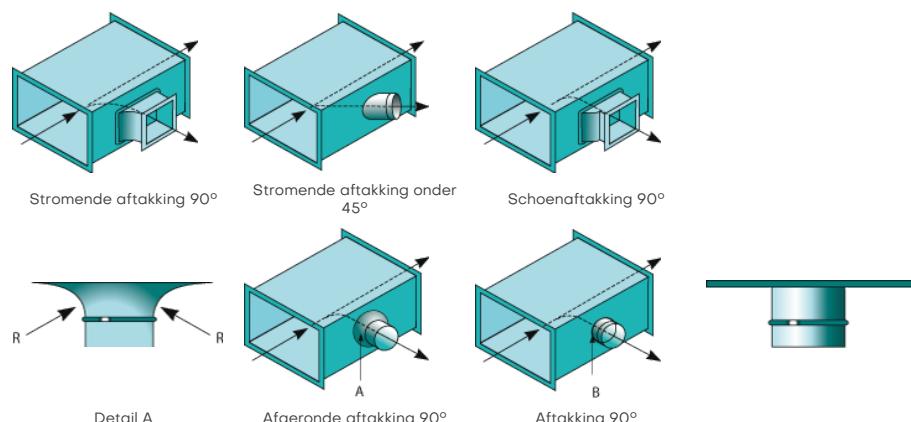


Afb. 3.23 Verloopstuk

3.4.7.4 Aftakkingen

Aftakkingen van een doorgaand hoofdkanaal worden tot stand gebracht door middel van een hulpstuk in rechthoekige of ronde uitvoering en worden standaard geleverd met hoeken van 45° en 90° in de vorm van:

1. Een scherpe aftakking;
2. Een afgeronde aftakking;
3. Een stromende aftakking.

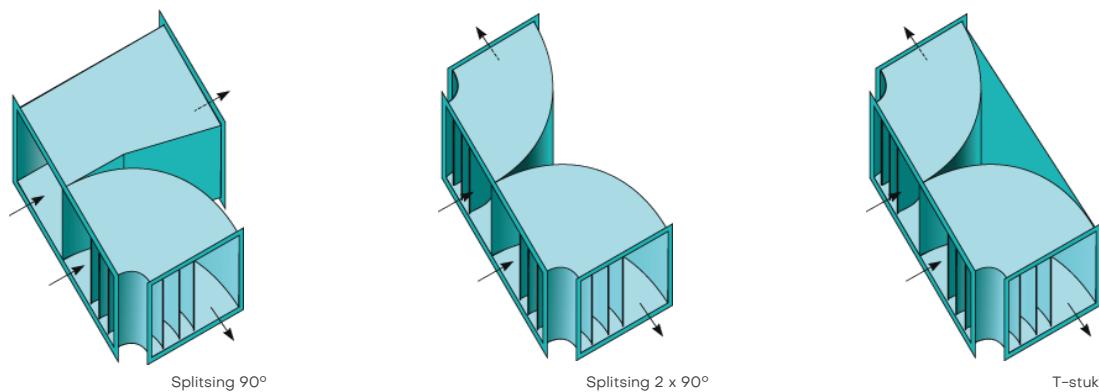


Afb. 3.24 Uitvoeringsvormen van aftakkingen

3.4.7.5 Splittingsen

Een splittings van een hoofdkanaal in twee doorgaande kanalen wordt standaard uitgevoerd in de vorm van:

1. Een splittings 90°;
2. Een splittings 2 x 90°;
3. Een omgekeerd T-stuk.



Afb. 3.25 Uitvoeringsvormen van splitsingen

Opmerking: Het gebruik van in het werk vervaardigde hulpstukken wordt afgeraden.

3.5 Rechthoekige kunststofkanalen

3.5.1 Algemeen

Kunststof luchtkanalen zijn duurzaam en betrouwbaar. De volgende kunststoffen komen in aanmerking voor de realisatie van luchtkanalen: PVC, PVC-C, HDPE, PP en PP-S.

Deze kunststoffen zijn chemisch- en corrosiebestendig. Hierdoor komen ze ook in aanmerking voor de afzuiging van agressieve dampen en stoom. Ze zijn bovendien onderhoudsvrij en garanderen een lange levensduur.

Voor het vervaardigen van rechthoekige kunststof luchtkanalen worden verschillende materialen toegepast.

PVC

PVC is uitermate geschikt voor corrosieve en agressieve omstandigheden. De PVC luchtkanalen hebben een grijze kleur volgens RAL 7011. De verwerking geschieht door middel van lijmen of draadlassen. De maximale bedrijfstemperatuur bedraagt 60 °C.

PVC-C

PVC-C heeft een hogere chemische bestendigheid en een betere temperatuurweerstand dan PVC. De verwerking gebeurt meestal door middel van lijmen. De maximale bedrijfstemperatuur bedraagt 90 °C.

HDPE

HDPE is een inert materiaal dat goed bestand is tegen abrasieve en corrosieve stoffen. Het materiaal heeft een zeer glad oppervlak en is vrij slagvast. De verwerking gebeurt door middel van lassen. De maximale bedrijfstemperatuur bedraagt 70 °C.

PP en PP-S

De industrieel gebruikte PP-buis wordt geleverd in een lichtgrijze-beige kleur RAL 7032. Dunwandige PP-buizen worden toegepast voor lage druk ventilatiesystemen. De maximale bedrijfstemperatuur bedraagt 100 °C.

PP-S is een moeilijk ontvlambaar polypropyleen met zelfdovende eigenschappen. De buizen hebben een grijze kleur volgens RAL 7037. De verwerking geschieht door middel van lassen. De maximale bedrijfstemperatuur bedraagt 100 °C.

3.5.2 Afmetingen en toleranties

De inwendige afmetingen van rechthoekige luchtkanalen zijn gestandaardiseerd volgens NEN-EN 1505 [36]. De gestandaardiseerde inwendige afmetingen zijn in tabel 3.30 aangegeven.

Tabel 3.30 Standaard afmetingen (inwendig) van rechthoekige kunststof luchtkanalen in mm

Zijden	100	150	200	250	300	400	500	600	800	1.000	1.200
200											
250											
300											
400											
500											
600											
800											
1.000											
1.200											
1.400											
1.600											
1.800											
2.000											

Het gemarkeerde gebied verdient de voorkeur uit luchttechnische overwegingen

De aangegeven afmetingen hebben betrekking op de inwendige afmetingen met een tolerantie van: $\pm 2 \text{ mm}$ tot een zijde van 1.000 mm . De maximale tolerantie voor de lengte (L) van een rechtkanaal is $\pm 0,005 \cdot L$.

3.5.3 Constructieve uitvoering

Kunststofkanalen worden samengesteld door platen aan elkaar te lassen. Grottere kanalen ($>300 \text{ mm}$ hebben verstijvingen nodig om vervorming te voorkomen.

Verstijvingen

Luchtkanalen worden met een zodanige stijfheid uitgevoerd, dat hinderlijke vervormingen niet optreden. Uitgaande van toepassing van de aanbevolen minimale plaatdikten volgens tabel 3.30 worden kanaalvlakken en kanaalstukken met een breedte $> 300 \text{ mm}$ verstijfd. Wanneer de breedte $> 600 \text{ mm}$ is, worden vlakken met een wandoppervlakte van meer dan 1 m^2 extra verstijfd met op- en ingelaste stripjes of worden in de kanaalstukken ronde afstandhouders, uit gelijkwaardige kunststof, geplaatst. Bij een breedte van meer dan 1000 mm worden vlakken met een wandoppervlak van meer dan $0,7 \text{ m}^2$ ook extra verstijfd.

3.5.4 Plaatkwaliteit en dikte

De minimaal aan te houden wanddikten zijn in tabel 3.31 gespecificeerd.

Tabel 3.31 Minimale wanddikte (uitwendig) bij rechthoekige kunststofkanalen

Grootste kanaalzijde [mm]	Minimale plaatdikte [mm]
$a \leq 300$	1,8
$300 < a \leq 600$	3,0
$600 < a \leq 800$	4,0
$800 < a \leq 1000$	5,0
$a > 1000$	5,0

Uitgaande van de in tabel 3.31 gegeven minimale wanddikte worden kanaalvlakken en kanaalstukken met een breedte groter dan 300 mm verstijfd. Bij een breedte groter dan 600 mm worden vlakken met een wandoppervlakte van meer dan 1 m^2 extra verstijfd door middel van op- en ingelaste stripjes of worden in de kanaalstukken ronde afstandhouders van hoogwaardige kunststof geplaatst. Bij een breedte van meer dan 1.000 mm worden de vlakken met een wandoppervlakte $> 0,7 \text{ m}^2$ ook extra verstijfd.

3.5.5 Dwars- en langsverbindingen

Dwarsverbindingen van rechthoekige kunststof luchtkanalen worden uitgevoerd door middel van uit strip of hoekprofiel gevormde flenzen, die deugdelijk op de kanalen worden bevestigd. De kwaliteit en dikte komen overeen met die van het materiaal waaruit het luchtkanaal is vervaardigd. De onderlinge bevestiging vindt plaats met behulp van bevestigingsmiddelen en afdichtingstape, die voldoende chemisch bestendig zijn en een voldoende luchtdichtheid waarborgen.

Dwarsverbindingen in de vorm van verbindingsstukken worden bij inwendige uitvoering steeds gelast. Uitwendige verbindingsstukken worden bij toepassing van PP en HDPE steeds gelast en bij toepassing van PVC-C ook gelijmd. Bij een kanaalzijde $> 600 \text{ mm}$ worden inwendige verstijvingen aangebracht. Dwarsverbindingen met behulp van expansiestukken uit zacht PVC worden onderling gelast.

Langsverbindingen tussen kanaaldelen onderling worden in principe gelast.

3.5.6 Borging

Doordat de kanalen en de hulpstukken gelijmd of gelast worden is geen verdere borging noodzakelijk.

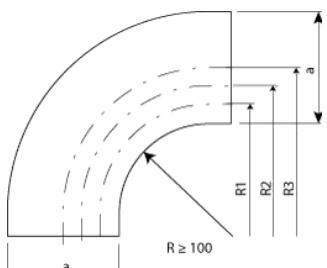
3.5.7 Hulpstukken

Bij rechthoekige kunststof luchtkanalen zijn de volgende hulpstukken gestandaardiseerd:

1. Symmetrische bochten;
2. Verlopende bochten;
3. Verloopstukken;
4. Aftakkingen;
5. Splitsingen.

3.5.7.1 Symmetrische bochten

De bochten worden in principe rond en symmetrisch, dat wil zeggen met een constante binnen- en buitenstraal en glad uitgevoerd. De binnenstraal is minimaal 100 mm. De breedte van het kanaal (b) is constant. In standaarduitvoering worden de bochten geleverd met hoeken van 30°, 45°, 60° en 90°.



Afb. 3.26 Symmetrische bocht

Om de luchtweerstand te beperken worden de bochten van leidschoepen voorzien volgens tabel 3.32

1. Met een hoek groter dan of gelijk aan 45°;
2. Met een kanaalhoogte (a) groter dan of gelijk aan 400 mm.

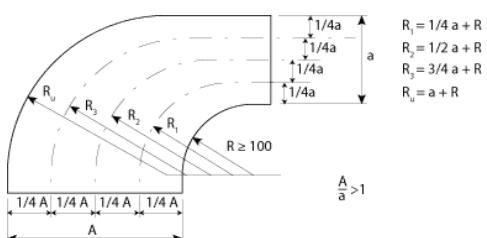
Tabel 3.32 Plaats en aantal schoepen

Kanaalhoogte a [mm]	Aantal schoepen	Stralen [mm]		
		R1	R2	R3
> 400 – ≤ 800	1	$a/3$		
> 800 – ≤ 1600	2	$a/4$	$a/2$	
> 1600 – ≤ 2000	3	$a/8$	$a/3$	$a/2$

De schoepen worden uitgevoerd in enkele plaat. Het plaatmateriaal is gelijk aan het materiaal waaruit het kanaal is vervaardigd. De uitvoering en bevestiging zijn van voldoende sterkte en luchtdichtheid. De schoepeinden zijn verstijfd.

3.5.7.2 Verlopende bochten

De bochten worden rond met een verlopende doorsnede en glad uitgevoerd. De binnenstraal heeft een maat van minimaal 100 mm. De breedte van het kanaal (b) is constant. In standaarduitvoering worden de bochten geleverd met een hoek van 90°.

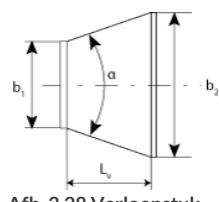


Afb. 3.27 Verlopende bocht

Bij verlopende bochten is de kleinste kanaalbreedte maatgevend voor het aantal schoepen, overeenkomstig tabel 3.32. De plaats van de schoepen van de grootste kanaalhoogte is in verhouding gelijk aan die van de kleinste kanaalhoogte.

3.5.7.3 Verloopstukken

De verloopstukken zijn leverbaar in symmetrische uitvoering, waarbij de lengte L_v zo kort wordt gekozen dat de tophoek α niet meer dan 60° bedraagt.

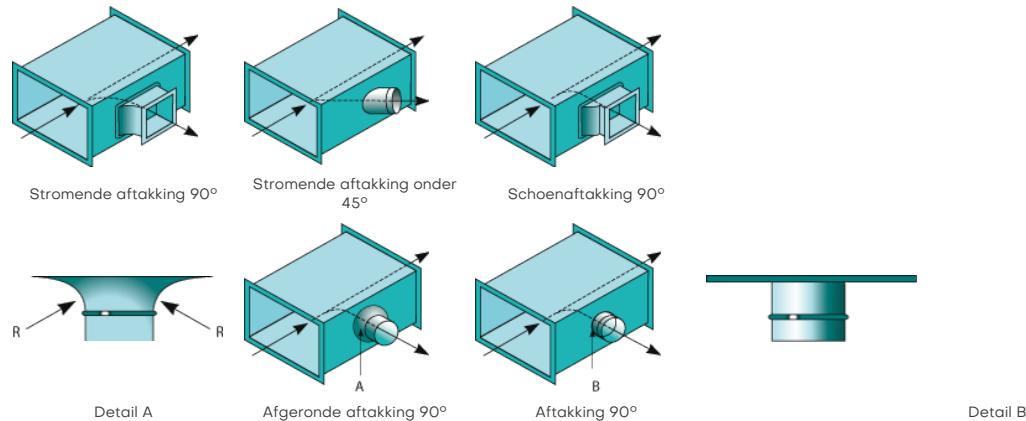


Afb. 3.28 Verloopstuk

3.5.7.4 Aftakkingen

Aftakkingen van een doorgaand hoofdkanaal worden tot stand gebracht door middel van een hulpstuk in rechthoekige of ronde uitvoering en worden standaard geleverd met hoeken van 45° en 90° in de vorm van:

1. Een scherpe aftakking;
2. Een afgeronde aftakking;
3. Een stromende aftakking.

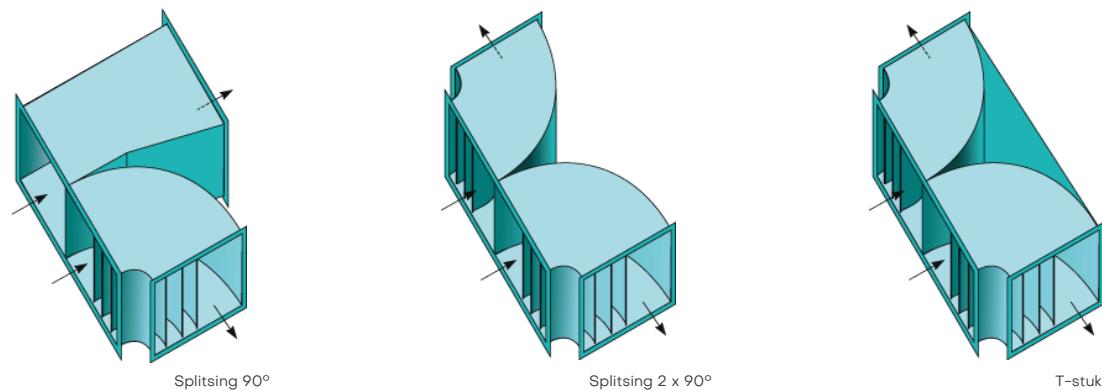


Afb. 3.29 Uitvoeringsvormen van aftakkingen

3.5.7.5 Splittingsen

Een splitsing van een hoofdkanaal in twee doorgaande kanalen wordt standaard uitgevoerd in de vorm van:

1. Een splitsing 90° ;
2. Een splitsing $2 \times 90^\circ$;
3. Een omgekeerd T-stuk.



Afb. 3.30 Uitvoeringsvormen van splittingsen

3.6 Rechthoekige kanalen van vezelplaat of hardschuim

3.6.1 Algemeen

Kanalen van vezelplaat of hardschuim worden bovendeks toegepast als geïsoleerd toe- en/of afvoerkanaal. Ook worden kanalen van vezelplaat of hardschuim toegepast vanwege hun geringe gewicht.

Rechthoekige mineraalwolkanalen

De mineraalwol luchtkanalen worden uitgevoerd in:

1. Glaswol:
 1. Met een volumieke massa van 78 kg/m^3 met een tolerantie van 5%;
 2. Met een minimale plaatdikte van 22 mm met een tolerantie van $\pm 1 \text{ mm}$.
2. Steenwol:
 1. Met een volumieke massa van 150 kg/m^3 met een tolerantie van 5%;
 2. Met een minimale plaatdikte van 20 mm met een tolerantie van $\pm 1 \text{ mm}$.

De mineraalwol luchtkanalen zijn in de volgende uitvoeringsvormen leverbaar:

1. Glaswol:
 1. Met een 100 micron dikke aluminium folie buitenmantel, geschikt voor binnenopstelling;
 2. Met een polyester buitenmantel, geschikt voor buitenopstelling;
 3. Met een 100 micron dikke aluminium folie binnenbekleding en een polyester buitenbekleding, geschikt voor buitenopstelling.
2. Steenwol:
 1. Met een buitenmantel van cement, geschikt voor binnenopstelling.

De toelaatbare systeemdruk bij mineraalwolkanalen bedraagt:

1. Voor rechthoekige glaswolkanalen met aluminium buitenmantel: 500 Pa;

2. Voor rechthoekige glaswolkanalen met polyester buitenmantel: 750 Pa;
3. Voor achthoekige glaswolkanalen met polyester buitenmantel: 1.000 Pa;
4. Voor rechthoekige steenwolkanalen: 850 Pa.

De kanalen van glas- en steenwol met stalen profielen zijn toepasbaar tot een bedrijfstemperatuur van 120 °C.

Teneinde de erosiebestendigheid te kunnen garanderen, zijn de kanalen inwendig afgewerkt met een ingebakken glasvlies of aluminium, afhankelijk van de toepassing. De luchtsnelheid in het kanaalsysteem mag nergens meer bedragen dan 12 m/s.

Rechthoekige hardschuim luchtkanalen

De hardschuim luchtkanalen worden vervaardigd uit platen met een minimale volumieke massa van 40 kg/m³ met een minimale dikte van 20 mm. Deze platen zijn één- of tweezijdig voorzien van een aluminium folie met een dikte van 60 micron.

De hardschuim kanalen zijn in de volgende uitvoeringsvormen leverbaar:

1. Fenolschuim:
 1. Met aluminium buitenmantel en glasvlies binnenbekleding, geschikt voor binnenopstelling;
 2. Met aluminium buitenmantel en aluminium binnenbekleding, geschikt voor binnenopstelling;
 3. Met polyester buitenmantel en aluminium binnenbekleding, geschikt voor buitenopstelling.
2. Pirschuim:
 1. Met aluminium buitenmantel en aluminium binnenbekleding, geschikt voor binnenopstelling;
 2. Met polyester buitenmantel en aluminium binnenbekleding, geschikt voor buitenopstelling.

De toelaatbare systeemdruk voor luchtkanalen van hardschuim bedraagt 750 Pa.

De kanalen van hardschuim met stalen profielen zijn toepasbaar tot een bedrijfstemperatuur van 110 °C.

3.6.2 Afmetingen en toleranties

Bij mineraalwol kanalen: + 2 mm tot een zijde van 1.200 mm en + 4 mm bij een zijde groter dan 1.200 mm.

De maximale tolerantie voor de lengte (L) van een rechtkanaal is $\pm 0,005 \cdot L$.

3.6.3 Constructieve uitvoering

Mineraalwol kanalen

De uitvoeringsmogelijkheden van mineraalwol luchtkanalen zijn:

1. Steenwol met een buitenmantel van cement, geschikt voor binnenopstelling;
2. Glaswol met 100 micron aluminiumfolie buitenmantel, geschikt voor binnenopstelling;
3. Glaswol met polyester buitenmantel, geschikt voor buitenopstelling;
4. Glaswol met 100 micron aluminium binnenmantel en polyester buitenmantel, geschikt voor buitenopstelling. Voor het aanbrengen van polyester zijn de volgende specificaties van toepassing:
 1. 450 gram/m² glasvlies bij een inwendige kanaalmaat kleiner dan 700 mm;
 2. 2 x 450 gram/m² glasvlies bij een inwendige kanaalmaat gelijk aan of groter dan 700 mm.

Hardschuim kanalen

De kanalen worden vervaardigd uit vlakke plaat, waarin op de hoek V-groeven worden gesneden. Deze groeven worden verlijmd. De sluitzijden worden onder een hoek van 45° afgesneden, verlijmd en afgewerkt met aluminiumtape met een minimale breedte van 50 mm en voor zover nodig voorzien van verbindingskrammen.

Uitgaande van de in 3.6.4 gegeven minimale plaatdikte worden kanaalvlakken > 700 mm inwendig verstijfd.

3.6.4 Plaatkwaliteit en dikte

Mineraalwol kanalen

Uitgaande van de in 3.6.1 gegeven minimale plaatdikte worden kanaalvlakken met een breedte van meer dan 600 mm bij glaswol en 1200 mm bij steenwol inwendig versterkt met verstijvingen van verzinkt staal. Deze verstijvingen worden door middel van parkers met ringen op de kanaalvlakken aangebracht. Het aantal verstijvingsprofielen bedraagt per m² wandoppervlak:

1. Bij glaswol: 1 per 0,75 m²;
2. Bij steenwol: 1 per 1,25 m².

Hardschuim kanalen

De hardschuim luchtkanalen worden uitgevoerd in de minimale plaatdikte van 20 mm voor fenolschuim, en 20 mm voor pirschuim. De luchtkanalen worden bij deze dikten zo gefabriceerd, dat voldoende stijfheid tegen vervorming aanwezig is.

3.6.5 Dwars- en langsverbindingen

Mineraalwol kanalen

Dwarsverbindingen van luchtkanalen van mineraalwol worden uitgevoerd door middel van uit plaatstaal gevormde profielen in de kwaliteit DX 51 DZ 275 MAC, met een tweezijdige zinklaag aangebracht volgens het sendzimir-procédé, met een laagdikte van 275 g/m² tweezijdig volgens de drievlakkenproef gemeten.

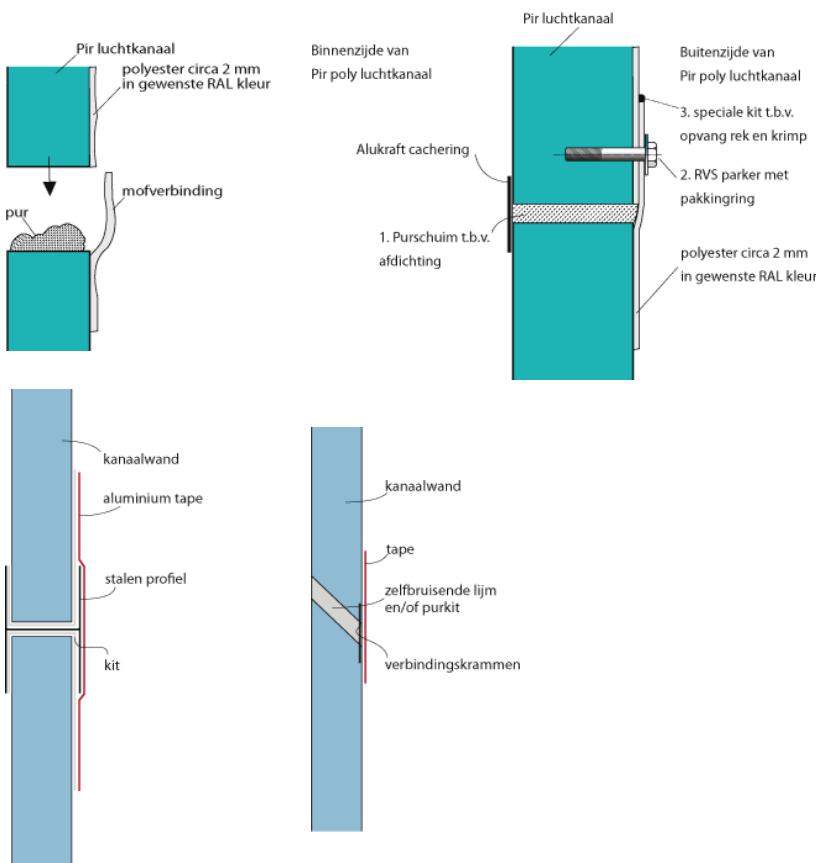
De plaat- en zinkkwaliteit moet voldoen aan NEN-EN 10146 [31]. De plaatstaal profielen worden deugdelijk op de kanalen bevestigd.

De langsverbindingen worden als geprofileerde naden uitgevoerd en afgewerkt met een aluminiumtape met een minimale breedte van 75 mm bij luchtkanalen met een aluminium buitenmantel.

Hardschuim kanalen

De dwarsverbindingen van luchtkanalen van hardschuim worden zodanig gemaakt dat een voldoende luchtdichte verbinding wordt verkregen. De verbinding wordt uitgevoerd met:

1. Stalen profiel met kit, aan buitenzijde afgewerkt met aluminiumtape;
2. Verbindingskrammen met zelfbruisende lijm en/of purkit, afgewerkt met tape;
3. Mofverbinding, met purschuim als afdichting, afgekit en met parker met pakkingring geborgd.



Afb. 3.31 Dwarsverbinding bij hardschuim kanalen

3.6.6 Borging

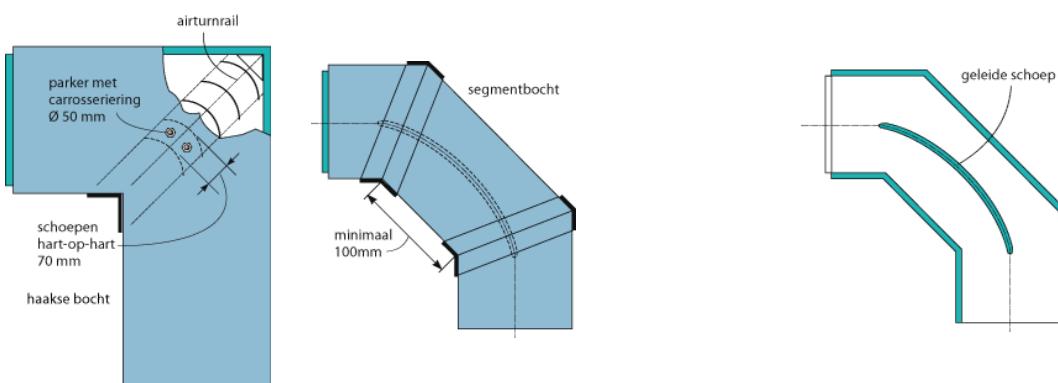
Borging is beschreven bij de langs- en dwarsverbindingen.

3.6.7 Hulpstukken

3.6.7.1 Bochten

Bochten worden uitgevoerd als:

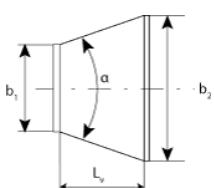
1. Bochten met een hoek groter dan 45° dienen te worden voorzien van schoepen;
2. Haakse bochten worden voorzien van schoepen c.q. airturns.



Afb. 3.32 Voorbeelden van bochten

3.6.7.2 Verlopen

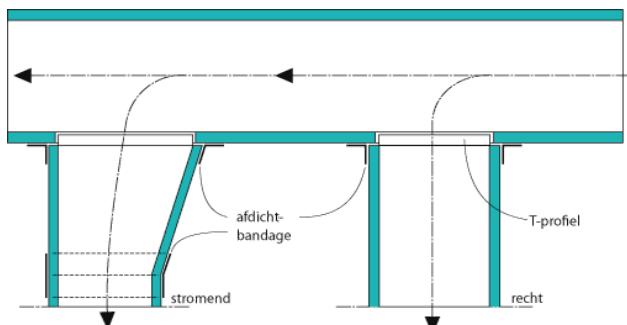
De verloopstukken zijn leverbaar in symmetrische uitvoering, waarbij de lengte L_v zo kort wordt gekozen dat de tophoek α niet meer dan 60° bedraagt.



Afb. 3.33 Verloopstuk

3.6.7.3 Aftakkingen

Een aftakking (een afsplitsing van een doorgaand hoofdkanaal), kan tot stand worden gebracht door middel van een recht of een stromend hulpstuk en vindt plaats onder een hoek van 90°. Luchtechnische aspecten bepalen mede het type uitvoering.



Afb. 3.34 Aftakkingen

3.7 Flexibele metalen kanalen/slangen**3.7.1 Algemeen**

Flexibele metalen kanalen worden vooral gebruikt voor het aansluiten van roosters op kanalen. Flexibele metalen kanalen hebben een grotere weerstand dan de metalen kanalen. Eigenschappen van flexibele metalen kanalen worden gegeven in de NEN-EN 13180 [24].

Ronde flexibele metalen kanalen (slangen) zijn conform [21] leverbaar in de volgende materialen:

1. Aluminium;
2. Aluminium folie.

Ronde flexibele metalen kanalen (slangen) zijn conform [21] leverbaar in de volgende uitvoeringen:

1. Ongeïsoleerd;
2. Thermisch geïsoleerd;
3. Akoestisch geïsoleerd.

Ongeïsoleerd flexibel kanaal

Dit kanaal, dat in alle vooroedemde materialen wordt geleverd, is voorzien van een, al dan niet verdekte stalen spiraal met of zonder coating.

Thermisch geïsoleerd flexibel kanaal

Een thermisch geïsoleerd flexibel kanaal bestaat uit een met thermisch isolerend materiaal (glaswol of steenwol) omwikkeld kanaal, zoals omschreven bij het ongeïsoleerde flexibele kanaal. Om de isolatie is een flexibele buitenmantel aangebracht van versterkt polyesterlaminaat, eventueel voorzien van een stalen spiraal.

Akoestisch geïsoleerd flexibel kanaal

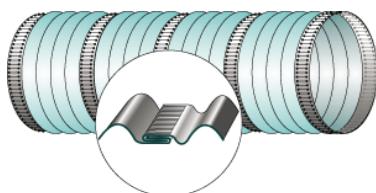
Een akoestisch geïsoleerd flexibel kanaal bestaat uit een spiraalversterkt flexibel kanaal dat is omwikkeld met een akoestisch materiaal zoals glaswol of steenwol. Om de isolatie is een flexibele buitenmantel aangebracht van versterkt aluminium lamaat of kunststof folie, eventueel voorzien van een stalen spiraal.

3.7.2 Afmetingen en toleranties

De flexibele luchtkanalen worden vervaardigd in de volgende diameters: 63, 80, 100, 125, (150), 160, 200, 250, (300), 315, (355), 400, (450), 500, (560) en 630 mm. De tussen haakjes aangegeven maten zijn niet standaard. Zij worden meestal in gecomprimeerde toestand geleverd met lengten tussen 0,4 en 3 m. Voor gebruik moet het kanaal worden uitgetrokken. Na het uittrekken mag de lengte niet meer dan 3% korter zijn dan de door de leverancier opgegeven lengte. De flexibele kanalen zijn, afhankelijk van de fabrikant leverbaar in lengten van 1 tot 10 m in uitgetrokken toestand.

3.7.3 Constructieve uitvoering**Aluminium slang**

De verbinding in spiraalgewikkelde band wordt uitgevoerd in een fels, waarbij voldoende stijfheid en luchtdichtheid worden verkregen.



Afb. 3.35 Felsverbinding in spiraal gewikkelde aluminium slang

3.7.4 Plaatkwaliteit en dikte**Aluminium slang**

Voor het vervaardigen van aluminium flexibele kanalen wordt gebruikt gemaakt van aluminium band volgens NEN-EN 573 [49].

De dikte van het materiaal is afhankelijk van het type slang en van de leverancier.

De minimale banddikte is 0,095 mm.

Aluminiumfolieslang

De slang wordt samengesteld uit lagen aluminium- en polyesterfolie of aluminium polyester laminaat. De slang moet voldoen aan NEN 6065 [41], minimaal klasse 2/brandvoortplanting.

3.7.5 Dwars- en langsverbindingen

Flexibele kanalen (slangen) worden in het algemeen met het kanaal verbonden door toepassing van een klemband.

3.8 Flexibele kunststof slangen

3.8.1 Algemeen

Dit flexibele kanaal is voorzien van een vezelversterkte synthetisch doek, al dan niet voorzien van verdekte spiralen, of van een vinyl gecoat weefseldoek, al dan niet met verdeckt staal spiraal met of zonder coating.

3.8.2 Afmetingen en toleranties

De flexibele luchtkanalen worden vervaardigd in de volgende diameters: 63, 80, 100, 125, (150), 160, 200, 250, (300), 315, (355), 400, (450), 500, (560) en 630 mm. De tussen haakjes aangegeven maten zijn niet standaard. Zij worden meestal in gecomprimeerde toestand geleverd met lengten tussen 0,4 en 3 m. Voor gebruik moet het kanaal worden uitgetrokken. Na het uittrekken mag de lengte niet meer dan 3% korter zijn dan de door de leverancier opgegeven lengte. De flexibele kanalen zijn, afhankelijk van de fabrikant leverbaar in lengten van 1 tot 10 m in uitgetrokken toestand.

3.8.3 Constructieve uitvoering

De slang wordt vervaardigd van een vezelversterkte synthetische doek of van een vinyl gecoat weefseldoek en is voorzien van een staal spiraal.

3.8.4 Plaatkwaliteit en dikte

De dikte van het materiaal is afhankelijk van het type slang en van de leverancier.

3.8.5 Dwars- en langsverbindingen

Flexibele kanalen (slangen) worden in het algemeen met het kanaal verbonden door toepassing van een klemband.

3.9 Textiele kanalen

3.9.1 Algemeen

Het gaat hierbij om textiele transportkanalen; dat wil zeggen kanalen die niet luchtdoorlatend zijn. Textiele kanalen met een luchtdoorlatendheid, gaatjespatroon en dergelijke worden hier buiten beschouwing gelaten.

3.9.2 Afmetingen en toleranties

Textiele luchtkanalen worden vervaardigd in de volgende diameters: 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 710, 830, 900, 1000, 1120, 1250, 1400 en 1600 mm. Textiele luchtkanalen zijn verkrijgbaar in verschillende vormen: rond, halfronde, kwart rond en bij een aantal leveranciers ook in opgegeven segmenten. Textiele luchtkanalen worden geleverd in diverse lengten. Grottere lengten kunnen gemaakt worden door meer delen aan elkaar te ritsen met speciale luchtdichte ritsen.

3.9.3 Constructieve uitvoering

Voor textiele luchtkanalen worden technische vezels gebruikt die door een speciale behandeling specifieke eigenschappen kunnen krijgen. Denk hierbij aan bijvoorbeeld brandwerendheid. In vochtige omgevingen, bijvoorbeeld zwembaden, kan een PVC-coating worden aangebracht.

Voor de ophanging van de kanalen kunnen clips worden aangenaaid of wordt het kanaal voorzien van een of meer zgn. pezen.

3.9.4 Dwars- en langsverbindingen

Textiele kanalen worden in het algemeen met vaste kanalen of ventilatoren verbonden door toepassing van een klemband. Onderling worden textiele kanalen verbonden door luchtdichte ritsen.

3.10 Het coaten van luchtkanalen

3.10.1 Doel van het coaten

Het doel is om het kanaalwerk te beschermen. Dit kan zijn omdat er agressieve stoffen in de lucht aanwezig zijn, denk aan zwembaden. Ook kan de aangezogen buitenlucht corrosie bevorderende bestanddelen bevatten.

Het coaten kan ook plaats vinden met als doel het inwendig reinigen te vereenvoudigen.

Denk hierbij aan kanalen van mineraalwol en hardschuim, die in de voedingsmiddelen industrie worden toegepast.

3.10.2 Typen coating

Er zijn verschillende typen coating met diverse toepassingen en gebruiksvoorschriften (zie tabel 3.33).

Veel voorkomende typen zijn:

1. Waterafstotende bitumineuze coating;
2. Polyester coating;
3. Polyurethaan coating;
4. Corrosieverende primer.

Naast het doel van de coating, wordt de toepassing ook bepaald door de aard van het luchtkanaal en het toepassingsgebied van het kanaal. De aard van het kanaal kan worden onderscheiden in:

1. Rechthoekig mineraalwol;
2. Rechthoekig hardschuim;
3. Rechthoekig verzinkt staalplaat;
4. Rond verzinkt staalplaat.

Tabel 3.33 Overzicht van toegepaste materialen voor coatings en hun toepassingen

Type coating	Rechthoekig mineraalwol	Rechthoekig hardschuim	Rechthoekig verzinkt	Rond verzinkt, ovaal verzinkt	Toepassingsgebied
Waterafstotende bitumen	X	X	X	X	Buiteluchtaanzuigkanaal
Polyester	X	X			Voedingsmiddelenindustrie
Polyurethaan				X	Op corrosiebestendige ondergrond
Corrosieverende primer	X (flenzen)	X (flenzen)	X	X	In agressieve omgeving

4 Kwaliteit van het ontwerp

4.1 Algemeen

Iedere fase in het realisatieproces van een compleet en goed functionerend luchtkanalensysteem draagt bij aan de uiteindelijke kwaliteit ervan. Dit geldt in het bijzonder voor de ontwerpfase, waarin de principiële opzet van het kanalensysteem gestalte krijgt, de drukverliesberekening wordt uitgevoerd, rekening wordt gehouden met beheer- en onderhoudsaspecten en werktekeningen worden gemaakt.

4.2 Ontwerpuitgangspunten

Een luchtkanalensysteem wordt ontworpen op basis van de vereiste luchthoeveelheden die in de te conditioneren ruimten moeten worden toe- en/of afgevoerd. Deze debieten worden per ruimte bepaald aan de hand van:

1. Dimensionerende berekeningen bij gekozen ontwerpcondities;
2. Temperatuuroverschrijdingberekeningen gedurende de zomerperiode.

De hoeveelheid verse lucht wordt ontleend aan het Bouwbesluit [1], NPR-CR 1752 [2] of NEN-EN 15251 [3] en is voor deze publicatie een gegeven waaraan voldaan moet worden.

Indien bouw- en inrichtingsmaterialen worden toegepast waarvan bekend is dat deze het binnenmilieu belasten moet men hogere waarden hanteren [4]. De lucht moet zonder gevaar voor tocht of hinder van geluid worden toegevoerd.

Het bovenstaande maakt duidelijk dat de uitgangspunten, waaraan het ontwerp van het luchtkanalensysteem ten grondslag ligt, eenduidig moeten worden gespecificeerd en vastgelegd ten aanzien van een aantal aspecten.

Toegepaste kwaliteitssystemen

Voor woningen: ontwerp en uitvoering volgens de BRL 6000-10 [47]).

Voor woningen: oplevering volgens de BRL 8010 [51] (zie inleiding).

De randvoorwaarden en interacties met andere disciplines

Bij toepassing van bijvoorbeeld instortkanalen is er overleg/afstemming nodig met de bouwer. Bij de toepassing van schachten is er overleg nodig met andere disciplines over plaatsen/temperaturen in de schacht. Ook bij toepassing van verlaagde plafonds waarboven de kanalen geplaatst moeten worden is overleg noodzakelijk met bouwer en architect.

Binnen- en buitenklimaatcondities

Dit betreft een specificatie van de tijdens de gebruiksduur aan te houden binnen- en buitenklimaatparameters (temperatuur, vochtigheid, luchtsnelheid) in de vorm van minima en maxima of van toelaatbare onder-/overschrijdingen gedurende een voorgeschreven referentieperiode (klimaatjaar volgens NEN 5060 [5]).

Invoervariabelen voor temperatuursimulatieprogramma's

Ten behoeve van temperatuursimulatieprogramma's moet voor het desbetreffende gebouw een groot aantal invoervariabelen worden vastgelegd, zoals bouwfysische gegevens, interne warmteproductie van personen, apparatuur en verlichting, infiltratie e.d. [6].

Toelaatbare geluidsniveau t.g.v. de installaties

Het toelaatbare installatiegeluidsniveau is een belangrijk ontwerpgegeven omdat dat de maximale luchtsnelheden in het kanalensysteem en dus de dimensies bepaalt [7].

Toelaatbare temperatuurstijging/-daling in de luchtkanalen

Het maximale verschil tussen de luchttredetemperatuur uit het luchtbehandelingsapparaat en de luchttoevoertemperatuur in het vertrek moet worden gespecificeerd. Bij luchtverwarming moet aangegeven worden wat de toelaatbare afkoeling van de lucht is. Dit bepaalt de noodzaak/dikte van thermische isolatie.

Luchtdichtheid van de kanalen

Een luchtkanalensysteem, dat volgens de gangbare productiemethoden wordt vervaardigd, vertoont op de naden en de verbindingen enige lekkage, vooral op de hoekpunten van dwarsverbindingen. In het ontwerpstadion moet duidelijk worden vastgelegd: het type verbinding en de afwerking, het toelaatbare lekverlies, de toetsingsdruk en de beproefingsprocedure van zowel het gerede product als van het gerede ontwerp van het luchtkanalensysteem. Het gebruik van niet-geprefabriceerde hulstukken wordt afgeraden.

Toelaatbare toleranties in het luchtdebit

In de ontwerpspecificaties moeten de toelaatbare toleranties van het luchtdebit worden aangegeven, dat wil zeggen de afwijkingen van het ontwerpdebit onder referentiecondities. Hierbij spelen economische overwegingen en het effect op het binnenklimaat een rol.

Referentiecondities

Het luchtdebit hangt samen met het drukverlies in het luchtkanalensysteem, dat echter niet constant is vanwege vervuiling van filters, kleppen of roosters. Ook het buitenklimaat (wind) beïnvloedt het luchtdebit. De ontwerpdebieten moeten daarom voor gespecificeerde referentiecondities worden vastgelegd.

Luchtkanaalberekening

Ten aanzien van dimensionering van het luchtkanalensysteem moet duidelijk de gehanteerde ontwerp methode worden aangegeven onder vermelding van de maximale luchtsnelheid en/of wrijvingsweerstand alsmede de debietgrenzen waarbij deze gelden.

Energiegebruik

Voor ventilatiesystemen waarbij geconditioneerde lucht wordt toegevoerd kan het te verwachten energiegebruik in een referentieklimaatjaar een ontwerpspecificatie zijn.

Ruimtebeslag

In het ontwerp van het luchtkanalensysteem moet rekening worden gehouden met het beheer en onderhoud. Dit betekent dat componenten in het luchtkanalensysteem die regelmatig onderhoud vereisen zodanig moeten worden aangebracht dat deze makkelijk toegankelijk zijn. Technische ruimten moeten via het gebouw op eenvoudige wijze bereikbaar zijn langs een toegangsweg, zodanig dat noodzakelijke vervanging van onderdelen zonder problemen mogelijk is.

Oplevering

Aangeven welke documenten/metingen bij de oplevering overlegd moeten worden. Moet voor woningen aan de BRL 8010 voldaan worden of niet?

Beheer en onderhoud

Met het oog op het ontwerp, de constructie, het onderhoud en toekomstige wijzigingen dienen voor alle componenten gegevens te worden vastgelegd ten aanzien van:

1. Geluid;
2. Montage;
3. Bediening;
4. Onderhoud;
5. Gebruikcondities;
6. Afmetingen en massa;
7. Materialen en oppervlaktebehandeling.

4.3 Situering en uitvoering

Luchtinlaten van klimaatinstallaties dienen zodanig te worden gesitueerd, dat deze bij de heersende windrichting geen lucht kunnen innemen die mogelijkwijs microbiologisch is besmet door een nabijgelegen installaties. De toevoerlucht moet wettelijk voldoen aan de verdunningseisen volgens NEN 1087 [50]. Bij koeltorens moet voldaan worden aan de regels om Legionella besmetting te voorkomen (zie ISSO-publicatie 55.3 [52]). De aangezogen buitenlucht moet worden gefilterd met een filter dat voor utiliteitsgebouwen ten minste voldoet aan klasse F7 [8, 9].

Het ontwerp en de uitvoering van de klimaatinstallaties als geheel moeten zodanig zijn dat de kans op microbiologische besmetting zo klein mogelijk is. Daarbij zijn de volgende aspecten van belang:

1. De apparatuur en de luchtkanalen moeten inwendig zo glad mogelijk zijn en bij voorkeur niet met isolatiematerialen zijn bekleed;
2. De apparatuur en de luchtkanalen dienen via voorzieningen inwendig te kunnen worden geïnspecteerd en gereinigd;
3. De apparatuur en de luchtkanalen dienen zo min mogelijk dode hoeken te bevatten of plaatzen waar zich (condens)water kan verzamelen;
4. De gebruikte materialen moeten bestand zijn tegen gangbare desinfectantia (waterstofperoxide, middelen op alcoholbasis, chloor), met name chloor;
5. De ontsmetting moet zodanig kunnen worden uitgevoerd dat het onderhoudspersoneel zelf niet in contact kan komen met potentieel infectieuze, giftige of tot overgevoeligheid aanleiding gevende micro-organismen.

(SB II.3-6)

4.4 Werktekeningen

Voordat met de productie van de luchtkanalen wordt begonnen, worden volledige werktekeningen ter goedkeuring aan de opdrachtgever en/of directie overlegd. Op deze werktekeningen moet men ten minste aangeven:

1. Afmetingen en type verbinding;
2. Montagecoderingen;
3. Verstijvings-, ondersteunings- en bevestigingsconstructies;
4. Regelkleppen (soort), eventuele brandkleppen en aansluitingen op apparatuur;
5. Details van de afwerking bij eventuele brandvrije en geluiddichte wanddoorvoeringen;
6. Details van trillingsgeïsoleerde ophangconstructies;
7. Flexible verbindingen met materiaalsoort en vrije afstand;
8. Inspectie- en schoonmaakluiken, meetpunten of meetstations;
9. Geluiddempers.

(SB I.8-1)

4.5 Akoestische aspecten

Om gebouwen leefbaar te houden zijn tal van technische installaties nodig zoals voor verwarming, ventilatie, luchtbehandeling en transport. Al deze installaties produceren geluid en trillingen die geen aanleiding mogen geven tot klachten. Daarom moet aan de hand van berekeningen worden vastgesteld welke akoestische voorzieningen noodzakelijk zijn om te voldoen aan de in het Programma van Eisen gestelde eisen ten aanzien van het toelaatbare geluidniveau in de vertrekken. Hierbij geldt als uitgangspunt dat binnen de gestelde financiële en technische mogelijkheden apparatuur wordt geselecteerd met een zo laag mogelijke geluidsproductie.

Uitgaande van zo stil mogelijke apparatuur als financieel en technisch haalbaar is, is onderstaand de te volgen werkwijze samengevat om de noodzakelijke akoestische voorzieningen te bepalen:

1. Bepaling van het geluidvermogensniveau van de geluidsbron;
2. Bepaling van de geluiddemping van de installatie of bouwkundige scheiding;
3. Toetsing van het resulterende geluidniveau aan de gestelde eisen.

Indien het toelaatbare geluidniveau wordt overschreden dienen akoestische voorzieningen te worden getroffen in de vorm van:

1. Zo mogelijk verlagen van de geluidsproductie door selectie van een geluidarme apparatuur;
2. Het selecteren van een geluiddemping, die zo dicht mogelijk bij de bron wordt geplaatst;
3. Het zonodig inwendig isoleren van kanalen (bij overspraak), of uitwendig als er sprake is van geluiduitstraling. Deze voorzieningen worden alleen getroffen indien voor de centrale geluiddemping onvoldoende ruimte beschikbaar is;
4. Het plaatsen van secundaire geluiddempers om geluidshinder van regelaars, irregelkleppen e.d. te voorkomen;
5. Het aanbrengen van een omkasting om de geluidsbron ter beperking van de geluiduitstraling of toepassing van een zwaardere constructie voor wanden, vloeren, daken, deuren e.d.

Voor de berekeningswijze wordt verwezen naar ISSO-publicatie 24 [7].

(SB I.3-3)

5 Drukverliesberekening

5.1 Berekeningsgrondslagen

(SB II.3-1)

5.1.1 Algemeen

De stroming van lucht kan worden beschreven door de vergelijking van Bernoulli, waarvoor de volgende aannamen gelden:

1. Het medium heeft geen inwendige wrijving;
2. Het medium is niet samendrukbaar;
3. De stroming is isotherm;
4. De stroming is stationair.

Met bovenstaande aannamen luidt de vergelijking van Bernoulli langs een stroomlijn:

$$p + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 + \rho \cdot g \cdot z = \text{constant} = p_t \quad [Pa] \quad (5.1)$$

Waarin:

p	=	statische druk	[Pa]
ρ	=	soortelijke massa	[kg/m³]
v	=	gemiddelde luchtsnelheid	[m/s]
g	=	versnelling van de zwaartekracht	[m/s²]
z	=	hoogte boven een gekozen referentieniveau	[m]
p_t	=	totale druk	[Pa]

De drie termen in vergelijking (5.1) stellen voor respectievelijk de statische druk, de dynamische druk en de druk, uitgeoefend door een kolom met hoogte z , als gevolg van de zwaartekracht. Wordt de vergelijking van Bernoulli toegepast op een buis met een niet constante doorsnede, verlopend van 1 naar 2, dan luidt de algemene vergelijking voor een ideaal stromend medium:

$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot z_1 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot z_2 \quad [Pa] \quad (5.2)$$

5.1.2 Stroming van lucht

Lucht wijkt in verschillende opzichten af van een ideaal stromend medium. Vanwege de viscositeit is de stroming als gevolg van de opgewekte wrijvingskrachten niet verliesvrij. Deze stromingsverliezen resulteren in een verschil in totale druk p , zodat de vergelijking van Bernoulli overgaat in:

$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 + \rho \cdot g \cdot z_1 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + \rho \cdot g \cdot z_2 + \Delta p \quad [Pa] \quad (5.3)$$

Lucht is samendrukbaar, maar bij de stroming van lucht in kanalen zijn de optredende druk- en temperatuurverschillen doorgaans zo klein dat praktisch voldaan wordt aan de 2e voorwaarde van een incompressibel medium met een constante dichtheid. Deze benadering is geoorloofd omdat bij de hier bedoelde toepassing van kanalen in woningen en utiliteitsgebouwen de stroming als een polytropisch verlopend proces is te beschouwen, variërend van een zuivere isotherme tot een adiabatische stroming. In dat laatste geval kan worden berekend dat bij comfortinstallaties voorkomende statische drukverschillen de afwijking als gevolg van de samendrukbaarheid van lucht niet meer dan 2% bedraagt.

In de praktijk is uitsluitend de stationaire situatie van belang, zodat voldaan wordt aan de eis dat de druk, de dichtheid en de snelheid in de tijd constant zijn.

Aangezien de druk wordt gemeten ten opzichte van de atmosferische druk en het temperatuurverschil van de lucht in en om het kanaal gering is, kan de invloed van de zwaartekracht worden verwaarloosd. Hiermee gaat de vergelijking van Bernoulli over in een vorm zoals deze vrijwel altijd wordt gebruikt bij de beschrijving van de luchtstroming in kanalen:

$$p_1 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 = p_2 + \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_2^2 + \Delta p \quad [Pa] \quad (5.4)$$

Waarbij de gemiddelde luchtsnelheid v wordt berekend uit de continuïteitsvergelijking:

$$v = \frac{q_v}{A} \quad [m/s] \quad (5.5)$$

Waarin:

q_v	=	volumestroom	[m³/s]
A	=	inwendige oppervlakte van dwarsdoorsnede	[m²]

5.1.3 Drukverlies in rechte kanalen

Het drukverlies als gevolg van wrijving in de rechte kanalen met een constante cirkelvormige doorsnede wordt berekend met:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad [Pa] \quad (5.6)$$

Waarin:

λ	=	wrijvingsfactor	[-]
L	=	lengte van kanaal	[m]
D	=	inwendige diameter van kanaal	[m]
ρ	=	soortelijke massa van lucht	[kg/m³]
v	=	gemiddelde luchtsnelheid	[m/s]

De wrijvingsfactor λ hangt onder andere af van het kengetal van Reynolds, dat de toestand van de stroming (laminair of turbulent) bepaalt. Het kengetal van Reynolds (Re) is gedefinieerd als:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\nu} \quad [-] \quad (5.7)$$

Waarin:

v	=	gemiddelde luchtsnelheid	[m/s]
D	=	inwendige diameter van kanaal	[m]
ν	=	kinematische viscositeit van lucht (zie formule 5.29)	[m²/s]

Bij laminaire stroming ($Re < 2300$) geldt:

$$\lambda = \frac{64}{Re} \quad [-] \quad (5.8)$$

In geval van turbulente stroming ($Re > 3500$) volgt de wrijvingsfactor uit de empirische formule van Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left(\frac{\epsilon}{3,72 \cdot D} + \frac{2,51}{Re \sqrt{\lambda}} \right) \quad [-] \quad (5.9)$$

Waarin:

ϵ	=	wandruwheid	[m]
------------	---	-------------	-------

Formule 5.9 is een impliciete formule voor de wrijvingsfactor, waarvan de juiste waarde door itereren wordt gevonden. Zonder afbreuk te doen aan de nauwkeurigheid kan het iteratieproces worden vermeden door de wrijvingsfactor te berekenen uit:

$$\frac{1}{\sqrt{\lambda}} = -2 \cdot \log \left(\frac{\epsilon}{3,72 \cdot D} + \frac{5,74}{Re^{0,901}} \right) \quad [-] \quad (5.10)$$

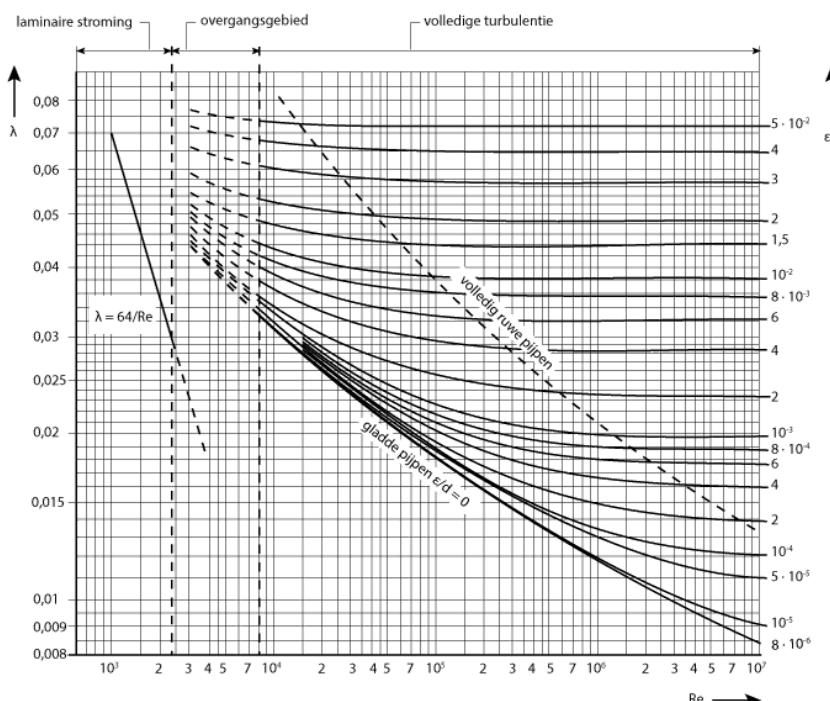
De formules 5.8 en 5.9 zijn grafisch weergegeven in het diagram van Moody (afbeelding 5.1).

In het gebied van $2300 < Re < 3500$ kan de stroming, afhankelijk van de mate van verstoring, zowel laminair als turbulent zijn. De wrijvingsfactor wordt berekend door lineaire interpolatie volgens:

$$\lambda = \frac{\lambda_L \cdot (3.500 - Re) + \lambda_T \cdot (Re - 2.300)}{3.500 - 2.300} \quad [-] \quad (5.11)$$

Waarin:

λ_L	=	wrijvingsfactor bij laminaire stroming bij $Re = 2300$	[-]
λ_T	=	wrijvingsfactor bij turbulente stroming bij $Re = 3500$	[-]



Afb. 5.1 Diagram van Moody

De in rekening te brengen wandrouwheid, die afhankelijk is van het toegepaste materiaal en het gevolgde fabricageproces, is weergegeven in tabel 5.1.

Tabel 5.1 Waarden voor de wandrouwheid ϵ bij luchtkanalen

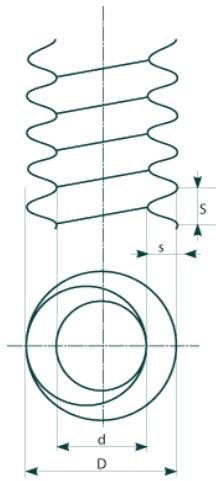
Uitvoering	Materiaal	Wandrouwheid ϵ [m]
Naadloze kanalen	Staal	$0,045 \cdot 10^{-3}$
	Aluminium	$0,045 \cdot 10^{-3}$
	Kunststof	$0,01 \cdot 10^{-3}$
Felsnaadkanalen (spiraalgefeste)	Verzinkt staal	$0,15 \cdot 10^{-3}$
	Roestvast staal	$0,15 \cdot 10^{-3}$
	Aluminium	$0,15 \cdot 10^{-3}$
Felsnaadkanalen (met langsnaad)	Verzinkt staal	$0,07 \cdot 10^{-3}$
	Roestvast staal	$0,07 \cdot 10^{-3}$
	Aluminium	$0,07 \cdot 10^{-3}$
Steenachtige kanalen	Beton	$2,0 \cdot 10^{-3}$
	Baksteen	$3,0 \cdot 10^{-3}$
Flexibele kanalen	Metaal	$0,5 - 3 \cdot 10^{-3}$
	Kunststof	
Inwendig geïsoleerde kanalen	Mineraalwol	$0,25 \cdot 10^{-3}$

1) Bij flexibele kanalen is de wrijvingsfactor te berekenen met formule 5.12

$$\lambda = \frac{1}{5} \cdot 10^4 \left(\frac{s}{d} \right)^6 \left(\frac{s}{s} \right)^7 \quad [-] \quad (5.12)$$

geldig voor $Re = ca. 5 \cdot 10^4$

Voor de in de formule gebruikte grootheden wordt verwezen naar afbeelding 5.2. Bij afwijkende kengetallen van Reynolds wordt de wrijvingsfactor berekend door in formule 5.9 voor de wandrouwheid de waarde van s in te vullen.

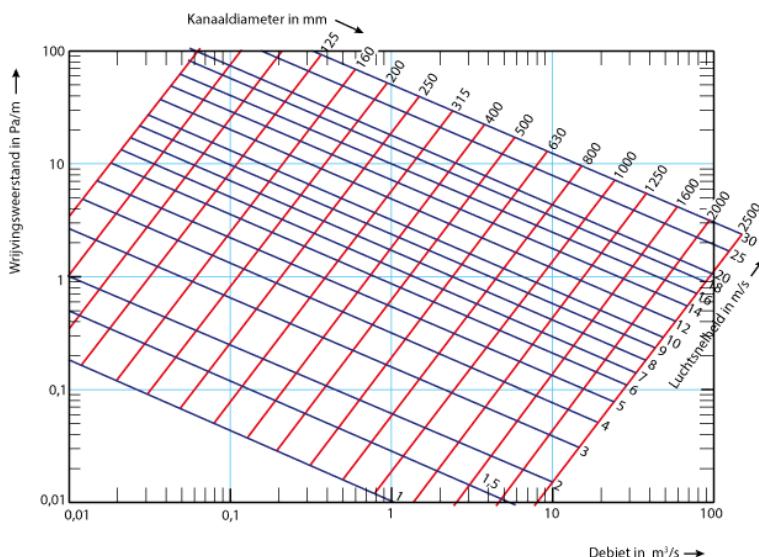


Afb. 5.2 Flexibel kanaal

Bij toepassing van akoestische slangen raadplegen de documentatie van de leverancier.

Voor handberekeningen wordt in de praktijk vaak gebruik gemaakt van met behulp van de formules 5.5, 5.6, 5.8 en 5.9 afgeleide nomogrammen, waaruit de wrijvingsweerstand per meter kanaal (R) wordt afgelezen.

Afbeelding 5.3 toont ter illustratie een nomogram voor de bepaling van het drukverlies door wrijving in rechte plaatstalen luchtkanalen met een ronde doorsnede. In het nomogram zijn gestandaardiseerde kanaaldiameters aangegeven. Het nomogram is afgeleid voor lucht van $20^\circ C$ bij een wandrouwheid van $0,15$ mm en een luchtdruk van 10^5 Pa.



Afb. 5.3 Nomogram voor de berekening van het drukverlies in ronde luchtkanalenvoor lucht van 20 °C en een druk van 10⁵ Pa bij $\epsilon = 0,15$ mm

5.1.4 Hydraulische diameter

Het drukverlies bij rechthoekige en ovale kanalen is te berekenen analoog aan de hiervoor beschreven methode voor rechte kanalen met een ronde doorsnede, met dien verstande dat aan het rechthoekige respectievelijk ovale kanaal de hydraulische diameter (D_h) moet worden toegekend. Deze is gedefinieerd als:

$$D_h = 4 \cdot \frac{A}{O} \quad [m] \quad (5.13)$$

Dit geeft na uitwerking voor rechthoekige kanalen:

$$D_h = \frac{2 \cdot a \cdot b}{a+b} \quad [m] \quad (5.14)$$

Dit geeft na uitwerking voor platte ovale kanalen:

$$D_h = \frac{\pi \cdot b^2 + 4 \cdot (a-b) \cdot b}{\pi \cdot b + 2 \cdot (a-b)} \quad [m] \quad (5.15)$$

Waarin:

A = oppervlakte van de dwarsdoorsnede $[m^2]$

O = omtrek van de dwarsdoorsnede $[m]$

a = (grootste) hoogte van kanaal $[m]$

b = (grootste) breedte van kanaal $[m]$

Bij rechthoekige en ovale kanalen moet in de formules 5.6, 5.7, 5.8 en 5.9 de hydraulische diameter worden ingevuld. Het drukverlies als gevolg van wrijving wordt berekend met:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{L}{D_h} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad [Pa] \quad (5.16)$$

Waarin voor de snelheid v moet worden uitgegaan van de bij het gegeven luchtdebit optredende gemiddelde snelheid, die conform formule 5.5 wordt berekend door van de werkelijke afmetingen van het rechthoekige kanaal uit te gaan.

5.1.5 Drukverlies door plaatselijke weerstanden

Het drukverlies door plaatselijke weerstanden, zoals hulpstukken en in het kanalensysteem opgenomen apparatuur, wordt in hoofdzaak bepaald door richting- en doorsnede veranderingen. Deze stromingsveranderingen veroorzaken wervelingen waarin kinetische energie wordt gedissipeerd. Het drukverlies door plaatselijke weerstanden wordt dan ook door middel van de weerstandscoëfficiënt betrokken op de dynamische druk volgens:

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad [Pa] \quad (5.17)$$

Bij het hanteren van de weerstandscoëfficiënt moet men zich steeds afvragen op welke snelheid deze is betrokken. De in deze paragraaf vermelde weerstandscoëfficiënten voor hulpstukken zijn conform [12] betrokken op:

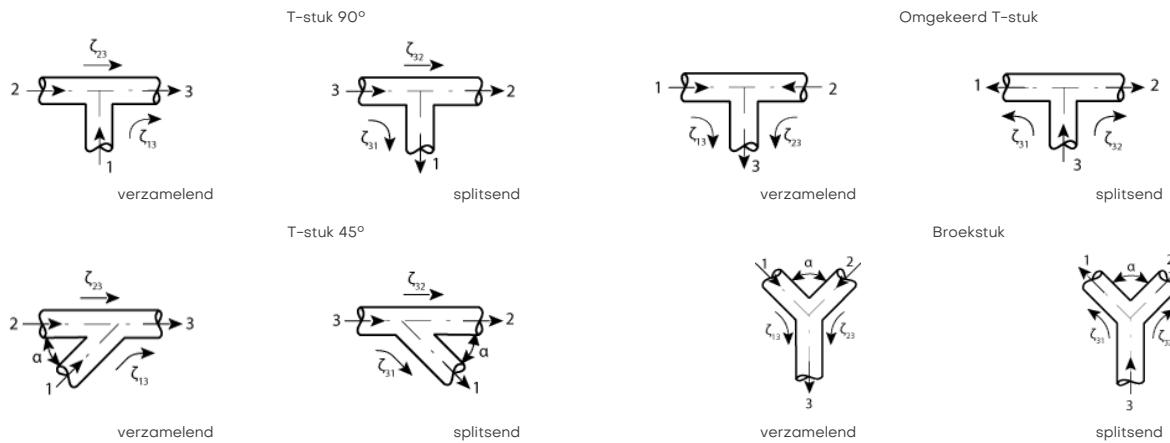
1. De snelheid aan de ingaande zijde indien het hulpstukken betreft met één ingaande en één uitgaande stroom. Dit is het geval bij bochten en verlopen, waarvoor geldt:

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 \quad [Pa] \quad (5.18)$$

2. De snelheid in de hoofdstroom (= grootste stroom) bij zowel verzamelende als splitsende stromen volgens afbeelding 5.4. Deze hoofdstroom krijgt per definitie de index 3. De drukval van stroom i naar stroom j wordt daarmee:

$$\Delta p_{ij} = \zeta_{ij} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_3^2 \quad [Pa] \quad (5.19)$$

Waar dit mogelijk is krijgt de doorgaande stroom per definitie de index 2 en de aftakkende stroom de index 1. Deze definitie van de weerstandscôefficiënt is voor een aantal situaties weergegeven in afbeelding 5.4.



Afb. 5.4 Definitie van ζ -waarden bij verzamelende en splitsende stromen

Opmerkingen:

1. In de praktijk wordt de weerstand van hulpstukken, appendages en apparaten ook wel in rekening gebracht door een daaraan toe te kennen equivalente lengte in m volgens:

$$L_{eq} = \zeta \cdot \frac{D_h}{\lambda} \quad [m] \quad (5.20)$$

De totale weerstand van een kanaaltak met hulpstukken volgt dan uit:

$$\Delta p = \lambda \cdot \frac{(\sum L + \sum L_{eq})}{D_h} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad [Pa] \quad (5.21)$$

Waarin:

$\sum L$ = lengte van rechte kanaalstukken [m]

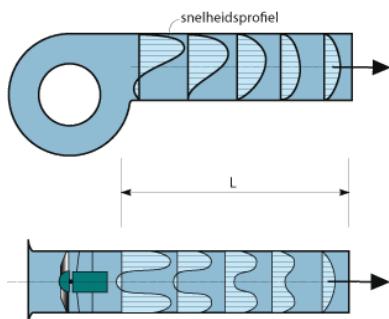
$\sum L_{eq}$ = equivalente lengte van hulpstukken, appendages en apparaten [m]

2. Gezien de geringe invloed van de wrijving op de totale weerstand van hulpstukken, leidt de in de praktijk veelal gevulde werkwijze, waarbij niet met de werkelijke lengte van de rechte kanalen wordt gerekend, maar met de verbindende lengte hart op hart tussen de hulpstukken, niet tot ontoelaatbare fouten. Op deze wijze worden de wrijvingsverliezen in de hulpstukken in feite dubbel in rekening gebracht door een iets grotere lengte van de rechte kanalen.

5.1.6 Drukverlies t.g.v. ventilatoropstelling

In veel situaties is het te transporteren koel- of verwarmingsvermogen de basis van het ontwerp en wordt op die basis een unit geselecteerd. Het kanalen systeem wordt dan ontworpen op het beschikbare drukverschil over de geselecteerde unit.

Wordt uitgegaan van benodigde luchtvolumestromen en drukken bij de ventielen, dan kan nadat het totale drukverlies in het kanalenstelsel, inclusief de hulpstukken, appendages en apparatuur, is bepaald, de ventilator worden geselecteerd aan de hand van de documentatie van de leverancier. De op de Nederlandse markt verkrijgbare ventilatoren zijn vrijwel altijd getest conform de regels van het Amerikaanse normblad AMCA Standard 210-07 'Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating' [16]. Hierin zijn de omstandigheden omschreven waaronder de test moet plaatsvinden. Ten aanzien van de opstelling houdt dat in een uniforme luchtaanstroming naar de ventilator en een uniforme luchtuitstroming uit de ventilator. Dit wordt gerealiseerd met aansluitkanalen van voldoende lengte, die afhankelijk van het type ventilator aan de zuig- en/of perszijde zijn voorgeschreven (zie tabel 5.2).



Afb. 5.5 Snelheidspriofiel in ventilator

Tabel 5.2 Voorgeschreven kanaallengte afhankelijk van de luchtsnelheid

Max. luchtsnelheid [m/s]	Min. kanaallengte ¹⁾ [m]
12	3.D
17	4.D
22	5.D

1) Bij rechthoekige en ovale kanalen $D = D_{hr}$

Lengte aansluitkanaal voor uniforme stroming

In de praktijk wordt de ventilator meestal opgesteld onder omstandigheden die afwijken van de testopstelling. De door de leveranciers verstrekte ventilatorkarakteristiek geeft, op een enkele uitzondering na, geen informatie over de ventilatoropstelling. Zo worden dubbelzijdig aanzuigende ventilatoren conform de AMCA-norm [16] getest zonder intredebescermrooster, riemschijf en V-snaar. Bovendien is het drukverlies afhankelijk van de uniformiteit van de stroming en van de richting van de aan- en uitstroming. Het is dus van belang te weten of met het bovenstaande in de karakteristiek rekening is gehouden. Is dat niet het geval dan moet een extra drukverlies in rekening worden gebracht, dat bij het totale drukverlies van het kanalenstelsel wordt opgeteld:

$$\Delta p_4 = \left(\zeta_0 \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \right)_{zuigzijde} + \left(\zeta_0 \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \right)_{perszijde} \quad [Pa] \quad (5.22)$$

Waarin:

Δp_4	=	drukverlies t.g.v. ventilatoropstelling	[Pa]
ζ_0	=	weerstandscoëfficiënt i.v.m. ventilatoropstelling (zie bijlage H)	[-]
ρ	=	soortelijke massa van lucht	[kg/m³]
v	=	gemiddelde luchtsnelheid	[m/s]

Voor de snelheid v hanteert men:

1. Voor effecten aan de zuigzijde van de ventilator de aanzuigsnelheid, gebaseerd op de afmetingen van de zuigmond (aansluitframe);
2. Voor effecten aan de perszijde van de ventilator de uitblaassnelheid, gebaseerd op de afmetingen van de persmond (aansluitframe).

De waarde van ζ_0 waarmee de opstelling van de ventilator in rekening wordt gebracht, is voor een groot aantal ventilatoropstellingen aan [12] ontleend en integraal in bijlage H opgenomen.

Opmerking: De weerstandscoëfficiënt in verband met de ventilatoropstelling ζ wordt in de literatuur ook wel system effect factor (SEF) genoemd.

5.1.7 Totaal drukverlies kanaalsysteem

Het totale drukverlies in een tak van een kanalenstelsel wordt conform het voorgaande berekend met:

$$\Delta p = \sum_{n=1}^i \left(\lambda \cdot \frac{L}{D_h} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \right)_n + \sum_{n=1}^j \left(\zeta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \right)_n \quad [Pa] \quad (5.23)$$

Waarin:

i	=	aantal rechte kanaalstukken in de desbetreffende tak	[-]
j	=	aantal hulpstukken, appendages en apparaten in de desbetreffende tak	[-]

De wrijvingsfactor λ berekent men volgens formule 5.9 of men bepaalt het drukverlies rechtstreeks met behulp van het nomogram volgens afbeelding 5.3. De waarde van de weerstandscoëfficiënt wordt ontleend aan de paragrafen 5.3.2 t/m 5.3.5.

Voor de dimensionering van de ventilator(en) gaat men uit van het grootst optredende drukverschil tussen respectievelijk de aanzuig-/afvoeropening van het luchtbehandelingsapparaat en enig uitblaas-/afvoerpunt ('ongunstigste tak' in het kanalenstelsel). Deze berekeningsgang is in formulevorm weergegeven door:

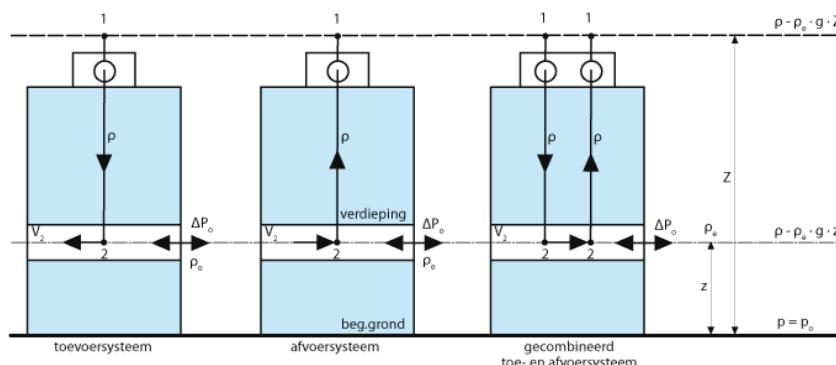
$$\Delta p_{vent} = (\Delta p_0 + \Delta p_1 + \Delta p_2 + \Delta p_3 + \Delta p_4 + \Delta p_5 + \Delta p_6)_{max} \quad [Pa] \quad (5.24)$$

Waarin:

Δp_0	=	in gebouw te onderhouden over-/onderdruk	[Pa]
Δp_1	=	totale kanaalweerstand (formule 5.23)	[Pa]
Δp_2	=	vereiste inregelruimte	[Pa]
Δp_3	=	uitstroomverlies ($= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$)	[Pa]
Δp_4	=	schoorsteeneffect ($= (p_e - p) \cdot g \cdot (Z - z)$)	[Pa]
Δp_5	=	drukverlies t.g.v. ventilatoropstelling (zie 5.1.6)	[Pa]

Eventueel kan met windeffecten (Δp_w) rekening worden gehouden.

Voor nauwkeurige berekeningen kan de hoogte niet worden verwaarloosd vanwege het zogenaamde schoorsteeneffect, dat ontstaat door verschillen in de soortelijke massa van de toevoer- of afvoerlucht en de buitenlucht. De verschillende praktijksituaties zijn in afbeelding 5.6 in beeld gebracht.



Afb. 5.6 In de praktijk voorkomende systemen van mechanische ventilatie

5.1.8 Eigenschappen van lucht

Voor drukverliesberekeningen is het van belang de juiste fysische eigenschappen van lucht te kennen [12, 13]. voor de soortelijke massa ρ geldt:

$$\rho = 2,167 \cdot \frac{1+x}{(\theta + 273,15) \cdot (0,622 + x)} \cdot p_b \quad [\text{kg/m}^3] \quad (5.25)$$

Waarin:

ρ	=	soortelijke massa	$[\text{kg/m}^3]$
θ	=	luchttemperatuur	$[^\circ\text{C}]$
x	=	absolute vochtigheid	$[\text{kg/kg}]$
p_b	=	luchtdruk	$[\text{kPa}]$

Met:

$$p_b = p_0 \cdot e^{-\frac{0,0035gH}{\theta+273,15}} \quad [\text{kPa}] \quad (5.26)$$

Waarin:

p_0	=	luchtdruk op zeeniveau	$[\text{kPa}]$
H	=	hoogte boven zeeniveau	$[\text{m}]$
e	=	grondtal natuurlijke logaritme	$[-]$
g	=	versnelling van de zwaartekracht	$[\text{m/s}^2]$

Met:

$$g = 9,780373 \cdot (1 + 0,0052891 \cdot \sin B)^2 - 0,0000059 \cdot \sin^2(2B) \quad [\text{m/s}^2] \quad (5.27)$$

Waarin:

$$B = \text{breedtegraad (voor Nederland } B = 52^\circ \text{)} \quad [^\circ]$$

Voor de dynamische viscositeit η , die niet van de luchtdruk afhangt, geldt de formule van Sutherland:

$$\eta = \eta_0 \cdot \left(\frac{\theta + 273,15}{273,15} \right)^{1,5} \cdot \left(\frac{273,15 + C_s}{\theta + 273,15 + C_s} \right) \quad [\text{Pa}\cdot\text{s}] \quad (5.28)$$

Waarin:

η	=	dynamische viscositeit	$[\text{Pa}\cdot\text{s}]$
η_0	=	dynamische viscositeit bij 0°C ($= 17,10 \cdot 10^{-6} \text{ Pa}\cdot\text{s}$)	$[\text{Pa}\cdot\text{s}]$
C_s	=	constante van Sutherland ($= 111$)	$[\text{K}]$

De kinematische viscositeit is gedefinieerd als:

$$U = \frac{\eta}{\rho} \quad [\text{m/s}^2] \quad (5.29)$$

De soortelijke warmte c_p (in $\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})$) kan in het temperatuurgebied van -40 tot 100°C worden benaderd door:

$$c_p = 1,0063 + 2,3214 \cdot 10^{-5} \cdot \theta + 3,2738 \cdot 10^{-7} \cdot \theta^2 \quad [\text{kJ}/(\text{kg}\cdot\text{K})] \quad (5.30)$$

De warmtegeleidingscoëfficiënt λ (in $\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})$) kan in het temperatuurgebied van -40 tot 100°C worden benaderd door:

$$\lambda = 24,524 \cdot 10^{-3} - 7,546 \cdot 10^{-5} \cdot \theta - 2,723 \cdot 10^{-8} \cdot \theta^2 \quad [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})] \quad (5.31)$$

Voor droge lucht bij een druk van 10^5 Pa kan men de eigenschappen van lucht aan tabel 5.3 ontlenen.

Tabel 5.3 Eigenschappen van droge lucht bij een druk van 10^5 Pa

Temperatuur [°C]	Soortelijke massa [kg/m³]	Soortelijke warmte [kJ/(kg·K)]	Kinematische viscositeit [10^{-6} m²/s]	Warmtegeleidingscoëfficiënt [10^{-3} W/(m·K)]
-40	1,494	1,006	10,07	21,46
-35	1,463	1,006	10,47	21,85
-30	1,433	1,006	10,87	22,24
-25	1,404	1,006	11,28	22,62
-20	1,376	1,006	11,69	23,00
-15	1,350	1,006	12,11	23,39
-10	1,324	1,006	12,54	23,77
-5	1,299	1,006	12,97	24,15
0	1,275	1,006	13,41	24,52
5	1,253	1,006	13,85	24,90
10	1,230	1,007	14,30	25,28
15	1,209	1,007	14,75	25,65
20	1,188	1,007	15,21	26,02
25	1,169	1,007	15,67	26,39
30	1,149	1,007	16,14	26,76
35	1,131	1,008	16,61	27,13
40	1,113	1,008	17,09	27,50
45	1,095	1,008	17,57	27,86
50	1,078	1,008	18,06	28,23
55	1,062	1,009	18,55	28,59
60	1,046	1,009	19,05	28,95
65	1,030	1,009	19,55	29,31
70	1,015	1,010	20,06	29,67
75	1,001	1,010	20,57	30,03
80	0,987	1,010	21,09	30,39
85	0,973	1,011	21,61	30,74
90	0,959	1,011	22,14	31,09
95	0,946	1,011	22,67	31,45
100	0,934	1,012	23,20	31,80

5.2 Ontwerpmethoden

(SB II.3-7)

5.2.1 Algemeen

De functie van een luchtkanalensysteem is het toevoeren van geconditioneerde lucht in de juiste hoeveelheden naar de juiste plaatsen en het afvoeren van de gebruikte lucht. Hoewel de opzet van een dergelijk net van kanalen van geval tot geval kan verschillen, is dit veelal het resultaat van één of andere vorm van optimalisering, waarbij tevens de integratie in het gebouw in de beschouwingen wordt betrokken.

Afhankelijk van de bouwkundige mogelijkheden en de gestelde randvoorwaarden komt de uiteindelijke kanalenloop tot stand. Indien deze bekend is, moeten voor elke kanaalsectie de snelheid en de afmetingen worden bepaald. Hiervoor bestaan verschillende ontwerpmethoden [18], die in de praktijk worden gehanteerd, te weten:

1. De methode van constante wrijving;
2. De methode van constante snelheid;
3. De methode van geleidelijke snelheidsreductie;
4. De methode van statische drukterugwinning;
5. De methode van gebalanceerd drukverlies.

In de praktijk is het kanaalontwerp meestal het resultaat van een combinatie van methoden. Welke methode of combinatie van methoden men ook kiest, steeds dient men zich te realiseren dat een kanalenstelsel aanzienlijke investeringen en energiekosten vergt en dat een zorgvuldig ontwerp daarom van groot belang is.

5.2.2 Methode van constante wrijving

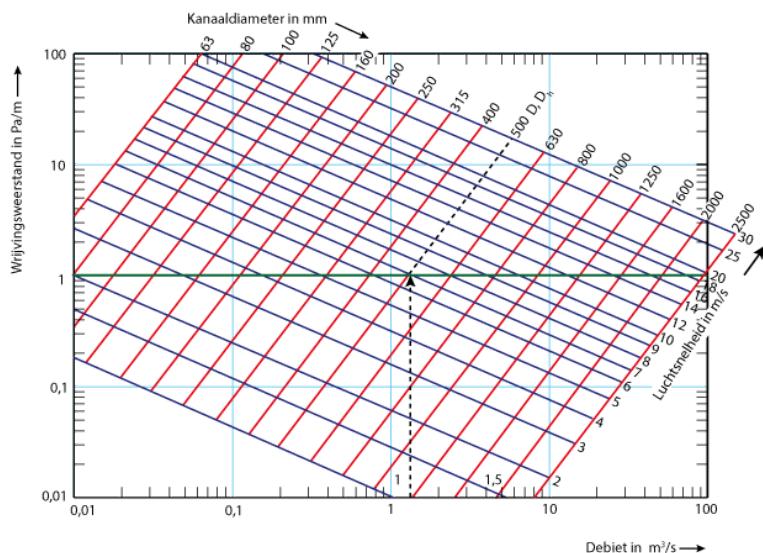
Bij een kanaalontwerp volgens de methode van constante wrijving houdt men het wrijvingsverlies per strekkende meter kanaal constant. Het drukverlies is daardoor evenredig met de afstand. Bij een gegeven wrijvingsverlies en luchtheoveelheid ligt de kanaaldoorsnede vast (zie afbeelding 5.7). Als richtwaarde voor het ontwerpverlies hanteert men waarden tussen 1 en 5 Pa/m.

Deze methode geeft bij grote debieten hoge snelheden, die mogelijk geluidsproblemen veroorzaken, terwijl bij kleine luchtdebieten zulke lage snelheden worden berekend dat met een kleinere diameter zou kunnen worden volstaan.

Bij deze methode wordt de totale weerstand van een kanaaltak met hulpstukken, uitgaande van de equivalente lengte van de hulpstukken, gevonden als het product van een gekozen wrijvingsweerstand per meter lengte (R) en een lengte:

$$\Delta p = R \cdot (\Sigma L + \Sigma L_{eq}) \quad [\text{Pa}] \quad (5.32)$$

De methode van constante wrijving is een vrij grove ontwerp methode, die een kritische instelling ten aanzien van het ontwerp vraagt in verband met mogelijkheden voor optimalisering.

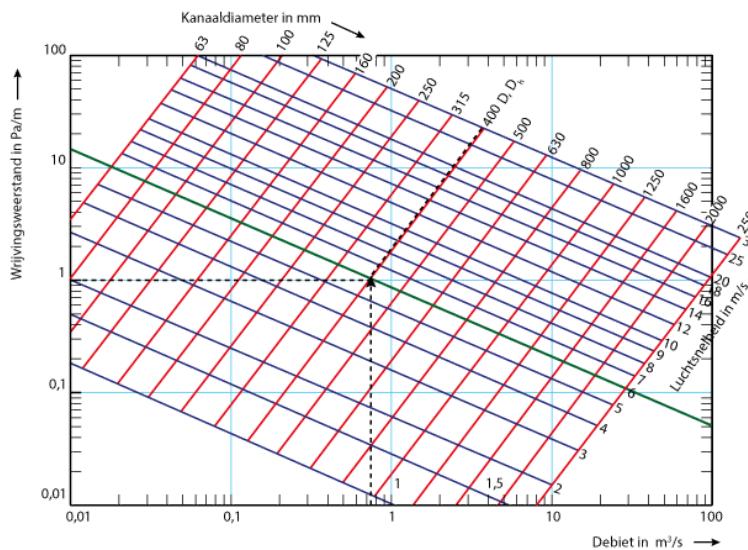


Afb. 5.7 Methode van constante wrijving

Opmerking: Bij toepassing van ronde luchtkanalen kan men de gemiddelde luchtsnelheid in het kanaal uit het nomogram volgens afbeelding 5.7 aflezen. In het geval van rechthoekige of ovale kanalen wordt de luchtsnelheid in het kanaal berekend op grond van het gegeven debiet en de werkelijke (gekozen) kanaalafmetingen. Afbeelding 5.7 dient dan alleen voor het bepalen van de hydraulische diameter.

5.2.3 Methode van constante snelheid

De methode van constante snelheid behoeft weinig toelichting. Met de gekozen constante snelheid in het kanalensysteem en het desbetreffende debiet per kanaaltak zijn respectievelijk de hydraulische diameter en de wrijvingsweerstand bepaald (zie afbeelding 5.8). Deze methode is vrij willekeurig en levert een duur en problematisch ontwerp op. De snelheid kiest men zodanig dat geluidsproblemen in de kleinste kanalen tot een minimum worden beperkt. Dit betekent dat in de hoofdkanalen een relatief lage snelheid wordt toegelaten, die gepaard gaat met relatief hoge kanaalkosten.



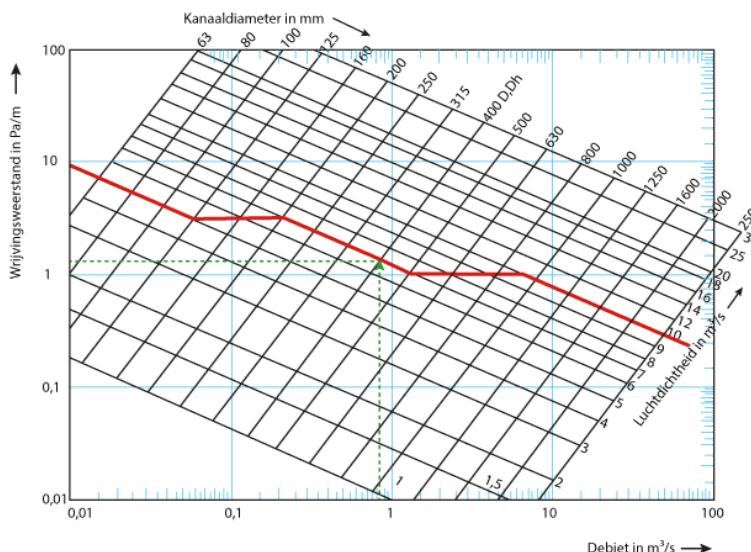
Afb. 5.8 Methode van constante snelheid

5.2.4 Methode van geleidelijke snelheidsreductie

De methode van geleidelijke snelheidsreductie is in feite een variant op de methode van constante wrijving, waarbij de voor kleine en grote volumestromen geldende bezwaren zijn ondervangen door het invoeren van een maximum snelheid.

Bij deze methode wordt het kanalenstelsel in verschillende snelheidss zones verdeeld. De hoogste snelheid wordt in het hoofdkanaal toegelaten, terwijl men dichter naar de vertrekken toe, afhankelijk van de mogelijkheden van akoestische afscherming en de plaatselijk geldende geluidseisen, de snelheid in de kanalen geleidelijk reduceert.

Zo zijn bijvoorbeeld een schacht-, gang- en vertrekzone te onderscheiden, waar men voor elke zone afzonderlijk, binnen bepaalde debietgrenzen, een vaste luchtsnelheid hanteert. Bij snelheidsovergangen wordt uitgegaan van een vaste wrijvingsweerstand. In afbeelding 5.9 is deze methode geïllustreerd.



Afb. 5.9 Methode van geleidelijke snelheidsreductie

Met de methode van geleidelijke snelheidsreductie wordt een redelijk optimum bereikt tussen de snelheid, de diameter en de weerstand. Deze ontwerp methode is er niet specifiek op gericht om voor ieder uitblaaspunt dezelfde statische druk te creëren.

5.2.5 Methode van statische drukterugwinning

De methode van statische drukterugwinning gaat uit van een zodanig doorsnede verloop van het hoofdtoevoerkanaal dat voor iedere aftakking in principe dezelfde statische druk heerst. Dit wordt bereikt omdat, volgens de wet van Bernoulli, de snelheidsafname van de hoofdstroom naar de doorgaande stroom gepaard gaat met een omzetting van dynamische naar statische druk. De kanaaldoorsnede wordt zo gekozen dat de winst aan statische druk juist wordt opgemaakt door het wrijvingsverlies tot aan de volgende aftakking. De gedachte achter deze ontwerp methode is dat er vanwege dezelfde statische druk vóór alle aftakkingen niet behoeft te worden ingeregen; het aanbrengen van inregelkleppen bij de inblaasornamenten en geluidsproductie bij het smoren worden dan vermeden. In theorie kan het inregelen alleen vervallen als er voor ieder inblaasornament de juiste totale druk heerst. Als alle inblaasornamenten identiek zijn qua afmetingen en luchtdebit, zou men het kanaal zo moeten dimensioneren dat in iedere aftakking dezelfde statische druk c.q. dezelfde totale druk heerst. Het bezwaar van deze ontwerp methode is dat bij lange takken grote einddiameters en lage luchtsnelheden worden berekend. In de praktijk wordt dit ondervangen door in de van het hoofdkanaal aftakkende debieten een zekere tolerantie toe te staan.

Voor de berekening van de statische drukterugwinning worden in de praktijk diverse methoden toegepast die zijn gebaseerd op een verschillende interpretatie van de wet van Bernoulli.

Op grond van de publicaties van Tsai en Behls [17] geeft het ASHRAE Handboek of Fundamentals van 1989 [18] een waarschuwing tegen de tot dan toe gebruikte methoden voor de berekening van de statische druk.

De statische drukterugwinning kan men berekenen volgens de volgende methoden:

Methode 1

Drukterugwinst volgens Bernoulli (energiebalans).

Deze methode gaat ervan uit dat de som van de statische en dynamische druk langs een stroomlijn constant is. Bij een geleidelijke snelheidsdaling kan de maximaal mogelijke drukterugwinst worden bereikt:

$$\Delta p_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_1^2 - v_2^2) \quad [Pa] \quad (5.33)$$

Het rendement van de drukterugwinning is hierbij 100%.

Methode 2

Methoden: Drukterugwinst gebaseerd op het drukverlies volgens Carnot (impulsbalans).

Bij deze methode wordt de drukterugwinst berekend door aan te nemen dat er een plotselinge snelheidsdaling optreedt. In dat geval moet de drukwinst volgens (5.33) worden verminderd met het theoretische stootverlies:

$$\Delta p_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_1^2 - v_2^2) - \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_1 - v_2)^2 \quad [\text{Pa}] \quad (5.34)$$

Na uitwerking volgt:

$$\Delta p_w = \rho \cdot v_2 \cdot (v_1 - v_2) \quad [\text{Pa}] \quad (5.35)$$

In werkelijkheid verloopt de snelheidsverandering geleidelijker. Het maximaal mogelijke stootverlies wordt daarom gecorrigeerd met de reductiefactor k .

$$\Delta p_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_1^2 - v_2^2) - k \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_1 - v_2)^2 \quad [Pa] \quad (5.36)$$

Het rendement van de drukterugwinst is:

$$\eta_w = 1 - k \cdot \frac{v_1 - v_2}{v_1 + v_2} \quad [-] \quad (5.37)$$

De reductiefactor k is te benaderen met de volgende formules:

Kanalen met ronde doorsnede:

$$k = \frac{0,41}{1 + 4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2} \quad [-] \quad (5.38)$$

Kanalen met rechthoekige doorsnede:

$$k = \frac{0,56}{1 + 4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_1} \right)^2} \quad [-] \quad (5.39)$$

Opmerking: Het feit dat er voor rechthoekige, ronde en ovale kanalen een verschillende reductiefactor voor de snelheidsverandering wordt toegepast zou betekenen dat er verschillende ζ -waarden gebruikt zouden moeten worden. De verschillen zijn klein en daardoor is omwille van het gebruiksgemak uitgegaan van één ζ -waarde

De formules 5.34 en 5.36 zijn afgeleid voor het doorgaande kanaal, vlak voor en vlak na de aftakking, waarbij $A_1 = A_2$. De reductiefactoren van 5.38 en 5.39 zijn afgeleid op basis van de gemeten weerstandscoëfficiënten in de doorgaande tak van een (splitsend) T-stuk (ζ_{32}).

Methode 3

Statische drukterugwinst volgens een vast percentage.

Deze methode is gebaseerd op de aanname dat de werkelijk bereikte drukterugwinst een bepaald vast deel (η_w) bedraagt van de theoretische maximaal terugwinbare statische druk volgens Bernoulli:

$$\Delta p_w = \eta_w \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_1^2 - v_2^2) \quad [Pa] \quad (5.40)$$

In de literatuur worden voor η_w waarden tussen 0,75 en 0,9 gevonden.

Het hanteren van één vaste waarde voor het drukterugwinrendement wordt afgeraden, aangezien het drukterugwinrendement niet voorspelbaar is [18]. Het berekenen van de drukterugwinst volgens methode 2 lijkt fysisch beter verantwoord dan methode 3, alhoewel het daaruit berekende verschil in kanaaldiameters gering is [19,20].

Opmerking: In het ASHRAE Handbook of Fundamentals van 1989 wordt verwezen naar een publicatie van Tsai en Behls [17] waaruit blijkt dat de gebruikelijke methoden voor het berekenen van statische drukterugwinning leiden tot verschillende resultaten. Hoewel de tweede methode uitgaat van een benadering is deze toch voor de praktijk bruikbaar omdat de reductiefactor k is afgeleid op basis van de gemeten weerstandscoëfficiënten ζ .

5.2.6 Methode van gebalanceerd drukverlies

Deze methode, die uitgaat van een reeds met behulp van een andere ontwerpmethodie gedimensioneerd kanalensysteem, past de kanaalmaten zo aan dat het drukverlies vanaf de ventilator tot elk uitblaasornament gelijk is. Hiermee kan in principe het aantal inregelorganen tot een minimum worden beperkt.

Uitgaande van de tak met het grootste drukverlies worden de overige takken opnieuw gedimensioneerd, waarbij per kanaalsectie rekening wordt gehouden met de in 5.2.7 genoemde randvoorwaarden. Deze gelden overigens ook voor de andere ontwerpmethoden.

5.2.7 Randvoorwaarden

Bij het ontwerp van een kanalensysteem moet men rekening houden met randvoorwaarden van technische, praktische en economische aard, zoals:

1. De keuze van de minimale kanaaldiameters;
2. De keuze van voorkeursdiameters in verband met de aansluitmaten van apparatuur;
3. De keuze van de maximale smoor- en inregeldruk;
4. Eisen ten aanzien van de regeling (gewenste autoriteit van regelkleppen);
5. Eisen ten aanzien van het geluid.

Het is vanzelfsprekend dat voor deze randvoorwaarden geen eenduidige waarden kunnen worden gegeven. Bepalend hierbij is het inzicht van de ontwerper. Voor richtwaarden van de maximale luchtsnelheid wordt verwezen naar tabel 5.4 [7].

Tabel 5.4 Aanbevolen maximale luchtsnelheden ter voorkoming van stromingsgeluid

Luchtsnelheid voor [m/s]	Toelaatbaar geluidsniveau in vertrek [dB(A)]				
	25	30	35	40	45
Hoofdkanalen	4,5	5,0	6,5	7,5	9,0
Aftakkingen	3,5	4,5	5,5	6,0	7,0
Laatste kanaal naar ruimte	2,0	2,5	3,25	4,0	5,0

Opmerking: Bij toepassing van akoestische voorzieningen kunnen in de praktijk, afhankelijk van de omstandigheden, ook hogere luchtsnelheden worden toegelaten. Bij optimalisatieberekeningen moet steeds worden gecontroleerd of de berekende luchtsnelheid om akoestische redenen toelaatbaar is.

5.3 Drukverlies van hulpstukken

5.3.1 Algemeen

Deze publicatie gaat in principe uit van de gestandaardiseerde kanalen en hulpstukken, zoals deze in hoofdstuk 3 zijn beschreven. Voor zover hulpstukken niet zijn gestandaardiseerd is uitgegaan van een aantal door de kontaktgroep gekozen hulpstukken.

Het drukverlies van hulpstukken, zoals bochten, diameterovergangen, T-stukken e.d. brengt men in rekening door middel van de weerstandscoëfficiënt. Het is van belang om deze weerstandscoëfficiënt zo nauwkeurig mogelijk te kennen en eenduidig vast te leggen. Om deze reden is een literatuuronderzoek uitgevoerd dat heeft geleid tot referentiewaarden. Vanwege de volledigheid, de betrouwbaarheid en de beschikbaarheid van de gegevens in een duidelijke eenduidige vorm is als basis voor deze publicatie het werk van D.S. Miller getiteld 'Intern flow systems' [12], gehanteerd. In die gevallen waarin niet wordt voorzien, is van andere literatuurbronnen uitgegaan [11].

Het probleem daarbij is dat door verschillende definities de weerstandscoëfficiënten moeilijk onderling zijn te vergelijken en dat voor dezelfde stromingssituaties sterk uiteenlopende waarden worden gevonden. Deze verschillen kunnen gedeeltelijk worden verklaard uit het beproeven van slecht gedefinieerde hulpstukken onder niet gestandaardiseerde omstandigheden. Met name is de aansluiting van het te beproeven hulpstuk op het toe- en afvoerkanaal van belang. Daarnaast hangt de waarde van de weerstandscoëfficiënt af van de snelheidsverdeling over de kanaaldoorsnede. Dit stromingsprofiel wordt in het algemeen vervormd na het doorstromen van een hulpstuk waardoor de weerstandscoëfficiënten van stroomafwaarts gelegen hulpstukken kunnen worden beïnvloed. De weerstandscoëfficiënt dient daarom met uitsluiting van deze beïnvloeding (interactie) te zijn bepaald. Dit wordt bereikt bij volledig ontwikkelde stroming met een toe- en afvoerkanaal van voldoende lengte. Slechts onder deze omstandigheden kan een referentiewaarde voor de weerstandscoëfficiënt worden bepaald. In 'Intern flow systems' wordt hiervan uitgegaan, hetgeen de in het algemeen lagere weerstandscoëfficiënten verklart. De in de volgende paragrafen gegeven weerstandscoëfficiënten gelden bij volledig ontwikkelde turbulente stroming.

In deze publicatie is gestreefd naar een eenduidige presentatie van de weerstandscoëfficiënten in formulevorm ten behoeve van computerberekeningen. Voor handberekeningen zijn in bijlage G tabellen opgenomen. Er wordt op gewezen dat de gegeven weerstandscoëfficiënten gelden bij een zorgvuldige uitvoering van het kanaalwerk.

Voor zover de gegevens beschikbaar zijn is getracht de weerstandscoëfficiënten voor een groot aantal hulpstukken over een zo groot mogelijk werkgebied ten aanzien van volumestroom- en oppervlakteverhoudingen te presenteren. In enkele gevallen is dit niet mogelijk gebleken en is volstaan met het weergeven van de beschikbare gegevens. Door het ontbreken van gegevens is het niet mogelijk een volledig overzicht te geven van de weerstandscoëfficiënten van gestandaardiseerde hulpstukken en veelvuldig in de praktijk toegepaste niet-gestandaardiseerde hulpstukken.

Verder wordt erop gewezen dat er onzekerheden bestaan over de waarde van de weerstandscoëfficiënten door:

1. Het beschikbaar zijn van slechts één enkele literatuurbron, zodat geen vergelijking met andere bronnen mogelijk is;
2. Het ontbreken van een geldigheidsgebied, waarbinnen de weerstandscoëfficiënten van toepassing zijn;
3. Interactie bij op korte afstand van elkaar aangebrachte hulpstukken.

Het effect van interactie kan slechts in een enkel geval (globaal) worden gekwantificeerd.

Deze onzekerheden moeten worden gezien in het licht van nog andere onzekerheden in de berekening van het totale drukverlies in een luchtkanalensysteem, zoals de weerstand van bijvoorbeeld een luchtbehandelingsapparaat, geluiddemper of (in)regelklep, of de beïnvloeding van de weerstand als gevolg van een ongelijkmatig uitstromingsprofiel van in het kanaal opgenomen apparaten. In de praktijk blijkt dat in vele gevallen het gezamenlijke drukverlies van de kanalen en de hulpstukken in dezelfde orde van grootte ligt als dat van de overige componenten in het kanalensysteem.

Gezien de onzekerheden in de weerstanden van de overige componenten en de relatief grote invloed daarvan op het totale drukverlies, moet het belang van de gestandaardiseerde weerstandscoëfficiënten, met eveneens onzekerheden, op de juiste waarde worden geschat.

De weerstandscoëfficiënten voor in het kanalensysteem opgenomen onderdelen zoals warmtewisselaars, brandkleppen, irregelkleppen e.d. worden, indien beschikbaar, opgenomen in deze publicatie. Voor niet genoemde apparatuur wordt geadviseerd de documentatie van de desbetreffende leverancier of fabrikant te raadplegen.

5.3.2 Drukverlies ronde hulpstukken

5.3.2.1 Symmetrische gladde bochten

Bij turbulente stroming wordt de weerstandscoëfficiënt van een gladde bocht met een constante cirkelvormige doorsnede en een buigstraal, gemeten over het hart van de bocht, gelijk aan $0,5 \leq R/D \leq 8$ voor $30^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$ berekend met:

$$\zeta = \zeta_0 \cdot C_{Re} \cdot C_w \quad [-] \quad (5.41)$$

Waarin:

- | | | |
|-----------|--|-----|
| ζ_0 | = ongecorrigeerde weerstandscoëfficiënt | [-] |
| C_{Re} | = correctiefactor in verband met het kengetal van Reynolds | [-] |
| C_w | = correctiefactor in verband met de wandruwheid | [-] |

De weerstandscoëfficiënt ζ_0 voor een symmetrische gladde bocht met hoek wordt berekend met de volgende benaderingsformule:

$$\zeta_0 = 0,028 \cdot [1 - \cos(1,5 \cdot \alpha - 20^\circ)] \cdot \left[3 \cdot \left(\frac{D}{R}\right)^3 + 2 \cdot \left(\frac{D}{R}\right)^{0,5} \right] + 0,00021 \cdot \alpha \cdot \frac{R}{D} + 0,05 \quad [-] \quad (5.42)$$

Met:

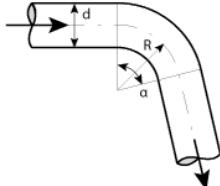
$$\zeta_0(0^\circ) = 0$$

Waarin:

α = hoek van bocht $[^\circ]$

R = buigstraal van bocht over het hart gemeten $[-]$

D = inwendige diameter van kanaal $[-]$



Afb. 5.10 Symmetrische gladde bocht

Formule 5.42 geldt bij $\epsilon = 0$ en $Re = 10^6$. Bij een verstekbocht is $R/D = 0,5$.

De correctiefactor C_{Re} in verband met het kengetal van Reynolds wordt berekend met:

$$C_{Re} = 2,9 \cdot \exp\left(\frac{\ln\left(\frac{3.500}{Re}\right)}{2,7 + 1,3 \cdot \frac{R}{D}}\right) = 2,9 \cdot \left(\frac{3.500}{Re}\right)^{2,7 + 1,3 \cdot \frac{R}{D}} \quad [-] \quad (5.43)$$

Waarbij:

1. Voor bochten met $1,0 \leq R/D \leq 2$ de correctiefactor wordt begrensd op 1 bij berekende lagere waarden;

2. Voor bochten met $R/D > 2$ dezelfde correctiefactor geldt als bij $R/D = 2$ zonder begrenzing van de berekende waarde.

De correctiefactor in verband met de wandrughed wordt berekend met:

$$C_w = \frac{\lambda_s}{\lambda_0} \quad [-] \quad (5.44)$$

Waarin:

λ_s = wrijvingsfactor bij desbetreffende wandrughed (tabel 5.1) $[-]$

λ_0 = wrijvingsfactor bij hydraulisch gladde uitvoering ($\epsilon = 0$) $[-]$

Voor handberekeningen is met behulp van de voorgaande formules bijlage G.1 samengesteld.

Voor ronde bochten met $R/D = 1$ gaat formule 5.42 over in:

$$\zeta_0 = 0,14 \cdot (1 - \cos(1,5 \cdot \alpha - 20^\circ)) + 0,00021 \cdot \alpha + 0,05 \quad [-] \quad (5.45)$$

De correctiefactor C_{Re} wordt in dat geval:

$$C_{Re} = 2,9 \cdot \left(\frac{3.500}{Re}\right)^{0,25} \quad [-] \quad (5.46)$$

Voor ronde bochten met $R/D = 1$ is de weerstandscoëfficiënt uitgewerkt in bijlage G.2 voor een ontwerpverwijdingsverlies in het rechte kanaal van 1 resp. 2 Pa/m.

Opmerkingen:

1. De weerstandscoëfficiënt hangt af van de mate waarin de stroming wordt verstoord. Een verstoring kan optreden als op korte afstand achter elkaar bochten in het kanalelementen zijn opgenomen. De interactie tussen 2 bochten is verwaarloosbaar klein indien de lengte van het verbindende kanaalstuk (L) meer dan 25 maal de diameter bedraagt. Bij kortere lengten is een correctie gewenst, omdat anders te hoge weerstanden worden berekend.

De weerstandscoëfficiënt van de combinatie van 2 achter elkaar geplaatste 90°- bochten ($R = D$) wordt berekend met:

$$\zeta = (\zeta_1 + \zeta_2) \cdot C_B \quad [-] \quad (5.47)$$

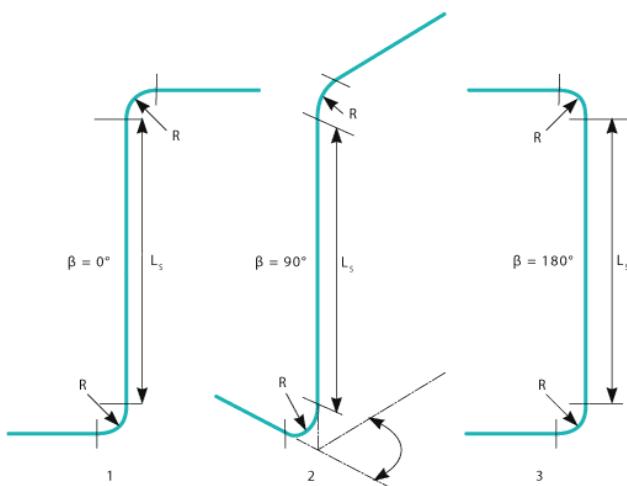
Waarin:

ζ_1 = weerstandscoëfficiënt van bocht 1 $[-]$

ζ_2 = weerstandscoëfficiënt van bocht 2 $[-]$

C_B = correctiefactor $[-]$

De correctiefactor C_B hangt af van de verhouding L_s/D en de geometrische opstelling van de bochten.



Afb. 5.11 Geometrische opstelling van bochten

De correctiefactor C_B wordt berekend met de navolgende benaderingsformules.

Als $L_s/D \leq 25$ en $\beta = 0^\circ$:

$$C_B = 1,07 - 0,46 \cdot \exp\left[-\frac{L_s}{14 \cdot D}\right] + 0,38 \cdot \exp\left[-\left(\frac{\frac{L_s}{D} + 0,12}{1,6}\right)^2\right] \quad [-] \quad (5.48)$$

Als $L_s/D \leq 25$ en $\beta = 90^\circ$:

$$C_B = 1,05 - 0,37 \cdot \exp\left[-\frac{L_s}{14 \cdot D}\right] + 0,15 \cdot \exp\left[-\left(\frac{\frac{L_s}{D} - 0,27}{1,6}\right)^2\right] \quad [-] \quad (5.49)$$

Als $L_s/D \leq 25$ en $\beta = 180^\circ$:

$$C_B = 1,07 - 0,47 \cdot \exp\left[-\frac{L_s}{14 \cdot D}\right] - 0,05 \cdot \exp\left[-\left(\frac{\frac{L_s}{D} - 0,29}{1,6}\right)^2\right] \quad [-] \quad (5.50)$$

Als $L_s/D > 25$ geldt voor alle opstellingen:

$$C_B = 1,0 \quad [-] \quad (5.51)$$

De interactie bij 2 ronde bochten met $R/D = 1$ is in bijlage G.3 uitgewerkt.

De weerstand van het verbindende kanaalstuk met lengte L_s moet apart worden berekend.

2. De weerstandcoëfficiënt van de bocht wordt beïnvloed indien op korte afstand voor of achter de bocht de stroming wordt verstoord door hulpstukken. Het effect van deze verstoring op de weerstandcoëfficiënt is afhankelijk van de ongestoorde lengte stroomopwaarts en stroomafwaarts.

Ten aanzien van de ongestoorde lengte stroomopwaarts van de bocht geldt dat zonder grote afwijkingen gebruik kan worden gemaakt van de weerstandcoëfficiënt 0 volgens formule 5.46 indien:

1. Het hulpstuk zich op een afstand van meer dan 2 maal de diameter stroomopwaarts van de bocht bevindt en de weerstandcoëfficiënt van de bocht kleiner is dan 0,25 (bij $Re = 10^6$);
2. Het hulpstuk zich op een afstand van meer dan 4 maal de diameter stroomopwaarts van de bocht bevindt en de weerstandcoëfficiënt van de bocht groter is dan 0,5 (bij $Re = 10^6$).

Indien niet aan bovenstaande voorwaarden is voldaan hanteert men in voorkomende gevallen formule 5.42 als richtwaarde.

Het effect van de ongestoorde lengte stroomafwaarts van de bocht kan globaal in rekening worden gebracht door vermenigvuldiging met de correctiefactor C_0 . Deze factor, die afhangt van de weerstandcoëfficiënt van de bocht (volgens formule 5.42) en van de verhouding van de ongestoorde lengte stroomafwaarts (L_u) en de diameter D wordt berekend met de volgende benaderingsformule, die geldt voor:

$0 \leq \zeta \leq 0,25$, waarbij $0 \leq L_u/D \leq 13$:

$$C_0 = 0,9 - 0,7 \cdot \exp\left[-\frac{\zeta}{0,21}\right] + 0,13 \cdot \exp\left[-\left(\frac{\frac{L_u}{D}}{0,5 + 0,4 \cdot \zeta}\right)^2\right] + 0,024 \cdot \frac{L_u}{D} \quad [-] \quad (5.52)$$

Indien $L_u/D > 13$ moet C_0 worden begrensd op 1.

De gecorrigeerde weerstandcoëfficiënt volgt uit:

$$\zeta = \zeta_0 \cdot C_o \cdot C_{Re} \cdot C_w$$

[-]

(5.53)

De correctiefactor C_o voor de lengte stroomafwaarts bij ronde bochten is in bijlage G.4 uitgewerkt.

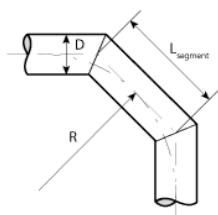
5.3.2.2 Symmetrische gesegmenteerde bochten

De berekening van de weerstandscoëfficiënt van een symmetrische gesegmenteerde 90°-bocht met een constante cirkelvormige doorsnede en een buigstraal, gemeten over het hart van de bocht, gelijk aan de diameter ($R = D$), verloopt op identieke wijze als bij een symmetrische gladde bocht volgens 5.3.2.1 (inclusief de correcties voor zover van toepassing) met dien verstande dat voor de ongecorrigeerde weerstandscoëfficiënt ζ_0 de volgende waarden gelden, uitgaande van de R/D -verhouding van een gesegmenteerde bocht van 90°:

$$\frac{R}{D} = \frac{L_{\text{segment}}}{2 \cdot D} \cdot \cot g \left(\frac{90^\circ}{2 \cdot N} \right) \quad [-] \quad (5.54)$$

Waarin:

N	= aantal segmenten van bocht	[-]
L_{segment}	= lengte van segment (op het hart gemeten)	[m]
D	= inwendige diameter van kanaal	[m]



Afb. 5.12 Symmetrische gesegmenteerde bocht

Voor de bepaling van het aantal segmenten dienen de halve aansluitsegmenten samen als één segment te worden beschouwd.

Benadering van ζ_0 d.m.v. een formule is niet mogelijk!

Tabel 5.5 Waarden voor ζ_0 van gesegmenteerde bochten

ζ_0 voor $\alpha = 90^\circ$		R/D								
N	90°/N	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
2	45°	0,45	0,35	0,30	0,32	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55
3	30°	0,42	0,33	0,27	0,23	0,21	0,23	0,26	0,29	0,32
4	22,5°	0,40	0,31	0,25	0,21	0,19	0,19	0,21	0,23	0,25
Gladde bocht		0,27	0,18	0,16	0,1	0,16	0,17	0,18	0,20	0,23

Voor handberekeningen is bijlage G.5 samengesteld.

5.3.2.3 Symmetrische verloopstukken

Diameterovergangen in luchtkanalen worden meestal uitgevoerd in de vorm van een symmetrisch verloopstuk, waarin de diameter geleidelijk verloopt naar de aansluitmaten. Daarnaast komen in de praktijk ook plotselinge overgangen voor bij verbindingen tussen kanalen met een verschillende diameter.

De totale weerstand van een diameterovergang wordt veroorzaakt door verliezen als gevolg van energiedissipatie in wervelingen en door wrijvingsverliezen. De weerstandscoëfficiënt wordt dan ook bepaald door sommatie van 2 factoren volgens:

$$\zeta = \zeta_s + \zeta_w \quad [-] \quad (5.55)$$

Waarin:

ζ_s	= weerstandscoëfficiënt in verband met stootverliezen	[-]
ζ_w	= weerstandscoëfficiënt in verband met wrijvingsverliezen	[-]

Turbulente stroming divergerende verloopstukken met een tophoek kleiner dan 40°:



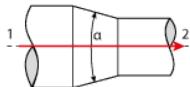
Afb. 5.13 Divergerend symmetrisch verloopstuk

$$\zeta_s = 3,2 \cdot \tan(0,5 \cdot \alpha)^{1,25} \cdot \left[1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right]^2 \quad [-] \quad (5.56)$$

$$\zeta_w = \frac{\lambda_1}{8 \cdot \tan(0,5 \cdot \alpha)} \left(1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4 \right) \quad [-] \quad (5.57)$$

Waarin:

D_1	=	inwendige diameter ingaande zijde
D_2	=	inwendige diameter uitgaande zijde
λ_1	=	wrijvingsfactor

[m]
[m]
[-]Turbulente stroming convergerende verloopstukken met een tophoek kleiner dan 40° :

Afb. 5.14 Convergerend symmetrisch verloopstuk

$$\zeta_s = 0 \quad [-] \quad (5.58)$$

$$\zeta_w = \frac{\lambda_1}{8 \cdot \tan(0,5 \cdot \alpha)} \left(\left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4 - 1 \right) \quad [-] \quad (5.59)$$

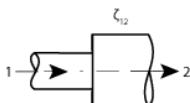
Waarin:

λ_1	=	wrijvingsfactor, betrokken op ingaande zijde	[-]
α	=	tophoek	[°]

De weerstandscoëfficiënten zijn voor diverse diameterverhoudingen bij een tophoek van 36° in de bijlagen G.6 en G.7 weergegeven voor een ontwerpverwijding in het rechte kanaal van 1 resp. 2 Pa/m.

Soms worden diameterovergangen uitgevoerd als een plotselinge verwijding of vernauwing.

In geval van turbulente stroming geldt bij een symmetrische uitvoering voor een plotselinge verwijding:

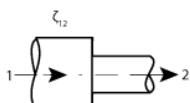


Afb. 5.15 Plotselinge verwijding

$$\zeta_s = \left(1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right)^2 \quad [-] \quad (5.60)$$

$$\zeta_w = 0 \quad [-] \quad (5.61)$$

In geval van turbulente stroming geldt bij een symmetrische uitvoering voor een plotselinge vernauwing:



Afb. 5.16 Plotselinge vernauwing

$$\zeta_s = \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4 \cdot \left(\frac{1}{\mu} - 1 \right)^2 \quad [-] \quad (5.62)$$

$$\zeta_w = 0 \quad [-] \quad (5.63)$$

Waarin contractiefactor μ kan worden benaderd door:

$$\mu = 0,56 + 0,44 \cdot \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^6 \quad [-] \quad (5.64)$$

Bovenstaande formules zijn in bijlage G.7 weergegeven.

5.3.2.4 Asymmetrische verloopstukken

Voor geleidelijk verlopende asymmetrische verloopstukken, zowel verwijdende als vernauwende, zijn geen weerstandscoëfficiënten bekend. Indien de tophoek kleiner is dan 36° en de oppervlakteverhouding kleiner dan 4 kan in voorkomende gevallen worden uitgegaan van de weerstandscoëfficiënten voor symmetrische verloopstukken.

Bij plotselinge asymmetrische diameterovergangen kunnen dezelfde weerstandscoëfficiënten worden aangehouden als bij de symmetrische uitvoering (zie 5.3.2.3).

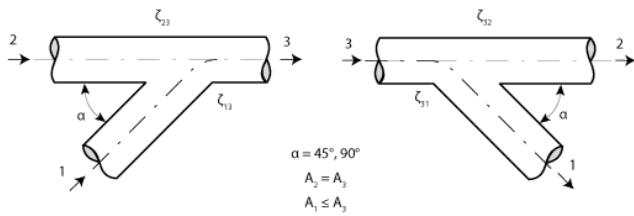
5.3.2.5 Aftakkingen

Aftakkingen van een doorgaand rond hoofdkanaal worden meestal uitgevoerd als een compleet hulpstuk in de vorm van een:

1. T-stuk;
2. Kruisstuk;
3. Broekstuk;
4. Omgekeerd T-stuk.

T-stuk

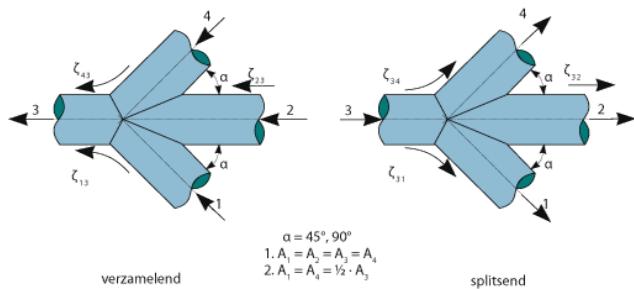
T-stuk, waarbij de diameter van de doorgaande tak constant is, terwijl de diameter van de verzamelende of splitsende tak, onder een gestandaardiseerde hoek van 45° of 90° , gelijk is aan of kleiner dan die van de doorgaande tak.



Afb. 5.17 Aftakkingen

Kruisstuk

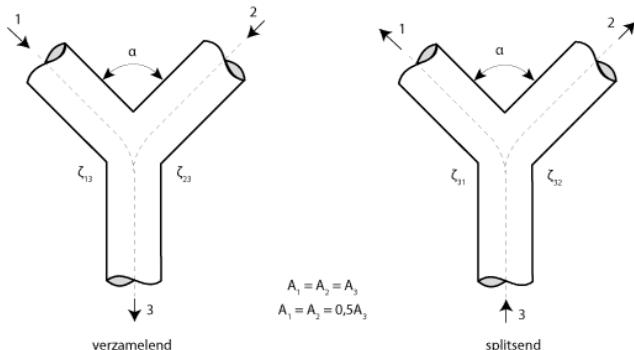
Kruisstuk, waarbij of de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van alle takken gelijk is, of de oppervlakte van beide verzamelende of splitsende takken, onder een gestandaardiseerde hoek van 45° of 90° , de helft is van die van de doorgaande tak.



Afb. 5.18 Kruisstukken

Broekstuk

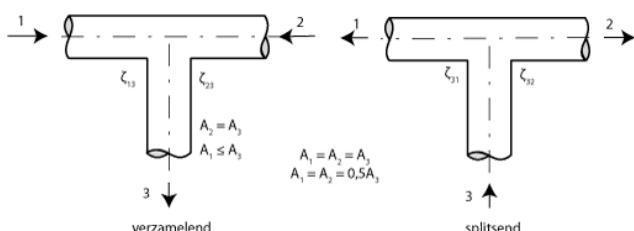
Broekstuk, waarbij of de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van alle takken gelijk is, of de oppervlakte van beide verzamelende of splitsende takken, onder een gestandaardiseerde hoek van 60° of 90° de helft is van die van de hoofdtak.



Afb. 5.19 Broekstukken

Omgekeerd T-stuk

Omgekeerd T-stuk, waarbij of de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van alle takken gelijk is, of de oppervlakte van beide verzamelende of splitsende takken, onder een gestandaardiseerde hoek van 180° , de helft is van die van de hoofdtak.



Afb. 5.20 Omgekeerde T-stukken

Met uitzondering van de kruisstukken kunnen de weerstandscoefficiënten van bovengenoemde hulpstukken worden berekend met een benaderingsformule van de volgende gedaante:

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \cdot \frac{v_2}{v_3} \right) \quad [-] \quad (5.65)$$

Waarin:

a	= regressiecoëfficiënt	[—]
v_1	= gemiddelde luchtsnelheid op punt 1 (volgens afbeelding 5.4)	[m/s]
v_2	= gemiddelde luchtsnelheid op punt 2 (volgens afbeelding 5.4)	[m/s]
v_3	= gemiddelde luchtsnelheid op punt 3 (volgens afbeelding 5.4)	[m/s]

Voor de in formule 5.65 aan te houden regressiecoëfficiënten wordt verwezen naar tabel 5.6.

Tabel 5.6 Aan te houden regressiecoëfficiënten a_0 t/m a_5 in formule 5.65

Hulpstuk	Afwerking	Stromingsvorm	α	ζ	Regressiecoëfficiënt					
					a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
T-stuk	Scherp	Verzamelend	45°	ζ_{13}	-0,76	0,58	0,57	2,36	-2,60	-0,24
				ζ_{23}	0,27	-0,76	-0,05	0,47	-0,74	0,99
			60°	ζ_{13}	-0,63	0,87	0,46	2,08	-2,45	-0,42
				ζ_{23}	0,38	-0,64	0,05	0,71	-1,09	0,62
		Splitsend	90°	ζ_{13}	0,41	-0,05	0,78	0,35	-1,76	0,40
				ζ_{23}	0,10	0,51	-0,06	1,15	-1,25	-0,45
			45°	ζ_{31}	0,13	-0,28	0,60	0,67	0,20	-0,60
				ζ_{32}	0,41	0,00	0,00	-1,08	0,72	0,00
		Afgerond	60°	ζ_{31}	0,24	-0,01	0,49	0,88	-0,12	-0,76
				ζ_{32}	0,41	0,00	0,00	-1,08	0,72	0,00
			90°	ζ_{31}	0,67	0,09	0,40	-0,40	0,73	0,12
				ζ_{32}	0,41	0,00	0,00	-1,08	0,72	0,00
Broekstuk	Scherp	Verzamelend $A_1 = A_2 = A_3$	90°	ζ_{13}	-1,14	2,00	-0,09	2,54	-2,40	-1,23
				ζ_{23}	0,58	-0,19	-0,06	-0,83	0,25	0,66
			90°	ζ_{31}	1,73	-2,09	1,13	-1,72	0,99	1,32
				ζ_{32}	0,41	0,00	0,00	-1,08	0,72	0,00
		Splitsend $A_1 = A_2 = A_3$	90°	ζ_{13}	-0,54	1,72	-1,07	0,00	0,00	0,00
				ζ_{23}	-0,54	0,00	0,00	1,72	-1,07	0,00
			90°	ζ_{13}	-0,37	1,43	-0,76	0,00	0,00	0,00
				ζ_{23}	-0,37	0,00	0,00	1,43	-0,76	0,00
		Verzamelend $A_1 = A_2 = 0,5 \cdot A_3$	120°	ζ_{13}	0,13	0,32	0,10	0,00	0,00	0,00
				ζ_{23}	0,13	0,00	0,00	0,32	0,10	0,00
			150°	ζ_{13}	0,51	-0,39	0,70	0,00	0,00	0,00
				ζ_{23}	0,51	0,00	0,00	-0,39	0,70	0,00
		Splitsend $A_1 = A_2 = 0,5 \cdot A_3$	60°	ζ_{31}	0,70	-1,27	0,72	0,00	0,00	0,00
				ζ_{32}	0,70	0,00	0,00	-1,27	0,72	0,00
			90°	ζ_{31}	0,63	-0,97	0,66	0,00	0,00	0,00
				ζ_{32}	0,63	0,00	0,00	-0,97	0,66	0,00
		Verzamelend $A_1 = A_2 = 0,5 \cdot A_3$	120°	ζ_{31}	0,63	-0,88	0,80	0,00	0,00	0,00
				ζ_{32}	0,63	0,00	0,00	-0,88	0,80	0,00
			150°	ζ_{31}	0,47	-0,08	0,46	0,00	0,00	0,00
				ζ_{32}	0,47	0,00	0,00	-0,08	0,46	0,00
Omgekeerd T-stuk	Scherp	Verzamelend $A_1 = A_2 = 0,5 \cdot A_3$	30°	ζ_{13}	-2,51	3,51	-0,88	0,00	0,00	0,00
				ζ_{23}	-2,51	0,00	0,00	3,51	-0,88	0,00
			60°	ζ_{13}	-2,02	2,91	-0,57	0,00	0,00	0,00
				ζ_{23}	-2,02	0,00	0,00	2,91	-0,57	0,00
		Splitsend $A_1 = A_2 = 0,5 \cdot A_3$	90°	ζ_{13}	-1,45	2,36	-0,31	0,00	0,00	0,00
				ζ_{23}	-1,45	0,00	0,00	2,36	-0,31	0,00
		Scherp	30°	ζ_{31}	0,68	-1,19	0,59	0,00	0,00	0,00
				ζ_{32}	0,68	0,00	0,00	-1,19	0,59	0,00
			60°	ζ_{31}	0,53	-0,84	0,35	0,00	0,00	0,00
				ζ_{32}	0,53	0,00	0,00	-0,84	0,35	0,00
		90°	ζ_{31}	0,56	-0,72	0,30	0,00	0,00	0,00	0,00
			ζ_{32}	0,56	0,00	0,00	-0,72	0,30	0,00	0,00

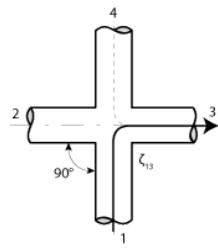
Voor het broekstuk en omgekeerde T-stuk is in bijlagen G.17 en G.18 de conventie voor a_1 t/m a_4 niet volledig overgenomen. Dit heeft bij het rekenen volgens formule 5.65 of bijlagen G.17 en G.18 geen consequenties.

Opmerking: De weerstandscoëfficiënten berekend met de benaderingsformule gelden voor het diametergebied $0,4 < D_1/D_3 < 1$ en voor $Re > 10^5$ bij volledig ontwikkelde stroming. Bij lagere waarden van het kengetal van Reynolds ontbreken betrouwbare weerstandscoëfficiënten. In die gevallen, mits er sprake is van turbulente stroming, wordt er vooralsnog van uitgegaan dat de berekening van de weerstandscoëfficiënten volgens de benaderingsformule toelaatbaar is.

Ten behoeve van handberekeningen zijn voor de in tabel 5.6 aangegeven hulpstukken in bijlage G de ζ -waarden in tabelvorm uitgewerkt in de bijlagen G.8 t/m G.17. Voor de weerstandscoëfficiënten van een omgekeerd T-stuk wordt verwezen naar de waarde voor een broekstuk met $\alpha = 180^\circ$ (bijlagen G.16 en G.17).

Voor kruisstukken waarvan de oppervlakte van de dwarsdoorsnede van alle takken gelijk is, gelden voor een hoek van 90° de navolgende formules:

Verzamelend kruisstuk:

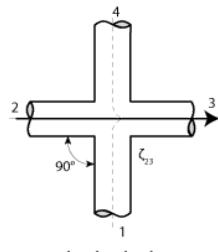


$A_1 = A_2 = A_3 = A_4$
indices 1 en 3 zijn verwisselbaar

Afb. 5.21 Verzamelend kruisstuk

$$\zeta_{13} = 1 + \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 - 8 \cdot \frac{\left(1 - \frac{v_1}{v_3} - \frac{v_2}{v_3} \right)^2}{4 - \frac{v_1}{v_3} - \frac{v_2}{v_3}} \quad [-] \quad (5.66)$$

$$\zeta_{23} = 1 + \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 - 16 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 \cdot \frac{1 + \left(\frac{v_2}{v_3} \right)}{\left(3 + \frac{v_2}{v_3} \right)^2} \quad [-] \quad (5.67)$$



$A_1 = A_2 = A_3 = A_4$
indices 1 en 4 zijn verwisselbaar

Afb. 5.22 Verzamelend kruisstuk

Splitsend kruisstuk (scherp):

$$\zeta = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot X + \alpha_2 \cdot X^2 + \alpha_3 \cdot Y + \alpha_4 \cdot Y^2 + \alpha_5 \cdot X \cdot Y + \alpha_6 \cdot Z + \alpha_7 \cdot Z^2 + \alpha_8 \cdot X \cdot Z + \alpha_9 \cdot Y \cdot Z \quad [-] \quad (5.68)$$

Waarin:

X	=	(v_1/v_3)	[-]
Y	=	(v_2/v_3)	[-]
Z	=	(v_4/v_3)	[-]

Tabel 5.7 Coëfficiënten bij splitsend kruisstuk

ζ_{31}	ζ_{32}
$a_0 = 0,91$	$a_0 = 0,41$
$a_1 = 0,03$	$a_1 = 0,00$
$a_2 = 0,39$	$a_2 = 0,00$
$a_3 = -0,57$	$a_3 = -1,08$
$a_4 = 0,84$	$a_4 = 0,72$
$a_5 = 0,24$	$a_5 = 0,00$
$a_6 = -0,47$	$a_6 = 0,00$
$a_7 = 0,00$	$a_7 = 0,00$
$a_8 = 1,81$	$a_8 = 0,00$
$a_9 = 0,66$	$a_9 = 0,00$

Ten behoeve van handberekeningen zijn bovenstaande formules in tabelvorm uitgewerkt in de bijlagen G.18 en G.19.

5.3.3 Drukverlies van rechthoekige hulpstukken

5.3.3.1 Symmetrische ronde bochten

Bij turbulente stroming wordt de weerstandscoëfficiënt van rechthoekige symmetrische ronde bochten van 90°, zonder respectievelijk met leidschoepen, met een constante rechthoekige doorsnede, berekend met:

$$\zeta = \zeta_0 \cdot C_{Re} \cdot C_w \quad (5.69)$$

Waarin:

$$\zeta_0 = \text{ongecorrigeerde weerstandscoëfficiënt} \quad [-]$$

$$C_{Re} = \text{correctiefactor in verband met het kengetal van Reynolds} \quad [-]$$

$$C_w = \text{correctiefactor in verband met wandruwheid} \quad [-]$$

De weerstandscoëfficiënt ζ_0 voor een rechthoekige symmetrische bocht met hoogte a en hoek wordt berekend met één van de navolgende benaderingsformules.

Bochten zonder leidschoepen:

$$\zeta_0 = 0,028 \cdot (1 - \cos(1,5 \cdot \alpha - 20^\circ)) \cdot \left[3 \cdot \left[\frac{a}{R} \right]^3 + 2 \cdot \sqrt{\frac{a}{R}} \right] + 0,00021 \cdot \frac{R}{a} \cdot X + 0,04 \quad (5.70)$$

Waarin:

$$\alpha = \text{hoek van bocht} \quad [^\circ]$$

$$a = \text{hoogte van bocht} \quad [m]$$

$$R = \text{buigstraal van bocht over het hart gemeten} \quad [-]$$

$$X = (\alpha/D_h)^{0,66} \quad [m]$$

$$D_h = \text{hydraulische diameter (zie 5.1.4)} \quad [m]$$

Bochten met leidschoepen (bij meetkundige verdeling):

$$\zeta_0 = 0,028 \cdot (1 - \cos(1,5 \cdot \alpha - 20^\circ)) \cdot \left[3 \cdot \left[\frac{1}{Y} \right]^3 + 2 \cdot \sqrt{\frac{1}{Y}} \right] + 0,00021 \cdot Y \cdot \alpha + 0,05 \quad (5.71)$$

Waarin:

$$\alpha = \text{hoek van de bocht} \quad [^\circ]$$

$$Y = (X + 1)/(2 \cdot (X - 1)) \quad [-]$$

Met:

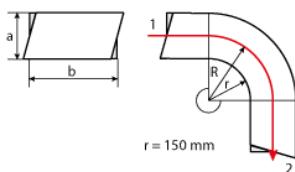
$$X = \left[\frac{r + a}{r} \right]^{\frac{1}{N+1}} \quad (5.72)$$

Waarin:

$$r = \text{binnenstraal (0,15 m)} \quad [m]$$

$$a = \text{hoogte van bocht} \quad [m]$$

$$N = \text{aantal schoepen} \quad [-]$$



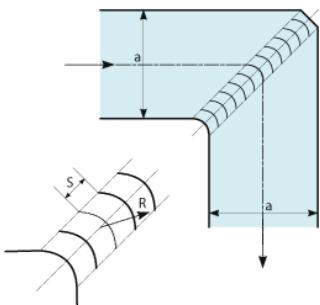
Afb. 5.23 Symmetrische bocht met leidschoep

Haakse bochten met eenvoudige airturns:

$$\zeta_0 = 0,028 \cdot (1 - \cos(1,5 \cdot \alpha - 20^\circ)) \cdot \left[3 \cdot \left[\frac{S}{R} \right]^3 + 2 \cdot \sqrt{\frac{S}{R}} \right] + 0,00021 \cdot \frac{R}{S} \cdot 90 + 0,05 \quad [-] \quad (5.73)$$

Waarin:

R	=	straal van schoep	[m]
S	=	steek van schoep	[m]



Afb. 5.24 Haakse bocht met airturns

De weerstandscoëfficiënt ζ_0 van vooroemde bochten moet worden gecorrigeerd voor het kengetal van Reynolds:

$$C_{Re} = 2,9 \cdot \left(\frac{3500}{Re} \right)^{\frac{1}{2.74+1.32}} \quad [-] \quad (5.74)$$

Waarin:

Z	=	R/a voor bochten zonder leidschoopen	[-]
Z	=	Y voor bochten met leidschoopen	[-]
Z	=	R/s voor haakse bochten met airturns	[-]

De weerstandscoëfficiënt ζ_0 van vooroemde bochten moet worden gecorrigeerd voor de wandruwheid:

$$C_w = \frac{\lambda_s}{\lambda_0} \quad [-] \quad (5.75)$$

Waarin:

λ_e	=	wrijvingsfactor bij desbetreffende wandruwheid (formule 5.12 en tabel 5.1)	[-]
λ_0	=	wrijvingsfactor bij hydraulisch gladde uitvoering	[-]

Ten behoeve van handberekeningen is de weerstandscoëfficiënt ζ_0 in tabelvorm uitgewerkt in de bijlagen G.20 t/m G.22.

De voor het kengetal van Reynolds en de wandruwheid gecorrigeerde weerstandscoëfficiënt moet alleen voor bochten zonder leidschoopen worden gecorrigeerd voor:

1. De geometrische opstelling van de bochten

De weerstandscoëfficiënt van de combinatie van 2 achter elkaar geplaatste 90°-bochten met een rechthoekige doorsnede (met $0,7 < R/a < 1,5$) wordt berekend conform de wijze die geldt voor bochten met een ronde doorsnede (zie 5.3.2.1), met dien verstande dat hierbij $D = a$ en

$$C_B = \frac{1 + C_{B,\infty}}{2} \quad [-] \quad (5.76)$$

2. De ongestoorde inlaat- en uitlaatlengte

De correctie voor bochten met een rechthoekige doorsnede verloopt op analoge wijze als die voor bochten met een ronde doorsnede (zie 5.3.2.1), met dien verstande dat in plaats van de diameter met de hydraulische diameter moet worden gerekend.

Van verlopende bochten zijn geen weerstandscoëfficiënten bekend. In voorkomende gevallen hanteert men als richtwaarde de waarden die voor symmetrische ronde bochten gelden (zie 5.3.2.1).

5.3.3.2 Symmetrische verloopstukken

Doorsnede overgangen in luchtkanalen worden meestal uitgevoerd in de vorm van een symmetrisch verloopstuk waarin de doorsnede geleidelijk verloopt naar de aansluitmaten. Daarnaast komen in de praktijk ook plotseling overgangen voor bij verbindingen tussen kanalen met een verschillende doorsnede.

De weerstandscoëfficiënt wordt berekend met:

$$\zeta = \zeta_s + \zeta_w \quad [-] \quad (5.77)$$

Waarin:

ζ_s	=	weerstandscoëfficiënt in verband met stootverliezen	[-]
ζ_w	=	weerstandscoëfficiënt in verband met wrijvingsverliezen	[-]

Turbulente stroming divergerende verloopstukken met een tophoek kleiner dan 40°:

$$\zeta_s = 3,2 \cdot \tan(0,5 \cdot \alpha)^{1,25} \cdot \left[1 - \left(\frac{A_1}{A_2} \right)^2 \right] \quad [-] \quad (5.78)$$

$$\zeta_w = \frac{\lambda_1}{8 \cdot \tan\left(\frac{1}{2} \cdot \alpha\right)} \cdot \left(1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2\right) \quad [-] \quad (5.79)$$

Turbulente stroming convergerende verloopstukken met een tophoek kleiner dan 40°:

$$\zeta_s = 0 \quad [-] \quad (5.80)$$

$$\zeta_w = \frac{\lambda_1}{8 \cdot \tan\left(\frac{1}{2} \cdot \alpha\right)} \cdot \left(\left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 - 1\right) \quad [-] \quad (5.81)$$

Waarin:

A_1 = oppervlakte dwarsdoorsnede ingaande zijde $[m^2]$

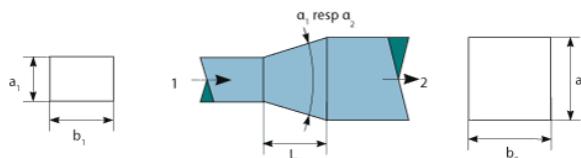
A_2 = oppervlakte dwarsdoorsnede uitgaande zijde $[m^2]$

λ_1 = wrijvingsfactor, betrokken op ingaande zijde $[-]$

α = grootste (hele) tophoek $[^\circ]$

Indien er sprake is van 2 verschillende divergentiehoeken (tophoeken 1 en 2 in verticale resp. horizontale zin) moet men voor de bepaling van de weerstandscoëfficiënt uitgaan van de grootste tophoek. De tophoeken 1 en 2 worden berekend uit:

$$\tan\frac{\alpha_1}{2} = \frac{a_2 - a_1}{2 \cdot L_v} \quad [-] \quad (5.82)$$



Afb. 5.25 Divergerend verloopstuk

$$\tan\frac{\alpha_2}{2} = \frac{b_2 - b_1}{2 \cdot L_v} \quad [-] \quad (5.83)$$

Waarin:

L_v = lengte van verloopstuk $[m]$

Bij plotseling symmetrische doorsnede-overgangen gelden in geval van turbulente stroming voor een plotselinge verwijding:

$$\zeta_s = \left(1 - \left(\frac{A_1}{A_2}\right)\right)^2 \quad [-] \quad (5.84)$$

$$\zeta_w = 0 \quad [-] \quad (5.85)$$

Bij plotselinge symmetrische doorsnede-overgangen gelden in geval van turbulente stroming voor een plotselinge vernauwing:

$$\zeta_s = \left(\frac{A_1}{A_2}\right)^2 \left(\frac{1}{\mu} - 1\right)^2 \quad [-] \quad (5.86)$$

$$\zeta_w = 0 \quad [-] \quad (5.87)$$

Waarin μ een contractiefactor is die kan worden benaderd door:

$$\mu = 0,56 + 0,44 \left(\frac{A_2}{A_1}\right)^3 \quad [-] \quad (5.88)$$

Opmmerking: Vanwege de vele in de praktijk toegepaste hoogte/breedteverhoudingen van rechthoekige luchtkanalen is het niet mogelijk de weerstandscoëfficiënt in een afbeelding weer te geven, zodat hier volstaan is met het weergeven van de formules.

5.3.3.3 Asymmetrische verloopstukken

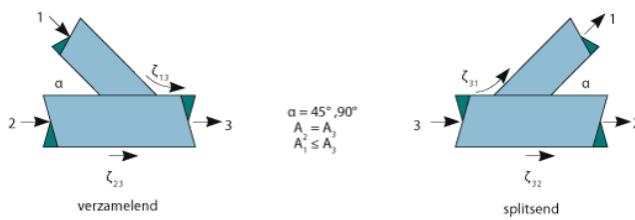
Voor rechthoekige asymmetrische verloopstukken, zowel verwijdende als vernauwende, zijn geen betrouwbare gegevens beschikbaar. In voorkomende gevallen kan men voor een richtwaarde uitgaan van de weerstandscoëfficiënten van rechthoekige symmetrische verloopstukken (zie 5.3.3.2).

5.3.3.4 Aftakkingen

Aftakkingen van een doorgaand rechthoekig luchtkanaal worden meestal uitgevoerd als een compleet hulpstuk in de volgende vormen.

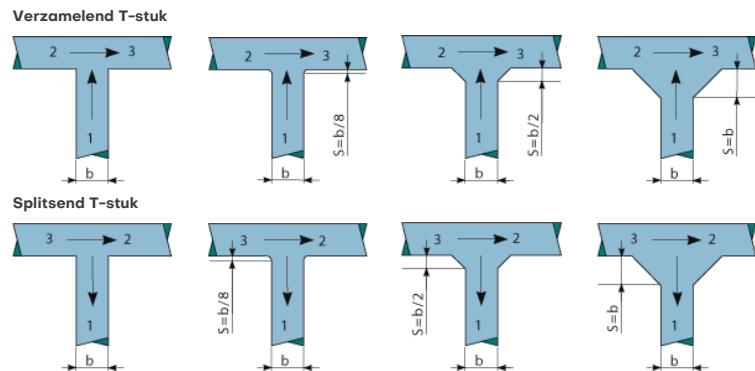
T-stuk

T-stuk, waarbij de doorsnede van de doorgaande tak constant is, terwijl de doorsnede van de verzamelende of splitsende tak, onder een gestandaardiseerde hoek van 45° of 90°, gelijk is aan of kleiner dan die van de doorgaande tak.



Afb. 5.26 Aftakkingen

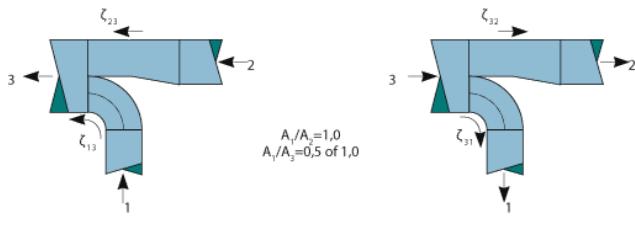
Voor T-stukken met een hoek van 90° en een gelijke vierkante doorsnede ($b \times b$) van alle takken komen in de praktijk de volgende stromende aansluitingen (afschuining S) voor.



Afb. 5.27 T-stukken

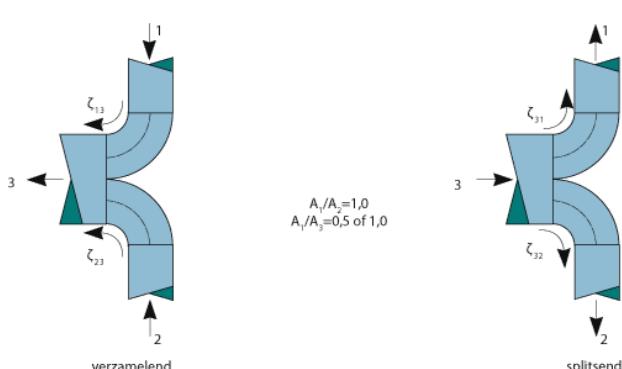
Opmerking: De uitvoeringsvormen volgens 3 en 4 zijn binnen LUKA niet gebruikelijk!

Splitsing 90° , de zogenaamde 'afschiller'



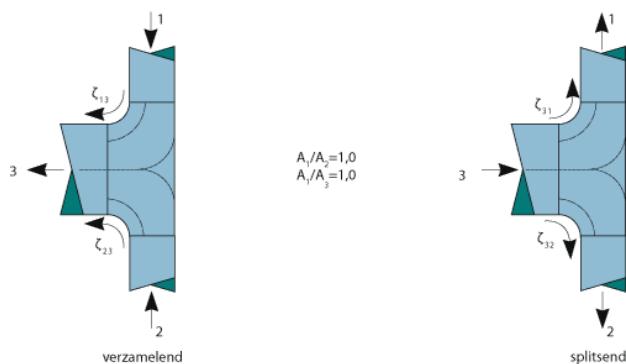
Afb. 5.28 Afsplitsing

Een splitsing $2 \times 90^\circ$ als symmetrische afgeronde splitsing



Afb. 5.29 Symmetrische afgeronde splitsing

Omgekeerd T-stuk



Afb. 5.30 Omgekeerd T-stuk

De weerstandscoëfficiënten van bovengenoemde hulpstukken kunnen worden berekend met een benaderingsformule van de volgende gedaante:

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3}, \frac{v_2}{v_3} \right) \quad [-] \quad (5.89)$$

Waarin:

a	=	regressiecoëfficiënt	[-]
v_1	=	gemiddelde luchtsnelheid op punt 1 (volgens afbeelding 5.4)	[m/s]
v_2	=	gemiddelde luchtsnelheid op punt 2 (volgens afbeelding 5.4)	[m/s]
v_3	=	gemiddelde luchtsnelheid op punt 2 (volgens afbeelding 5.4)	[m/s]

Voor de in formule 5.89 aan te houden regressiecoëfficiënten wordt verwezen naar tabel 5.8.

Tabel 5.8 Aan te houden regressiecoëfficiënten a_0 t/m a_5 in formule 5.89

Hulpstuk	Afwerking	Stromingsvorm	α	ζ	Regressiecoëfficiënt					
					a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5
T-stuk	Scherp	Verzamelend	45°	ζ_{13}	-0,76	0,58	0,57	2,36	-2,60	-0,24
				ζ_{23}	0,27	-0,76	-0,05	0,47	-0,74	0,99
			60°	ζ_{13}	-0,63	0,87	0,46	2,08	-2,45	-0,42
				ζ_{23}	0,38	-0,64	0,05	0,71	-1,09	0,62
		Splitsend	90°	ζ_{13}	0,41	-0,05	0,78	0,35	-1,76	0,40
				ζ_{23}	0,10	0,51	-0,06	1,15	-1,25	-0,45
			45°	ζ_{31}	0,13	-0,28	0,60	0,67	0,20	-0,60
				ζ_{32}	0,57	0,00	0,00	-1,50	1,00	0,00
		Afgerond	60°	ζ_{31}	0,24	-0,01	0,49	0,88	-0,12	-0,76
				ζ_{32}	0,57	0,00	0,00	-1,50	1,00	0,00
			90°	ζ_{31}	0,67	0,09	0,40	-0,40	0,73	0,12
				ζ_{32}	0,57	0,00	0,00	-1,50	1,00	0,00
T-stuk	Afgerond	Verzamelend	90°	ζ_{13}	-1,14	2,00	-0,09	2,54	-2,40	-1,23
				ζ_{23}	0,58	-0,19	-0,06	-0,83	0,25	0,66
		Splitsend	90°	ζ_{31}	1,73	-2,09	1,13	-1,72	0,99	1,32
				ζ_{32}	0,57	0,00	0,00	-1,50	1,00	0,00
		Stromend 1 (S = 0)	Verzamelend $0,0 < v_1/v_3 < 0,25$	ζ_{13}	-1,00	5,38	-5,79	0,00	0,00	0,00
				ζ_{23}	0,64	0,00	0,00	-0,13	0,00	0,00
			$0,25 < v_1/v_3 < 0,75$	ζ_{13}	-0,73	3,22	-1,47	0,00	0,00	0,00
		Stromend 1 (S = 0)	$0,75 < v_1/v_3 < 1,0$	ζ_{23}	0,60	0,00	0,00	0,19	-0,65	0,00
			90°	ζ_{13}	0,10	1,01	0,00	0,00	0,00	0,00
				ζ_{23}	-0,66	0,00	0,00	3,55	-2,89	0,00
T-stuk	Stromend 2 (S = B/8)	Verzamelend $0,0 < v_1/v_3 < 0,25$	90°	ζ_{13}	-1,00	5,48	-7,92	0,00	0,00	0,00
				ζ_{23}	0,37	0,00	0,00	-0,07	0,00	0,00
		0,25 < v ₁ /v ₃ < 0,75	90°	ζ_{13}	-0,5	1,56	-0,08	0,00	0,00	0,00
				ζ_{23}	0,35	0,00	0,00	0,05	-0,24	0,00
			$0,75 < v_1/v_3 < 1,0$	ζ_{13}	-0,46	1,44	1,44	0,00	0,00	0,00
		Stromend 3 (S = B/2)	Verzamelend $0,0 < v_1/v_3 < 0,25$	ζ_{23}	-1,09	0,00	0,00	3,89	-2,80	0,00
				ζ_{13}	-1,0	4,56	-5,21	0,00	0,00	0,00
			$0,25 < v_1/v_3 < 0,75$	ζ_{23}	-0,08	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00
		Stromend 3 (S = B/2)	$0,75 < v_1/v_3 < 1,0$	ζ_{13}	-0,79	2,88	-1,85	0,00	0,00	0,00
			90°	ζ_{23}	-0,14	0,00	0,00	1,27	-0,94	0,00
				ζ_{13}	0,25	0,11	0,00	0,00	0,00	0,00
T-stuk	Stromend 4 (S = B)	Verzamelend $0,0 < v_1/v_3 < 0,25$	90°	ζ_{23}	-1,85	0,00	0,00	5,83	-3,98	0,00
				ζ_{13}	-1,00	4,42	-4,99	0,00	0,00	0,00
			$0,25 < v_1/v_3 < 0,75$	ζ_{23}	-0,08	0,00	0,00	0,80	0,00	0,00
		Stromend 4 (S = B)	$0,75 < v_1/v_3 < 1,0$	ζ_{13}	-0,80	2,82	-1,79	0,00	0,00	0,00
			90°	ζ_{23}	-0,14	0,00	0,00	1,27	-0,94	0,00
				ζ_{13}	0,20	0,14	0,00	0,00	0,00	0,00
T-stuk	Stromend 1 (S = 0)	Splitsend $0,0 < v_1/v_3 < 0,25$	90°	ζ_{31}	1,00	-0,99	1,37	0,00	0,00	0,00
				ζ_{32}	0,57	0,00	0,00	-1,50	1,00	0,00
			$0,25 < v_1/v_3 < 0,75$	ζ_{31}	0,99	-0,91	1,21	0,00	0,00	0,00
		Stromend 1 (S = 0)	$0,75 < v_1/v_3 < 1,0$	ζ_{32}	0,57	0,00	0,00	-1,50	1,00	0,00
			90°	ζ_{31}	0,31	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00
				ζ_{32}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T-stuk	Stromend 2 (S = B/8)	Splitsend $0,0 < v_1/v_3 < 0,25$	90°	ζ_{31}	1,00	-1,22	1,59	0,00	0,00	0,00
				ζ_{32}	0,57	0,00	0,00	-1,50	1,00	0,00
			$0,25 < v_1/v_3 < 0,75$	ζ_{31}	0,95	-0,82	0,79	0,00	0,00	0,00
		Stromend 2 (S = B/8)	$0,75 < v_1/v_3 < 1,0$	ζ_{32}	0,57	0,00	0,00	-1,50	1,00	0,00
			90°	ζ_{31}	0,51	0,36	0,00	0,00	0,00	0,00
				ζ_{32}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T-stuk	Stromend 3 (S = B/2)	Splitsend $0,0 < v_1/v_3 < 0,25$	90°	ζ_{31}	1,00	-1,47	1,25	0,00	0,00	0,00
				ζ_{32}	0,57	0,00	0,00	-1,50	1,00	0,00
			$0,25 < v_1/v_3 < 0,75$	ζ_{31}	0,96	-1,15	0,61	0,00	0,00	0,00
		Stromend 3 (S = B/2)	$0,75 < v_1/v_3 < 1,0$	ζ_{32}	0,57	0,00	0,00	-1,50	1,00	0,00
			90°	ζ_{31}	0,62	-0,24	0,00	0,00	0,00	0,00
				ζ_{32}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
T-stuk	Stromend 4 (S = B)	Splitsend $0,0 < v_1/v_3 < 0,25$	90°	ζ_{31}	1,00	-1,60	0,87	0,00	0,00	0,00
				ζ_{32}	0,57	0,00	0,00	-1,50	1,00	0,00
			$0,25 < v_1/v_3 < 0,75$	ζ_{31}	1,01	-1,68	1,03	0,00	0,00	0,00

			ζ_{32}	0,57	0,00	0,00	-1,50	1,00	0,00
		0,75 < $v_1/v_3 < 1,0$	ζ_{31}	0,43	-0,14	0,00	0,00	0,00	0,00
			ζ_{32}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
		Verzamelend	ζ_{13}	0,66	-1,27	1,11	-0,72	-0,43	0,81
			ζ_{23}	0,45	-0,51	-0,12	-0,55	0,46	0,57
Splitsing 90°	Stromend	Splitsend	ζ_{31}	0,38	-0,75	0,74	0,54	-0,17	-0,35
			ζ_{32}	0,43	0,00	0,02	-1,13	0,70	0,01

Ten behoeve van handberekeningen zijn voor de in tabel 5.8 aangegeven hulpstukken de ζ -waarden in tabelvorm uitgewerkt in de bijlagen G.23 t/m G.39.

Opmerkingen:

- Uit onderzoek is gebleken dat de vorm van de doorsnede (rond of rechthoekig) de weerstandscoëfficiënt niet in sterke mate beïnvloedt. De waarden voor de weerstandscoëfficiënt voor rechthoekige verzamelende en splitsende T-stukken kunnen dan ook zonder grote afwijkingen worden ontleend aan de overeenkomstige hulpstukken met een ronde doorsnede;
- De weerstandscoëfficiënt van een scherp uitgevoerde kanaalsplitsing $2 \times 90^\circ$, waarvan de oppervlakte van alle takken gelijk is, kan worden berekend met de formule die voor een broekstuk is afgeleid door voor $\alpha = 180^\circ$ in te vullen (zie bijlage G.16);
- Door onvoldoende gegevens is de weerstandscoëfficiënt van een stromend uitgevoerde kanaalsplitsing $2 \times 90^\circ$ niet in formulevorm uit te drukken en wordt volstaan met het weergeven van de beschikbare ζ -waarden, die in de tabel 5.9 zijn weergegeven.

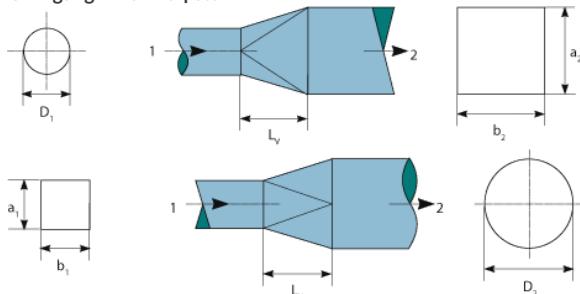
Tabel 5.9 ζ -waarden afhankelijk van oppervlakverhouding

Stromingsvorm	A_1/A_3	ζ -waarde
Verzamelend	0,5	$\zeta_{13} = 0,23$
	1,0	$\zeta_{13} = 0,07$
Verdelend	0,5	$\zeta_{31} = 0,30$
	1,0	$\zeta_{31} = 0,25$

5.3.4 Drukverlies van hulpstukken - rond op rechthoekig

5.3.4.1 Symmetrische verloopstukken

Overgangen van hulpstukken



Afb. 5.31 Symmetrische verloopstukken

Bij symmetrische divergerende en convergerende verloopstukken, met verlopen van rond op rechthoekig of van rechthoekig op rond, worden de weerstandscoëfficiënten na bepaling van de equivalente tophoek α als volgt berekend.

Van rond op rechthoekig:

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{2 \cdot \sqrt{\frac{a_2 \cdot b_2}{\pi}} - D_1}{2 \cdot L_v} \quad [-] \quad (5.90)$$

Van rechthoekig op rond:

$$\tan \frac{\alpha}{2} = \frac{D_2 - 2 \cdot \sqrt{\frac{a_1 \cdot b_1}{\pi}}}{2 \cdot L_v} \quad [-] \quad (5.91)$$

Berekend met de formules die gelden voor de rechthoekige verloopstukken (zie 5.3.3.2).

5.3.4.2 Asymmetrische verloopstukken

Voor asymmetrische verloopstukken, zowel verwijdende als vernauwende, zijn geen gegevens beschikbaar. Als richtwaarde kan men uitgaan van de weerstandscoëfficiënten van rechthoekige asymmetrische verloopstukken (zie 5.3.3.3).

5.3.4.3 Aftakkingen

Voor een rechthoekig kanaal met een verzamelende of splitsende ronde aftakking zijn onvoldoende voor de praktijk bruikbare gegevens beschikbaar. Het verdient aanbeveling als richtwaarde uit te gaan van de weerstandscoëfficiënten voor rechthoekige verzamelende respectievelijk splitsende aftakkingen (zie 5.3.3.4).

5.3.5 Drukverlies van ovale hulpstukken

Over het drukverlies van ovale hulpstukken zijn geen gegevens bekend. In voorkomende gevallen gaat men uit van de weerstandscoëfficiënten van overeenkomstige ronde hulpstukken met gebruikmaking van de hydraulische diameter.

5.4 Ontwerpaanbevelingen

Gezien de aanzienlijke investeringen en de voor het transport van de lucht benodigde ventilatorennergie is het van belang het kanalensysteem op economisch verantwoorde wijze te ontwerpen.

De problematiek van het optimaliseren van kanalensystemen is uitvoerig beschreven in [14]. Hieruit blijkt dat, als uitsluitend rekening wordt gehouden met de kanaal- en energiekosten, analytische kostenfuncties zijn af te leiden, die resulteren in een voor de praktijk eenvoudige methodiek om binnen een bepaalde ontwerpmethode tot een optimaal gedimensioneerd kanaalontwerp te komen. Deze benadering ten aanzien van de kostenposten is geoorloofd, omdat het optimale ontwerp slechts weinig wordt beïnvloed indien de kosten voor de benodigde kanaalruimte en voor het compenseren van het energieverlies wel in rekening worden gebracht.

Om tot een optimaal kanaalontwerp te komen geeft Bouwman [14,19] richtlijnen, die in deze publicatie zijn samengevat in de vorm van aanbevelingen en conclusies:

1. Het optimaliseren van een kanalensysteem is veel belangrijker dan de keuze van een ontwerpmethode;
2. Bij optimalisatie heeft de keuze van een ontwerpmethode nauwelijks invloed op de totale jaarlijkse kosten;
3. Lage totale jaarkosten worden bereikt indien wordt uitgegaan van:
 1. De methode van constante wrijving;
 2. De methode van statische drukterugwinning;
 3. De meest economische methode volgens Bouwman.
4. De optimale snelheden in een regelmatig vertakt kanaal worden gevonden uit de optimale snelheid in de laatste kanaalsectie;
5. De optimale snelheden in een regelmatig vertakt kanalensysteem worden gevonden door het systeem op een daartoe geschikte wijze op te delen in regelmatig vertakte kanaalstukken;
6. De wijze waarop de optimale snelheden worden berekend is voor toe- en afvoersystemen gelijk;
7. Rekening houdend met de beperkte keus van gestandaardiseerde kanaaldiameters, verdient het aanbeveling de dichtstbijzijnde grotere diameter te kiezen;
8. Bij een geoptimaliseerd ontwerp zijn de totale jaarkosten bij rechthoekige kanalen hoger dan bij toepassing van ronde kanalen;
9. Het verdient aanbeveling luchtkanalen te isoleren met één isolatielijst voor het gehele systeem;
10. Aangezien de lekverliezen een sterke negatieve invloed op de totale jaarkosten hebben, moet gestreefd worden naar een goede luchtdichtheid;
11. Indien de lekverliezen een rol spelen, leidt de keuze van een andere ontwerpmethode of het hanteren van een lagere dan de optimale snelheid, niet tot een wezenlijke vermindering van de totale jaarkosten;
12. De lekverliezen worden beperkt door uit te gaan van:
 1. Kanalen met een betere luchtdichtheid en luchtdichte componenten;
 2. Luchtbehandelingsapparatuur met een lage weerstand.
13. Om bij kanalensystemen lage totale kosten te realiseren moet de lay-out voldoen aan:
 1. De grootte van het gebied (veldgrootte), dat vanuit één hoofdtoevoerpunt wordt bestreken, dient te worden beperkt;
 2. De lengte/breedte-verhouding van het veld moet liggen tussen 1:2 en 1:4;
 3. Het hoofdtoevoerkanaal moet evenwijdig aan of langs de lange as van het veld worden gesitueerd;
 4. Het hoofdtoevoerpunt moet in of nabij het midden van een veld worden gesitueerd.
14. Bij kanaalnetwerken bedraagt de optimale veldgrootte:
 1. 200 - 400 m², indien de ruimtekosten voor de kanalen van belang zijn;
 2. 1000 - 2000 m², indien de ruimtekosten geen rol spelen.

Zie ook bijlage I voor de achtergronden.

(SB II.3-7)

6 Ophanging en ondersteuning

6.1 Algemeen

De luchtkanalen moeten met inbegrip van de nodige verbindingen en hulpstukken zodanig worden gemonteerd dat deze, compleet met de isolatie, niet doorhangen of kunnen vervormen en een strak geheel vormen. De kanalen dienen vrij van andere installaties te worden opgehangen en bevestigd aan voldoende solide constructies.

In de praktijk worden ophangconstructies in vele vormen en uitvoeringen toegepast, zodat het niet mogelijk is deze in detail te beschrijven. Voor zover noodzakelijk voor een goed begrip geeft deze publicatie het principe van de meest voorkomende systemen bij betonnen plafonds en wanden weer. Ophangconstructies voor kanaalwerk in de openlucht worden buiten beschouwing gelaten omdat deze meestal speciaal daarvoor worden ontworpen en soms moeten voldoen aan plaatselijke eisen.

6.1.1 Brandwerendheidseisen

Om ervoor te zorgen dat bij een brand de bevestiging van luchtkanalen niet bezwijkt mogen bevestigingsmiddelen, waaronder pluggen, niet van kunststof of een ander bij brand vervormend materiaal zijn vervaardigd. Gebruik bijvoorbeeld metalen pluggen.

6.1.2 Corrosiebestendigheid ophangsysteem

Eis is dat ophangconstructies zodanig bestand zijn tegen omgevingsinvloeden dat de constructie niet bezwijkt. Met name in chloorhoudende omgevingen (bijvoorbeeld zwembaden) is dit van groot belang.

In chloorhoudende omgevingen mag de ophanging niet van gewoon RVS zijn omdat dit niet goed bestand is tegen inwerking van chloor. Bij zwembaden verdient het aanbeveling de ophangconstructie uit te voeren in RVS met werkstofnummer 1.4529 of gegalvaniseerd ijzer en de constructie van een goede coating te voorzien. Bij beschadiging van de coating moet deze bijgewerkt worden. Zorg voor een onderhoudsprogramma met periodieke inspectie.

RVS AISI 304 of AISI 316 **voldoet absoluut niet** in chloorhoudende omgevingen!

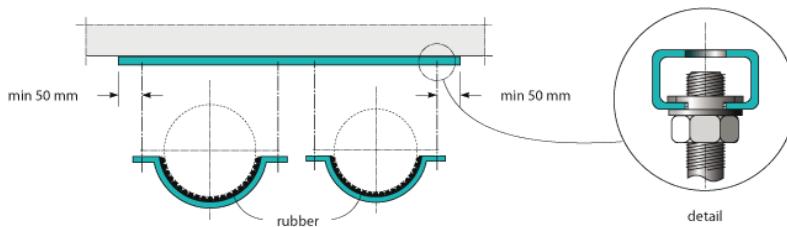
6.2 Horizontale kanalen

De bevestiging van de luchtkanalen aan het plafond moet qua sterkte en duurzaamheid gelijkwaardig zijn aan die van de kanalen zelf en zodanig strak en stabiel worden uitgevoerd dat deze onder normale belastingen en bij normaal in het gebouw voorkomende omgevingscondities (temperatuurwisselingen) blijvend verzekerd is.

De verankering in betonnen plafonds geschiedt door middel van:

1. Draadstangen in geboorde gaten;
2. Montagerail, die:
 1. Vooraf in het plafond wordt ingestort;
 2. Achteraf door boren wordt aangebracht.

De lengte van de montagerail is zodanig dat deze minimaal 50 mm buiten de (buitenste) draadstang(en) uitsteekt. De afstand tussen de draadstangen, is afhankelijk van de aanwezigheid van uitwendige isolatie, minimaal 300 mm en maximaal 100 mm groter dan de kanaalbreedte.



Afb. 6.1 Verankering door montage rail

In voorgespannen betonnen vloeren en plafonds mag niet worden geboord, zodat hier alleen ingestorte voorzieningen in aanmerking komen. Het gebruik van een schietpistool voor het inbrengen van bouten in gestorte vloeren wordt afgeraden.

De bevestigingsmiddelen, waaronder pluggen, mogen niet van kunststof of een ander bij brand vervormend materiaal zijn vervaardigd. Gebruik bijvoorbeeld metalen pluggen.

6.2.1 Ronde luchtkanalen

Voor de ophanging van ronde ongeïsoleerde horizontale kanalen van metaal worden sendzimir verzinkte bandstaal beugels toegepast die met een of meer draadstangen worden bevestigd.

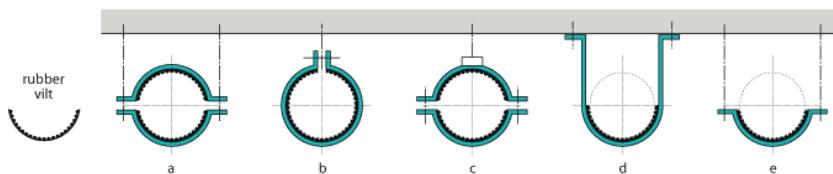
De beugels bij kanalen met een diameter van 500 mm of meer worden uitgevoerd als tweepuntsophanging met een boven- en onderbeugel. Tussen beugel en kanaal moet ter voorkoming van overdracht van trillingen over de volle omtrek vilt of PE-band met minimale afmeting van 18×4 mm ($b \times d$) worden aangebracht.

Voor kanalen met een diameter kleiner dan 500 mm wordt volstaan met éénpuntsbeugels (boven- en onderbeugel) uit sendzimir verzinkt bandstaal of gaatjesband, voorzien van vilt of PE-band, of met geplastificeerd gaatjesband met éénpuntsophanging. Daarnaast kunnen standaardbeugels met rubber inlage worden toegepast.

De maximale hartafstand tussen de ophangpunten in lengterichting van het kanaal bedraagt 3 m.

Tabel 6.1 Eisen voor de ophanging van ronde metalen kanalen

Maximale kanaaldiameter (inwendig) [mm]	Diameter draadstang [mm]	Ophanging	Maximale. hoh-afstand ophangpunten [mm]
< 500	minimaal M6	eenpunts	3.000
≥ 500	minimaal M6	tweepunts	3.000



Afb. 6.2 Ophangconstructies bij ronde kanalen

Tabel 6.2 Beugelafstand (in cm) voor horizontale kunststofkanalen (DVS 2210 -1) [29]

d [mm]	PVC ¹⁾					HDPE				
	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
63	140	130	120	85	55	120	115	105	100	90
75	150	140	135	95	60	135	130	120	110	100
90	165	155	150	105	70	150	145	135	125	115
110	185	175	170	120	80	165	160	150	145	130
125	210	205	185	160	90	175	170	160	155	140
140	215	210	195	160	110	190	185	175	165	150
160	225	215	210	170	130	205	195	185	175	160
200	255	235	225	200	150	230	220	210	200	190
225	250	240	240	200	160	245	235	225	215	205
250						260	250	240	230	210
280						275	265	255	240	220
315						290	280	270	255	235
355						310	300	290	275	255
400						330	315	305	290	270

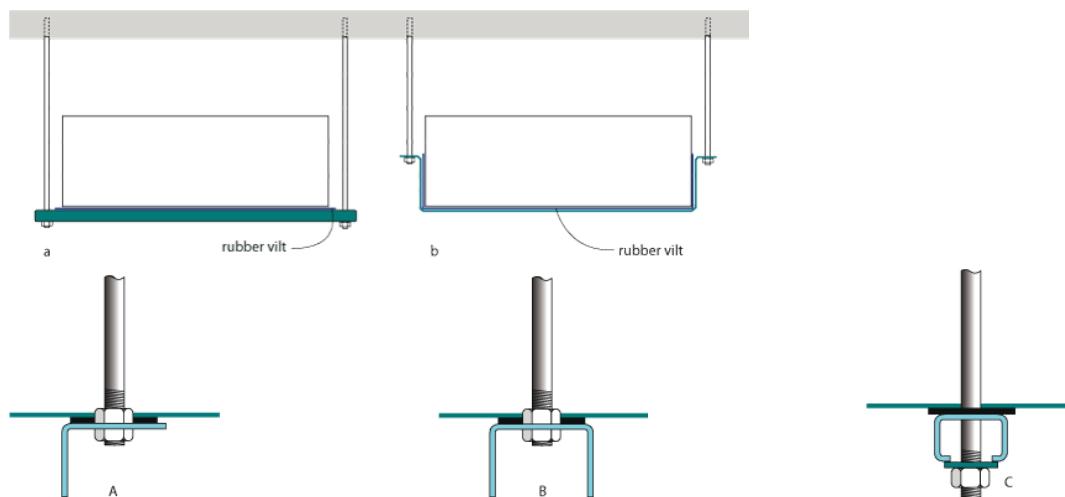
1) Voor verticale leidingen: afstand uit de tabel 1,3.

De ophanging van uitwendig geïsoleerde ronde horizontale luchtkanalen geschiedt in principe op dezelfde wijze als bij de ongeïsoleerde kanalen. Bestaat er geen gevaar voor condensatie dan zijn er ter plaatse van de ophangconstructie geen speciale voorzieningen nodig. De kanalen kunnen, inclusief de ophangconstructie, uitwendig worden geïsoleerd.

Bij kans op condensatie ter plaatse van de ophangconstructie moet om het kanaal een schaal worden opgenomen van pir-schuim, voorzien van een versterkte aluminium folie met een overlap van 25 mm. De dikte van de schaal is ten minste gelijk aan die van de kanaalisolatie met een breedte van 100 mm. In dit geval is de beugeling om de isolatie heen.

6.2.2 Rechthoekige luchtkanalen

Ongeïsoleerde rechthoekige metalen kanalen worden opgehangen door middel van een onderbeugel in de vorm van een hoekprofiel, U-profiel of montagerail, voorzien van vilt of PE-band met minimale afmetingen van 18 x 4 mm (b x d). De onderbeugel wordt met 2 draadstangen aan het plafond bevestigd. De afstand tussen deze draadstangen en het kanaal is minimaal 30 mm en maximaal 100 mm. De onderlinge hart op hart afstand tussen de ophangpunten in lengterichting van het kanaal bedraagt 3 m.



Afb. 6.3 Ophangconstructies bij rechte kanalen

Tabel 6.3 Eisen voor de ophanging van rechthoekige metalen kanalen

Grootste kanaalzijde [mm]	Diameter van draadstang [mm]	Draagconstructie ¹⁾			Maximale afstand ophangpunten [mm]
		Hoekprofiel [afbeelding 6.3A]	U-profiel [afbeelding 6.3B]	Montagerail [afbeelding 6.3C]	
400	6	25 x 25 x 1,5	25 x 25 x 1,5	20 x 25 x 1,5	3.000
600	8	25 x 25 x 3	25 x 25 x 3	25 x 25 x 1,5	3.000
1.000	8	30 x 30 x 3	25 x 30 x 3	30 x 25 x 1,5	2.500
1.400	8	40 x 40 x 3	30 x 40 x 3	40 x 25 x 1,5	2.500
2.000	8	40 x 40 x 4	30 x 40 x 4	40 x 25 x 1,5	2.500

1) Hoogte x breedte x dikte in mm.

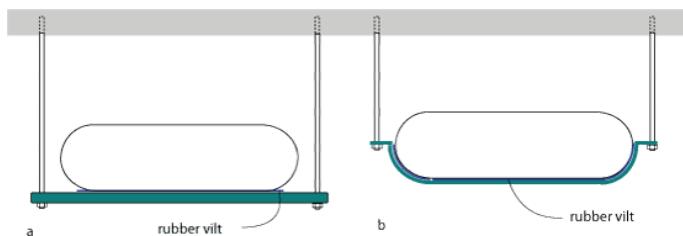
De ophanging van uitwendig geïsoleerde rechthoekige luchtkanalen geschiedt in principe op dezelfde wijze als bij de ongeïsoleerde kanalen. Bestaat er geen gevaar voor condensatie dan zijn er ter plaatse van de ophangconstructie geen speciale voorzieningen nodig. De kanalen kunnen, inclusief de ophangconstructie, uitwendig worden geïsoleerd.

Bij kans op condensatie ter plaatse van de ophangconstructie moet om het kanaal een plaat worden opgenomen van pir-schuim, voorzien van een versterkte aluminium folie met een overlap van 25 mm. De dikte van de schaal is tenminste gelijk aan die van de kanaalisolatie met een breedte van 100 mm. De beugeling is dan om de isolatie heen.

6.2.3 Ovale metalen luchtkanalen

Voor de ophanging van ovale kanalen dienen bandstalen beugels, strips of hoekprofielen te worden toegepast, die door middel van twee draadstangen worden bevestigd (zie afbeelding 6.4). Tussen de ophanging en het kanaal moet een 10 mm dikke viltlaag of een rubberen vulstrip met een hardheid van 60° Shore, dikte 5 mm, worden aangebracht die bij voorkeur breder is dan de ophanging.

De onderbeugel wordt met 2 draadstangen aan het plafond bevestigd. De afstand tussen deze draadstangen en het kanaal is minimaal 30 mm en maximaal 100 mm. De onderlinge hart op hart afstand tussen de ophangpunten in lengterichting van het kanaal bedraagt 3 m.



Afb. 6.4 Ophangconstructies bij ovale kanalen

Tabel 6.4 Eisen voor de ophanging van ovale metalen kanalen

Grootste kanaalzijde [mm]	Diameter van draadstang [mm]	Draagconstructie ¹⁾		Maximale afstand ophangpunten [mm]
		1/2-rond [afbeelding 6.4 a]	Hoekprofiel [afbeelding 6.4 b]	
400	8	25 x 3	25 x 25 x 3	3.000
600	8	30 x 4	25 x 25 x 3	3.000
1.000	8	40 x 5	30 x 30 x 3	3.000
1.400	8	-	40 x 40 x 3	3.000
1.700	8	-	40 x 40 x 4	3.000

1) (hoogte) x breedte x dikte in mm.

6.3 Verticale kanalen

De ophanging van verticale kanalen wordt bepaald door de situatie ter plaatse, maar valt in de praktijk meestal samen met de doorvoering door de vloer (schacht).

De bevestiging van de luchtkanalen aan een (schacht)wand moet qua sterkte en duurzaamheid gelijkwaardig zijn aan die van de kanalen zelf en zodanig strak en stabiel worden uitgevoerd dat deze onder normale belastingen en bij normaal in het gebouw voorkomende omgevingscondities (temperatuurwisselingen) blijvend verzekerd is.

6.3.1 Ronde kanalen

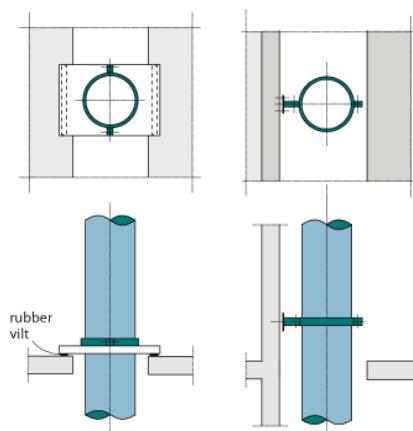
De ophanging van verticale kanalen wordt bepaald door de situatie ter plaatse, maar valt in de praktijk meestal samen met de doorvoering door de vloer.

Metalen kanalen

Ongesoleerde verticale ronde kanalen van metaal worden, vrij van de bouwkundige constructie, bevestigd door middel van klembeugels van voldoende sterkte, die aan de wand(en) wordt ondersteund (met console of hoekprofielen) of wordt afgestemd op de vloer ter plaatse van de doorgang via hoekprofielen.

In het geval dat de doorvoering / schacht aanzienlijk groter is dan het kanaal moet een ondersteunend raamwerk van hoekstaal (console) worden toegepast.

Ter voorkoming van de overdracht van trillingen wordt tussen de klembeugel en het kanaal een 10 mm dikke viltlaag of een rubberen strip van 5 mm dikte aangebracht.



Afb. 6.5 Kanaaldoorvoering door vloer bij rond kanaal

De stalen ondersteuningsconstructies worden corrosieverend uitgevoerd. De maximale hart op hart afstand van de ondersteuningen bedraagt in lengterichting van het kanaal 2,5 m.

De ophanging van uitwendig geïsoleerde verticale ronde kanalen geschiedt in principe op dezelfde wijze als bij niet-geïsoleerde kanalen. Bestaat er geen gevaar voor condensatie dan zijn er ter plaatse van de ophangconstructie geen speciale voorzieningen nodig. De kanalen kunnen, inclusief de ophangconstructie, uitwendig worden geïsoleerd.

Bij kans op condensatie ter plaatse van de ophangconstructie moet om het kanaal een schaal worden opgenomen van PIR-schuim, voorzien van een versterkte aluminium folie met een overlap van 25 mm. De dikte van de schaal is tenminste gelijk aan die van de kanaalisolatie met een breedte van 100 mm. In dit geval is de beugeling om de isolatie heen.

Kunststofkanalen

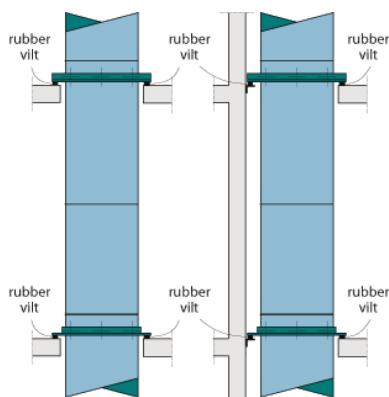
Voor kunststofkanalen gelden de waarden als gegeven in tabel 6.2 (zie voetnoot: getalwaarde van de tabel · 1,3).

6.3.2 Rechthoekige kanalen

Metalen kanalen

Verticale rechthoekige ongeïsoleerde metalen kanalen worden, vrij van de bouwkundige constructie, bevestigd door middel van tweezijdig aan het kanaal verbonden hoekstaal van voldoende sterkte, dat aan de wand(en) wordt ondersteund door een hoekstalen raamwerk of wordt afgesteund op de vloer ter plaatse van de doorgang.

Om overdracht door trillingen te voorkomen wordt voor de opleggingen een 10 mm dikke viltlaag of een rubberen strip (dikte 5 mm) toegepast.



Afb. 6.6 Kanaaldoorvoering door vloer bij rechthoekig kanaal

De ophanging van uitwendig geïsoleerde verticale rechthoekige kanalen geschiedt in principe op dezelfde wijze als bij niet-geïsoleerde kanalen. Bestaat er geen gevaar voor condensatie dan zijn er ter plaatse van de ophangconstructie geen speciale voorzieningen nodig. De kanalen kunnen, inclusief de ophangconstructie, uitwendig worden geïsoleerd.

Bij kans op condensatie ter plaatse van de ophangconstructie moet om het kanaal een plaat worden opgenomen van pir-schuim, voorzien van een versterkte aluminium folie met een overlap van 25 mm. De dikte van de schaal is tenminste gelijk aan die van de kanaalisolatie met een breedte van 100 mm. De beugeling is dan om de isolatie heen.

Kunststofkanalen

De ophanging wordt gevormd door een onderbeugel en een bovenbeugel die met draadstangen (minimaal M6) direct langs het kanaal bevestigd worden. De maximale afstand tussen de beugels is 3 meter.

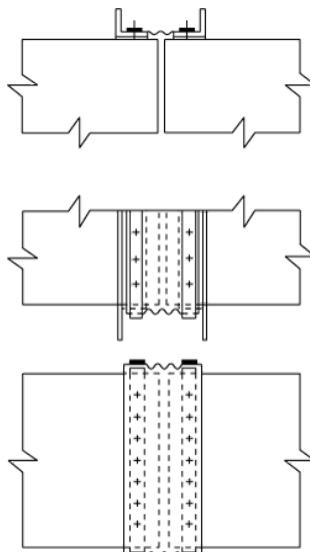
6.3.3 Doorvoeringen

De doorvoeringen door de vloer moeten zodanig worden uitgevoerd dat bij het schoonmaken van de vloeren geen water langs de kanalen kan stromen (door middel van opstorting). Bij doorvoeringen van kanalen die worden voorzien van een (dampremmende) isolatie moeten de doorvoeringen zo groot worden gekozen dat de isolatie, inclusief de afwerking, in de doorvoering kan worden doorgestoken.

6.3.4 Flexibele verbindingen

Voor het opvangen van trillingen van kanaaldeelen past men waar nodig flexibele verbindingen toe, die met flenzen en pakking zodanig worden gemonteerd dat deze niet op trek kunnen worden belast. Aansluitingen op de luchtbehandelingskast worden altijd als flexibele verbinding uitgevoerd. De lengte bedraagt minimaal 50 mm, maar mag de 250 mm niet overschrijden, waarbij de doorlaat niet vermindert. Afbeelding 6.4. geeft enkele voorbeelden van een flexibele verbinding.

Opmerking: Voor het opvangen van expansie worden in de praktijk geen speciale voorzieningen getroffen. Bij de in kantoorgebouwen gebruikte luchttoevoertemperaturen bedraagt de uitzetting ca. 0,3 mm/m, die door de flexibele ophanging van de kanalen geen problemen oplevert. Slechts in uitzonderlijke gevallen, bij extreme lengte of groot temperatuurverschil, hoeft men daaraan aandacht te besteden.



Afb. 6.7 Uitvoering van flexibele verbindingen

Voor niet-agressieve lucht moet voor deze verbindingen glasvezelweefsel worden gebruikt dat tweezijdig is bekleed met een vlambestendige kunststof en bestand is tegen de heersende druk en temperatuur. Bij het transport van agressieve dampen kiest men voor de flexibele verbinding materialen die hiertegen bestand zijn.

Flexibele verbindingen (slangen) ten behoeve van roosters dienen zonder omwegen zo kort als mogelijk te worden aangesloten, bij voorkeur < 0,5 m. Bij toepassing van akoestische slangen kan voor een effectieve demping een grotere lengte met omwegen noodzakelijk zijn.
(SB II.3-9)

7 Transport en opslag

7.1 Algemeen

Iedere fase in het realisatieproces van een compleet en goed functionerend luchtkanalensysteem draagt bij aan de uiteindelijke kwaliteit daarvan. Zo is het effect van bij de fabricage in principe goed luchtdichte kanalen en verbindingen sterk afhankelijk van een zorgvuldige montage en afwerking in de uitvoeringsfase. Dit betekent dat in iedere fase, van fabricage, via transport en opslag, ontwerp, uitvoering tot beheer en onderhoud, steeds de aandacht op het beoogde doel moet zijn gericht dat in het Programma van Eisen is vastgelegd.

Beschadigingen van mechanische of chemische aard, hoge temperaturen en vervuiling dienen tijdens het transport en bij opslag te worden voorkomen. Dit geldt niet alleen voor het kanaalwerk maar ook voor de appendages.

In 2008 verscheen de ontwerp NEN-EN 15780 [26] die voorzorgsmaatregelen geeft om tot schone installaties te komen. In deze norm wordt onderscheid gemaakt in 3 niveaus op basis van gebruik en bezetting. Tabel 7.1 geeft de indeling in klassen.

Tabel 7.1 Indeling in niveaus op basis van gebruik en bezetting

Niveau	Voorbeelden
Basis	Ruimten met lage bezettingsgraad.
Gemiddeld	Kantoren, hotels, scholen, theaters, woningen, tentoonstellingsgebouwen, sportgebouwen, ziekenhuizen.
Hoog	Farmaceutische industrie, micro-elektronica industrie, voedingsmiddelenindustrie, laboratoria, cleanrooms, bijzondere ziekenhuisafdelingen (bijvoorbeeld ok's).

7.2 Afhandeling

Plaatstalen luchtkanalen en hulpstukken zijn gevoelig voor vervorming door onzorgvuldige of ruwe behandeling. Dit beïnvloedt weliswaar in de meeste gevallen het goed functioneren niet, maar is om esthetische reden niet acceptabel. Beschadigingen aan de randen van ronde kanalen en aan verbindingsprofielen bij rechthoekige kanalen verhogen de kans op luchtlekkages.

Om beschadigingen zoveel mogelijk te beperken verdient het aanbeveling het kanaalwerk naar soort te scheiden en de leveringen nauw te laten aansluiten op de voortgang van de montage om overbodige opslag en dubbel werk te voorkomen.

7.3 Transport

Het transport van het kanaalwerk vanaf de fabriek naar de bouwplaats dient op verantwoorde wijze met daartoe geschikte voertuigen van voldoende capaciteit plaats te vinden. Rechte kanalen worden bij voorkeur gefixeerd, van elkaar gescheiden en ondersteund vervoerd om transportschade te voorkomen. Het verdient aanbeveling voor het transport van hulpstukken gebruik te maken van dozen, netzakken, bundels, kratten of containers. Tabel 7.2 (basis is de ontwerp NEN-EN 15780 [26]) geeft aan wanneer kanalen tijdens transport in ieder geval van een deksel voorzien moeten zijn.

Tabel 7.2 Voorzorgsmaatregel om tot een schoon ventilatiesysteem te komen

Niveau	Fabriksafdichting	Transportafdichting	Opslag	Bouwplaats schoon	Afdichten op bouwplaats
Basis	Nee	Nee	Nee	Nee	Alleen verticale kanalen
Gemiddeld	Nee	Nee	Ja	Ja	Ja
Hoog	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

7.4 Oplag

De opslag op de bouwplaats kan zowel in de open lucht als in de ruwbouw plaatsvinden. In beide gevallen dienen de kanalen op een droge ondergrond te worden opgeslagen. Bij plaatsing in de open lucht dienen de kanalen tegen extreme weersinvloeden en vervuiling te worden beschermd.

Het is gewenst de luchtkanalen en hulpstukken, na levering op de bouwplaats, met behulp van een kraan of lift zo dicht mogelijk bij de plaats van montage op te slaan. Tabel 7.2 geeft aan wanneer deze kanalen in ieder geval van een deksel voorzien moeten zijn.

7.5 Montagecodering

De leverancier van de luchtkanalen maakt werktekeningen waarop ten behoeve van de montage een codering is aangegeven. Deze wordt met een viltstift of met behulp van een sticker of afdruk op de in de fabriek op maat gemaakte kanalen en hulpstukken aangebracht. Inwendig aangebrachte codering met stickers moet bij montage worden verwijderd.

8 Thermische isolatie

(SB II.3-2)

8.1 Algemeen

De functie van een kanalensysteem is ervoor zorg te dragen dat aan iedere ruimte de juiste hoeveelheid lucht wordt toegevoerd met de juiste temperatuur en vochtigheid, en het afvoeren van de gebruikte lucht, zonder dat hinder van tocht of geluid ondervonden. Bij de toevoer van geconditioneerde lucht, waarvan de temperatuur in het algemeen verschilt van die van de omgeving, treedt warmteverlies op. De grootte van dit verlies hangt af van de mate en afwerking van isolatie, het temperatuurverschil tussen de lucht in en buiten het kanaal, de luchtbeweging om het kanaal en van de grootte van het warmteoverdragende oppervlak. De grootste temperatuurverschillen treden in het algemeen op bij de luchttoevoerkanalen.

De warmtestroom door de kanaalwand, die invloed heeft op de temperatuur in het kanaal en van de omgeving, is alleen van belang indien de lucht wordt verwarmd of gekoeld. Bij het transport van verwarmde lucht heeft deze warmtestroom tot gevolg dat:

1. De koellast van de ruimte wordt verhoogd indien het kanaal door een op dat moment te koelen ruimte loopt;
2. Een deel van de in het luchtbehandelingsapparaat toegevoerde verwarmingsenergie niet aan de vertrekken ten goede komt;
3. In het geval dat gekoelde lucht door het kanaal stroomt leidt de warmtestroom tot:
 1. Een verhoogde transmissie, indien het kanaal door een op dat moment te verwarmen ruimte loopt;
 2. Verspilling van een deel van de in het luchtbehandelingsapparaat toegevoerde koelenergie.

Bovendien moet met condensatie rekening worden gehouden.

Vanwege bovengenoemde aspecten is het noodzakelijk dat luchttoevoerkanalen thermisch worden geïsoleerd. Dit hoofdstuk behandelt de verschillende isolatiematerialen voor luchtkanalen in gebouwen onder vermelding van de eigenschappen, de wijze van bevestiging en afwerking.

8.2 Toepassingsgebied

Men spreekt van thermische isolatie als luchtkanalen in- of uitwendig van isolatiemateriaal worden voorzien met het doel het energieverlies naar de omgeving te beperken. Indien luchtkanalen worden gebruikt voor het transport van gekoelde lucht is niet alleen het warmteverlies van belang, maar moet men ook letten op mogelijke condensatie van vocht uit de omgevingsslucht op de kanaalwand. Dit is het geval als de oppervlaktetemperatuur van het kanaal lager is dan de dauwpuntstemperatuur van de omgevingsslucht. Een dampremmende afwerking is dan noodzakelijk.

In tabel 8.1 is aangegeven in welke situaties thermische isolatie wordt toegepast.

Tabel 8.1 Toepassingsgebied thermische isolatie

Kanaaltoepassing	Thermische isolatie	
	Rond	Rechthoekig
Aanzuigkanaal voor buitenlucht	uitwendig	inwendig ¹⁾ of uitwendig
Toevoerkanaal voor geconditioneerde lucht	uitwendig	inwendig ¹⁾ of uitwendig

1) Inwendige isolatie wordt afgeraden vanwege het mogelijk loslaten van vezels en vervuiling.

Indien er sprake is van brandwerende isolatie moeten het isolatiemateriaal, de afwerking en de ophanging voldoen aan de in Luka 2009 [21] vermelde eisen.

Voor de thermische isolatie van luchtkanalen worden de volgende isolatiematerialen toegepast:

1. Glas- en steenwol bij verwarmde lucht;
2. Ge vulkaniseerde synthetische elastomeren bij koeling/verwarming.

Voor de keuzebepaling van bovengenoemde isolatiematerialen zijn in tabel 8.2 de relevante eigenschappen als richtwaarden aangegeven. Aangezien in de praktijk deze basismaterialen in diverse structuren en dichthesen leverbaar zijn en op verschillende wijzen zijn afgewerkt dient men voor de rekenwaarde de opgave van de fabrikant of leverancier te hanteren. Deze waarde moet, voor zover mogelijk, volgens (inter)nationale erkende normen of meetmethoden zijn vastgesteld.

In bijlage B is hiervoor een checklist voor de eigenschappen van isolatiematerialen opgenomen.

Tabel 8.2 Belangrijkste eigenschappen van isolatiematerialen

Eigenschap	Eenheid	Isolatiemateriaal		
		Glaswol	Steenwol	Elastomeer
Warmtegeleidingscoëfficiënt λ , bij een t_{gem} van 10 °C	W/(m·K)	0,03-0,04	0,03-0,04	0,035-0,04
Waterdampdiffusiecoëfficiënt	-	1,2	1,2	5.000
Temperatuurbereik	Min. Max.	°C °C	- 500	- 750
Vochtopname bij rv 95% in gewichts.%	%	< 1	< 0,5	0,5
Soortelijke massa	kg/m³	24-32	36-100	40-80
Elasticiteit	-	groot	matig	groot
Vlamuitbreidingsklasse, NEN 6065	-	1	1	2
Rookdichtheid, NEN 6066	m⁻¹	≤ 1	≤ 1	≤ 10

Op grond van de in tabel 8.2 vermelde eigenschappen kan het toepassingsgebied van de isolatiematerialen worden ingedeeld volgens tabel 8.3.

Tabel 8.3 Toepassingsgebied van thermische isolatie

Kanaaltoepassing	Kans op condensatie	Kanaaldoorsnede	Plaats van isolatie	Materiaaltoepassing ¹⁾
Aanzuigkanaal voor buitenlucht	inwendig	rond	uitwendig	1, 2, 3
		rechthoekig	inwendig	3
	uitwendig	rond	uitwendig	1, 2, 3
		rechthoekig	inwendig	1, 2, 3
	inwendig	rond	uitwendig	1, 2, 3
		rechthoekig	inwendig	3
	uitwendig	rond	uitwendig	2, 3
		rechthoekig	uitwendig	2, 3
Toevoerkanaal voor geconditioneerde lucht	geen	rond	uitwendig	1, 2, 3
		rechthoekig	inwendig	1, 2, 3
	uitwendig	rond	uitwendig	1, 2, 3
		rechthoekig	uitwendig	1, 2, 3

1) 1 = glaswol, 2 = steenwol, 3 = elastomeer.

Opmerking: Inwendige isolatie wordt om gezondheidsredenen (mogelijk loslaten vezels) afgeraden.

8.3 Thermische berekeningen

8.3.1 Warmteverlies door transmissie

Algemeen

Het warmteverlies door transmissie kan niet rechtstreeks worden berekend, omdat de warmte-overdrachtscoëfficiënten voor convectie en straling afhankelijk zijn van de temperatuur die onbekend is. Dit betekent dat een iteratieve berekeningsmethode moet worden gevolgd, die start op basis van geschatte waarden.

De in bijlage C gegeven berekeningsgrondslagen worden specifiek uitgewerkt voor ronde en rechthoekige luchtkanalen. Verder wordt aandacht besteed aan de berekening van het warmteverlies van hulpstukken.

8.3.1.1 Ronde kanalen

Het warmteverlies door transmissie wordt bij ronde kanalen berekend overeenkomstig het gestelde in bijlage C volgens:

$$q' = U' \cdot (\theta_i - \theta_o) \quad [\text{W/m}] \quad (8.1)$$

Met:

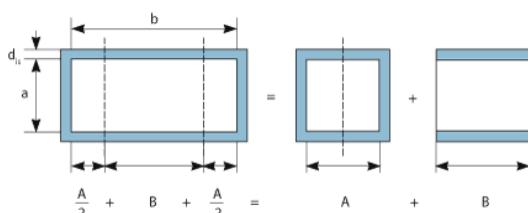
$$\frac{1}{U'} = \frac{1}{\pi \cdot h_i \cdot D_i} + \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot \lambda_{is}} \ln \frac{D_i + 2 \cdot d_{is}}{D_i} + \frac{1}{\pi \cdot h_u \cdot (D_i + 2 \cdot d_{is})} \quad [\text{m.K/W}] \quad (8.2)$$

Waarin:

q'	= lineaire warmtestroomdichtheid	[W/m]
U'	= lineaire warmtedoorgangscôefficiënt	[W/(m·K)]
θ_i	= temperatuur van lucht in kanaal	[°C]
θ_o	= temperatuur van de omgeving	[°C]
h_i	= warmteoverdrachtscoëfficiënt binnenzijde	[W/(m²·K)]
D_i	= inwendige diameter van kanaal	[m]
λ_{is}	= warmtegeleidingscoëfficiënt van isolatielaag	[W/(m·K)]
d_{is}	= isolatiedikte	[m]
h_u	= warmteoverdrachtscoëfficiënt buitenzijde	[W/(m²·K)]
ln	= natuurlijke logaritme	[–]

8.3.1.2 Rechthoekige kanalen

By rechthoekige luchtkanalen wordt het warmtetransport door de wanden op een andere wijze berekend. Behalve het warmtetransport loodrecht op de wanden treden in de hoeken randeffecten op. Om deze reden is het noodzakelijk om het kanaal opgesplitst te denken in een zuiver vierkant deel, dat als rond kanaal wordt beschouwd, en twee evenwijdige platen. In het vierkante deel wordt de warmtedoorgang in hoofdzaak bepaald door de hoekeffecten, terwijl bij de evenwijdige platen het warmtetransport loodrecht op de wanden plaatsvindt. De splitsing is schematisch in afbeelding 8.1 aangegeven [14].



Afb. 8.1 Splitsing rechthoekig kanaal in vierkant kanaal en evenwijdige platen

Voor het vierkante kanaal (deel A) geldt:

$$\frac{1}{U_A'} = \frac{1}{4 \cdot h_i \cdot a} + \frac{1}{2 \cdot 4 \cdot \lambda_{is}} \ln \frac{a+2 \cdot d_{is}}{a} + \frac{1}{4 \cdot h_u \cdot (a+2 \cdot d_{is})} \quad [m^2 \cdot K/W] \quad (8.3)$$

Voor de evenwijdige platen (deel B) geldt:

$$\frac{1}{U_B} = \frac{1}{h_i} + \frac{d_{is}}{\lambda_{is}} + \frac{1}{h_u} \quad [m^2 \cdot K/W] \quad (8.4)$$

Waarin:

U_A'	=	lineaire warmtedoorgangscoefficiënt deel A	[W/(m·K)]
U_B	=	warmtedoorgangscoefficiënt deel B	[W/(m ² ·K)]
h_i	=	warmteoverdrachtscoëfficiënt binnenzijde	[W/(m ² ·K)]
a	=	hoogte van (vierkant) kanaal	[m]
b	=	breedte van kanaal	[m]
λ_{is}	=	warmtegeleidingscoëfficiënt van isolatielaag	[W/(m·K)]
d_{is}	=	isolatiedikte	[m]
h_u	=	warmteoverdrachtscoëfficiënt buitenzijde	[W/(m ² ·K)]
\ln	=	natuurlijke logaritme	[--]

Uit formule 8.3 blijkt dat het effect van de hoeken afneemt naarmate de isolatie dunner is.

8.3.1.3 Ovale kanalen

Voor ovale kanalen geldt dat het een rond kanaal betreft met daar tussen de evenwijdige platen (deel B uit afbeelding 8.1).

Opmerking: In de formules 8.2, 8.3 en 8.4 zijn de volgende warmteverstanden verwaarloosd:

1. Kanaal (plaatstaal);
2. Overgang van kanaal naar isolatiemateriaal (contactweerstand);
3. Afwerklaag van het isolatiemateriaal.

De voor rechthoekige kanalen aan te houden resulterende warmtedoorgangscoefficiënt volgt uit:

$$U' = \frac{2 \cdot a \cdot U_A' + (b - a) \cdot U_B / O}{a + b} \quad [W/(m·K)] \quad (8.5)$$

Waarin:

a	=	hoogte van kanaal	[m]
b	=	breedte van kanaal	[m]
O	=	inwendige omtrek van kanaal	[m]

Bij een vierkant kanaal is $U' = U_A'$.

Indien de isolatielaag niet te dik is ($d_{is} \leq 0,1 \cdot a$) is het toelaatbaar het rechthoekige kanaal als een uitgevouwen vlakke plaat te beschouwen, waarvan het warmteverlies in W/m wordt berekend met:

$$q' = 2 \cdot (a + b) \cdot U \cdot (\theta_i - \theta_o) \quad [W/m] \quad (8.6)$$

Waarbij U wordt berekend volgens de formules C.19 t/m C.22 in bijlage C.

In het geval van rechthoekige kanalen hanteert men bij de bepaling van de warmteoverdrachtscoëfficiënt aan de binnenzijde (h_i) volgens formule C.10 in plaats van de inwendige diameter D_k de hydraulische diameter D_h (zie 5.1.4).

De warmteoverdrachtscoëfficiënt h_c voor convectie wordt conform de formules C.12 en C.13 in bijlage C berekend met dien verstande dat voor de uitwendige kanaaldiameter D_o , inclusief eventuele isolatie (d_{is}), een voor rechthoekige kanalen karakteristieke afmeting D_k wordt ingevuld:

$$\frac{1}{D_k} = \frac{1}{a+2 \cdot d_{is}} + \frac{1}{b+2 \cdot d_{is}} \quad [1/m] \quad (8.7)$$

Hulpstukken

Het transmissieverlies van de hulpstukken kan worden bepaald, uitgaande van:

1. Het werkelijke verliesgevende oppervlak;
2. Een aan de hulpstukken toe te kennen equivalente lengte.

De eerste methode gaat uit van het verliesgevende oppervlak, dat voor een aantal hulpstukken aan [27] kan worden ontleend.

Bij de berekening volgens de tweede methode worden de hulpstukken beschouwd als rechte kanaalstukken met een bepaalde lengte. De gegevens hierover zijn echter summier. In [28] worden voor een aantal hulpstukken equivalenten lengten gegeven.

Luchttemperatuur in kanaal

Door het warmtetransport door de kanaalwanden is de luchttemperatuur in de kanalen niet constant, maar verloopt deze met de lengte. Voor een recht kanaalstuk met lengte L zonder lekverlies volgt de eindtemperatuur uit:

$$\theta_2 = \theta_o + (\theta_1 - \theta_o) \cdot e^{-\frac{U' \cdot L}{4 \cdot \rho \cdot c_p}} \quad [^\circ C] \quad (8.8)$$

Waarin:

θ_1	= luchttemperatuur aan begin van kanaal	[°C]
θ_2	= luchttemperatuur aan begin van kanaal	[°C]
θ_o	= temperatuur van omgeving	[°C]
U'	= lineaire warmtedoorgangscoëfficiënt van kanaal	[W/(m·K)]
O	= inwendige omtrek van kanaal	[m]
L	= lengte van kanaal	[m]
ρ	= soortelijke massa van kanaallucht	[kg/m³]
c_p	= soortelijke warmte van kanaallucht	[J/(kg·K)]
q_v	= luchtdebiet in kanaal	[m³/s]

De warmtedoorgangscoëfficiënt U' dient te zijn bepaald volgens:

1. Formule 8.2 voor ronde kanalen;
2. Formule 8.5 voor rechthoekige kanalen.

De door het kanaalstuk met lengte L afgegeven of opgenomen warmte wordt berekend met:

$$Q = q_v \cdot \rho \cdot c_p \cdot (\theta_1 - \theta_o) \cdot \left(1 - e^{-\frac{U' \cdot L}{q_v \cdot \rho \cdot c_p}} \right) \quad [W] \quad (8.9)$$

Waarin:

Q	=	warmteverlies door transmissie	[W]
-----	---	--------------------------------	-----

Opmerking: Indien het toelaatbaar is een rechthoekig kanaal als een uitgevouwen vlakke plaat te beschouwen, dient men in de formules 8.8 en 8.9 voor $U' \cdot L$ te lezen: $U \cdot O \cdot L$, waarbij U wordt berekend volgens de formules C.19 t/m C.22 in bijlage C.

8.3.2 Keuze van isolatiedikte

Algemeen

In deze paragraaf worden enkele belangrijke aspecten aangestipt, waarvoor specifieke berekeningsmethoden bestaan die in andere publicaties uitvoerig worden beschreven. Dit betekent dat specifiek voor luchtkanalen een en ander slechts in tabelvorm is uitgewerkt onder verwijzing naar de desbetreffende publicatie.

Keuze van isolatiedikte

Uit het oogpunt van energiebesparing ter bescherming van het milieu tegen onder andere de uitstoot van verbrandingsgassen, is het wenselijk luchtkanalen thermisch te isoleren. De keuze van de isolatiedikte wordt, afhankelijk van de situatie, bepaald op grond van de volgende criteria:

1. Het voorkomen van oppervlaktecondensatie (zie ook hoofdstuk 10);
2. Het toelaatbare energieverlies per m kanaal;
3. De toelaatbare opwarming/afkoeling in het kanalensysteem;
4. De minimale totale jaarlijkse kosten voor het isoleren en het dekken van het energieverlies.

De berekende grootste isolatiedikte is maatgevend.

Opmerking: Vanwege de vele in de praktijk toegepaste hoogte/breedte-verhoudingen van rechthoekige kanalen is het niet mogelijk bovenstaande criteria voor rechthoekige kanalen in een afbeelding uit te werken. Om deze reden is onderstaand de uitwerking slechts voor ronde kanalen uitgevoerd.

Toelaatbaar energieverlies per m kanaal

Het energieverlies per m kanaal kan een ontwerp criterium zijn. Specifiek voor ronde kanalen is een ander uitgewerkt in bijlage D voor de volgende in kantoorgebouwen geldende ontwerpsituaties:

1. Wintersituaties:
 1. Luchttemperatuur in kanaal: 30 °C;
 2. Omgevingstemperatuur: 15 °C.
2. Zomersituatie:
 1. Luchttemperatuur in kanaal: 16 °C;
 2. Omgevingstemperatuur: 26 °C.

Uitgaande van glas/steenwol, polyetheen (PE), polyisocyanuraat/polyurethaan (PIR/PUR) en synthetisch schuimrubber als isolatiemateriaal.

Opmerking: Indien gevaar voor condensatie bestaat wordt de toepassing van glas/steenwol met een dampremmende afwerking afgeraden vanwege snelle beschadigingen.

Toelaatbare opwarming/afkoeling

Het transmissieverlies van de luchtkanalen heeft tot gevolg dat de temperatuur waarmee de lucht het luchtbehandelingsapparaat verlaat niet gelijk is aan de inblaasttemperatuur in de vertrekken. Op basis van een maximaal toelaatbaar temperatuurverschil dient de benodigde isolatiedikte volgens formule 8.8 te worden bepaald.

De tabellen E.1 t/m E.4 geven voor ronde kanalen van verschillende lengte, die met glas-/steenwol, polyetheen en synthetisch schuimrubber worden geïsoleerd, de minimale isolatiedikte opdat de afkoeling van verwarmde lucht niet meer bedraagt dan 1,5 K bij een:

1. Luchttemperatuur in kanaal: 30 °C;
2. Omgevingstemperatuur: 15 °C.

De benodigde minimale isolatiedikte bij een toelaatbare opwarming van gekoelde lucht van 1,5 K is voor polyetheen en synthetisch schuimrubber in de tabellen E.5 en E.6 weergegeven bij een:

1. Luchtttemperatuur in kanaal: 16 °C;
2. Omgevingstemperatuur: 26 °C.

Minimale totale jaarkosten

Minimale totale jaarkosten De keuze van de isolatiedikte kan ook op basis van een economische afweging plaatsvinden. Hierbij is voor een gegeven kanalenstelsel de som van de jaarlijkse kosten voor het isoleren en het monteren, en die voor het dekken van het transmissieverlies minimaal. Voor de bepaling van de economisch optimale isolatiedikte wordt verwezen naar de in [10] omschreven berekeningsmethode.

De optimale isolatiedikte is voor 2 in kantoorgebouwen kenmerkende situaties bepaald:

1. Verwarmingssituatie

Hierbij is aangenomen dat het warmteverlies door transmissie, infiltratie en ventilatie volledig wordt gedekt door de ventilatielucht. De luchtinblaastemperatuur verloopt volgens de volgende stooklijn:

1. Buitentemperatuur: -10 °C → 20 °C;
2. Inblaastemperatuur: 30 °C → 20 °C.

De gemiddelde inblaastemperatuur bedraagt over het stookseizoen bij een bedrijfstijd van 10 uur per dag gedurende 5 dagen per week ca. 24 °C. In de tabellen 8.5 t/m 8.8 is de optimale isolatiedikte gegeven voor ronde kanalen die met glas/steenwol, polyetheen (PE), polyisocyanuraat/polyurethaan (PIR/PUR) respectievelijk synthetisch schuimrubber worden geïsoleerd, uitgaande van:

1. Luchtttemperatuur in kanaal: 24 °C;

2. Omgevingstemperatuur: 18 °C;

3. Bedrijfstijd verwarmingsinstallatie: 2300 h/a.

De tabellen 8.5 t/m 8.8 gelden voor een goed geïsoleerd kantoorgebouw;

1. Gasprijs:

1. Gedurende 5 jaar: € 0,436 /m³;
2. Gedurende 10 jaar: € 0,469 /m³;
3. Gedurende 15 jaar: € 0,504 /m³.

2. Rentepercentage 5%;

3. Normale bedrijfsvoeringkosten;

4. Geen onderhoudskosten;

5. Eenvoudig kanalenstelsel met minimum aan hulpstukken.

Koelsituatie

Hierbij wordt aangenomen dat de luchtinblaastemperatuur in de zomerperiode constant op 16 °C wordt gehouden bij een bedrijfstijd van de installatie van 10 uur per dag gedurende 5 dagen per week.

De (ronde) kanalen worden met polyetheen respectievelijk synthetisch schuimrubber geïsoleerd, uitgaande van:

1. Luchtttemperatuur in kanaal: 16 °C;

2. Omgevingstemperatuur: 26 °C;

3. Bedrijfstijd koelinstallatie: 800 h/a.

Uit de berekeningen blijkt dat er op basis van het ontwerp criterium 'minimale totale jaarkosten' geen economisch optimale isolatiedikte kan worden gevonden. Dit betekent dat de kosten voor het isoleren bij elke isolatiedikte steeds hoger zijn dan de daarbij behorende kosten voor het dekken van het transmissieverlies.

Opmerking: Voor de bepaling van de minimale totale jaarkosten van de isolatie zijn de prijzen inclusief montage (prijspeil 2005) als gegeven in tabel 8.4 gehanteerd.

Tabel 8.4 Isolatiekosten afhankelijk van het soort isolatie en de dikte

	Dikte [mm]	Kosten [€/m²]
Glas/steenwol met Al-folie	25	16
	30	17
	40	19
	50	21
Polyetheenschuim	10	20
	12	21
	15	23
	20	23
Synthetisch schuimrubber	13	25
	19	27
	25	30
	32	33
Polyisocyanuraat/polyurethaanschuim	Bij deze isolatiematerialen is er van uitgegaan dat de kosten de helft bedragen van die voor synthetisch schuimrubber	

Tabel 8.5 Economisch optimale isolatiedikte in mm bij toepassing van glas/steenwol met aluminiumfolie afwerking ($\lambda_s = 0,04 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)

Glas/steenwol met aluminiumfolie

1. Luchttemperatuur in kanaal: 24 °C;
2. Omgevingstemperatuur : 18 °C;
3. Bedrijfstijd verwarmingsinstallatie: 2.300 h/a.

Uitwendige kanaaldiameter [mm]	Afschrijvingstermijn								
	5 jaar			10 jaar			15 jaar		
	Type ketel			Type ketel			Type ketel		
VR	HR	H+V	VR	HR	H+V	VR	HR	H+V	
63	9	8	8	13	12	12	16	15	15
80	10	10	10	15	14	14	18	16	16
100	11	10	10	16	15	15	20	18	18
125	12	11	11	18	16	16	21	20	20
160	14	13	12	19	18	18	23	21	21
200	15	14	13	20	19	19	24	23	23
250	15	14	14	22	20	20	25	24	24
315	16	15	15	23	21	21	27	25	25
(355)	17	16	15	24	22	22	28	26	26
400	17	16	16	24	23	23	29	27	27
(450)	18	16	16	25	23	23	30	28	27
500	18	17	17	25	24	24	30	28	28
(560)	18	17	17	26	24	24	30	29	29
630	19	17	17	26	25	25	31	29	29
(710)	19	18	18	27	25	25	32	30	30
800	19	18	18	27	25	25	32	30	30
(900)	20	18	18	28	26	26	33	31	30
1.000	20	19	18	28	26	26	33	31	31
(1.120)	20	19	19	28	26	26	34	32	31
1.250	20	19	19	29	27	27	34	32	32

VR : verbeterd rendement ketel
HR : hoog rendement ketel
H+V : combinatie van hoog- en verbeterd rendement ketel

Tabel 8.6 Economisch optimale isolatiedikte in mm bij toepassing van polyetheen ($\lambda_{is} = 0,036 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$)

Uitwendige kanaaldiameter [mm]	Afschrijvingstermijn								
	5 jaar			10 jaar			15 jaar		
	Type ketel			Type ketel			Type ketel		
VR	HR	H+V	VR	HR	H+V	VR	HR	H+V	
63	2	2	1	4	4	3	5	5	5
80	2	2	2	5	4	4	6	5	5
100	3	2	2	5	5	4	7	6	6
125	3	3	3	6	5	5	7	7	7
160	3	3	3	6	5	5	8	7	7
200	4	3	3	6	6	6	8	8	7
250	4	4	4	7	6	6	9	8	8
315	4	4	4	7	7	6	9	8	8
(355)	4	4	4	7	7	7	9	8	8
400	4	4	4	7	7	7	9	9	9
(450)	5	4	4	7	7	7	9	9	9
500	5	4	4	8	7	7	10	9	9
(560)	5	4	4	8	7	7	10	9	9
630	5	4	4	8	7	7	10	9	9
(710)	5	4	4	8	7	7	10	9	9
800	5	4	4	8	7	7	10	9	9
(900)	5	4	4	8	7	7	10	9	9
1.000	5	4	4	8	7	7	10	9	9
(1.120)	5	5	4	8	7	7	10	9	9
1.250	5	5	5	8	8	7	10	9	9

VR : verbeterd rendement ketel
HR : hoog rendement ketel
H+V : combinatie van hoog- en verbeterd rendement ketel

Tabel 8.7 Economisch optimale isolatiedikte in mm bij toepassing van PIR/PUR met aluminiumfolie afwerking ($\lambda_{is} = 0,032 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$)

Polyisocyanuraat/polyurethaan (PIR/PUR)

1. Luchttemperatuur in kanaal: 24 °C;
2. Omgevingstemperatuur : 18 °C;
3. Bedrijfstijd verwarmingsinstallatie: 2.300 h/a.

Uitwendige kanaaldiameter [mm]	Afschrijvingstermijn								
	5 jaar			10 jaar			15 jaar		
	Type ketel			Type ketel			Type ketel		
VR	HR	H+V	VR	HR	H+V	VR	HR	H+V	
63	3	2	2	5	4	4	6	6	6
80	3	3	3	5	5	5	7	6	6
100	3	3	3	6	5	5	7	7	6
125	3	3	3	6	5	5	7	7	7
160	4	3	3	6	6	6	8	7	7
200	4	3	3	6	6	6	8	7	7
250	4	4	4	7	6	6	8	8	8
315	4	4	4	7	6	6	9	8	8
(355)	4	4	4	7	6	6	9	8	8
400	4	4	4	7	6	6	9	8	8
(450)	4	4	4	7	6	6	9	8	8
500	4	4	4	7	7	6	9	8	8
(560)	4	4	4	7	7	7	9	8	8
630	4	4	4	7	7	7	9	8	8
(710)	4	4	4	7	7	7	9	8	8
800	4	4	4	7	7	7	9	8	8
(900)	5	4	4	7	7	7	9	9	8
1.000	5	4	4	7	7	7	9	9	8
(1.120)	5	4	4	7	7	7	9	9	8
1.250	5	4	4	7	7	7	9	9	9

VR : verbeterd rendement ketel

HR : hoog rendement ketel

H+V : combinatie van hoog- en verbeterd rendement ketel

Tabel 8.8 Economisch optimale isolatiedikte in mm bij toepassing van synthetisch schuimrubber ($\lambda_s = 0,038 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)

Polyisocyanuraat/polyurethaan (PIR/PUR)

1. Luchttemperatuur in kanaal: 24 °C;
2. Omgevingstemperatuur : 18 °C;
3. Bedrijfstijd verwarmingsinstallatie: 2.300 h/a.

Uitwendige kanaaldiameter [mm]	Afschrijvingstermijn								
	5 jaar			10 jaar			15 jaar		
	Type ketel			Type ketel			Type ketel		
VR	HR	H+V	VR	HR	H+V	VR	HR	H+V	
63	0	0	0	2	2	2	3	3	3
80	0	0	0	3	2	2	4	3	3
100	1	0	0	3	2	2	4	4	4
125	1	1	1	3	3	3	4	4	4
160	1	1	1	3	3	3	5	4	4
200	2	1	1	4	3	3	5	4	4
250	2	1	1	4	3	3	5	5	5
315	2	1	1	4	3	3	5	5	5
(355)	2	2	2	4	4	3	5	5	5
400	2	2	2	4	4	4	5	5	5
(450)	2	2	2	4	4	4	5	5	5
500	2	2	2	4	4	4	6	5	5
(560)	2	2	2	4	4	4	6	5	5
630	2	2	2	4	4	4	6	5	5
(710)	2	2	2	4	4	4	6	5	5
800	2	2	2	4	4	4	6	5	5
(900)	2	2	2	4	4	4	6	5	5
1.000	2	2	2	4	4	4	6	5	5
(1.120)	2	2	2	4	4	4	6	5	5
1.250	2	2	2	4	4	4	6	5	5

VR : verbeterd rendement ketel

HR : hoog rendement ketel

H+V : combinatie van hoog- en verbeterd rendement ketel

8.4 Minerale wol

8.4.1 Algemeen

Tot de minerale producten behoren glas- en steenwol.

Glaswol wordt vervaardigd door kwartszand met toeslagstoffen te verhitten tot ca. 1.400 °C, waarna uit de vloeibare glasmassa vezels worden gemaakt. De nog warme vezels worden met kunsthars gebonden, die, nadat het pakket door walsrollen is gevoerd, in een oven uithardt.

Steenwol wordt gemaakt uit het vulkanische diabaasgesteente. Deze grondstof wordt gesmolten bij 1.550 °C en langs snel roterende schijven gevoerd, waar de vezels worden gesponnen, die met een bindmiddel worden samengevoegd tot het eindproduct.

Mineraalwol is ongevoelig voor temperatuur- en vochtbelasting en veroudert niet.

8.4.2 Uitvoeringsvormen

Qua structuur komt mineraalwol in twee vormen voor, te weten met liggende of rechtopstaande vezels.



Afb. 8.2 Structuur van minerale wol

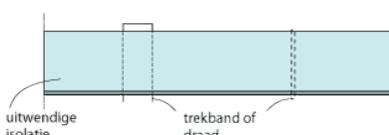
Als isolatiemateriaal is minerale wol leverbaar als dekens, platen en schalen.

Voor de uitwendige isolatie van luchtkanalen worden alleen minerale woldekens met rechtopstaande vezels toegepast die een grotere drukvastheid bezitten, de zogenaamde lamellendekens met een dikte van 25 t/m 50mm. Deze dekens, die eenzijdig zijn bekleed met een folie van versterkt aluminium, zijn te verkrijgen met en zonder zelfklevende laag met schutfolie.

De dekens zijn geschikt voor het uitwendig thermisch en akoestisch isoleren van luchtkanalen, met dien verstande dat ronde kanalen alleen uitwendig worden geïsoleerd en rechthoekige kanalen zowel in- als uitwendig. Uit praktische overwegingen dient de dikte bij uitwendige isolatie ten minste overeen te komen met de hoogte van de dwarsverbindingen of van de uitwendige verstijvingen.

8.4.3 Bevestiging op ronde kanalen

Ronde kanalen worden alleen uitwendig van isolatie voorzien door toepassing van dekens. Deze worden door middel van binden met een trekband van minimaal 10 mm breed om de 600 mm aan het kanaal bevestigd. Het gebruik van kunststof trekbanden leidt in geval van brand tot functieverlies en wordt daarom afgeraden.



Afb. 8.3 Bevestiging door binden

De naden worden met aluminium all-weather kleefband met een breedte van 75 mm dampdicht afgewerkt. De kleefkracht op staal moet minimaal 9N/25 mm² bedragen. Alvorens het plakband aan te brengen moet de ondergrond stof- en vettvrij worden gemaakt.

8.4.4 Bevestiging op rechthoekige kanalen

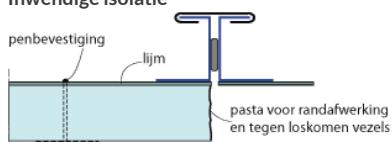
Rechthoekige luchtkanalen kunnen zowel in- als uitwendig worden geïsoleerd. Hiervoor komen de bevestigingsmethoden volgens tabel 8.9 in aanmerking.

Tabel 8.9 Bevestigingsmethoden van mineraalwol bij rechthoekige kanalen

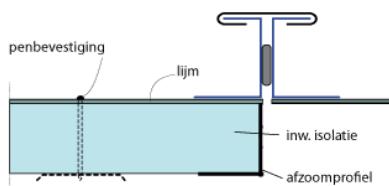
Mineraalwolisolatie	Bevestiging door middel van		
	Lijmen	Binden	Pennen
Lamellen dekens	uitwendig	-	in-/uitwendig

Toegepast wordt de bevestiging door middel van een zelfklevende lamellendeken of door middel van pennen in combinatie met lijmen, die in de volgende afbeeldingen is weergegeven voor in- en uitwendige isolatie.

Inwendige isolatie



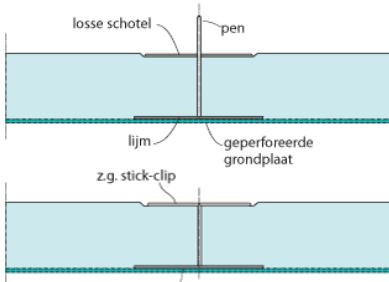
Afb. 8.4 Bevestiging en randafwerking met pasta



Afb. 8.5 Bevestiging en randafwerking met afzoomprofiel

Uitwendige isolatie

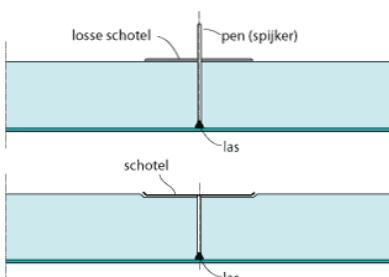
Voor de bevestiging van de uitwendige isolatie wordt gebruik gemaakt van de plakpen met losse schotel of stick-clip (splittongpen).



Afb. 8.6 Bevestiging met plakpen

De plakpennen moeten met daartoe geschikte lijm worden bevestigd. De toepassing van zelfklevende plakpennen wordt afgeraden.

De laspen met losse schotels of als schotelpennen



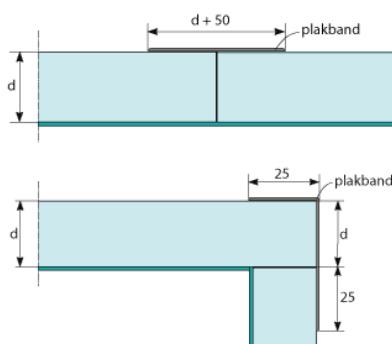
Afb. 8.7 Bevestiging met laspen

Las- en schotelpennen worden door weerstandsllassen aangebracht.

Bij zowel de in- als uitwendige isolatie met mineraalwol dienen de pennen in aantal en patroon zodanig te worden aangebracht dat er sprake is van een gelijkmatige bevestiging, zonder dat er spanning op de afgeplakte naden ontstaat. Voor een goede bevestiging wordt aanbevolen:

1. 3 à 4 pennen per m^2 indien geen gevaar voor loslaten bestaat door het eigen gewicht of door de optredende zuigdruk in het kanaal;
2. 6 à 8 pennen per m^2 indien de isolatielagen door hun eigen gewicht of door de optredende zuigdruk kunnen loslaten.

Bij toepassing van schotelpennen moet men de lengte zo kiezen dat het isolatiemateriaal minimaal wordt ingedrukt. Dit geldt eveneens voor pennen waarop losse schotels worden bevestigd. Indien aan de uitwendige afwerking eisen worden gesteld, moeten de pennen worden ingekort en de losse schotels of de penschotels met aluminium plakband worden afgewerkt. De naden worden eveneens hiermee afgewerkt.



Afb. 8.8 Afwerking van de naden met aluminium plakband

De naden worden met aluminium all weather kleefband met een breedte van 75 mm dampdicht afgewerkt. De kleefkracht op staal moet minimaal 9N/ 25 mm^2 bedragen. Alvorens het plakband aan te brengen moet de ondergrond stof- en vetvrij worden gemaakt.

8.4.5 Afwerking

De uitwendig aangebrachte mineraalwolisolatie is bij binnenopstelling afgewerkt met versterkte aluminiumfolie dat met een overlap wordt aangebracht.

Uitwendig geïsoleerde kanalen in de buitenlucht worden afgewerkt met aluminium beplating. In de kustgebieden wordt hiervoor de zeewaterbestendige kwaliteit AlMg3/ ENAW 5754 aanbevolen. De dikte van de aluminium beplating is 8 mm. De beplating wordt overlappend aangebracht met rillen, die zich 20 tot 25 mm van het plaatende bevinden. De platen worden aan elkaar bevestigd met minimaal 13 x 3 mm RVS plaatschroeven (8 stuks per m). De beplating wordt strak om de isolatie aangebracht, zodanig overlappend en afwaterend dat inregenen en lekkage niet mogelijk zijn. Hiertoe worden alle naadverbindingen in het plaatwerk tijdens of na de montage met transparante siliconenkit regendicht afgewerkt.

8.4.6 Hulpstukken

De hulpstukken worden op overeenkomstige wijze geïsoleerd als de rechte kanalen.

8.4.7 Milieu- en gezondheidsaspecten van steen- en glaswol

8.4.7.1 Algemeen

Dit hoofdstuk belicht in beknopte vorm de milieu- en gezondheidsaspecten van isolatiematerialen. Hierbij wordt onderscheid gemaakt tussen mineraalwol en kunststofschuimen, waarbij de mogelijk schadelijke effecten tijdens de fabricage en de verwerking worden beschouwd.

Bij het werken met glaswol/steenwol kunnen vezels vrijkomen die irritatie kunnen veroorzaken. In Nederland heeft de Gezondheidsraad het materiaal geclassificeerd als niet-kankerverwekkend. Bij zowel het aanbrengen als het verwijderen van glaswol/steenwol in de bouw wordt de MAC-waarde voor inadembare vezels niet overschreden.

Blootstelling / persoonlijke bescherming

Hier wordt verwezen naar de Material Safety Data Sheets, conform model 93/112/EG, item 8).

1. Adembescherming: uitsluitend bij verwerking in gesloten ruimtes en slechte ventilatie is een mondkapje (P2) voorzien;
2. Handbescherming: dragen van werkhandschoenen aanbevolen;
3. Hygiëne tijdens / na het werk: douche (lage waterdruk, lauw).

8.4.7.2 Fabricage

Gesteld kan worden dat in het algemeen de producenten zich bewust zijn van de milieueffecten van hun producten. Zij leveren de nodige inspanningen om deze op diverse fronten te verbeteren. Deze inspanningen richten zich voornamelijk op de samenstelling van de producten.

Mineraalwol

Mineraalwol is de verzamelnaam voor in hoofdzaak glas- en steenwol, behorende tot de groep van de Man Made Mineral Fibres (MMMF). Het zijn fijnvezelige materialen die worden gefabriceerd uit gesmolten glas of steenachtige grondstoffen en versponnen tot vezels. Om stofvorming te voorkomen worden olie en bindmiddel toegevoegd. De uitharding van het bindmiddel met hete lucht zorgt tevens voor verwijdering van de vluchttige stoffen uit de wol.

Bij de productie en de verwerking van glas- en steenwolproducten kunnen mensen in aanraking komen met vezeltjes die van deze materialen losraken. Deze worden ervan verdacht gezondheidsrisico's te veroorzaken (overgevoeligheid, longkanker). Epidemiologisch onderzoek heeft aangetoond dat medewerkers, in zowel de producerende als de verwerkende industrie, vroeger aan veel hogere concentraties vezels waren blootgesteld dan thans het geval is, terwijl er geen aanwijzingen voor een verhoogde kans op longkanker zijn. De Werkgroep van Deskundigen, die ressorteert onder het ministerie van Sociale Zaken, heeft een advies uitgebracht over de gezondheidsrisico's in relatie tot de arbeidssituatie en stelt als advieswaarde maximaal 0,5 respirabele vezels per milliliter voor (over 8 uur gemeten) [51].

Opmerking: Op grond van studies is het wenselijk op het gebied van MMMF de volgende maatregelen in acht te nemen:

1. De meest effectieve maatregel is het voorkomen dat minerale vezels kunnen worden ingeademd. Dit betekent dat de productie van minerale vezels met een diameter kleiner dan 3 µm moet worden vermeden;
2. Een tweede maatregel is de productie van minerale vezels met een geringe duurzaamheid in het longweefsel. Onderzoek heeft aangetoond dat de chemische samenstelling van glasvezels zodanig is te veranderen dat de duurzaamheid met bijna 80% kan worden verminderd;
3. Een derde maatregel is het opstellen en naleven van grenswaarden voor MMMF in de lucht op de werkplek die veilig en gezond werken mogelijk maakt. De uitkomsten van epidemiologische studies suggereren dat een grenswaarde voor MMMF van 0,2 vezels/ml geen detecteerbare oversterfte aan longkanker zal veroorzaken. Uit metingen in productiebedrijven blijkt dat de arbeidsomstandigheden aan een dergelijke grenswaarde kunnen voldoen. Bij de verwerking van MMMF-producten kunnen hogere blootstellingsniveaus optreden. Door aanvullende maatregelen zoals een goede verpakking (afdekklagen aan beide kanten), het op maat aanleveren, goede verwerkingstechnieken (snijden en knippen) en een goed geventileerde ruimte moet het mogelijk zijn de blootstelling te reduceren tot 0,2 vezels/ml (gemeten over 8 uur).

Bij de beoordeling van de minerale wol kent het basismateriaal een geringe milieubelasting. Deze milieubelasting wordt voornamelijk bepaald door de toegevoegde bindmiddelen op basis van kunsthars.

Kunststofschuimen

De kunststofschuimen worden geproduceerd met een blaasmiddel. Hiervoor werden vroeger veelal CFK's gebruikt. Vanwege de schadelijkheid voor het milieu (broeikaseffect, aantasting van ozon) zijn inmiddels alle fabrikanten van kunststofschuimen overgestapt op aanzienlijk minder schadelijke blaasmiddelen, zoals propaan, butaan of pentaan.

8.4.7.3 Verwerking

Minerale wol

De bevestiging van minerale wol op luchtkanalen geschiedt door middel van lijmen, binden en pennen. Binden en pennen zijn uit milieutechnische overwegingen te prefereren boven lijmen als bevestigingsmethode.

Kunststofschuimen

De bevestiging op luchtkanalen geschiedt door middel van lijmen, die met de kwast of door sputten worden aangebracht. Lijmen bevatten in het algemeen vluchtige oplosmiddelen die schadelijk zijn voor de gezondheid en het milieu beladen. Minder schadelijk zijn de watergedragen lijmen. Een recente ontwikkeling is de toepassing van zelfklevende systemen, waarbij de lijm fabrieksmatig op het isolatiemateriaal is aangebracht. Na verwijdering van een folie is het product gereed om te worden aangebracht. De uitstoot van schadelijke stoffen is hierbij minimaal.

Afval

Het belangrijkste milieueffect in de bouwfase is het ontstaan van bouwafval. Daarbij gaat het niet alleen om de hoeveelheid, maar ook om de schadelijkheid ervan en de mogelijkheid tot hergebruik.

Er zijn grofweg drie manieren om het probleem van het bouwafval terug te dringen.

Om te beginnen moet men er naar streven zoveel mogelijk te werken met geprefabriceerde bouwdelen. Dit betekent dat de isolatie in de fabriek al op de luchtkanalen zou moeten worden aangebracht, hetgeen de hoeveelheid afval door schade en snijverliezen op de bouwplaats vermindert. Het afval kan veel beter in de fabriek worden verwerkt. Deze optie is thans niet gebruikelijk en leidt, vanwege snelle beschadigingen, tot praktische problemen bij de opslag en montage. Bovendien zijn hieraan prijsconsequenties verbonden.

De tweede manier is ervoor te zorgen dat bij het gebruik van isolatiematerialen minder afval ontstaat. De aandacht gaat dan uit naar de verpakking (herbruikbaar), goede (droge) opslag en goed transport.

De derde methode van afvalbeheersing is het op een milieuhygiënisch verantwoorde manier verwijderen van het afval. Afval moet gescheiden bewaard en afgevoerd worden.

Gezondheidsaspecten

Bij isolatie met minerale wol verdient het stofprobleem extra aandacht.

Het stofprobleem kan zich manifesteren bij bewerkingen als zagen of snijden, waarbij wordt opgemerkt dat het probleem bij glaswol waarschijnlijk groter is. Het verdient aanbeveling op werkplekken waar veel stof vrijkomt de toepassingsvoorschriften in acht te nemen en voldoende te ventileren met inachtneming van de grenswaarde.

Voor het verlijmen van de isolatiematerialen wordt ook verwezen naar de toepassingsvoorschriften. Aspecten als voldoende ventilatielucht en de juiste toepassing verdienen de nodige aandacht.

8.5 Synthetisch schuimrubber

8.5.1 Algemeen

Het thermisch isoleren van luchtkanalen kan eveneens plaatsvinden met synthetisch schuimrubber (elastomeer). Een elastomeer is een geëxtrudeerde synthetische schuimrubber met een fijne, regelmatige, gesloten celstructuur op basis van een vulkanisatieproces. Dit isolatiemateriaal is in diverse dikten leverbaar in een zwarte kleur als losse platen of platen op rol en heeft een glad en strak uiterlijk. Het materiaal is blijvend elastisch, flexibel, makkelijk samendrukbaar en neemt na indrukking zijn oorspronkelijke vorm weer aan. Als afwerking wordt een gladde toplaag van hetzelfde materiaal aangebracht.

Elastomeren vinden toepassing als in- en uitwendige isolatie bij rechthoekige kanalen en voor het uitwendig isoleren van ronde kanalen.

8.5.2 Bevestiging op ronde en ovale kanalen

Ronde en ovale kanalen worden alleen uitwendig van isolatie voorzien. Het materiaal is in verschillende dikte te verkrijgen, met en zonder zelfklevende folie.

Bij toepassing van synthetisch schuimrubber wordt het benodigde materiaal:

1. Uit plaat op maat gesneden en met een enkele langsnaad aangebracht;
2. Als band spiraalsgewijs om het kanaal aangebracht.

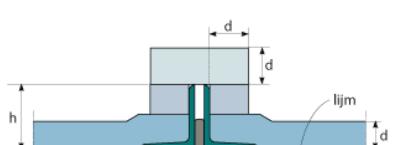
De isolatie wordt over het volle oppervlak met speciale lijm, conform de voorschriften van de leverancier, aangebracht op de eveneens van lijm voorziene kanaalwand, nadat deze zorgvuldig stof- en vetvrij is gemaakt. De langs- en dwarsnaden worden eveneens verlijmd, met in achtneming van een zekere materiaalovermaat.

8.5.3 Bevestiging op rechthoekige kanalen

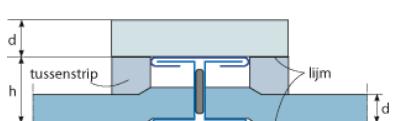
Rechthoekige luchtkanalen worden zowel in- als uitwendig geïsoleerd.

Bij toepassing van synthetisch schuimrubber wordt het benodigde materiaal uit plaat op maat gesneden, waarbij het kanaal per wand wordt geïsoleerd. Afhankelijk van de kanaalafmetingen kan bij uitwendige isolatie het kanaal in één keer worden geïsoleerd. De isolatie wordt over het volle oppervlak met speciale lijm, conform de voorschriften van de leverancier, aangebracht op de eveneens van lijm voorziene kanaalwand, nadat deze zorgvuldig stof- en vetvrij is gemaakt. De langs- en dwarsnaden worden eveneens verlijmd, met in achtneming van een zekere materiaalovermaat.

Het afwerken van de dwarsverbindingen is bijzonder arbeidsintensief (zie afbeelding 8. 9 en 8.10). Indien de dikte d van het isolatiemateriaal gelijk is aan de hoogte h van het verbindingsprofiel vervallen de tussenstripen.



Afb. 8.9 Uitwendige isolatie t.p.v. hoeklijnverbinding



Afb. 8.10 Uitwendige isolatie t.p.v. schuiflijstverbinding

8.5.4 Afwerking

Aangezien synthetisch schuimrubber een hoge mate van dampdichtheid bezit en bestand is tegen incidentele mechanische belasting, wordt bij uitwendige toepassing in principe geen afwerking toegepast. Eventueel kan om esthetische redenen een coating worden aangebracht. Een verdere afwerking van de naden is niet noodzakelijk bij vakkundige verlijming met een zekere materiaalovermaat.

8.5.5 Hulpstukken

De hulpstukken worden in principe op dezelfde wijze geïsoleerd als de rechte kanalen.

9 Akoestische isolatie

(SB II.3-3)

9.1 Algemeen

De functie van een kanalensysteem is ervoor zorg te dragen dat aan iedere ruimte de juiste hoeveelheid lucht wordt toegevoerd met de juiste temperatuur en vochtigheid, en het afvoeren van de gebruikte lucht, zonder dat hinder van tocht of geluid wordt ondervonden. Geluid wordt veroorzaakt door de luchtstroming in luchttechnische installaties, zoals luchtkanalen, regelkleppen, verwarmings- of koelbatterijen alsmede door geluidsproductie van apparatuur, zoals ventilatoren, koelmachines, persluchtcompressoren e.d. Door toepassing van akoestische voorzieningen moet worden voorkomen dat in de vertrekken het in het Programma van Eisen vermelde toelaatbare geluidsniveau wordt overschreden.

Dit hoofdstuk behandelt de verschillende akoestische isolatiematerialen voor kanalen in gebouwen onder vermelding van de eigenschappen, de wijze van bevestiging en afwerking.

9.2 Toepassingsgebied

Men spreekt van akoestische isolatie als luchtkanalen in- of uitwendig van isolatiemateriaal worden voorzien met het doel:

1. Geluidsvoortplanting in het luchtkanaal te beperken (geluidsabsorptie);
2. Geluidsin- en afstraling van de luchtkanalen te beperken (geluidsisolatie).

In tabel 9.1 is aangegeven in welke situaties akoestische isolatie wordt toegepast.

Tabel 9.1 Toepassingsgebied van akoestische isolatie

Kanaaltoepassing	Akoestische isolatie		Opmerkingen
	Inwendig ¹⁾	Uitwendig	
Aanzuigkanaal voor buitenlucht	Beperken geluidsuitstraling naar omgeving	-	Tevens thermische isolatie
Kanaalstuk in technische ruimte tussen demper en vloerdoorvoering	-	Beperken geluidsinstraling van- uit technische ruimte in kanaal	-
Luchtoevoer-, afvoer en recirculatiekanalen	Beperken geluid van ventilator, inregelen, drukregelaars, stroming	Beperken geluidsuitstraling naar vertrek	Inwendig bekleden vermijden, bij voorkeur demper toepassen
Kanalen tussen vertrekken	Beperken overspraak	Beperken geluidsafstraling	Alleen plaatselijk aanbrengen

1) Betreft alleen rechthoekige kanalen.

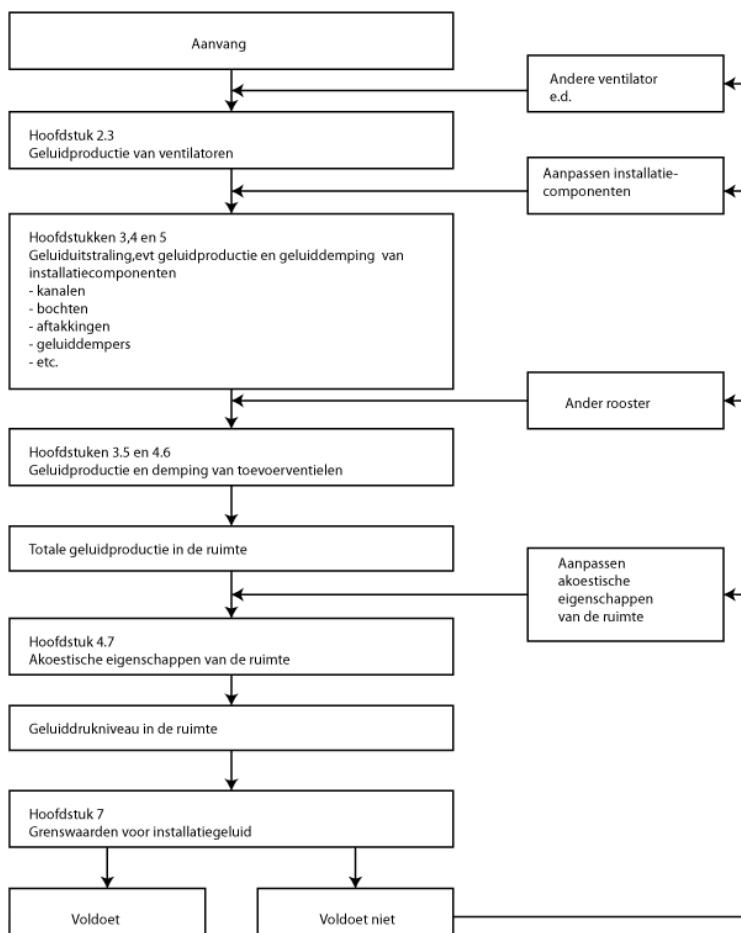
Akoestisch geïsoleerde slangen worden buiten beschouwing gelaten.

9.3 Akoestische berekeningen

De akoestische berekeningen ten aanzien van stromingsgeluid in technische installaties, geluiddemping in kanaalsystemen en geluidsoverdracht tussen ruimten via de kanaalwand of roosters worden uitvoerig behandeld in [7] in de hoofdstukken 3, 4 en 5, zodat daarnaar wordt verwezen.

In hoofdstuk 3 van bovengenoemde publicatie worden de middelen aangereikt voor het bepalen van de geluidsproductie in luchttechnische installaties als gevolg van turbulenties in de luchtstroming. De geluiddemping die in een kanalensysteem optreedt, kan voor verschillende componenten worden bepaald met de in hoofdstuk 4 vermelde gegevens en berekeningsmethoden. Met hoofdstuk 5 kan de geluidsoverdracht tussen ruimten onderling via het kanalensysteem worden bepaald. Hierbij spelen geluid in- en uitstraling door de kanaalwanden en geluidsoverdracht via roosters en belangrijke rol.

Het verloop van de berekening 'Installatiegeluid' conform [7] is schematisch in het stroomschema volgens 9.1 weergegeven.



Afb. 9.1 Verloop van de installatiegeluidberekening volgens ISSO-publicatie 24 [7]

9.4 Akoestische isolatie

9.4.1 Geluid via het kanalensysteem

Het kanalensysteem zorgt voor geluidoverdracht van:

1. Ventilatorgeluid en;
2. Stromingsruis van bochten, regelkleppen en ventielen.

De akoestische kwaliteit van de installatie moet afgestemd zijn op de akoestische kwaliteit van het gebouw. Kanalen hebben een (beperkte) natuurlijke demping (zie onderstaand). Indien deze demping onvoldoende is moeten extra voorzieningen als bijvoorbeeld geluiddempers worden aangebracht.

Natuurlijke geluiddemping in kanaalsystemen

Ventilator- en stromingsgeluid wordt door diverse delen van het kanaalsysteem verzwakt (zie tabel 9.2). De geluiddemping in luchtkanalen wordt onder meer bepaald door:

1. De kanaalafmetingen en de vorm;
2. Het materiaal en de wanddikte;
3. De stijfheid van het kanaal en de wijze van ophanging.

Tabel 9.2 Natuurlijke geluiddemping van kanalen

Grootste kanaalafmeting of diameter [mm]	Demping [dB/m]					
	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1.000 Hz	2.000 Hz	4.000 Hz
Rechthoekige kanalen	75 - 200	0,6	0,4	0,3	0,3	0,3
	200 - 400	0,5	0,4	0,3	0,2	0,2
Ronde kanalen	75 - 200	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3
	200 - 400	0,1	0,1	0,1	0,2	0,2
Bochten in rechthoekige kanalen met leidschoepen of	100 - 250	0	0	0	1	2
	250 - 500	0	0	1	2	3
Bochten in rechthoekige kanalen zonder leidschoepen	75 - 125	0	0	1	5	7
	125 - 250	0	1	5	7	5
	250 - 500	1	5	7	5	3

Geluiddempende voorzieningen

Bij de keuze van geluiddempende voorzieningen in het kanalensysteem en de afmetingen ervan, moet rekening worden gehouden met het geluidsniveau van de ventilator en met het geluidspectrum. De geluiddempers hebben eveneens elk een eigen spectrum. Bij het bepalen van de voorzieningen moet de geluiddemping spectraal bepaald worden.

Plaats van de geluiddempende voorzieningen

Geluiddempende maatregelen kunnen gerealiseerd worden in de luchtkanalen. In het algemeen verdient het echter de voorkeur om geluidreducerende maatregelen zo dicht mogelijk bij de bron, in de luchtbehandelingsunit of bij de ventilator te treffen.

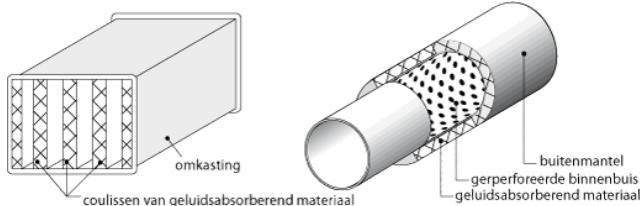
Geluiddemping in luchtkanalen

Het door de ventilator veroorzaakte geluidsniveau wordt via het kanalensysteem voortgeplant. Daarom moeten in het kanaalsysteem geluiddempers worden aangebracht.

Ze moeten in elk geval tussen de ventilatie-unit en de eerste aftakking zitten. De demping moet vooral in de octaafbanden 125, 250, 500 en 1000 Hz gerealiseerd worden. Luchtkanalen hebben ook een (beperkte) natuurlijke demping (zie tabel 9.2).

Geluiddemper

Geluiddempers van het principe Helmholtz-resonator of paneelresonator zijn toepasbaar. De Helmholtz-resonator bestaat uit een afgesloten ruimte, met of zonder absorberende vulling, die door middel van een kanaaltje in verbinding staat met het kanaal waarin absorptie gewenst is. Door een uitgekiende combinatie van het gekozen volume en de lengte en doorsnede van het kanaal kan het geluidsniveau in de kanalen voor een specifiek frequentiegebied effectief worden gereduceerd. Een paneelresonator is gebaseerd op vrijwel hetzelfde werkingsprincipe en bestaat uit een folie of een dun paneel, afgedekt met absorptiemateriaal.



Afb. 9.2 Geluiddemper en geluiddempend kanaal

Geluiddempend kanaal

Geluiddempende kanalen bestaan uit een metalen binnen- en buitenkanaal, met daartussen een laag isolatiemateriaal. Het binnenkanaal is geperforeerd (zie afbeelding 9.2).

Geluiddempende slang

Geluiddempende slang wordt vooral in woningen gebruikt en bestaat uit een geperforeerd binnenkanaal, een ommanteling van minerale wol, en een buitenkanaal. De kanalen kunnen gemaakt zijn van kunststof of metaal en zijn vaak flexibel. Flexibele akoestische slangen dienen strak gemonteerd te worden.

Voor de lage tonen is de geluiddemping van een slangdemper gering. Bij een grote inwendige doorsnede neemt de geluiddemping af. Geluiddempende slang (afbeelding 9.3) mag niet worden gebruikt als bochtstuk en moet, net als flexibel kanaal, strak worden gemonteerd.



Afb. 9.3 Geluiddempende slang

Stromingsgeruis

Ten gevolge van de luchtstroming wordt stromingsruis in kanalen veroorzaakt. Om dit te beperken, dienen de volgende punten in acht te worden genomen:

1. De luchtsnelheid in aftakkingen naar de ventielen mag maximaal 3 m/s bedragen, bij de hoogstand van de ventilator;
2. Bij mechanische afzuiging (vraaggestuurde ventilatie) mag de luchtsnelheid in de hoofdkanalen maximaal 5 m/s bedragen, bij de nominale stand van de ventilator;
3. Bij mechanische toe- en afvoer mag de luchtsnelheid in de hoofdkanalen maximaal 4 m/s bedragen, bij de nominale stand van de ventilatoren bij voorkeur ronde kanalen toe passen;
4. Voor aftakkingen geldt bij toeroer een maximale snelheid van 3 m/s en bij afvoer 3,5 m/s;
5. Scherpe bochten en vormstukken vermijden;
6. Kanalen en ventielen zo dimensioneren dat zo min mogelijk regelkleppen behoeven te worden toegepast.

Ventielen

Door fabrikanten en leveranciers wordt het geluidvermogenniveau (L_w) van het ventiel gespecificeerd. Dit geluidvermogen dient volgens ISO/DP 5135 gemeten te zijn. Deze aspecten dienen in het ontwerp van het kanalensysteem te worden meegenomen.

Het resulterende geluidniveau L_p t.g.v. toervoerventiel(en) in een ruimte is niet alleen afhankelijk van het geluidvermogenniveau L_p van het ventiel, maar ook van het aantal ventielen, de geluidabsorptie in de ruimte en de positie van het ventiel (wand of plafond, hoekopstelling).

9.4.2 Geluidsabsorptie

Met geluidsabsorptie wordt beoogd de voortplanting van het geluid in het luchtkanaal te beperken. Hiertoe isoleert men het kanaal inwendig. Afhankelijk van het toepassingsgebied worden hiervoor de volgende materialen toegepast:

1. Glaswol of steenwol, voorzien van een toplaag;
2. Kunststofschuimen, met een open celstructuur.

De geluidsabsorptie van het inwendig beklede kanaal hangt af van:

1. De kanaalomtrek;
2. De kanaaldoorsnede;
3. Het soort absorptiemateriaal;
4. De lengte van de inwendige bekleding.

Voor de berekeningswijze wordt verwezen naar [7].

9.4.3 Geluidsisolatie

Men spreekt van geluidsisolatie indien door het uitwendig isoleren de geluidsin- en afstraling van de kanalen wordt beperkt. Als uitwendige isolatiematerialen gebruikt men:

1. Geluidsisolerende matten met massa op basis van kunststof al dan niet gelamineerd en geimpregneerd met 'zware' stoffen;
2. Ondreuningsplaten of pasta op basis van kunststof en/of bitumen;
3. Minerale wol in combinatie met een afwerklaag van plaatstaal,loodfolie of een bouwkundig materiaal (sandwichconstructie).

De geluidsisolatie, dat wil zeggen het verschil tussen het geluidniveau in en buiten het kanaal, wordt bepaald door onder meer:

1. De kanaaldoorsnede;
2. De dikte van de kanaalwand;
3. De stijfheid van het kanaal;
4. Het afstralende kanaaloppervlak.

Een verbetering van de geluidsisolatie wordt verkregen door:

1. Verlaging van de afstraalfactor door middel van ontdreunen;
2. Vergroting van de massa van de kanaalwand door toepassing van een dikkere wand of het aanbrengen van 'zware' materialen;
3. Het kanaal uit te voeren als sandwichconstructie.

Voor de berekeningswijze wordt verwezen naar [7].

9.4.4 Akoestische eigenschappen

Voor de keuzebepaling van bovengenoemde akoestische isolatiematerialen worden in de volgende paragrafen de relevante eigenschappen als richtwaarde gegeven. Aangezien in de praktijk deze materialen in diverse structuren en dichthesen leverbaar zijn en op verschillende wijzen zijn afgewerkt moet men voor de rekenwaarde de opgave van de fabrikant of leverancier hanteren. Deze waarde moet voor zover mogelijk volgens (inter)nationaal erkende normen of meetmethoden zijn vastgesteld.

9.5 Inwendige isolatie

9.5.1 Algemeen

Inwendige akoestische isolatie wordt in principe alleen voor rechthoekige luchtkanalen toegepast. In de volgende paragrafen wordt nader ingegaan op de soorten, de akoestische eigenschappen en de verwerking.

9.5.2 Glaswol

Als richtwaarde voor de geluidsabsorptiecoëfficiënt van glaswol kan men de in tabel 9.3 aangegeven waarden aanhouden.

Tabel 9.3 Richtwaarden voor de geluidsabsorptiecoëfficiënt van glaswol

Dikte materiaal [mm]	Frequentie [Hz]					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
12,5	0,08	0,14	0,32	0,60	0,73	0,73
25	0,12	0,36	0,56	0,80	0,84	0,78
50	0,32	0,60	0,88	0,94	0,92	0,88

9.5.3 Kunststofschuimen

Als richtwaarde voor de geluidsabsorptiecoëfficiënt van kunststofschuimen kan men de in tabel 9.4 aangegeven waarden aanhouden.

Tabel 9.4 Richtwaarden voor de geluidsabsorptiecoëfficiënt van kunststofschuim

Dikte materiaal [mm]	Frequentie [Hz]					
	125	250	500	1.000	2.000	4.000
12,5	0,08	0,25	0,43	0,75	0,91	0,95
25	0,15	0,45	0,70	0,92	0,97	0,97
50	0,30	0,65	0,94	0,98	0,98	0,98

9.5.4 Bevestiging en afwerking

Voor de bevestiging en afwerking wordt verwezen naar:

1. Paragraaf 8.4.3. voor glaswol en steenwol;
2. Paragraaf 8.5.3 voor synthetisch schuimrubber.

9.6 Uitwendige isolatie

9.6.1 Kunststof matten

De matten bestaan uit een speciale verzwaarde kunststof met een hoge soortelijke massa ($2000 - 2300 \text{ kg/m}^3$) en kunnen zonodig één- of tweezijdig worden voorzien van een jutelaag. Het materiaal is in diverse dikten leverbaar als losse platen of als plaat op rol. De matten worden zowel voor ronde als voor rechthoekige kanalen toegepast.

Geluidsisolerende matten worden uitwendig op kanalen aangebracht om de massa van het kanaal te verhogen, waardoor de isolatie van de kanaalwand toeneemt. De geluidsisolatie bedraagt, afhankelijk van de dikte van het plaatstaal en van de mat, 6 à 10 dB voor frequenties tussen 125 en 4000 Hz. De matten worden bijvoorbeeld toegepast op:

1. Het kanaalstuk tussen de geluidsdemper en de ventilator;
2. Kanalen boven verlaagde plafonds in de vertrekken indien de demping van de centrale geluidsdemper ontoereikend is.

De op maat gesneden matten worden over het volle oppervlak met speciale lijm, conform de voorschriften van de leverancier, aangebracht op de eveneens van lijm voorziene kanaalwand, nadat deze zorgvuldig stof- en vetvrij is gemaakt. De naden tussen de platen worden dichtgekit.

9.6.2 Ondreuningsmaterialen

Als ondreuningsmateriaal worden platen of pasta op basis van kunststof en/of bitumen gebruikt als bekleding van rechthoekige kanalen om resonanties in het plaatstaal te onderdrukken. Als richtwaarde geldt, afhankelijk van de frequentie, een geluidsreductie van 2 à 5 dB. Deze materialen worden toegepast indien met een geringe verhoging van de geluidsisolatie kan worden volstaan.

De op maat gesneden platen worden over het volle oppervlak met speciale lijm, conform de voorschriften van de leverancier, aangebracht op de eveneens van lijm voorziene kanaalwand, nadat deze zorgvuldig stof- en vetvrij is gemaakt.

De pasta wordt, conform de voorschriften van de leverancier, met een spatel of plamuurmes aangebracht, zonodig in twee lagen, nadat de kanaalwand stof- en vetvrij is gemaakt.

9.6.3 Sandwichconstructies

Sandwichconstructies worden toegepast indien een hoge geluidsreductie noodzakelijk is. Het luchtkanaal wordt daartoe uitwendig bekleed met 50 à 100 mm dikke mineraalwol (massa $> 50 \text{ kg/m}^3$) en afgewerkt met plaatstaal of loodfolie. Afhankelijk van de dikte van de uitwendige bekleding en de afwerking wordt een geluidsreductie van meer dan 10 dB gerealiseerd.

Bij toepassing van plaatstaal als afwerking wordt het kanaal uitwendig met mineraalwoldekens of -platen bekleed (dikte 50 à 100 mm), die met draad of plakpennen worden bevestigd. Het plaatstaal met een dikte van 1 à 1,25 mm moet van ondreuningsmateriaal worden voorzien indien ook voor de lagere frequenties een goede geluidsreductie is gewenst.

De afwerking met loodfolie is standaard van mineraalwol voorzien met een dikte van 50 à 100 mm. De loodfolie wordt bevestigd met de nodige hoekenondersteuningsprofielen c.q. bevestigingsmaterialen.

10 Dampdichte isolatie

(SB II.3-4)

10.1 Algemeen

De functie van een kanalensysteem is ervoor zorg te dragen dat aan iedere ruimte de juiste hoeveelheid lucht wordt toegevoerd met de juiste temperatuur en vochtigheid, en het afvoeren van de gebruikte lucht, zonder dat hinder van tocht of geluid wordt ondervonden of schade aan installaties en/of interieur ontstaat. Op luchtkanalen die koude buitenlucht toevoeren en die door verwarmde vertrekken lopen kan condensatie optreden. Het condensaat kan van de kanalen afdruppelen en schade veroorzaken aan constructie of interieur. Bij een niet dampdicht isolatie wordt de isolatie nat en verliest z'n isolerende werking en treedt sterke corrosie op aan de oppervlakte van de luchtkanalen en appendages. Door toepassing van dampdichte isolatie moet dit worden voorkomen.

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de belangrijkste zaken betreffende dampdichte isolatie. Meer informatie is te vinden in ISSO-publicatie 64 'Kwaliteitseisen isoleren' [42].

Dit hoofdstuk behandelt de verschillende dampdichte isolatiematerialen voor kanalen in gebouwen onder vermelding van de eigenschappen, de wijze van bevestiging en afwerking.

10.2 Toepassingsgebied

Luchtkanalen waardoor lucht gevoerd wordt met een temperatuur lager dan de omgevingstemperatuur moeten dampdicht geïsoleerd worden om condensatie op het kanaal te voorkomen. Hiervan is sprake bij buitenluchttoevoerkanalen en toevoerkanalen met gekoelde lucht.

10.3 Materialen voor dampdichte isolatie

Voor dampdichte isolatie wordt gebruik gemaakt van flexibele elastomeer schuimen of flexibele polyethyleenschuimen in de vorm van platen of schalen (alleen voor diameters tot 80 mm). Deze schuimen hebben een structuur van kleine gesloten cellen.

10.4 Isolatiedikte/materiaaleigenschappen

Oppervlaktecondensatie

Kanalen met een temperatuur lager dan die van de omgeving vragen speciale aandacht in de vorm van beschermende maatregelen vanwege vochttransport vanuit de omgeving naar het isolatiemateriaal. Het damptransport vindt plaats onder invloed van diffusie in de richting van hoge naar lage dampspanning, in het algemeen van hoge naar lage temperatuur. De hieruit voortvloeiende vochtaccumulatie heeft niet alleen tot gevolg dat de isolerende werking afneemt, maar leidt tevens tot corrosie van installatieonderdelen, schimmelvorming en natte plekken.

Indien er gevaar voor condensatie bestaat past men voor het isoleren van luchtkanalen materialen toe die in hoge mate dampremmend zijn, zoals polyetheen of synthetische elastomeren (schuimrubbers). De doorlatendheid voor vocht is van deze materialen zo minimaal dat bij in kantoorgebouwen gebruikelijke temperatuurniveaus inwendige condensatie praktisch is uitgesloten, zodat uitsluitend oppervlaktecondensatie van belang is. De toepassing van isolatiematerialen, zoals glas- en steenwol, die makkelijk vocht doorlaten, maar wel dampremmend kunnen worden afgewerkt wordt afggeraden vanwege snelle beschadigingen.

Voor de berekening van de minimaal benodigde isolatiedikte om oppervlaktecondensatie te voorkomen wordt verwezen naar [10].

Specifiek voor ronde luchtkanalen is een en ander uitgewerkt in de tabellen 10.1 en 10.2, waarin voor polyetheen respectievelijk synthetisch schuimrubber de minimale isolatiedikte ter voorkoming van oppervlaktecondensatie als richtwaarde is vermeld, uitgaande van een in kantoorgebouwen veel voorkomende ontwerpsituatie:

1. Luchtemperatuur in kanaal: 16 °C;
2. Omgevingstemperatuur: 26 °C.

Tabel 10.1 Minimale isolatiedikte in mm ter voorkoming van oppervlaktecondensatie bij toepassing van polyetheen ($\lambda_s = 0,037 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)

Polyetheen (PE)

1. Luchttemperatuur in kanaal: 16 °C;
2. Omgevingstemperatuur: 26 °C.

Emissiefactor uitwendig isolatieoppervlak	Uitwendige kanaaldiameter [mm]	Relatieve vochtigheid omgeving [%]										
		30	40	50	60	70	75	80	82	84	86	88
0,2 (metaal)	63	0	0	0	1	5	7	11	14	17	20	25
	80	0	0	0	1	5	8	12	15	18	22	27
	100	0	0	0	1	5	8	13	15	19	23	29
	125	0	0	0	1	5	9	13	16	20	24	30
	160	0	0	0	1	6	9	14	17	21	26	32
	200	0	0	0	2	6	9	15	18	22	27	34
	250	0	0	0	2	6	10	16	19	23	28	36
	315	0	0	0	2	6	10	16	20	24	30	37
	(355)	0	0	0	2	6	10	17	20	25	30	38
	400	0	0	0	2	7	11	17	21	25	31	39
	(450)	0	0	0	2	7	11	17	21	26	32	40
	500	0	0	0	2	7	11	18	22	26	33	41
	(560)	0	0	0	2	7	11	18	22	27	33	42
	630	0	0	0	2	7	12	18	22	27	34	43
	(710)	0	0	0	2	7	12	19	23	28	35	44
	800	0	0	0	2	7	12	19	23	29	35	45
	(900)	0	0	0	2	8	13	20	24	29	36	45
	1.000	0	0	0	2	8	13	20	24	30	37	46
	(1.120)	0	0	0	2	8	13	20	25	30	37	47
	1.250	0	0	0	2	8	13	21	25	31	38	48
0,8 (kunststof)	63	0	0	0	1	3	4	7	8	10	12	14
	80	0	0	0	1	3	5	7	8	10	12	15
	100	0	0	0	1	3	5	7	9	10	13	16
	125	0	0	0	1	3	5	8	9	11	13	16
	160	0	0	0	1	3	5	8	9	11	14	17
	200	0	0	0	1	3	5	8	10	12	14	17
	250	0	0	0	1	3	5	8	10	12	14	18
	315	0	0	0	1	3	5	8	10	12	15	19
	(355)	0	0	0	1	3	5	8	10	12	15	19
	400	0	0	0	1	3	5	9	10	12	15	19
	(450)	0	0	0	1	3	6	9	10	13	15	19
	500	0	0	0	1	4	6	9	11	13	16	19
	(560)	0	0	0	1	4	6	9	11	13	16	20
	630	0	0	0	1	4	6	9	11	13	16	20
	(710)	0	0	0	1	4	6	9	11	13	16	20
	800	0	0	0	1	4	6	9	11	13	16	20
	(900)	0	0	0	1	4	6	9	11	13	16	20
	1.000	0	0	0	1	4	6	9	11	14	17	21
	(1.120)	0	0	0	1	4	6	9	11	14	17	21
	1.250	0	0	0	1	4	6	9	11	14	17	21

Tabel 10.2 Minimale isolatiedikte in mm ter voorkoming van oppervlaktecondensatie bij toepassing van synthetisch schuimrubber ($\lambda_s = 0,04 \text{ W/(m·K)}$)

Synthetisch schuimrubber

1. Luchttemperatuur in kanaal: 16 °C;
2. Omgevingstemperatuur: 26 °C.

Emissiefactor uitwendig isolatieoppervlak	Uitwendige kanaaldiameter [mm]	Relatieve vochtigheid omgeving [%]										
		30	40	50	60	70	75	80	82	84	86	88
0,2 (metaal)	63	0	0	0	1	5	8	12	15	18	22	27
	80	0	0	0	1	5	8	13	16	19	23	29
	100	0	0	0	1	5	9	14	17	20	25	31
	125	0	0	0	2	6	9	15	18	21	26	33
	160	0	0	0	2	6	10	15	19	23	28	35
	200	0	0	0	2	6	10	16	19	24	29	36
	250	0	0	0	2	7	11	17	20	25	31	38
	315	0	0	0	2	7	11	18	21	26	32	40
	(355)	0	0	0	2	7	11	18	22	27	33	41
	400	0	0	0	2	7	12	18	22	27	34	42
	(450)	0	0	0	2	7	12	19	23	28	34	43
	500	0	0	0	2	7	12	19	23	28	35	44
	(560)	0	0	0	2	8	12	20	24	29	36	45
	630	0	0	0	2	8	13	20	24	30	37	46
	(710)	0	0	0	2	8	13	20	25	30	37	47
	800	0	0	0	2	8	13	21	25	31	38	48
	(900)	0	0	0	2	8	13	21	26	32	39	49
	1.000	0	0	0	2	8	14	22	26	32	40	50
	(1.120)	0	0	0	2	9	14	22	27	33	40	51
	1.250	0	0	0	2	9	14	22	27	33	41	52
0,8 (kunststof)	63	0	0	0	1	3	5	7	9	10	13	16
	80	0	0	0	1	3	5	8	9	11	13	16
	100	0	0	0	1	3	5	8	9	11	14	17
	125	0	0	0	1	3	5	8	10	12	14	18
	160	0	0	0	1	3	5	8	10	12	15	18
	200	0	0	0	1	3	6	9	10	12	15	19
	250	0	0	0	1	4	6	9	11	13	16	19
	315	0	0	0	1	4	6	9	11	13	16	20
	(355)	0	0	0	1	4	6	9	11	13	16	20
	400	0	0	0	1	4	6	9	11	13	16	21
	(450)	0	0	0	1	4	6	9	11	14	17	21
	500	0	0	0	1	4	6	9	11	14	17	21
	(560)	0	0	0	1	4	6	10	12	14	17	21
	630	0	0	0	1	4	6	10	12	14	17	21
	(710)	0	0	0	1	4	6	10	12	14	17	22
	800	0	0	0	1	4	6	10	12	15	18	22
	(900)	0	0	0	1	4	6	10	12	15	18	22
	1.000	0	0	0	1	4	6	10	12	15	18	22
	(1.120)	0	0	0	1	4	6	10	12	15	18	23
	1.250	0	0	0	1	4	7	10	12	15	18	23

Voor rechthoekige kanalen kan uitgegaan worden van de waarden voor ronde kanalen met een diameter van 1000 mm.

Voor ovale luchtkanalen kan uitgegaan worden van de waarden voor ronde kanalen met een diameter van 1000 mm.

Brandgedrag

Het flexibel elastomeerschuim of het polyethyleenschuim isolatiemateriaal moet voldoen aan max. klasse 2 van NEN 6065 [41] en een rookdichtheid van max. 2,2 m³ volgens NEN 6066 [56], tenzij anders voorgeschreven/toegelaten door de plaatselijke brandweer.

Materiaaleigenschappen flexibel elastomeerschuim (FEF)

Volumieke massa: 50 kg/m³

Warmtegeleidingscoëfficiënt in W/(m·K): 0,036

Waterdampdiffusieweerstandsfactor (μ) volgens DIN 52615 [53]: 7000

Materiaaleigenschappen flexibel polyethyleenschuim (PEF)

Volumieke massa: 35 kg/m³

Warmtegeleidingscoëfficiënt in W/(m·K): 0,035

Waterdampdiffusieweerstandsfactor (μ) volgens DIN 52615 [53]: Slangen: 3500 en Platen: 2500

10.5 Montage/verwerking

Algemeen:

1. De isolatie-, bevestigings- en afwerkingsmaterialen moeten vakkundig worden aangebracht zoals voorgeschreven in onderstaande specificatie en montagevoorschriften;
2. Voordat begonnen wordt met het aanbrengen van de isolatie moeten de te isoleren oppervlakken schoon, droog, vrij van vet en tegen corrosievorming geconserveerd zijn;

3. Ondersteuningen van leidingen en/of apparaten moeten buiten de isolatie vallen;
4. Tussen het isolatieoppervlak en de omringende vlakken moet een minimum ruimte van tenminste 25 mm gehandhaafd blijven, teneinde voldoende luchtbeweging te waarborgen;
5. De isolatiedikte bij appendages moet gelijk zijn aan de dikten van de desbetreffende kanaalisolatie;
6. Bij leidingen of kanalen moet de isolatie, voorzien van een ononderbroken, dampremmende afwerking, in muurdoorvoeringen worden doorgezet. De vrije ruimte tussen het isolatieoppervlak en de doorvoering moet minimaal gelijk zijn aan de isolatiedikte teneinde voldoende luchtbeweging te waarborgen en condensatie te voorkomen;
7. Het lassen aan kanalen en/of apparaten t.b.v. het bevestigen van de isolatie is verboden, tenzij schriftelijk door de opdrachtgever toegestaan;
8. Van isolatie voorziene appendages moeten normaal bedienbaar blijven;
9. Scherpe randen, uitsteeksels, e.d. aan afwerkmaterialen moeten vermeden worden;
10. Naamplaten moeten na het isoleren zichtbaar zijn, resp. naderhand aangebracht worden, dit ter beoordeling van de opdrachtgever;
11. Koude isolatiesystemen moeten in compartimenten worden aangebracht, om watertransport tussen de isolatie en het kanaal te voorkomen. Compartimenteren dient te worden uitgevoerd bij de ondersteuningen door middel van een niet agressief afdichtingsmateriaal;
12. Luchtaanzuigkanalen, dienen vanaf het buitenaanzuigrooster tot aan de luchtbehandelingkast te worden geïsoleerd met elastomeerschuim.

(SB IV.3-1)

10.5.1 Ronde en ovale ventilatie-, lucht- en buitenluchtaanzuigkanalen

Slangen

Voor ronde en ovale kanalen met een uitwendige diameter ≤89 mm moeten de slangen in de lengte opengesneden zijn. De langsnaden moeten met contactlijm dun en gelijkmatig worden ingesmeerd, waarna slang over het kanaal moet worden gedrukt. Vervolgens moeten de stootkanten met contactlijm worden ingesmeerd. Nadat de lijm is ingedroogd moeten de stootkanten stevig tegen elkaar worden gedrukt.

Plaatmateriaal

Voor ronde kanalen met een uitwendige diameter >89 mm moet de breedte van de strook minimaal gelijk zijn aan de omtrek van de te isoleren oppervlak plus de isolatie. De strook moet over het oppervlak worden gedrukt en de stootkanten moeten met contactlijm dun en gelijkmatig worden ingesmeerd. Nadat de lijm is ingedroogd moeten de stootkanten stevig tegen elkaar worden gedrukt.

10.5.2 Rechthoekige ventilatie-, lucht- en buitenluchtaanzuigkanalen

Plaatmateriaal

Alle met contactlijm in te smeren vlakken van het plaatmateriaal en de ondergrond moeten vettvrij zijn.

De contactlijm mag niet agressief zijn t.o.v. het te isoleren oppervlak. Het te isoleren vlak en de binnenzijde van de isolatieplaat moeten dun en gelijkmatig met contactlijm worden ingesmeerd. Nadat de lijm voldoende is ingedroogd moet de isolatieplaat op het te isoleren oppervlak worden aangebracht en stevig worden aangedrukt.

Bij het aanbrengen van meer platen naast elkaar, moeten deze elkaar ca. 5 mm. overlappen.

Beide stootkanten moeten met contactlijm worden ingesmeerd en nadat de lijm voldoende is ingedroogd moet het overlappende deel worden teruggedrukt.

Op deze wijze drukken de stootkanten tegen elkaar, waardoor een volkomen gesloten naad wordt verkregen.

Plaatmateriaal, aan één zijde voorzien van een kleeflaag

Alle te isoleren vlakken moeten vrij van stof en vet zijn. Van de plaat moet de schutstrook worden verwijderd waarna deze op de plaats moet worden gebracht. De naden moeten goed sluiten en stevig worden aangedrukt. Bij het aanbrengen van meer platen naast elkaar, moeten deze elkaar ca. 5 mm overlappen. Beide stootkanten moeten met contactlijm worden ingesmeerd en nadat de lijm voldoende is ingedroogd moet het overlappende deel worden teruggedrukt. Op deze wijze drukken de stootkanten tegen elkaar, waardoor een volkomen gesloten naad wordt verkregen.

10.5.3 Afwerking

Onder normale omstandigheden is een verdere dampremmende afwerking overbodig.

Bij toepassing van flexibel elastomeerschuim of polyethyleenschuim onder buitencondities of direct onder glas in het volle licht moet het isolatieoppervlak worden beschermd tegen weersinvloeden en UV-straling.

De bescherming kan bestaan uit een door de fabrikant van het isolatiemateriaal voorgeschreven coating of een metalen afwerking.

11 Brandwerende isolatie/bekleding

(SB II.3-5)

11.1 Algemeen

In het Bouwbesluit wordt bij de brandveiligheid onderscheid gemaakt in:

1. Brandcompartimenten;
2. Rookcompartimenten.

Wanneer luchtkanalen de grens van een brandcompartiment of een rookcompartiment doorsnijden, moeten de luchtkanalen aan specifieke eisen voldoen. Onderstaand wordt daar nader op ingegaan.

11.2 Brandcompartimenten

Luchtkanaalsystemen dienen te voldoen aan de brandcompartimenteisen, zoals beschreven in het Bouwbesluit. Bij de passage van een luchtkanaal door een brandcompartiment moet een brandklep worden toegepast, die minimaal gelijk is aan de brandwerendheid van de scheiding waarin zij zich bevindt. Smeltzekeringen van de brandklep moeten door middel van een inspectievlak of via een uitneembaar bedieningsblok bereikbaar zijn. Om branddoorslag via ventilatiekanalen te voorkomen, moeten luchtkanalen brandwerend worden uitgevoerd of moet er ter plaatse van een doorvoering van de scheidingsconstructie een brandklep worden aangebracht. Indien brandkleppen niet ter plaatse van de doorvoering kunnen worden aangebracht, is het noodzakelijk het luchtkanaalgedeelte vanaf de scheidingsconstructie tot op de scheiding van het brandkleplad brandwerend uit te voeren met een brandwerendheid gelijk aan die van desbetreffende scheiding.

De brandwerendheid van een brandklep moet zijn aangetoond door middel van een certificaat van een erkende instantie.

Hiervoor gelden de navolgende beproefingsmethoden:

1. Voor brandwerende kanalen zonder brandkleppen volgens NEN-EN 1366-1.[44] (voorheen NEN 6076);
2. Voor brandwerende kanalen met brandkleppen volgens NEN-EN 1366-2 [45]. (voorheen NEN 6077).

NEN-EN 1366-X

In verband met brandwerende producten voor luchtbehandelinginstallaties is NEN-EN 1366 de belangrijkste norm. Indien een testlaboratorium zodanig is geoutilleerd dat ze conform NEN-EN 1363-1 kan testen, mag zij de test voor ieder Europees land eenmalig uitvoeren. Vervolgens wordt dan geclasseerdeerd aan de hand van EN 13501-3 als het gaat om producten voor de ventilatie. Uit de test volgt een testverslag en op basis daarvan een classificatierrapport. Het is van belang dat een leverancier van brandwerende producten het classificatierrapport kan overhandigen. Hierin wordt immers geconcludeerd of, en zo ja voor hoeveel minuten (15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240 of 360 minuten) het desbetreffende product is goedgekeurd. Dit wordt altijd aangeduid met: EIS xx, waarbij xx het aantal minuten is. De E staat voor integriteit, de I voor isolatie en de S voor rooklekage. Bijvoorbeeld EIS 60 geeft aan dat het desbetreffende product tenminste 60 minuten lang de rook niet doorlaat en warmte isoleert, oftewel niet doorlaat.

NEN-EN 1366-2: goedgekeurd volgens deze norm betekent dat het desbetreffende product is getest en goedgekeurd onder druk. Dit is dus bij uitstek de norm waaraan brandkleppen, moeten voldoen.

NEN-EN 1366-3: een product met deze goedkeuring is niet getest onder druk, dus alleen goedgekeurd als bijvoorbeeld overstroomvoorziening tussen ruimten. Maar nadrukkelijk niet als toepassing in luchtkanalen waarbij niet is gegarandeerd dat bij brand de luchtbehandelinginstallatie uitschakelt.

11.3 Rookcompartimenten

Als een luchtkanaal de grens van een rookcompartiment doorsnijdt, moeten voorzieningen (bijvoorbeeld een brandklep) getroffen worden. Zie ook ISSO/SBR-publicatie 809 Brandveilige doorvoeringen.

11.4 Brandwerend isoleren van ronde en ovale luchtkanalen

Indien aan de luchttransportweg hoge eisen m.b.t. brandwerendheid wordt gesteld, wordt i.v.m. toepassing van gecertificeerde isolatie materialen aanbevolen de luchtkanalen rechthoekig uit te voeren.

Er is een product in de handel, dat wordt geleverd met een dikte van 60 mm welke afhankelijk van de persing (gewicht per m^2 plaatoppervlakte) gebruikt kan worden voor respectievelijk een 60 minuten, 90 minuten of 120 minuten brandscheidende wand. (zie tabel 11.1).

Gelijkwaardige producten kunnen ook toegepast worden indien er een geldig testrapport kan worden overlegd.

Tabel 11.1 Verband tussen brandwerendheid en persing brandwerende isolatie

Brandwerendheid	Gewicht [kg/m ²]	Isolatie dikte [mm]	Maximale kanaal afmetingen [mm]
60 minuten	13	60	b x h = 1250 x 1000
90 minuten	20	60	b x h = 1250 x 1000
120 minuten	21	60	b x h = 1250 x 1000

11.5 Brandwerend isoleren van rechthoekige luchtkanalen

Hiervoor kunnen de navolgende isolatiematerialen in de aanbevolen dikte en uitvoering worden toegepast:

1. De isolatiematerialen (brandplaten) worden direct op het luchtkanaal aangebracht volgens de voorschriften van de leverancier. Deze platen worden veelal vastgezet middels laspennen of schroefparkers. De platen worden onderling vastgezet met behulp van een speciale lijmsoort;
2. Onbrandbare platen van fibersilicaat. Asbestvrije platen, vervaardigd van vezels, portlandcement en toeslagstoffen, dienen volgens voorschriften van de fabrikant te worden aangebracht.

Tabel 11.2 Verband tussen brandwerendheid en bekledingsdikte

Brandwerendheid	Bekledingsdikte kanaal (om verbindingsflens) [mm]
30 minuten	25
60 minuten	35
90 minuten	40
120 minuten	52

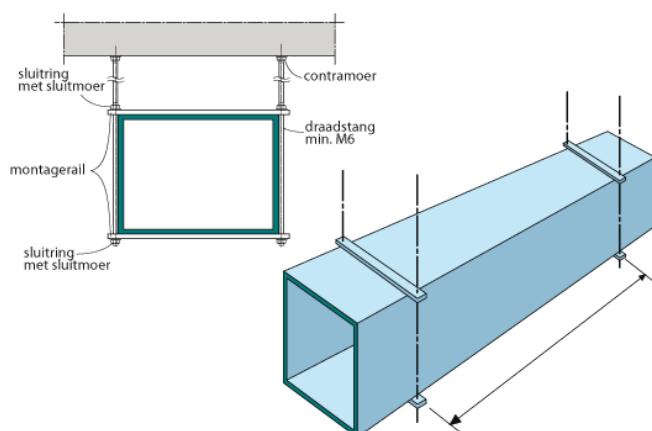
11.6 Ophanging brandwerend geïsoleerde luchtkanalen

Kanalen moeten in principe opgehangen worden als bij de genormeerde beproefingsmethode.

Als vuistregels worden hiervoor aanbevolen:

1. Maximale afstand tussen de ophanging h.o.h. 1,5 meter;
2. Gewicht per ophangpunt maximaal 50 kg;
3. Toelaatbare spanning in draadstangen maximaal 9 N/mm^2 bij een brandwerendheid van 30 en 60 minuten;
4. Toelaatbare spanning in draadstangen maximaal 6 N/mm^2 bij een brandwerendheid van 90 en 120 minuten.

Ophangingen moeten inklemmend worden uitgevoerd door middel van een boven- en onderbeugel en afgehangen door middel van draadeinden van minimaal M6 in metalen pluggen. Dit geldt voor zowel rechthoekige als ronde luchtkanalen (zie afbeelding 11.1).



Afb. 11.1 Ophanging brandwerend geïsoleerd kanaal

11.7 Brandwerende doorvoering

De beproefingsmethode van scheidingsconstructies met doorvoeringen is vastgesteld in de normen NEN 6069 en NEN-EN 1366-3 [51]. De afwerking van doorvoeringen kan geschieden door:

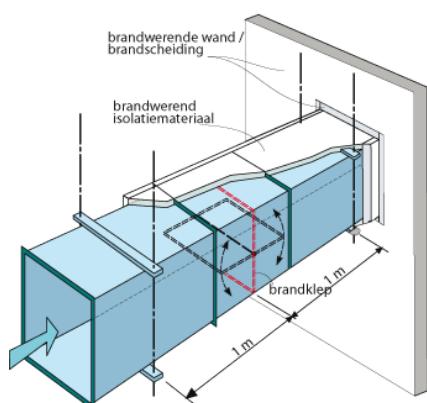
1. Het aanwerken met bouwkundig materiaal (bijvoorbeeld aanmetselen of gipsplaten);
2. Het aanwerken met zware persing steenwol in combinatie met brandwerende coating;
3. Het aanwerken met steenwol.

Het afwerken van de doorvoeringen is afhankelijk van:

1. Materiaal, vorm en afmeting (diameter, wanddikte) van de luchtkanalen;
2. Afdichtingssysteem in de doorvoering;
3. Additionele bescherming, zoals bij verhitting opschuimende coating, brandmanchetten enzovoorts;
4. Speciale brandwerende manchetten, welke de opening afsluiten door opschuimen.

Gezien de combinatie van doorvoeringen van meerdere technische installaties ter plaatse van de rook- en brandcompartmenten, verdient het de voorkeur om één en ander in combinatie door gespecialiseerde bedrijven te laten uitvoeren. De coördinatie en verantwoording dienen bij voorkeur bij een bouwpartner te liggen.

ISSO/SBR-publicatie 809 [55] gaat nader in op het realiseren van brandveilige doorvoeringen.
(SB II.3-5)



Afb. 11.2 Brandwerende doorvoering met brandklep

12 Realisatie

(SB IV.3-1)

12.1 Algemeen

De kwaliteit van het kanaalwerk valt of staat met de zorgvuldigheid waarmee de uitvoering plaatsvindt. Regelmatische controle op de ophanging, uitvoering, luchtdichtheid en gebruikte materialen is een noodzakelijke voorwaarde om aan de bestekspecificaties, bestektekeningen en opdracht te voldoen.

12.2 Corrosiebescherming

Verzinkte plaatstalen luchtkanalen zijn afdoende tegen corrosie beschermd. Uitgezonderd de knip- of zaagkanten worden beschadigingen aan de zinklaag zorgvuldig bijgewerkt met een corrosiewerende verf.

Kanalen bestemd voor de afzuiging van zuurkasten en kanalen in de open lucht dienen door een juiste materiaalkeuze en afwerking afdoende tegen corrosie te zijn beschermd.

12.3 Reinheid luchtkanalen

In 2008 verscheen de ontwerp NEN-EN 15780 [26] die voorzorgsmaatregelen geeft om tot schone installaties te komen. In paragraaf 7.1 en 7.3 wordt ingegaan op de niveau indeling op basis van gebruik en bezetting en de te nemen maatregelen bij transport en opslag van kanalen en appendages.

Tijdens het bewerken van de kanalen voor en tijdens de montage is het noodzakelijk dat losse verontreinigingen, zoals stof, zand, e.d. in en aan het kanaal worden verwijderd alvorens de kanalen worden geplaatst. Als tijdens het bouwproces sterk vervuilende werkzaamheden worden uitgevoerd die de reinheid van de luchtkanalen kan aantasten moet erop worden toegezien dat de desbetreffende kanaaldelen worden afgeschermd. Gedurende het bouwproces is het echter voor de installateur van de luchtkanalen op praktische gronden onmogelijk de inwendige reinheid van de luchtkanalen te garanderen.

Na beëindiging van het bouwproces moet de reinheid van de luchtkanalen worden gecontroleerd. In voorkomende gevallen kan inwendige reiniging van het kanalensysteem nodig zijn. Het verdient aanbeveling na de eerste inbedrijfstelling van de luchtbehandelingskast de luchtfilters op reinheid te controleren en zonodig te vervangen.

12.4 Afdichtingmaterialen

Voor de afdichting van kanaalverbindingen moeten materialen worden gebruikt met een blijvende hechting en elasticiteit in het temperatuurgebied van 0 tot 70 °C. In de praktijk gebruikt men daarvoor de volgende materialen.

Packing

Packing wordt gebruikt om flensverbindingen af te dichten. Het wordt geleverd in de vorm van band of plaat. De minimale dikte bedraagt 3 mm voor ronde kanalen t/m een diameter van 1250 mm en rechthoekige kanalen met een grootste zijde t/m 1500 mm. Bij grotere afmetingen past men packing met een dikte van ten minste 4 mm toe. Het verdient aanbeveling een packing uit één stuk te gebruiken.

Kit en mastiek

Voor de afdichting van naden past men kit of mastiek toe dat met een borstel, spatel of slijpstaaf wordt aangebracht.

Reactief kleefband

Deze tweecomponententape bestaat uit geïmpregneerd weefselband en een vloeibare activator. Nadat beide componenten met elkaar in contact zijn gebracht wordt de band om de naad gewikkeld, waarna uitharding plaatsvindt tot een duurzame verbinding, die geschikt is tot ca. 100 °C. Deze afwerking is niet gevoelig voor vocht, stof en vuil en vereist geen speciale kennis. Bij temperaturen beneden 5 °C is verwerking niet toegestaan. De droogtijd ligt tussen de 24 en 72 uur.

Zelfklevend plakband

Zelfklevend plakband wordt gebruikt in de vorm van aluminium-, linnen- of synthetische rubber tape. Aluminiumtape kan makkelijk worden beschadigd, zowel bij het aanbrengen als na de montage, is gevoelig voor vet en stof en veroudert snel. Hetzelfde geldt voor linnentape, met dien verstande dat dit materiaal minder gevoelig is voor beschadigingen.

Tape van synthetische rubber, al dan niet versterkt, is koud of warm verwerkbaar, waarbij de hechting op het kanaal ontstaat door vulkaniseren. Deze afwerking is gevoelig voor vocht en vet, en sterk afhankelijk van de monteur, die ervoor moet zorgen dat:

1. Het oppervlak stof- en vetvrij is;
2. Over het gehele oppervlak wordt aangedrukt;
3. Scherpe kanten en bramen worden afgewerkt;
4. De overlap gelijk is aan de tapebreedte;
5. De tape bij het aanbrengen niet meer dan 3% uitrekt.

Let op: Bij temperaturen beneden 5 °C is verwerking niet toegestaan.

Krimpbond of krimpmof

De afdichting vindt plaats doordat kunststof, in de vorm van band of een mof, onder invloed van verwarming door middel van een brander of hete lucht krimpt. Dit materiaal kan bij temperaturen beneden 5 °C worden verwerkt. De verbinding is gevoelig voor vet en de afstelling van de warmtebron. Het gebruik van open vuur is in verband met brandgevaar niet altijd mogelijk.

De afdichtingmaterialen dienen nauwgezet volgens de aanbevelingen van de leverancier te worden aangebracht met in achtneming van de nodige voorzorgen met betrekking tot blootstelling via huidcontact en inademing.

De kwaliteit van de verbinding blijkt bij alle materialen min of meer af te hangen van de zorg die de monteur eraan besteedt. Daarom moet regelmatig controle op de montage en de luchtdichtheid plaatsvinden.

12.5 Brandwerendheid

Algemeen

Ten aanzien van de brandwerendheid moet worden voldaan aan de geldende eisen inzake brand- en rookcompartmenten.

Bevestiging

Bevestigingsmiddelen, waaronder pluggen, mogen niet van kunststof of een ander bij brand vervormend materiaal zijn vervaardigd.

Doorvoeringen

Kanalen met een doorsnede groter dan 0,015 m² voor luchtbehandelings- en ventilatiedoeleinden moeten zijn vervaardigd van plaatstaal of een daarmee vergelijkbaar onbrandbaar materiaal. Kanalen die door een wand of vloer van een brandcompartiment worden gevoerd, moeten zodanig zijn geconstrueerd en aangebracht dat de doorvoering minimaal dezelfde brandwerendheid heeft als de doorbroken wand of vloer.

Bij passage van een luchtkanaal door een brandcompartiment moet of een brandklep worden toegepast of moeten de kanalen minimaal 3 meter brandwerend te worden uitgevoerd.

Met een brandwerendheid van 60 min. moet ter plaatse van de doorvoering een brandklep worden aangebracht. Bij een doorvoering met een brandwerendheid van 30 min. moet het kanaalgedeelte dat de scheiding passeert over een afstand van minimaal 3 m ononderbroken, zonder openingen (roosters) en van onbrandbaar materiaal worden uitgevoerd. De brandwerendheid van een brandklep dient te zijn aangetoond door middel van een certificaat van een erkende instantie.

De experimentele bepaling van de brandwerendheid van luchtkanalen geschiedt volgens NEN-EN 1366-1 [44]. ISSOSBR/publicatie 809 gaat nader in op brandveilige doorvoeringen [55].

Isolatie

De uitwendige isolatie van luchtkanalen voor thermische en/of akoestische doeleinden moet voldoen aan de in tabel 12.1 vermelde eisen.

Tabel 12.1 Brandedisen uitwendige thermische en akoestische isolatie voor luchtkanalen

Toepassing t.b.v.		Vlamuitbreiding	Max. rookdichtheid
Verticale vluchtweg	één trap aanwezig	onbrandbaar	
	meer dan 1 trap aanwezig	klasse 2	< 2,2 m ⁻¹
Horizontale vluchtwegen		klasse 2	< 2,2 m ⁻¹
Overige ruimten		klasse 3	< 10 m ⁻¹

Inwendige isolatie moet voldoen aan klasse 1 voor wat betreft de bijdrage tot vlamuitbreiding.

Opmerking: Vlamuitbreiding volgens NEN 6065 [23]:

1. Klasse 1: klassengrens vlamuitbreiding 175 mm;
2. Klasse 2: klassengrens vlamuitbreiding 250 mm;
3. Klasse 3: klassengrens vlamuitbreiding 350 mm.

De rookproductie wordt bepaald volgens NEN 6066 [56].

12.6 Montage van luchtkanalen

Zie ook hoofdstuk 6 voor de ophanging en ondersteuning van kanalen.

1. Voor montage kanalen en hulpsluitingen ontdoen van verontreinigingen, scherpe kanten en bramen;
2. Werk alle verbindingen luchtdicht af door middel van tape of afdichtingsringen die fabrieksmatig op de hulpsluitingen zijn aangebracht (zie ook par 12.4);
3. Bevestig het kanalsysteem met metalen beugels met een maximale afstand volgens tabel 6.1, 6.2 en 6.3;
4. Het kanaal voor luchtaanzuig of luchtafvoer via de gevel onder een klein afschot naar buiten uitvoeren en wind- en waterdicht afwerken, bijvoorbeeld met behulp van elastisch blijvende kit;
5. Luchtkanalen dienen luchtdicht gemonteerd te worden volgens het ontwerp, het LUKA-Kwaliteitshandboek en de voorschriften van de fabrikant of leverancier. Daarbij moet extra aandacht worden besteed aan:
 1. Flexibele slang: Contact tussen flexibele kanalen van aluminium en kalkhoudend bouwmateriaal moet worden voorkomen in verband met aantasting. Flexibele slangen moeten op voorspanning worden gemonteerd om een zo glad mogelijke binnenwand te verkrijgen;
 2. Geluiddempende slang: Geluiddempende slang mag niet worden gebruikt als bochtstuk en moet, net als flexibele slang, strak worden gemonteerd;
 3. Instortkanalen: vóór het storten van de druklaag op de breedplaatbekistingsvloer dienen instortkanalen tussentijds visueel te worden gecontroleerd op correcte, onbeschadigde montage (ingedekte kanalen veroorzaken een afname van de ventilatiecapaciteit, een hoger geluidsniveau en een hoger energiegebruik (zie ook afbeelding 12.1).
6. Regel- en terugslagkleppen dienen gemonteerd te worden volgens het ontwerp en de voorschriften van de fabrikant of leverancier;
7. Brandwerende voorzieningen dienen gemonteerd te worden volgens het ontwerp en de voorschriften van de fabrikant of leverancier.

(SB IV.3-1)



Afb. 12.1 Tijdens de bouw beschadigd instortkanaal

12.7 Aansluiting op luchtbehandelingskast

Ter voorkoming van trillingsoverdracht van de luchtbehandelingskast op het kanaalwerk moeten de luchtintrede- en uittrede-openingen worden voorzien van luchtdichte flexibele verbindingen. Deze worden via thermisch verzinkte stalen flenzen onder tussenvoeging van pakking aangesloten op de kanalen, die zich recht tegenover de toe- en afvoeropeningen van de luchtbehandelingskast moeten bevinden. De doorlaat mag niet verminderen. (SB II.3-7)

12.8 Aansluiting op luchtornamenten

De aansluiting van luchtkanalen op roosters, rozetten of anemostaten moet zodanig worden uitgevoerd dat de doorstromende hoeveelheid lucht over het gehele oppervlak gelijkmatig is verdeeld. De ornamenten worden met een flexibele slang zonder omwegen en zo kort als mogelijk op het kanaal aangesloten, bij voorkeur $< 0,5$ m. Bij toepassing van akoestische slangen kan voor een effectieve demping een grotere lengte met omwegen noodzakelijk zijn. (SB II.3-7)

12.9 Aarding

Metalen luchtkanaalsystemen dienen te worden geaard volgens NEN 1010 [37].

13 Keuring en beproeving

(SB IV.3-1)

13.1 Algemeen

Voor het beoordelen van de kwaliteit van luchtkanalen is het vereist dat er controle wordt uitgevoerd op de toe te passen materialen, de vormgeving, de maatvoering, de bevestiging, de stabiliteit, de afwerking en de luchtdichtheid. Deze controle is noodzakelijk om vast te stellen of het kanaalwerk overeenkomstig de specificaties van het bestek, de bestektekeningen en de opdracht is uitgevoerd.

Voor woningen biedt de BRL 8010 [48] (installatie)bedrijven de mogelijkheid om de kwaliteit van gerealiseerde ventilatievoorzieningen onder certificatie te beoordelen. Hierbij kan het gaan om nieuwe ventilatievoorzieningen, maar ook om bestaande. Bij een nieuwe voorziening kan worden beoordeeld of er gemaakt is, wat is afgesproken. Bij een bestaande ventilatievoorziening worden alleen de prestaties beoordeeld. De beoordeling bij woningen kan ook worden toegepast op al dan niet onder certificatie (op basis van deel 10 van BRL 6000 [47]) uitgevoerde ventilatievoorzieningen.

BRL 8010 onderscheidt twee typen van beoordeling:

1. Een opleveringsbeoordeling (voor nieuwe ventilatievoorzieningen), waarbij de gecertificeerde 'ventilatieprestatie beoordelaar' beoordeelt in hoeverre de op te leveren voorziening voldoet aan de eisen die aan de levering gesteld werden, en;
2. Een prestatiebeoordeling (voor nieuwe en bestaande ventilatievoorzieningen), waarbij de gecertificeerde 'ventilatieprestatie beoordelaar' alleen de prestaties van de ventilatievoorziening beoordeelt.

De opleveringsbeoordeling is altijd inclusief een prestatiebeoordeling.

BRL 8010 sluit aan op het Bouwbesluit. Voor de beoordeling van ventilatievoorzieningen kent de BRL twee referentieniveaus:

1. Bouwbesluit, bestaande bouw, en;
2. Bouwbesluit nieuwbouw.

Beide niveaus zijn wettelijk verankerd.

13.2 Luchtdichtheidseisen

Ten aanzien van de luchtdichtheid kan worden gesteld dat alleen in uitzonderingsgevallen een kanalensysteem volkomen luchtdicht moet zijn. Om veiligheidsredenen is lek ontoelaatbaar bij bijvoorbeeld het transport van gevaarlijke gassen of sterk verontreinigde lucht.

Een kanalensysteem voor ventilatie- en klimaatbehandelingsinstallaties, dat volgens de gangbare productiemethoden wordt vervaardigd, vertoont op de naden en verbindingen een zekere mate van lek, bij rechthoekige kanalen vooral op de hoekpunten van dwarsverbindingen. Het is daarom gewenst om de toelaatbare hoeveelheid leklucht vast te leggen om redenen van:

1. Economie: de investeringen en bedrijfskosten voor het kanalensysteem en de luchtbehandelingsapparatuur zijn dan niet groter dan noodzakelijk;
2. Hinder: ter voorkoming van vervuiling bij kanalen in het zicht, en geruis;
3. Selectie van kanalen en apparatuur;
4. Objectieve controleerbaarheid.

Een kanalensysteem is opgebouwd uit rechte kanaalstukken met een ronde, ovale of een rechthoekige doorsnede en hulpstukken, zoals bochten, verlopen, aftakkingen, die gezamenlijk met het luchtbehandelingsapparaat, kleppen, geluiddempers, luchtoramenten e.d. een geïntegreerd systeem vormen. Al deze componenten en hun verbindingen lekken enigszins, zodat het stellen van luchtdichtheidseisen aan uitsluitend één component (bijvoorbeeld het kanaal of fabriek) onvoldoende en slechts indicatief is voor het te verwachten lekverlies van het complete gemonteerde kanalensysteem. Het is daarom noodzakelijk dat luchtdichtheidseisen worden geformuleerd ten aanzien van:

1. De luchtkanalen als gereed product;
2. Het gerealiseerde ontwerp van het kanalensysteem, exclusief apparatuur;
3. De in het kanalensysteem opgenomen apparatuur.

Dit onderscheid is noodzakelijk om aan te geven dat er ten aanzien van de luchtdichtheid sprake is van gescheiden verantwoordelijkheden. De leverancier van de kanalen is in principe alleen verantwoordelijk voor het gereed product, terwijl de installateur en/of adviseur kunnen worden aangesproken op de kwaliteit van het gereed ontwerp van het kanalensysteem, evenals de leverancier van de apparatuur ten aanzien van zijn product.

13.3 Luchtdichtheidseisen voor luchtkanalen

Voor de beoordeling van de luchtdichtheid van luchtkanalen zijn specifieke producteisen geformuleerd, waaraan moet worden voldaan. Hoewel de lek optreedt aan de dwars- en langsverveningen, in het bijzonder bij de hoeken, wordt aangenomen dat de hoeveelheid leklucht evenredig is met de wandoppervlakte. Uit onderzoek is gebleken dat de hoeveelheid leklucht per m^2 kanaalwandoppervlak geschreven kan worden als:

$$q_{vl} = f \cdot \Delta p_m^{0,65} \quad [m^3/(s \cdot m^2)] \quad (13.1)$$

Waarin:

q_{vl}	=	lekluchthoeveelheid	$[m^3/(s \cdot m^2)]$
f	=	lekfactor	$[m^3/(s \cdot m^2 \cdot Pa^{0,65})]$
Δp_m	=	gemiddelde over-/onderdruk	[Pa]

De hoeveelheid leklucht wordt gerelateerd aan de luchtdichtheidsklasse en maximale toetsingsdruk volgens tabel 13.1.

Tabel 13.1 Toelaatbare lekfactor voor het kanaal als product

Luchtdichtheidsklasse	Lekfactor [m ³ /(s·m ² ·Pa ^{0,65})]	Maximale toetsingsdruk [Pa]
A	0,027 · 10 ⁻³	500
B	0,009 · 10 ⁻³	1.000
C	0,003 · 10 ⁻³	1.000 ¹⁾
D	0,001 · 10 ⁻³	2.000

1) Volgens NEN 12337 [22] is de maximale toetsingsdruk 2000 Pa.

De lekfactor is inclusief het lekverlies van de langs- en dwarsverbindingen en geldt eveneens voor de hulpstukken. Door meting moet worden vastgesteld of het onderzochte kanaaldeel aan de eisen wordt voldaan. In tabel 13.2 is aangegeven wat het maximaal toelaatbare lekverlies mag zijn.

Tabel 13.2 Maximaal toelaatbaar lekverlies

Toetsingsdruk [Pa]	Maximaal toelaatbaar lekverlies [l/(s·m ²)]			
	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Klasse D
500	1,53	0,51		
1.000		0,80	0,27	0,089
1.250			0,31	0,103
1.500			0,35	0,116
2.000			0,42	0,14

Indien in het bestek geen luchtdichtheidseisen zijn geformuleerd hanteert Luka klasse B als minimum eis.

Opmerking: Voor de beproeving van het product moet een proefstuk van voldoende afmetingen worden gebruikt om het lekverlies te kunnen meten. Dit betekent dat het proefstuk uit enkele kanaalstukken zal bestaan, zodat ook op de dwarsverbindingen lek optreedt. De toelaatbare lekfactor van de luchtkanalen is daarom inclusief het lekverlies van de langs- en dwarsverbindingen.

13.4 Luchtdichtheidseisen voor het kanalensysteem

Evenals bij de luchtkanalen als gereed product dienen ook luchtdichtheidseisen aan het ontwerp van het kanalensysteem (exclusief appendages of inclusief appendages waarvan het lekverlies bekend is) te worden gesteld. Door deze eisen worden de kwaliteit van de verbindingen en de zorgvuldigheid waarmee de montage moet worden uitgevoerd vastgelegd.

Het lekverlies van een representatief deel van het kanalensysteem (exclusief apparatuur), dat conform par 13.3 wordt ontkoppeld en afdicht, wordt op overeenkomstige wijze als bij de producteisen voor het gereed kanaal aan de klassen van luchtdichtheid gerelateerd volgens tabel 13.2.

Aangezien de lekfactor inclusief het lekverlies van de langs- en dwarsverbinding is en eveneens geldt voor de hulpstukken zijn de luchtdichtheidseisen voor het ontwerp van het kanalensysteem gelijk aan die voor het product (zie tabel 13.2).

De oppervlakte van de kanaalwanden is eenvoudig te bepalen als een onderdeel van de ontwerpprocedure. Door meting moet worden vastgesteld of aan de gestelde eisen van het onderzochte deel van het kanalensysteem wordt voldaan.

Aangezien het lekverlies is gerelateerd aan het kanaaloppervlak en de ter plaatse heersende onder- of overdruk, kan deze slechts worden uitgedrukt als percentage van het totale ontwerpdebiet nadat het gehele kanalensysteem is doorgerekend. Onder bedrijfscondities gelden hiervoor de in tabel 13.3 gegeven indicatieve waarden.

Tabel 13.3 Indicatieve waarden voor lekverlies als percentage van totaal ontwerpdebiet

Luchtdichtheidsklasse	Lekverlies als percentage van het totale ontwerpdebiet [%]
A	6
B	3
C	2
D	0,5

13.5 Luchtdichtheidseisen voor appendages

Om appendages op luchtdichtheid te kunnen beoordelen dienen specifieke eisen te worden geformuleerd. De hierover beschikbare gegevens beperken zich op dit moment tot een op Europees niveau ontwikkelde meetmethode (NEN-EN 1751 [38]), waarmee, specifiek voor kleppenregisters, het verband tussen de statische druk en het lekverlies kan worden vastgesteld. De metingen dienen te worden uitgevoerd door een meetinstituut met een kwaliteitssysteem volgens NEN-EN-ISO/IEC 17025 [39] of door leveranciers die beschikken over een geldig TNO meetlabel.

Voor andere luchtbehandelingscomponenten is een dergelijke meetmethode nog niet ontwikkeld. Dit betekent dat de ten behoeve van de selectie en het ontwerp benodigde gegevens ten aanzien van het lekverlies van appendages in het algemeen niet beschikbaar zijn.

13.6 Beproeingsprocedure

Door het uitvoeren van een meting wordt getoetst of aan de geformuleerde luchtdichtheidseisen wordt voldaan. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in een beproeving op luchtdichtheid van:

1. De luchtkanalen;
2. Het kanalensysteem;
3. De apparatuur / appendages.

13.6.1 Beproeving van de luchtkanalen

Ten behoeve van de beproeving op luchtdichtheid worden een of meer voor het gehele kanalensysteem essentiële proefstukken geleverd, die volgens de specificaties in het bestek zijn afgedicht, van voldoende afmetingen dat het lekverlies meetbaar is. Deze proefstukken worden door middel van flenzen en blindplaten afgedicht. De minimale oppervlakte bedraagt 10 m^2 . Daarbij dient ervoor te worden gezorgd dat de verhouding tussen de totale lengte van de verbindingen (L) en de oppervlakte van het kanaalwerk (A): $L/A \geq 1 \text{ in } \text{m}^{-1}$.

Het geselecteerde kanaalwerk wordt via een conisch aansluitstuk op een regelbare ventilator aangesloten, waarbij het toelaatbare lekverlies, afhankelijk van de luchtdichtheidsklasse, en toetsingsdruk de in tabel 13.4 aangegeven waarden niet mag overschrijden. De afwijking van de toetsingsdruk mag maximaal 20 Pa bedragen.

Tabel 13.4 Maximaal toelaatbaar lekverlies

Toetsingsdruk [Pa]	Maximaal toelaatbaar lekverlies [$\text{l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$]			
	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Klasse D
500	1,53	0,51		
1.000		0,80	0,27	0,089
1.250			0,31	0,103
1.500			0,35	0,116
2.000			0,42	0,14

Het proefstuk wordt gedurende 5 min. op de toetsingsdruk gehouden alvorens de lekluchthoeveelheid wordt gemeten.

De lekluchthoeveelheid bij een bepaalde toetsingsdruk kan als volgt worden omgerekend naar een lekluchthoeveelheid bij een andere druk:

$$q_{vl2} = q_{vl1} \cdot (p_2/p_1)^{0,65} \quad [\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)] \quad (13.2)$$

Waarin:

$$\begin{aligned} q_{vl1} &= \text{lekluchthoeveelheid bij druk } p_1 & [\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)] \\ q_{vl2} &= \text{lekluchthoeveelheid bij druk } p_2 & [\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)] \end{aligned}$$

Het gemeten lekverlies moet als volgt worden gecorrigeerd als de omgevingstemperatuur (t) en/of de atmosferische druk (pa) afwijken van de standaard condities (20°C en 101.325 Pa):

$$q_{vl} = q_{vl\text{gemeten}} \cdot (293/(273+t)) \cdot (p_a/101.325) \quad [\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)] \quad (13.3)$$

Waarin:

$$\begin{aligned} q_{vl} &= \text{gecorrigeerde lekluchthoeveelheid} & [\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)] \\ q_{vl\text{gemeten}} &= \text{gemeten lekluchthoeveelheid} & [\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)] \\ t &= \text{omgevingstemperatuur tijdens lektest} & [\text{K}] \\ p_a &= \text{atmosferische druk tijdens lektest} & [\text{Pa}] \end{aligned}$$

13.6.2 Beproeving van het kanalensysteem

De beproeving op luchtdichtheid moet worden uitgevoerd voordat de isolatie en de luchtoramenten zijn aangebracht en voordat de kanalen in het verlaagde plafond zijn weggewerkt. De beproeving betreft uitsluitend het kanaalwerk, zonder luchtoramenten, luchtbehandelingskasten, geluiddempers e.d., dat volgens de specificaties in het bestek is afgedicht. Appendages zijn alleen toelaatbaar indien het lekverlies bekend is.

De bepaling van het lekverlies wordt uitgevoerd aan de hand van vooraf dan wel steekproefsgewijs geselecteerd kanaalwerk van voldoende afmetingen zodat de hoeveelheid leklucht meetbaar is. Daartoe wordt het te beproeven kanaalwerk luchtzijdig ontkoppeld, waarbij hoofdkanalen door middel van flenzen en blindplaten worden afgedicht, terwijl kleine diameters worden afgedopt of afgeplakt.

Vooraf geselecteerd kanaalwerk wordt reeds bij de montage voorzien van afblindplaten tussen de kanaalsecties en de verbindingen met apparatuur / appendages om vertraging in de uitvoering te voorkomen.

De oppervlakte van het te testen deel moet, voor ronde kanalen conform NEN-EN 12237 [22] en voor rechthoekige kanalen conform NEN-EN 1507 [23], minimaal 10% van het totale oppervlakte van het kanalensysteem bedragen, met een minimum oppervlakte van 10 m^2 . Het te beproeven kanaaldeel moet qua gemiddelde afmetingen, oppervlakte, lengte, aantal dwarsverbindingen en hulpstukken representatief zijn voor het totale systeem. Daarbij moet ervoor worden gezorgd dat de verhouding tussen de totale lengte van de verbindingen (L) en de oppervlakte van het kanaalwerk (A) ligt tussen: $1 \leq L/A \leq 1,5 \text{ in } \text{m}^{-1}$.

Het geselecteerde kanaalwerk wordt via een conisch aansluitstuk op een regelbare ventilator aangesloten, waarbij het toelaatbare lekverlies, afhankelijk van de luchtdichtheidsklasse, en toetsingsdruk de in tabel 13.5 aangegeven waarden niet mag overschrijden. De afwijking van de toetsingsdruk mag maximaal 20 Pa bedragen.

Tabel 13.5 Maximaal toelaatbaar lekverlies

Toetsingsdruk [Pa]	Maximaal toelaatbaar lekverlies [$\text{l}/(\text{s}\cdot\text{m}^2)$]			
	Klasse A	Klasse B	Klasse C	Klasse D
500	1,53	0,51		
1.000		0,80	0,27	0,089
1.250			0,31	0,103
1.500			0,35	0,116
2.000			0,42	0,14

Het proefstuk wordt gedurende 5 min. op de toetsingsdruk gehouden alvorens de lekluchthoeveelheid wordt gemeten. Het gemeten lekverlies moet worden verminderd met het bekende lekverlies van eventueel aanwezige appendages om het lekverlies van het kanalensysteem te bepalen.

De lekluchthoeveelheid bij een bepaalde toetsingsdruk kan als volgt worden omgerekend naar een lekluchthoeveelheid bij een andere druk:

$$q_{vl2} = q_{vl1} \cdot (p_2/p_1)^{0.65} \quad [\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)] \quad (13.4)$$

Waarin:

q_{vl1}	=	lekluchthoeveelheid bij druk p_1	$[\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)]$
q_{vl2}	=	lekluchthoeveelheid bij druk p_2	$[\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)]$

Het gemeten lekverlies moet als volgt worden gecorrigeerd als de omgevingstemperatuur (t) en/of de atmosferische druk (p_a) afwijken van de standaard condities (20°C en 101.325 Pa):

$$q_{vl} = q_{vl\text{gemeten}} \cdot (293/(273 + t)) \cdot (p_a/101.325) \quad [-] \quad (13.5)$$

Waarin:

q_{vl}	=	gecorrigeerde lekluchthoeveelheid	$[\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)]$
$q_{vl\text{gemeten}}$	=	gemeten lekluchthoeveelheid	$[\text{m}^3/(\text{s}\cdot\text{m}^2)]$
t	=	omgevingstemperatuur tijdens lektest	[K]
p_a	=	atmosferische druk tijdens lektest	[Pa]

13.6.3 Beproeving van de apparatuur/appendages

De leverancier van de apparatuur (bijvoorbeeld luchtbehandelingskast) specificeert in zijn documentatie soms het lekverlies. Bij selectie van de apparatuur / appendages in het ontwerpstadium houdt men daarmee rekening met het oog op het voor het kanaalwerk toegestane lekverlies.

Aangezien de apparatuur fabrieksmatig onder gecontroleerde omstandigheden met gekwalificeerd personeel wordt vervaardigd en compleet op de bouwplaats wordt afgeleverd, is het niet zinvol het lekverlies op de bouwplaats te toetsen.

Het lekverlies van kleppenregisters moet worden bepaald conform NEN-EN 1751 [38] en het lekverlies kan worden vastgesteld. De metingen dienen te worden uitgevoerd door een meetinstituut met een kwaliteitssysteem volgens ISO 17025 [39] of door leveranciers die beschikken over een geldig TNO meetlabel.

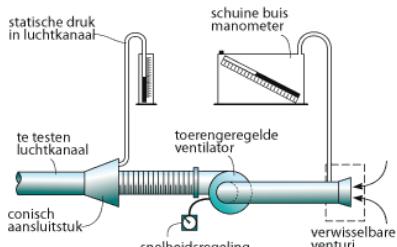
Voor andere luchtbehandelingscomponenten is een dergelijke meetmethode nog niet ontwikkeld. Dit betekent dat de ten behoeve van de selectie en het ontwerp benodigde gegevens ten aanzien van het lekverlies van appendages in het algemeen niet beschikbaar zijn.

Opmerkingen:

1. Het beproeven op luchtdichtheid van het complete kanalensysteem, inclusief de apparatuur en appendages, is weliswaar wenselijk doch praktisch niet uitvoerbaar, omdat de bereikbaarheid van het kanaalwerk door het sluiten van de plafonds afneemt naarmate de montage en afbouw vorderen. Eventuele noodzakelijke corrigerende maatregelen zijn dan niet meer mogelijk;
2. Het werkelijke lekverlies van het complete kanalensysteem onder bedrijfsmomstandigheden, waarmee bij de dimensionering van de ventilator rekening moet worden gehouden, kan slechts rekentechnisch met behulp van een computerprogramma worden bepaald. Daartoe wordt per kanaalsectie, hulpsysteem en apparaat bij de ter plaatse heersende statische druk op iteratieve wijze het lekverlies berekend. Hiervoor is het noodzakelijk dat ook voor de apparatuur het verband tussen de druk en het lekverlies bekend is.

13.6.4 Meetopstelling en apparatuur

De bij de beproeving op luchtdichtheid gebruikte meetopstelling en apparatuur is in afbeelding 13.1 schematisch weergegeven.



Afb. 13.1 Meetopstelling voor beproeving op luchtdichtheid

De lektester bestaat in principe uit een ventilator met een regelbaar toerental, een manometer om de druk in het te beproeven luchtkanaal te meten, een gekalibreerd inlaatstuk (venturi) en een nauwkeurige schuine-buismanometer om de zuigdruk in de venturi te meten. Deze druk is afhankelijk van de luchtsnelheid en dus het debiet, dat aan de hand van een bij het inlaatstuk behorende grafiek wordt afgelezen. Om het gehele bereik van de lektester te kunnen omvatten worden drie verschillende inlaatstukken gebruikt.

Wanneer de lektester is aangesloten wordt het toerental zodanig geregeld dat de vereiste toetsingsdruk binnen de gestelde marge blijft gehandhaafd. De hoeveelheid lucht die door lekkage verloren gaat wordt via de venturi aangezogen. Door het aflezen van de druk op de schuine-buismanometer vindt men het lekverlies in de grafiek. Ook zijn er uitvoeringen waarbij het lekverlies digitaal kan worden afgelezen.

Ten behoeve van de bepaling van de lekluchthoeveelheid bij de aanbevolen beproevingsdruk volgens de tabellen 13.4 en 13.5 moet een meetinstrument worden gebruikt waarmee de ingestelde volumestroom met een afwijking van ten hoogste 5% wordt vastgesteld. Hiervoor kunnen meetflazen, vlotter/buisinstrumenten, pitotbuizen of anemometers worden toegepast.

Voor de drukverschilmeting moet een meetinstrument worden gebruikt dat het drukverschil met een afwijking van ten hoogste 5% meet. Hiervoor komen in aanmerking een micromanometer volgens Fuess, een schuine-buismanometer of een elektrische drukverschilmeter.

De totale onnauwkeurigheid van de gemeten lekluchthoeveelheid zal in het algemeen, bij de aanbevolen meet- en afleesnauwkeurigheden van de meetinstrumenten, ten hoogste 10% bedragen. Het meetinstrument moet eens in de 3 jaar worden gekalibreerd. Bij digitale lektesters kan worden volstaan met eens in de 5 jaar.

De bepaling van de luchtdichtheid van flexibele kanalen staat omschreven in NEN-EN 13180 [24].

13.6.5 Lektestrapport

De metingen dienen te worden vastgelegd in een lektestrapport, dat, conform Luka 2009 [21] en NEN-EN 12237 [22], ten minste de volgende informatie moet bevatten:

1. Naam van de instelling die de meting heeft uitgevoerd;
2. Namen van degenen die bij de test aanwezig zijn;
3. Naam van de opdrachtgever;
4. Datum van de meting;
5. Gebouwgegevens
Van het gebouw moeten worden vastgelegd: naam, straat, nummer, bouwnummer of kadastraalnummer, plaats en plattegronden;
6. Meetcondities
Ten aanzien van de meetcondities moeten worden vastgelegd de binnenluchttemperatuur, de luchtdruk, de gehanteerde toetsingsdruk(ken), de testduur en de omstandigheden waaronder de meting plaatsvindt;
7. Apparatuurgegevens
Duidelijk moet worden vastgelegd met welke apparatuur de meting is uitgevoerd, de plaatsing van de apparatuur, het meetbereik en de meetnauwkeurigheid;
8. Luchtkanalen (meting volgens NEN-EN 1751 [38])
Hiervoor moeten de volgende gegevens vermeld worden:
 1. Kanaalgegevens;
 2. Van het proefstuk moeten worden vermeld: de totale kanaalwandoppervlakte, de leverancier van de kanalen, de drukklasse, de ontwerpdruk, de fabricagemethode, het toegepaste type verbindingen, afdichtingen en ophanging. Het te beproeven deel van het kanalensysteem moet op de plattegrond worden aangegeven onder vermelding van: de verdieping, de totale kanaalwandoppervlakte, de totale lengte van de verbindingen, de leverancier en installateur van de kanalen, de drukklasse, het toegepaste typeverbindingen, afdichtingen en ophanging;
 3. Aangegeven moet worden of tijdens de lektest vervorming van het kanaalwerk is opgetreden.
9. Appendages (meting volgens NEN-EN 1751 [38])
Hiervoor moeten de volgende gegevens vermeld worden:
 1. Van het proefstuk moeten worden vermeld: de totale kanaalwandoppervlakte, de leverancier van de appendages, de drukklasse, de ontwerpdruk, de fabricagemethode, het toegepaste type verbindingen, afdichtingen en eventuele ophanging;
 2. Naam van leveranciers van de appendages.
10. Meetresultaten
Van het te beproeven deel van het kanalensysteem cq de appendages moet worden vastgelegd: de hoeveelheid leklucht (gecorrigeerd voor temperatuur en atmosferische druk) en de bijbehorende toetsingsdruk. Daarbij wordt aangegeven wat het maximale lekverlies mag bedragen.

13.7 Oplevering

Voordat de installatie wordt opgeleverd moet aan de hand van een aantal controles worden nagegaan of de installatie naar behoren werkt en is uitgevoerd conform de in het bestek omschreven ontwerpspecificaties. Volgens een zogenaamd opleveringsprotocol worden, voorafgaand aan de eigenlijke oplevering, zowel kwalitatieve als kwantitatieve controles uitgevoerd die per gebouwdeel van verdieping worden vastgelegd in onder meer:

1. Meetrapporten;
2. Opnamerapporten;
3. Stookrapport van de ketel;
4. Inbedrijfstellingsrapporten;
5. Rapport met ingestelde waarden (meetboek).

Ten aanzien van de luchtkanalen bestaat de controle uit een visuele inspectie, het inregelen van de juiste luchthoeveelheden en het vastleggen daarvan in een meetboek met strangschema's waarop aangegeven de ontwerp- en de gemeten waarden, inclusief de procentuele afwijking. Bij centrale meetpunten worden de luchthoeveelheden op stickers aangegeven.

Bij woningen kan de oplevering geschieden volgens bijvoorbeeld BRL 8010 [48] of BRL 6000-10 [47].

13.8 Gebruikershandleiding

Geef de gebruikers bij oplevering een gebruikershandleiding.

De gebruikershandleiding moet minimaal de volgende zaken bevatten:

1. Beschrijving van de werking;
2. Bedieningsvoorschriften;
3. Onderhoudsvoorschriften;
4. Wat te doen bij storing;
5. Gegevens van de leverancier en installateur.

14 Identificatie

(SB V.3-1)

14.1 Algemeen

Door de toenemende complexiteit van ventilatie- en luchtbehandelingssystemen en de zorg voor kwaliteit wordt identificatie van luchtkanalen steeds belangrijker. Aan de hand van identificatie is het mogelijk de kwaliteit van het kanaalwerk te beoordelen en kunnen het inregelen, de bedrijfsvoering en het onderhoud op meer doelmatige en efficiënte wijze plaatsvinden. Het doel van deze aanbevelingen is, te komen tot een gestandaardiseerd identificatiesysteem voor luchtkanalen in utiliteitsgebouwen ten behoeve van ontwerpers, opdrachtgevers en gebruikers.

14.2 Luchtdichtheidsklasse

Luchtkanalen worden voor een bepaald doel toegepast, waarvoor een zekere luchtdichtheid is vereist, die wordt aangeduid met de klassen A t/m D. De bij de bestelling opgegeven luchtdichtheid, die voor het gehele kanalensysteem hetzelfde is, moet in de fabriek bij aflevering onuitwisbaar op de kanalen worden aangebracht.

14.3 Plaats

Om effectief te zijn dient de identificatie d.m.v. stickers of plaatjes, nadat de kanalen zijn gemonteerd, daar te worden aangebracht waar deze duidelijk kan worden gezien op plaatsen waar aanduidingen nodig zijn. Daarbij moet men er zorg voor dragen dat de aanduidingen:

1. Zo worden geplaatst dat deze bij normale toegang tot de complete installatie zichtbaar zijn;
2. Niet achter andere kanalen of installaties worden aangebracht;
3. Daar worden aangebracht waar voldoende dag- of kunstlicht aanwezig is.

Aanduidingen zijn vooral nodig in technische ruimten, minimaal ter plaatse van toegangs- en onderhoudspunten, en moeten in voldoende aantal worden aangebracht zonder dat men steeds de kanalenloop hoeft te volgen.

14.4 Kleurcodes

Bij de keuze van de kleuren moet men er rekening mee houden dat het contrast tussen de aanduiding en het luchtkanaal voldoende groot is om de kleur, zelfs onder het stof, nog goed te herkennen. Op grond hiervan worden de (signaal) kleuren volgens tabel 14.1 aanbevolen.

Tabel 14.1 Aanbevolen kleurcodes voor luchtkanalen

Omschrijving	Kleur	RAL-code
Buitenlucht	groen	6032
Retourlucht	geel	1003
Verwarmde lucht	rood	3001
Gekoelde lucht	blauw	5005
Geconditioneerde lucht	rood en blauw	3001/5005
Afvoerlucht	grijs	7004
Verbrandingslucht	zilver	9006
Rookgasafvoer	zwart	9004

Geconditioneerde lucht mag worden aangegeven door middel van:

1. Twee verschillend gekleurde aanduidingen ('rood en blauw');
2. Een enkele aanduiding, waarvan een deel rood en het andere deel blauw is.

De aanduidingen door middel van een sticker of een plaatje worden bij ongeïsoleerde kanalen op de kanalen zelf en bij uitwendig geïsoleerde kanalen op de afwerklaag aangebracht, overeenkomstig de aanbevolen kleuren volgens tabel 14.1.

14.5 Stromingsrichting

Voor het aangeven van de stromingsrichting wordt een sticker of een plaatje in de vorm van een gelijkzijdige driehoek aanbevolen, waarvan een punt in de stromingsrichting wijst, overeenkomstig de aanbevolen kleuren volgens tabel 14.1. De lengte van de zijde bedraagt 150 mm. Kleine kanaaldiameters worden van twee achter elkaar aangebrachte aanduidingen voorzien indien deze niet in hun geheel zichtbaar zijn.

14.6 Overige aanduidingen

Bij kleine en eenvoudige installaties kan uitsluitend met kleuraanduidingen worden volstaan. Grote installaties met een aantal luchtbehandelingsapparaten, zones en een wijd vertakt kanalensysteem daarentegen vragen om een verdere aanduiding. Deze kan bestaan uit het nummer van de luchtbehandelingskast of verdieping, of benoeming van de ruimte die wordt geconditioneerd.

De letters en cijfers moeten voor voldoende contrast zwart of wit zijn. Deze moeten op of nabij de kleuraanduiding worden aangebracht. De gebruikte symbolen moeten goed leesbaar zijn met een minimale hoogte van 25 mm.

Het verdient aanbeveling in de technische ruimte een kaart op te hangen, waarop de gebruikte letter-, cijfer- en kleurcodes worden verklaard.

14.7 Bevestiging

Het is van belang dat de aanduidingen blijvend worden bevestigd. Hiervoor komen in aanmerking:

1. Zelfklevende stickers;
2. Kunststof of metalen plaatjes.

Het oppervlak moet daartoe schoon en vetvrij worden gemaakt.

15 Beheer en onderhoud

(SB V.3-2)

15.1 Algemeen

Een kanalensysteem wordt ontworpen om op mechanische wijze te voorzien in voldoende verse en geconditioneerde lucht om een comfortabel binnenklimaat te onderhouden. Daartoe moet worden gecontroleerd of aan de ontwerpspecificaties ten aanzien van volumestroom en temperatuur is voldaan. Dit vindt plaats bij de oplevering van de installaties.

Ook tijdens de gebruiksfase moet er op worden toegezien dat de installaties blijvend aan hun doel beantwoorden. Daarvoor is een goed beheer en onderhoud noodzakelijk, waarbij een rol spelen:

1. Het onderhoud van de installaties, uitgevoerd als:
 1. Preventief onderhoud, met als doel het op economische wijze zoveel mogelijk voorkomen van defecten, storingen, alsmede het vertragen van verslechtering in de toestand voor zover deze voorspelbaar zijn;
 2. Correctief onderhoud, waarbij na het optreden van storingen of defecten deze door het uitvoeren van reparaties worden opgeheven;
 3. Modificatief onderhoud, waarbij door wijzigingen, verbeteringen en vereenvoudigingen de onderhoudskosten worden verlaagd tegen relatief lage investeringskosten.
2. Monitoring van het energiegebruik om afwijkingen van het normale energiegebruik te constateren;
3. Het aanpassen aan gewijzigde omstandigheden, zoals:
 1. Toegenomen personenbezetting;
 2. Toegenomen interne warmtebelasting van apparatuur;
 3. Gewijzigd gebruik van de installaties.

Om op bovenstaande aspecten te kunnen inspelen moet men al tijdens het ontwerp de nodige voorzieningen treffen.

15.2 Meetpunten en meetmethoden

Een ventilatiesysteem moet worden voorzien van meetpunten om controle op de juiste volumestroom en temperatuur mogelijk te maken. Deze meetpunten, die voor het inregelen en de oplevering noodzakelijk zijn, moeten daar worden aangebracht waar een ongestoorde, volledig ontwikkelde stroming aanwezig is opdat reproduceerbare metingen mogelijk zijn. De meetpunten moeten duidelijk worden aangegeven en te allen tijde toegankelijk zijn voor controlewerkzaamheden. Deze controle beperkt zich in principe tot essentiële punten, zoals de hoofdkanalen en de aftakkingen naar de verdiepingen enmoet dient regelmatig (bij voorkeur eens in de drie jaar) worden uitgevoerd. Voor de meetpunten en meetmethoden voor klimaatinstallaties wordt verwezen naar ISSO-publicatie 31 [40].

De volumestroom kan worden bepaald door:

1. Meting van drukverlies over apparatuur
Indien het drukverlies over een verwarmingsbatterij, een kleppensectie of een ander apparaat, waarvan het verband tussen het drukverlies en de volumestroom bekend is, wordt gebruikt om de volumestroom te controleren moet de toelaatbare minimum en maximum waarde worden aangegeven. Deze meting heeft door de beperkte nauwkeurigheid slechts een indicatieve waarde;
2. Meting van drukverlies met volumestroommeter
Toepassing van een volumestroommeter geeft een nauwkeuriger resultaat, mits deze exact volgens de aanwijzingen van de leverancier is aangebracht. Als volumestroommeters komen hulpsluitingen met een meetlens, venturi of inregelsectie in aanmerking, die van drukmeetpunten zijn voorzien. Aan de hand van de bijgaande grafiek wordt de volumestroom afgelezen. De richting van de luchtstroom moet door een pijl zijn aangegeven;
3. Meting van luchtsnelheid met pitot-buis
De volumestroom kan nauwkeurig worden bepaald uit de meting van de luchtsnelheid door middel van een pitotbuis. Daarbij boort men een aantal gaten in de kanaalwand die na de meting worden afgedopt.

De temperatuur kan eenvoudig elektronisch worden gemeten via een geboord gat dat na de meting wordt afgedopt.

Duidelijk moet worden aangegeven onder welke condities is gemeten ten aanzien van de luchtbehandelingsinstallatie (percentage buitenlucht of retourlucht, instellingen van variabel debietsysteem, filterweerstand).

15.3 Inregelen

Het is van belang dat de juiste luchthoeveelheden aan de desbetreffende ruimten worden toe- en afgevoerd. Dit is noodzakelijk om er zeker van te zijn dat de gespecificeerde condities kunnen worden gehandhaafd (zie ISSO-publicatie 52 [54]).

Door beperkingen in de berekeningsmethode, door afwijkingen ten opzichte van het ontwerp en door onvolkomenheden in de installatie moeten kanalensystemen altijd worden ingeregeld. Daarvoor bestaan verschillende methoden die in ISSO-publicatie 52 [54] uitvoerig worden behandeld.

De inregeling vindt vóór de oplevering plaats en wordt meestal door gespecialiseerde bedrijven uitgevoerd. De resultaten worden in een meetboek vastgelegd. Het meetboek geeft de situatie ten tijde van de oplevering weer. Het kan door gewijzigde omstandigheden in de gebruiksfase noodzakelijk zijn de installatie geheel of gedeeltelijk opnieuw in te regelen.

Inregelen kan op verschillende manieren:

1. Via de zgn. voorinstelmethode;
2. De propotionele methode.

Op beide methoden wordt onderstaand aan de hand van een woninginstallatiekort ingegaan.

Voorinstelmethode

Bij gebruik van de voorinstelmethode moeten de regelkleppen op de berekende stand gezet worden.

Proportionele methode

Bij de proportionele inregelprocedure worden eerst -per kanaalentak- de toevoer- en afvoerventиlen ingeregeld. De tak met de grootste overcapaciteit komt als eerste aan de beurt. Daarna de tak met de op één na grootste overcapaciteit, etcetera. Per tak hebben ventиlen dan in gelijke mate een overschat of tekort aan capaciteit.

Als alle roosters zijn ingeregeld, wordt de luchtverdeling tussen de takken ingesteld.

Hierna volgt eerst de inregelprocedure voor afvoerventиlen daarna de procedure voor toevoerventиlen.

Afvoerventиlen

Hieronder is een vereenvoudigde procedure omschreven voor het geval dat er slechts één kanaalentak is waarop de afvoerventиlen in de keuken, het toilet en de badkamer zijn aangesloten.

Uitgangspositie

Open de afvoerventиlen in de kanalen volledig:

1. Schakel de ventilatie-unit in hoogstand en sluit de ramen en de binnen- en buitendeuren;
2. Meet de volumestroom van elk afvoerventiel;
3. Tel de volumestroom van de afvoerventиlen bij elkaar op; de totale gemeten volumestroom moet tenminste gelijk zijn aan de totale ontwerpervolumestroom. Indien de totale gemeten volumestroom kleiner is, dan moet het volgende worden gecontroleerd:
 1. Draait de ventilator op maximale capaciteit; controleer de regelknop en de elektrische spanning op de ventilator;
 2. Zijn de flexibele kanalen of geluiddempende slangen strak gemonteerd;
 3. Zijn er andere weerstanden in de kanalen.
4. Na herstel van geconstateerde gebreken moet de inregelprocedure vanaf punt 1 worden herhaald.

Inregelen ventиlen

5. Bepaal voor elk afvoerventiel de verhouding B; B is de gemeten volumestroom per ventiel, gedeeld door de ontwerpervolumestroom van dat ventiel; bepaal de kleinste waarde van B;
6. Stel het ventiel met grootste kanaallengte (referentieventiel/ventiel 1) in op een volumestroom van de kleinste waarde van B, vermenigvuldigd met de ontwerpervolumestroom ventiel;
7. Stel het ventiel met op één na de grootste kanaallengte (ventiel 2) in op een volumestroom van de kleinste waarde van B, vermenigvuldigd met de ontwerpervolumestroom van dat ventiel;
8. Meet opnieuw de volumestroom van het referentieventiel en bepaal de nieuwe verhouding B;
9. Stel ventiel 3 in op een volumestroom van de nieuwe waarde van B, vermenigvuldigd met de ontwerpervolumestroom van ventiel 3;
10. Herhaal voor alle overige ventиlen de stappen 8 en 9.

Toevoerventиlen

In het geval van gebalanceerde ventilatie moet ook het toevoersysteem worden ingeregeld.

Uitgangspositie

1. Open de toevoerventиlen en eventuele inregelkleppen in de kanalen volledig;
2. Schakel de ventilatie-unit in hoogstand en sluit de ramen en de binnen- en buitendeuren;
3. Meet de volumestroom van elk toevoerventiel;
4. Tel per kanaalentak de gemeten volumestroom van de toevoerventиlen bij elkaar op;
5. Tel de volumestroom van alle takken bij elkaar op. Deze som moet tenminste gelijk zijn aan de totale ontwerpervolumestroom. Indien de totale gemeten volumestroom kleiner is, dan moet het volgende worden gecontroleerd:
 1. Draait de ventilator op maximale volumestroom; controleer de regelknop en de elektrische spanning op de ventilator;
 2. Zijn er te veel flexibele kanalen of geluiddempende slangen niet strak gemonteerd;
 3. Zijn er andere weerstanden in de kanalen.

Na herstel van geconstateerde gebreken moet de inregelprocedure vanaf punt 1 worden herhaald.

Inregelen ventиlen per tak

6. Bepaal per kanaalentak de verhouding A; A is de totale gemeten volumestroom per tak, gedeeld door de volumestroom per tak volgens het ontwerp;
7. Bepaal voor de tak met de hoogste waarde van A voor elk rooster de verhouding B; B is de gemeten volumestroom per ventiel, gedeeld door de ontwerpervolumestroom van dat ventiel; bepaal de kleinste waarde van B;
8. Stel het ventiel met grootste kanaallengte (referentieventiel/ventiel1) in op een volumestroom van de kleinste waarde van B, vermenigvuldigd met de ontwerpervolumestroom van dat ventiel;
9. Stel het ventiel met op één na de grootste kanaallengte (ventiel 2) in op een volumestroom van de kleinste waarde van B, vermenigvuldigd met de ontwerpervolumestroom van dat ventiel;
10. Meet opnieuw de volumestroom van het referentieventiel en bepaal de nieuwe verhouding B;
11. Stel ventiel 3 in op een volumestroom van de nieuwe waarde van B, vermenigvuldigd met de ontwerpervolumestroom van ventiel 3;
12. Herhaal voor alle ventиlen van de kanaaltak de stappen 10 en 11;
13. Herhaal de stappen 7 tot en met 12 voor de kanaaltak met de op één na hoogste waarde van A en vervolgens voor alle andere takken.

Inregelen van de takken

14. Meet, nadat alle ventиlen zijn ingeregeld, de volumestroom van elk ventiel en tel alle volumestromen op;
15. Bepaal de verhouding C; C is de totaal op alle ventиlen gemeten volumestroom, gedeeld door de totale ontwerpervolumestroom;
16. Bepaal per tak de verhouding D; D is de optelsom van de gemeten volumestroom van de ventиlen op die tak;
17. Regel met de inregelklep in de tak met de hoogste waarde van D de volumestroom in op C, vermenigvuldigd met de ontwerpervolumestroom van die tak; in de praktijk kan dit eenvoudig door de volumestroom te meten op één van de ventиlen op die tak; de volumestroom van dit ventiel moet gelijk worden aan C, vermenigvuldigd de ontwerpervolumestroom van dit ventiel;
18. Herhaal stap 17 voor de tak met de één na hoogste waarde van D en vervolgens voor alle andere takken.

Meetinstrumenten

Volumestromen dienen, conform NEN 1087 [51], gemeten te worden met een volumestroommeter met nuldrukcompensatie. Deze meetinstrumenten compenseren zelf de weerstand en de verminderde volumestroom die zij zonder compensatie zouden veroorzaken.

15.4 Instructies

Voor een correct beheer van en onderhoud aan het kanalensysteem dienen duidelijke en gedetailleerde instructies te worden opgesteld, die voldoende inzicht geven in de werking van het ventilatiesysteem en toepasbaar zijn in het dagelijkse werk. Het verdient aanbeveling daarbij zoveel mogelijk gebruik te maken van makkelijk leesbare tabellen, diagrammen en afbeeldingen voor het weergeven van o.a. functies, debieten, temperaturen en plaatsen van onderdelen. Verder dienen plattegronden, waarop alle meet- en controlepunten zijn aangegeven, aanwezig te zijn. Voornoemde zaken kunnen worden geïntegreerd in een gebouwbeheersysteem.

Bij grote installaties deelt men de instructies bijvoorbeeld in de volgende hoofdgroepen in:

1. **Algemeen**
Het algemene gedeelte moet de nieuwe gebruiker(s) vertrouwd maken met de installatie. Dit bevat naast de inhoudsopgave een lijst met adressen en telefoonnummers van leveranciers en installateurs, algemene informatie en documentatie over de installatie en een lijst met aanbevelingen ten aanzien van de bedrijfsvoering en het onderhoud;
2. **Functiebeschrijving**
Dit deel omschrijft de werking van de installatie en geeft de plaats van de belangrijkste componenten aan. Van de verschillende regelorganen wordt de functie beschreven onder vermelding van de ingestelde waarden;
3. **Bedrijfsvoering**
De instructies aangaande de bedrijfsvoering hebben tot doel dat de installatie op de juiste wijze wordt gebruikt zonder verspilling van energie;
4. **Onderhoudsprocedures**
De onderhoudsprocedures zijn erop gericht te voorkomen dat de installatie door een storing of defect uitvalt;
5. **Onderhoudsschema**
Het onderhoudsschema geeft aan wat moet worden onderhouden, hoe vaak en hoe het onderhoud moet worden uitgevoerd;
6. **Terugkoppeling** Hierin wordt aangegeven hoe de ervaring die men met de installatie heeft opgebouwd wordt teruggekoppeld.

15.5 Filters

De toevoerlucht wordt om hygiënische redenen en uit het oogpunt van comfort gefilterd van stof en andere in de lucht zwevende deeltjes. Daartoe worden filters toegepast, waarvan de vangscapaciteit niet wordt beperkt door luchtlekkage van het filtermateriaal, en die bestand zijn tegen de hoogst voorkomende temperatuur. De vervuiling van het filter wordt vastgesteld door middel van een drukverschilmeting, waarvoor voorzieningen moeten worden opgenomen.

Gekozen kan worden tussen de kwaliteit F5 tot F9, waarbij F7 gebruikelijk is. Aangesloten kan worden op de binnenluchtkwaliteitsklasse IDA 1 tot 4 van de NEN-EN 13779 [30]. In tabel 15.1 wordt een uitgebreid overzicht gegeven van mogelijke filters en filtercombinaties. Deze tabel is overgenomen uit NEN-EN 13779 [30].

Tabel 15.1 Overzicht filters volgens NEN-EN 13779 [30].

Buitenluchtkwaliteit	Binnenluchtkwaliteit			
	IDA 1 (hoog)	IDA 2 (bovengemiddeld)	IDA 3 (gemiddeld)	IDA 4 (laag)
ODA 1 (schone lucht)	F9	F8	F7	F5
ODA 2 (verontreiniging met stof)	F7 + F9	F6 + F8	F5 + F7	G5 + F6
ODA 3 (verontreiniging met hoge concentraties stof of gassen)	F7 + GF + F9 ¹⁾	F7 + GF + F9*	F5 + F7	F5 + F6

1) GF = Gas filter (carbon filter) en/of chemische filter.

Om een gelijkmatige belasting en vervuiling van het filter te verkrijgen moet het filter zodanig gemonteerd worden dat het gelijkmatig aangestroomd wordt. Op die manier treedt een gelijkmatige opbouw van het drukverschil over de gehele filterwand op.

Hieronder volgen enkele aandachtspunten voor het ontwerp:

1. Bij plaatsing van filters achter een buitenluchtrooster moet het rooster ervoor zorgen dat geen directe regeninslag het filter kan treffen en dat er voldoende ruimte tussen filters en rooster is om een gelijkmatige aanstroming te hebben;
2. Indien het filter na een geluiddemper geplaatst wordt, moet de ruimte tussen demper en filter voldoende ruim zijn omdat tussen de coulissen van de demper hogere luchtsnelheden optreden;
3. Bij grotere installaties kan de ruimte vóór de filters tevens benut worden voor inspectie en voor het vervangen van de filters;
4. Filters moeten goed toegankelijk zijn voor onderhoud.

15.6 Inspectie en reiniging

Een luchtkanalensysteem moet zodanig worden ontworpen en aangebracht dat het kan worden gereinigd. Dit geldt met name voor ventilatiesystemen ten behoeve van vervuilingen waarbij aanzienlijke hoeveelheden stof en/of vocht in de ruimte vrijkomen. Voor kantoorgebouwen wordt aanbevolen de luchtkanalen periodiek op vervuiling te inspecteren (bij voorkeur eens in de 3 jaar) en na gebleken vervuiling te laten reinigen en te desinfecteren. Hierbij is aangenomen dat normaal technisch onderhoud plaatsvindt.

Ten behoeve van de inspectie en reiniging dienen voorzieningen te worden aangebracht in de vorm van goed toegankelijke inspectieluiken of makkelijk te verwijderen hulpstukken. Deze, reeds in het ontwerp van het kanalensysteem aangegeven voorzieningen, worden geprojecteerd op plaatsen waar de vervuiling zich snel ophoort, zoals in het buitenluchtaanzuigkanaal, in bochten met leidschoopen, bij plotselinge doorsnedeveranderingen en in apparatuur, zoals warmtewisselaars, ventilatoren, kleppen, dampers, filter, bevochtiging, warmteterugwinning. Voor de reiniging van kanalen moeten deze voorzien zijn van inspectieluiken. Inspectieluiken worden volgens NEN-EN 12792 geplaatst bij:

1. Diameterverandering van het kanaal;
2. Bij bochten met een hoek groter dan 45 graden;
3. Bij bochten met airturns;
4. Bij brandkleppen en;
5. Bij lengten groter dan 7,5 meter (tenzij anders overeengekomen).

De minimale afmetingen daarvan zijn voor ronde en rechthoekige kanalen aangegeven in NEN-EN 12097 [59] en in tabel 15.2 samengevat.

Tabel 15.2 Minimale afmetingen inspectieluik

Ronde kanalen		Rechthoekige kanalen	
Diameter kanaal (D) [mm]	Afmetingen opening [mm]	Hoogte kanaal (a) [mm]	Hoogte kanaal (a) [mm]
100 ≤ D < 200	180 x 180	a ≤ 200	300 x 100
200 < D ≤ 315	200 x 100	200 < D ≤ 500	400 x 200
315 < D ≤ 500	300 x 200	500 < a	500 x 400
500 < D	400 x 300		

Zowel in de toevoer- als afvoerkanalen moeten inspectievoorzieningen worden aangebracht.

Om te voorkomen dat de vervuiling zich op de kanaalwand vastzet moeten de kanalen inwendig glad, vetvrij en zonder obstakels zijn afgewerkt, waarbij uiteraard het kanaalwerk zorgvuldig is gemonteerd. Het verdient daarom aanbeveling verbindingen en aftakkingen stromend uit te voeren, zodat de lucht in de stromingsrichting niet tegen kanaalranden botst. Het gebruik van schroeven om kanalen en hulpstukken aan elkaar te bevestigen wordt om deze reden en in verband met de toepassing van reinigingsapparatuur afgeraden.

De reiniging van luchtkanalen, die een onderdeel vormen van de klimaatinstallatie, kunnen het beste door een daarin gespecialiseerd bedrijf worden uitgevoerd. Deze bedrijven maken gebruik van lucht onder hoge druk, roterende borstels en op afstand bestuurde veeg- en zuigmachines die door de kanalen kunnen worden gestuurd.

Bij de hogedrukreiniging maakt men de kanalen stap voor stap schoon in de richting van de luchtstroming. De kanalen zijn nabij bochten via geprojecteerde inspectieluiken toegankelijk of worden daartoe toegankelijk gemaakt door met een plaatsschaar openingen aan te brengen. Via een lijn die naar het volgende gat wordt geschoten, trekt men de luchtslang door het kanaal. Na de reiniging worden de gaten luchtdicht afgesloten. Tijdens de reinigingswerkzaamheden mag zich geen personeel in de ruimten bevinden waarop de kanalen uitkomen, zonder de voorgeschreven persoonlijke beschermingsmiddelen.

16 MKK-structuur

Een ISSO-publicatie heeft, wanneer mogelijk, een praktische insteek. Dit betekent dat de gebruiker snel en adequaat toegang moet kunnen krijgen tot de relevante informatie en dat die informatie wordt aangeboden in de volgorde die in de praktijk gewenst is. Een belangrijk aspect hierbij is het selecteren van (de combinatie van) de juiste componenten.

Voor het structureren van de informatie is gebruik gemaakt van het Model Kwaliteitsbeheersing Klimaatinstallaties, de zogenaamde MKK-structuur. Het doel van het MKK is het bewerkstelligen van een kwalitatief goede installatie. Dat doel wordt nagestreven door een project op te delen in een vijftal fasen en per fase een vast aantal deelaspecten te behandelen. Het MKK is daardoor een instrument voor het beheersen van het voortbrengingsproces van installaties binnen het bouwproces. Het toepassen hiervan betekent dat er zicht komt op de informatiestroom: zowel wanneer welke informatie nodig is, als welke partij die informatie genereert danwel ontvangt.

De betrokken partijen waarvoor de publicatie informatie beoogt te geven zijn:

1. De opdrachtgever: de opdrachtgever kan op basis van de geboden informatie een goed onderbouwde beslissing nemen over de principekeuze van een installatietype;
2. De adviseur/constructeur/ontwerper: dit kan een constructeur of installatieadviseur/ontwerpend installateur of zijn. Voor hen is deze publicatie een handleiding voor het ontwerpen van de installaties;
3. De installateur/bouwer: dit betreft degene die de installatie aanlegt en in gebruik stelt;
4. De gebruiker: behalve dat de gebruiker als opdrachtgever invloed kan hebben op het programma van eisen wordt, indien van toepassing, ook het beheersaspect van een installatie(-deel) behandeld.

Een groot voordeel van de zaken omschrijven volgens het MKK is dat de juiste informatie op het juiste moment beschikbaar is. Voorwaarde is dat de lezer de moeite neemt om de opzet en de structuur te doorgroonden.

Het MKK is geënt op het zogenaamde 'Kader-MKS'. MKS staat voor Model KwaliteitsSysteem. Het 'Kader-MKS' is de aanduiding van het algemene basismodel, waarop diverse brancheorganisaties in de bouw hun branchemodellen voor kwaliteitszorg hebben gebaseerd. Voorbeelden van die branchemodellen zijn het Model Kwaliteitssysteem Bouw (MKS Bouw), het Model Kwaliteitssysteem voor Architectbureaus (MKA) en het ONRI Kwaliteitssysteem (OKS). Lidbedrijven van die brancheorganisaties kunnen de branchemodellen gebruiken als onderlegger bij de ontwikkeling van hun eigen, bedrijfsgerichte kwaliteitssystemen.

16.1 Opzet MKK

In deze paragraaf wordt de opzet van de MKK-structuur toegelicht. Besproken wordt in welke fasen het bouwproces is opgedeeld, welke kwaliteitsbeheeraspecten een rol spelen en hoe dit schematisch wordt weergegeven in de MKK-matrix.

16.1.1 Fases

In de MKK-structuur wordt het realisatieproces verdeeld in 5 fasen:

I Programmafase

In de programmafase (initiatieffase) worden de eisen, wensen en verwachtingen ten aanzien van het gebouw/systeem geïnventariseerd, en eventuele beperkende randvoorwaarden geformuleerd. De consequenties voor verschillende systemen worden op hoofdpunten zichtbaar gemaakt. Aan het eind van de programmafase is er voldoende informatie om een (voorlopig) ontwerp te kunnen maken.

II Ontwerpfas

In de ontwerpfas worden vanuit de voorlopige systeemkeuze de voorzieningen voor het systeem/de installatie door de adviseur/constructeur uitgewerkt. Er vindt terugkoppeling met de uitgangspunten uit de programmafase plaats. Op grond van die terugkoppeling kunnen uitgangspunten wijzigen. Aan het eind van de ontwerpfas wordt een definitief systeem gekozen.

III Uitwerkingsfas

In de uitwerkingsfas wordt de installatie tot in detail uitgewerkt.

IV Realisatiefas

In deze fas wordt de complete installatie aangelegd en opgeleverd.

V Beheerfas

In de beheerfas (beheer en onderhoud) wordt de installatie in gebruik genomen. Onderhoudsvoorschriften, instructies en/of handleidingen voor gebruikers zijn aspecten die in de beheerfas van belang zijn.

16.1.2 Kwaliteitbeheeraspecten

In elke fasen spelen 10 kwaliteitsbeheeraspecten een rol.

0 Algemeen

Hierin wordt de doelstelling van de betreffende bouwfase omschreven. Daarnaast worden de uitgangspunten, aandachtspunten en (interne) randvoorwaarden nader uitgewerkt.

1 Organisatie

De taken en verantwoordelijkheden worden omschreven.

2 Communicatie

Bijzondere uitgangspunten en voorwaarden voor een efficiënte informatie-uitwisseling tussen de betrokkenen worden hier vastgelegd.

3 Eisen

De eisen, voorwaarden en voorschriften worden vastgelegd. Bij het weergeven van de eisen is een onderscheid gemaakt tussen de wettelijke eisen, kwaliteitseisen en aanvullende kwaliteitseisen:

1. Wettelijke eisen: eisen volgend uit bijvoorbeeld het Bouwbesluit, ARBO en andere wettelijke voorschriften waaraan een installatieontwerp minimaal moet voldoen;
2. Kwaliteitseisen: eisen waaraan de installatie moet voldoen om in de praktijk goed te kunnen functioneren. Hoewel deze eisen geen wettelijke basis hebben valt het voldoen aan deze eisen onder de kwalificatie 'goed vakmanschap';
3. Aanvullende kwaliteitseisen: de aanwijzingen uit deze ISSO-publicatie dienen te worden beschouwd als aanvulling op de eisen van fabrikanten en leveranciers. Eisen, instructies, verwerkingsvoorschriften e.d. van fabrikanten en leveranciers moeten te allen tijde worden opgevolgd.

4 Middelen

Berekeningsmethoden, uitvoeringsprotocollen, meetinstrumenten en dergelijke, doorgaans gekoppeld aan één of meerdere eisen.

5 Inkoop

Hierin wordt bijvoorbeeld het inschakelen van externe expertise geregeld, worden inkoopspecificaties gegeven en wordt aangegeven waarop wordt gecontroleerd bij levering.

6 Tijd

Zowel de objectplanning als de procesplanning wordt hierin bewaakt.

7 Financiën

Zowel de objectkosten (investeringskosten, exploitatiekosten), de projectkosten (materiaal, arbeid, e.d.) als de proceskosten (advieskosten e.d.) worden hier bewaakt.

8 Documentatie

Hierin wordt bepaald wat van de betreffende procesfase moet worden vastgelegd. Deze documenten dienen vaak als input voor de volgende fase. Hieronder vallen o.a. het specificatieblad waarop de opdrachtgever kan specificeren waaraan het ontwerp moet voldoen.

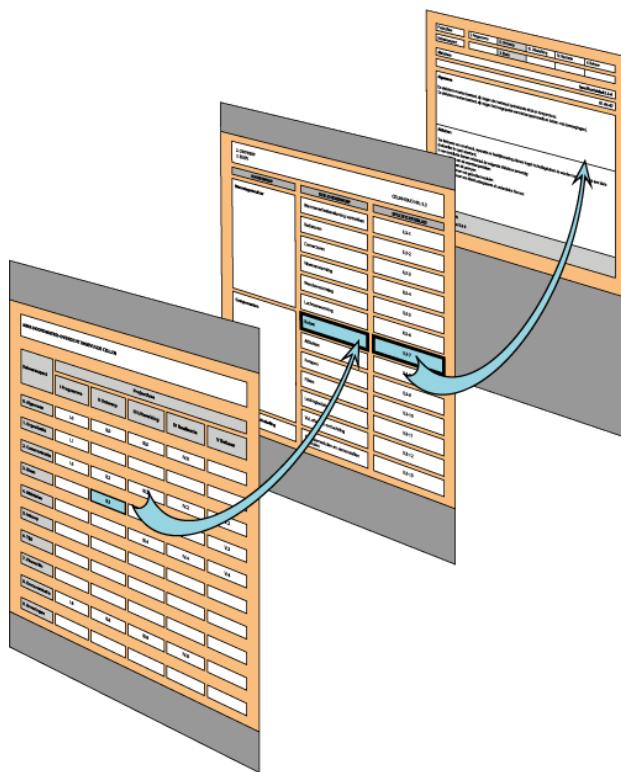
9 Ervaringen

Men evalueert het voortbrengingsproces van de installatie aan het eind van de betreffende fase in het bouwproces. Dit kan bijvoorbeeld leiden tot ontwerpaanbevelingen die in een volgend project als eisen worden meegenomen.

Aangezien ISSO-publicaties zijn gericht op installaties dekken de ingevulde cellen binnen deze publicatie niet het gehele bouwproces. Er wordt voornamelijk aandacht besteed aan de aspecten 'Algemeen', 'Communicatie', 'Eisen', 'Middelen' en 'Documentatie'.

16.1.3 Matrix

De verschillende fasen en beheersaspecten worden in de zogenaamde MKK-matrix gepresenteerd. Vanuit de cellen van de MKK-matrix wordt verwezen naar een hulpmatrix, waarin is aangegeven welke onderwerpen en deelonderwerpen worden behandeld. Via de cellen van de hulpmatrix wordt doorverwezen naar specificatiebladen waarin de deelonderwerpen zijn uitgewerkt. Dit concept is uitgewerkt in afbeelding 16.1.



Afb. 16.1 Opzet MKK

In principe verloopt het ontwerpen van een installatie volgens een itererend en optimaliserend proces, waarbij steeds een terugkoppeling naar uitgangspunten (initiatieffase) en eisen wordt gemaakt.

De ideale situatie ontstaat wanneer iedere partij binnen het bouwproces zijn 'eigen' MKK-matrix vult. Zo kunt u bijvoorbeeld uw ervaringen binnen het voortbrengingsproces als specificatiebladen opnemen en deze ervaringen gebruiken om bij een volgend project te leren van de gemaakte fouten. Wanneer deze matrices worden samengevoegd ontstaat er één bedrijfseigen hoofdmatrix waarin het hele proces is weergegeven.

16.2 Overzicht ingevulde cellen

Niet alle cellen in de MKK-matrix zijn in deze publicatie behandeld. Het onderstaande overzicht geeft weer welke cellen van de MKK-matrix in deze publicatie ingevuld zijn.

Beheeraspect	Projectfase				
	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Realisatie	V Beheer
0 Algemeen	I.0	II.0	III.0	IV.0	V.0
1 Organisatie					
2 Communicatie	I.2	II.2	III.2	IV.2	V.2
3 Eisen	I.3	II.3	III.3	IV.3	IV.3
4 Middelen	I.4	II.4	III.4	IV.4	V.4
5 Inkoop					
6 Tijd					
7 Financiën					
8 Documentatie	I.8	II.8	III.8	IV.8	
9 Ervaringen					

16.3 Celinhoud en specificatiebladen

Onderstaand een overzicht van de celinhoud van de specificatiebladen.

I Programmafase 0 Algemeen		I.0
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Programma van eisen		I.0-1
Randvoorwaarden		I.0-2
I Programmafase 2 Communicatie		I.2
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Uitwisseling informatie		I.2-1
I Programmafase 3 Eisen		I.3
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Ontwerpcriteria	Lekdichtheidsklasse	I.3-1
	Geluid	I.3-2
	Energie	I.3-3
	Brandveiligheid	I.3-4
	Dampdichte isolatie	I.3-5
	Thermische isolatie	I.3-6
I Programmafase 4 Middelen		I.4
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Overzicht middelen programmafase		I.4-1
I Programmafase 8 Documentatie		I.8
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Rapportage		I.8-1
Vraagspecificatieblad kwaliteitseisen		I.8-2
Uitwisseling met architect/bouwer		I.8-3

II Ontwerp fase 0 Algemeen		II.0
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Algemeen		II.0-1
II Ontwerp fase 2 Communicatie		II.2
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Uitgangspunten		II.0-2
Uitwisselen informatie		II.2-1
II Ontwerp fase 3 Eisen		II.3
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Drukverliesberekening		II.3-1
Isolatie	Thermisch	II.3-2
	Akoestisch	II.3-3
	Dampdicht	II.3-4
Brandveiligheid		II.3-5
Reinigbaarheid		II.3-6
Kanalenontwerp		II.3-7
Doorvoeren		II.3-8
Ophanging en ondersteuning		II.3-9
Selectie componenten	Kanalen	II.3-10
II Ontwerp fase 4 Middelen		II.4
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Overzicht middelen ontwerp fase		II.4-1
II Ontwerp fase 8 Documentatie		II.8
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Rapportage		II.8-1
Vraagspecificatieblad kwaliteitsaspecten		II.8-2
III Uitwerkingsfase 0 Algemeen		III.0
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Algemeen		III.0-1
III Uitwerkingsfase 2 Communicatie		III.2
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Uitwisselen informatie		III.2-1
III Uitwerkingsfase 3 Eisen		III.3
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Selectie kanalen		III.3-1
Selectie appendages	Bochten	III.3-2
	Inregelvoorzieningen	III.3-4
	III.3-3	
III Uitwerkingsfase 4 Middelen		III.4
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Overzicht middelen uitwerkingsfase		III.4-1
III Uitwerkingsfase 8 Documentatie		III.8
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Rapportage		III.8-1
Vraagspecificatieblad kwaliteitsaspecten		III.8-2
IV Realisatiefase 0 Algemeen		IV.0
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Algemeen		IV.0-1

IV Realisatiefase		
2 Communicatie		IV.2
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Uitwisseling informatie		IV.2-1
IV Realisatiefase		
3 Eisen		IV.3
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Montage- en installatietechnische kwaliteitseisen		IV.3-1
IV Realisatiefase		
4 Middelen		IV.4
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Overzicht middelen realisatiefase		IV.4-1
IV Realisatiefase		
8 Documentatie		IV.8
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Rapportage		IV.8-1
V Beheerfase		
0 Algemeen		V.0
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Algemeen		V.0-1
V Beheerfase		
2 Communicatie		V.2
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Uitwisselen informatie		V.2-1
V Beheerfase		
3 Eisen		V.3
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Gebruik en onderhoud	Gebruik luchtafvoervoorzieningen Gebruik luchttoevoervoorzieningen Onderhoud luchtafvoervoorzieningen Onderhoud luchttoevoervoorzieningen	V.3-1 V.3-2 V.3-3 V.3-4
V Beheerfase		
4 Middelen		V.4
Onderwerp	Deelonderwerp	Specificatieblad
Overzicht middelen beheerfase		V.4-1

16.4 Opbouw specificatiebladen

De specificatiebladen bevatten een aantal onderdelen:

1. Kop;
2. Titelbalk;
3. Blokken;
4. Verwijzingen.

Kop

Bovenaan de pagina staat een kop die aangeeft in welke fase van de MKK-structuur het betreffende specificatieblad zich bevindt. Afbeelding 16.2 geeft een voorbeeld van een kop: in dit voorbeeld betreft het een specificatieblad uit de programmafase met een beschrijving van de doelstelling en uitgangspunten.

Projectfase	I. Programma	II. Ontwerp	III. Uitwerking	IV. Realisatie	V. Beheer
Beheeraspect		3. Eisen			

Afb. 16.2 Kop specificatiebladen

Titelbalk

De nummering van de specificatiebladen is aangepast aan de verschillende fasen uit de MKK-structuur. Het specificatiebladnummer is als volgt opgebouwd: het Romeinse cijfer geeft aan om welke projectfase het gaat. Het cijfer na de punt achter de projectfase geeft aan op welk beheeraspect dit specificatieblad betrekking heeft. Na de liggende streep komt het specificatiebladnummer dat voor ieder onderwerp in de gehele publicatie gelijk gehouden wordt.

Kortom: het specificatiebladnummer is opgebouwd uit: [projectfase].[beheeraspect]-[onderwerp].

Dit nummer is, net als de titel (onderwerp) en datum van het specificatieblad, terug te vinden in de titelbalk van de specificatiebladen. Afbeelding 16.3 geeft een voorbeeld van een titelbalk.

Convectoren	SPECIFICATIEBLAD: II.3-3
	01-09-2008

Afb. 16.3 Titelbalk specificatiebladen

Blokken

Na het titelblok volgen de inhoudelijke blokken. Binnen deze blokken worden de onderwerpen besproken die relevant zijn in die projectfase en het bijbehorende beheeraspect.

Verwijzingen

De verwijzingen in de gearceerde balk onderaan een specificatieblad geven aan in welke documenten (bv. specificatiebladen, regelgeving, normen) meer informatie over het onderwerp van dat specifieke specificatieblad bevatten.

VERWIJZINGEN
Regelgeving Bouwbesluit 2003.
Normen en richtlijnen NEN 1087 'Ventilatie van gebouwen. Bepalingsmethoden voor nieuwbouw' (2001). NPR 1088 'Ventilatie van woningen en woongebouwen. Aanwijzingen voor en voorbeelden van de uitvoering van ventilatievoorzieningen' (1999 met aanvulling 2000).
Specificatiebladen I.3-2 Thermisch comfort I.8-2 Vraagspecificatieblad kwaliteitsaspecten II.4-1 Luchtvolumestroom en regelbaarheid

Afb. 16.4 Verwijzingen specificatiebladen

Specificatiebladen in het beheeraspect 'Eisen' zullen naar specificatiebladen in het beheersaspect 'Middelen' verwijzen en omgekeerd, zodat direct duidelijk wordt welke maatregelen nodig zijn om aan de gestelde eisen te voldoen. De verzamelde gegevens in een fase worden gedefinieerd in specificatiebladen onder beheersaspect 'Rapportage'. Hierin is de informatie verzameld die als uitgangspunt voor een vervolgfase moet worden gehanteerd.

Literatuurlijst

- [1] Bouwbesluit 2003 en alle vigerende wijzigingen.
- [2] NPR-CR 1752 'Ventilatie van gebouwen – Ontwerpriteria voor de binnenomstandigheden', 1999, NEN, Delft.
- [3] NEN-EN 15251 'Binnenmilieu gerelateerde inputparameters voor ontwerp en beoordeling van energieprestatie van gebouwen voor de kwaliteit van binnenlucht, het thermische comfort, de verlichting en akoestiek', 2007.
- [4] Fanger P.O. Designing for good air quality in ventilated buildings, Klimaatbeheersing 21, 1992, nr. 3 (maart).
- [5] NEN 5060 'Hygro-thermische eigenschappen van gebouwen – Referentieklimaatgegevens', 2008.
- [6] ISSO-publicatie 32 'Uitgangspunten temperatuursimulatieberekeningen', 1994, ISSO, Rotterdam.
- [7] ISSO-publicatie 24 'Installatiegeluid, ontwerpaanbevelingen en grondslagen voor geluidstechnische berekeningen aan installaties', 1990, ISSO, Rotterdam.
- [8] ISSO-publicatie 27 'Luchtfilters in comfortinstallaties', 1991, ISSO, Rotterdam.
- [9] NEN-EN 779 (2003) Luchtfilters voor ventilatielidooeleinden – bepaling van de filterprestatie.
- [10] ISSO-publicatie 25 'Leidingisolatie – Berekening van de economisch optimale', 1991, ISSO, Rotterdam.
- [11] I.E. Idel Chik (1960) Handboek of hydraulic resistance, coefficients of local resistance and of friction.
- [12] D.S. miller (1990) Internal flow systems, BHRA Fluid Engineering, second edition.
- [13] ISSO-publicatie 17 – deel 1 (2010) Kwaliteitseisen voor luchtkanalen, thermische en akoestische isolatiesystemen.
- [14] H.B. Bouwman (1982) Optimum air duct system design, IMG-TNO.
- [15] Von K. Kauder (1974) Dissipation inkompressibler Medien in Rohrleitungen, HLH 25, nr. 7 Juli.
- [16] AMCA Standard 210-07 'Laboratory Methods of Testing Fans for Certified Aerodynamic Performance Rating', AMCA, 2007.
- [17] Tsal, R.J., Behls, H.F. Fallacy of the static regain duct design method, ASHRAE transactions 94 (2), 1988.
- [18] ASHRAE Handbook of fundamentals, 1989.
- [19] Bouwman H.B., De grootte van de 'static regain' in luchtkanalen met aftakkingen, Klimaatbeheersing 8, 1979, nr. 2 (januari).
- [20] Hugenholtz M., Theorie en praktijk van de berekening van luchtkanalen met de 'static regain' methode, Klimaatbeheersing 9, 1980, nr. 4 (april).
- [21] Luka Kwaliteitshandboek Luchtkanalen 2009.
- [22] NEN-EN 12237 (en) Ventilatie van gebouwen – Luchtleidingen – Sterkte en lekdichtheid van ronde dunwandige metalen kanalen, NEN, Delft.
- [23] NEN-EN 1507 (en) Ventilatie van gebouwen – Rechthoekige dunwandige metalen luchtkanalen – Eisen voor sterkte en lekkage, NEN, Delft.
- [24] NEN-EN 13180 (en) Ventilatie in gebouwen – Luchtkanalen – Afmetingen en mechanische eisen voor flexibele kanalen, NEN, Delft.
- [25] NEN-EN 1506 (en) Ventilatie van gebouwen – Ronde dunwandige metalen luchtkanalen van plaatmetaal en verbindingsstukken – Afmetingen, NEN, Delft.
- [26] Ontwerp NEN-EN 15780 Ventilatie van gebouwen – Luchtleidingen – Reinheid van ventilatiesystemen, 2008, NEN,Delft.
- [27] Steinbach W., Aufmass von Kanalsystemen Industrieverbandes Heizung-, Klimate- und Sanitärtechnik, Baden-Württemberg.
- [28] US, Department of Energy 'Economic thickness for industrial insulation', Fairmont Press inc., 1983.
- [29] DVS 2210-1 Industriehohleleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen – Projektierung und Ausführung – Oberirdische Rohrsysteme, 1997.
- [30] NEN-EN 13779 'Ventilatie voor utiliteitsgebouwen – Prestatie-eisen voor ventilatie- en luchtbehandelingssystemen', 2007, NEN, Delft.
- [31] NEN-EN 10146 Continu-dompelbeklede platte staalproducten – Technische leveringsvoorwaarden, 2009, NEN, Delft.
- [32] NEN-EN 10143 Plaat en band bekleed met een metaal door continu dompelen – Toleranties op afmetingen en vorm.
- [33] NEN-EN 10088-1 Roestvaste staalsoorten – Deel 1: Lijst van roestvaste staalsoorten.
- [34] NEN-EN 10088-2 Roestvaste staalsoorten – Deel 2: Technische leveringsvoorwaarden voor plaat en band van corrosievaste staalsoorten voor algemeen gebruik, NEN, Delft.
- [35] NEN-EN 485-1 Aluminium en aluminiumlegeringen – Plaat en band – Deel 1: Technische leveringsvoorwaarden, 2008 + aanvulling 2009, NEN, Delft.
- [36] NEN-EN 1505 Ventilatie van gebouwen – Rechthoekige dunwandige metalen luchtleidingen en verbindingsstukken – Afmetingen, NEN, Delft.
- [37] NEN 1010 Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties, NEN, Delft.
- [38] NEN-EN 1751 Ventilatie van gebouwen – Onderdelen van het luchtverdeelsysteem – Aerodynamische beproeving van dempers en afsluiters.
- [39] NEN-EN-ISO/IEC 17025 Algemene eisen voor de bekwaamheid van beproefings- en kalibratielaboratoria.
- [40] ISSO-publicatie 27 Luchtfilters in comfortinstallaties.
- [41] NEN 6065 'Bepaling van de bijdrage tot brandvoortplanting van bouwmateriaal(combinaties)', 1991 en aanvulling 1997, NEN, Delft.
- [42] ISSO-publicatie 64 Kwaliteitseisen isoleren, 2002, ISSO, Rotterdam.
- [43] NEN-EN 12792 Ventilatie van gebouwen – Symbolen, terminologie en grafische symbolen, 2003, NEN, Delft.
- [44] NEN-EN 1366-1: Beproeing van de brandwerendheid van installaties in gebouwen – Deel 1: Ventilatiekanalen, 1999, NEN, Delft.
- [45] NEN-EN 1366-2: Bepaling van de brandwerendheid van installaties – Deel 2: Brandkleppen, 1999, NEN, Delft.
- [46] ISO 10294-2: Beproeing van de brandwerendheid – Brandkleppen voor luchtverdeelsystemen – Deel 2: Classificatie, criteria en toepassingsgebied van beproeing, 1999, NEN, Delft.
- [47] BRL 6000-10 Ventilatievoorzieningen van woningen, 2006, ISSO, Rotterdam.
- [48] BRL 8010 Beoordelen van ventilatievoorzieningen in woningen, 2009, ISSO, Rotterdam.
- [49] NEN-EN 573 573 'Aluminium en aluminiumlegeringen – Chemische samenstelling en vorm van gekneden producten', deel 1-5, NEN, Delft.
- [50] BRL 6000-10 Ventilatievoorzieningen van woningen (2006), ISSO, Rotterdam.
- [51] NEN-EN 1366-3 Bepaling van de brandwerendheid van installaties – Deel 3: Afdichtingen voor doorvoeringen, 2009, NEN, Delft.
- [52] ISSO-publicatie 55.3 Legionella preventie in klimaatinstallaties, 2008, ISSO, Rotterdam.
- [53] DIN 52615, Ermittlung der Wasserdampfdurchlässigkeit, DIN, 1986.
- [54] ISSO-publicatie 52, Luchtzijdig inregelen van klimaatinstallaties, 2009, ISSO, Rotterdam.
- [55] ISSO/SBR-publicatie 809 Brandveilige doorvoeringen, 2007, ISSO, Rotterdam.
- [56] NEN 6066 Bepaling van de rookproduktie bij brand van bouwmateriaal(combinaties), 1991 en aanvulling 1997, NEN, Delft.

Colofon

De realisatie van deze publicatie (versie 2010) werd verzorgd door de ISSO-kontaktgroep:

De heer ir. K. Bedeke

Grontmij/ Technical Management

De heer E.N. 't Hooft

Grontmij/ Technical Management

De heer ir. G.K. Krijger

Bink Software B.V.

De heer W. Ladiges

OTIB

De heer A. van Luin

Bergschenhoek Luchtcomfort B.V.

De heer ir. W. Plokker

VABI Software B.V.

De heer F.A. Vos

Uneto-VNI

De heer ir. A.M. van Weele (Projectcoördinator)

ISSO

De realisatie van deze ISSO-uitgave is mede mogelijk gemaakt door een financiële bijdrage van:



OTIB

© Stichting ISSO - Rotterdam, maart 2022

Specificatiebladen

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	0 Algemeen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad I.0-1 Programma van eisen

Programma van eisen

In de Programmafase wordt in overleg met een opdrachtgever het kwaliteitsniveau van een installatie vastgesteld en in een vraagspecificatie vastgelegd. De vraagspecificatie dient als basisdocument voor het installatieontwerp en de keuze van toe te passen materialen en componenten.

Aan het ontwerp van een ventilatiesysteem moet een Programma van Eisen (PvE) ten grondslag te liggen dat voldoende bruikbare informatie bevat.

In het Programma van Eisen worden behoeften, eisen en wensen en verwachtingen van een opdrachtgever en de toekomstige gebruikers verwoord. Het dient als communicatiemiddel tussen opdrachtgever, toekomstige gebruikers en ontwerpende partijen, via een samenhangend geheel van activiteiten, gericht op het eenduidig en volledig verzamelen, bewerken, evalueren en overdragen van informatie op basis van uitgangspunten en voorwaarden.

Van belang is dat in de programmafase het PvE en de vraagspecificatie worden vastgesteld.

Verwijzingen

Normen en richtlijnen

SBR publicatie 258 'Programma van Eisen, instrument voor kwaliteitsbeheersing' (1993).

Specificatiebladen

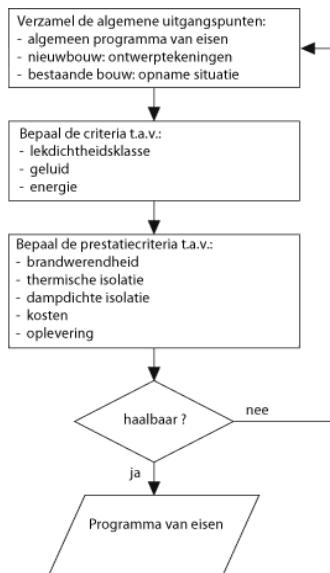
[I.8-1 Rapportage](#)

[I.8-2 Vraagspecificatieblad kwaliteitsaspecten](#)

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	0 Algemeen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad I.0-2 Randvoorwaarden

Stappenplan



Afb. I.1 Stappenplan programmafase

Normen en richtlijnen

De volgende regelgeving is van toepassing bij het realiseren van een luchtkanalensysteem:

1. Bouwbesluit;
2. NEN 1070 'Geluidswering in gebouwen. Specificatie en beoordeling van de kwaliteit' (1999 met aanvulling 2003);
3. NEN 7120 'Energieprestatie van gebouwen. Bepalingsmethoden' (2010).

Ontwerpfilosofie

Nadere randvoorwaarden kunnen voortkomen uit de ontwerpfilosofie en wensen van de opdrachtgever, zoals overeengekomen in de vraagspecificatiebladen. Hierbij kan gedacht worden aan extra aandacht voor bijvoorbeeld energiezuinigheid, duurzaam bouwen etc.. De interactie met andere (installatietechnische) voorzieningen in het gebouw hebben invloed op de beschikbare ruimte voor luchtkanalen. Ook het feit of luchtkanalen later nog toegankelijk zijn of niet heeft invloed op het ontwerp van het kanalensysteem.

Locatie, gebouwontwerp en bouwwijze

1. Het gebouwontwerp geeft mogelijkheden of beperkingen bij het ontwerpen van het luchtkanalensysteem in verband met bijvoorbeeld de opstellingsruimte, beschikbare ruimte ten behoeve van de leidingschacht, kanalenverloop, vorm van de kanalen etc.;
2. De bouwwijze is van invloed op geluidaspecten, brandveiligheid en energiezuinigheid.

Installaties

Het ontwerp van een luchtkanalensysteem hangt nauw samen met het ontwerp van het type installatie.

Kwaliteitsniveau

Naast boven genoemde aspecten worden nadere voorwaarden gesteld aan de kwaliteit van het luchtkanalensysteem. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in:

Wettelijke eisen

De eisen volgend uit het Bouwbesluit en andere wettelijke voorschriften zijn opgenomen als wettelijke eisen en dienen altijd te worden opgevolgd.

Kwaliteitseisen

Kwaliteitseisen dienen als aanvulling op de wettelijke eisen en garanderen de kwaliteit van het luchtkanalensysteem. Ook aan deze eisen moet altijd worden voldaan.

Aanvullende kwaliteitseisen

Aanvullende kwaliteitseisen hebben veelal betrekking op het te realiseren (hogere) comfortniveau of zijn gebaseerd op eisen vanuit:

1. Privaatrechtelijke garantie-instituten t.a.v. woninginstallaties.

Aanvullende kwaliteitseisen zijn facultatief en worden in overleg tussen opdrachtgever/gebruiker en opdrachtnemer vastgesteld. Het vraagspecificatieblad kwaliteitsaspecten (SB I.8-2) kan daarbij als hulpmiddel dienen.

Verwijzingen

Normen en richtlijnen

BRL 6000-10 'Nationale beoordelingsrichtlijn voor het KOMO-INSTAL procescertificaat voor 'Installeren van ventilatievoorzieningen van woningen', Stichting KBI, Rotterdam (2005).
IEA Annex 27, 'Evaluation and Demonstration of Domestic Ventilation Systems' (1998) hoofdstuk 6.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	2 Communicatie				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad I.2-1 Uitwisseling informatie

Informatiedragers

In de volgende informatiedragers liggen de uitgangspunten voor de programmafase vast:

1. Het gebouwontwerp (schematische tekening of voorlopig ontwerp);
2. Het (bouwkundig) Programma van Eisen;
3. Aanvullende randvoorwaarden.

Uitgangspunten

In de programmafase worden de eisen, wensen en verwachtingen met betrekking tot comfort en prestaties van het kanalenstelsel geïnventariseerd. Hiertoe is het noodzakelijk om de diverse parameters te kwantificeren, in de vorm van kentallen. Tevens is een aantal kwalitatieve aspecten van belang.

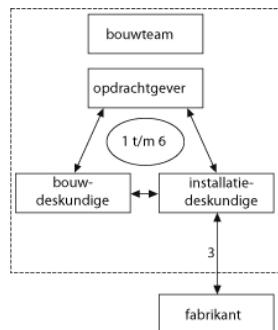
De volgende gegevens zijn benodigd.

Tabel I.1 Benodigde gegevens

Onderwerp	Informatiebron en hulpmiddelen
De locatie, situering en type gebouw	Ontwerptekeningen
Plattegronden en gevels van het gebouw	Ontwerptekeningen
Relevante doorsneden van het gebouw	Ontwerptekeningen
Positie van de opstellingsplaats(-en) voor de luchtbehandelingsunit	Ontwerptekeningen

Structuur overleg

In deze fase is overleg noodzakelijk tussen diverse disciplines. In het volgende schema zijn de informatiestromen aangegeven.



Afb. I.2 Communicatieschema

Toelichting bij afbeelding I.2:

1. Prestatiecriteria, overige criteria;
2. Budgettering;
3. Randvoorwaarden en productinformatie;
4. Situering aanzuig- en afvoerpunten in gebouwschil;
5. Situering opstellingsplaats(-en) luchtbehandelingsunit(s);
6. Architectonische consequenties van kanalenontwerp, opstellingsruimte en maximale luchtdoorlatendheid.

Verslaglegging en communicatie

De momenten waarop overleg tussen de genoemde partijen heeft plaatsgevonden en de daaruit volgende beslissingen ten aanzien van het programma van eisen dienen schriftelijk te worden vastgelegd in de rapportage (SB I.8-1) en het vraagspecificatieblad kwaliteit (SB I.8-2).

Verwijzingen

Specificatiebladen

[I.8-1 Rapportage](#)

[I.8-2 Vraagspecificatieblad kwaliteitseisen](#)

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad I.3-1 Lekdichtheid van kanalensysteem

Wettelijke eisen

Geen.

Kwaliteitseisen

Ga uit van minimaal luchtdichtheidsklasse B of van een beter klasse wanneer dit volgt uit tabel I.2.

Tabel I.2 Luchtdichtheidseisen voor luchtkanalen

Luchtdichtheidsklasse	Voorbeelden van toepassingsgebied
A	Niet toepassen
B	Onder- en overdrukkanalen voor: 1. Garages; 2. Fabriekshallen; 3. Gymnastieklokalen; 4. Sporthallen, enz.; 5. Kantoren; 6. Vergaderruimten; 7. Laboratoria; 8. Collegezalen; 9. Ziekenhuizen, algemene ruimten; 10. Woningen.
C	Onder- en overdrukkanalen voor: 1. Kantoren; 2. Vergaderruimten; 3. Laboratoria; 4. Collegezalen; 5. Ziekenhuizen, algemene ruimten; 6. Woningen; 7. Stoafarme ruimten; 8. Ziekenhuizen, bijzondere ruimten.
D	Onder- en overdrukkanalen voor: 1. Kerncentrales; 2. Laboratoria; 3. Stralingsruimten; 4. Cleanrooms.

Bepaal de toelaatbare lekfactor met behulp van de van toepassing zijnde tabel.

1. Tabel I.3 voor ronde en ovale metalen kanalen;
2. Tabel I.4 voor rechthoekige metalen kanalen;
3. Tabel I.5 voor flexibele ronde luchtkanalen.

Tabel I.3 Luchtdichtheidsklassen voor ronde en ovalen metalen luchtkanalen

Luchtdichtheidsklasse	Drukklasse	Toelaatbaar statisch drukverschil		Toelaatbare lekfactor f [m ³ /(s·m ² ·Pa ^{0,65})]
		Overdruk [Pa]	Onderdruk [Pa]	
A	1	500	500	0,027 · 10 ⁻³
B	2	1.000	750	0,009 · 10 ⁻³
C	3	2.000	750	0,003 · 10 ⁻³
D	3	2.000	750	0,001 · 10 ⁻³

Tabel I.4 Luchtdichtheidsklassen voor rechthoekige metalen luchtkanalen

Luchtdichtheidsklasse	Toelaatbaar statisch drukverschil			Onderdruk [Pa]	Toelaatbare lekfactor f [m ³ /(s·m ² ·Pa ^{0,65})]		
	Overdruk [Pa]						
	Drukklasse 1	Drukklasse 2	Drukklasse 3				
A	400			200	0,027 · 10 ⁻³		
B	400	1.000	2.000	500	0,009 · 10 ⁻³		
C	400	1.000	2.000	750	0,003 · 10 ⁻³		
D	400	1.000	2.000	750	0,001 · 10 ⁻³		

Tabel I.5 Luchtdichtheidsklassen voor flexibele ronde luchtkanalen

Luchtdichtheidsklasse	Toelaatbaar statisch drukverschil			Toelaatbare lekfactor f [m ³ /(s·m ² ·Pa ^{0,65})]	
	Overdruk [Pa]		Onderdruk [Pa]		
	Drukklasse 1	Drukklasse 2			
A		400		400	
B	1.000			1.000	
C	1.000			1.000	

Aanvullende kwaliteitseisen

Ga uit van luchtdichtheidsklasse C of klasse D wanneer dit volgt uit tabel I.2.

Verwijzingen

Normen en richtlijnen

Luka Kwaliteitshandboek Luchtkanalen 2009.

NEN-EN 12237 (en) Ventilatie van gebouwen - Luchtleidingen - Sterkte en lekdichtheid van ronde dunwandige metalen kanalen.

NEN-EN 1507 (en) Ventilatie van gebouwen - Rechthoekige dunwandige metalen luchtkanalen - Eisen voor sterkte en lekkage.

NEN-EN 13180 (en) Ventilatie in gebouwen - Luchtkanalen - Afmetingen en mechanische eisen voor flexibele kanalen.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad I.3-2 Geluid van installaties

Wettelijke eisen

Geen.

Kwaliteitseisen

Een luchtkanalensysteem veroorzaakt in een op een aangrenzend perceel gelegen verblijfsgebied een volgens NEN 5077 bepaald karakteristiek installatiegeluds niveau van ten hoogste 30 dB.

Een luchtkanalensysteem veroorzaakt in een niet-gemeenschappelijke verblijfsruimte van een aangrenzende op hetzelfde perceel gelegen woonfunctie een volgens NEN 5077 bepaald karakteristiek installatiegeluds niveau van ten hoogste 30 dB.

Het installatiegeluds niveau, de karakteristieke isolatie-index voor luchtgeluid en de isolatie-index voor contactgeluid dienen bepaald te worden conform NEN 5077.

Opmerking: In het Bouwbesluit van 2003 worden geen eisen gesteld aan het geluid t.g.v. eigen installaties. In het Bouwbesluit vanaf 2011 worden bovengenoemde eisen gehanteerd.

Consequenties

Om een geluds niveau van maximaal 30 dB ten gevolge van installaties in gebouwen te realiseren moeten geluiddempende voorzieningen getroffen worden.

Verwijzingen

Regelgeving

Bouwbesluit.

Normen en richtlijnen

NEN 1070 'Geluidwering in gebouwen. Specificatie en beoordeling van de kwaliteit' (1999 met aanvulling 2003).

NEN 5077 Geluidwering in gebouwen - Bepalingsmethoden voor de grootheden voor geluidwering van uitwendige scheidingsconstructies, luchtgeluidisolatie, contactgeluidisolatie, geluidniveaus veroorzaakt door installaties en nagalmtijd (2006 met aanvulling 2008).

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad I.3-3 Energie

Wettelijke eisen

Geen.

Kwaliteitseisen

Beperk het elektrische vermogen van de ventilatoren door een kanalensysteem met lage luchtweerstand en de toepassing van energiezuinige ventilatoren en regelingen.

Verwijzingen

Regelgeving

Bouwbesluit.

Normen en richtlijnen

Ontwerp NEN 7120 'Energieprestatie van gebouwen. Bepalingsmethoden' (2010).

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad I.3-4 Brandveiligheid

Wettelijke eisen

In het Bouwbesluit wordt bij de brandveiligheid onderscheid gemaakt in:

1. Brandcompartimenten;
2. Rookcompartimenten.

Wanneer luchtkanalen de grens van een brandcompartiment of een rookcompartiment doorsnijden, moeten de luchtkanalen aan specifieke eisen voldoen.

Brandcompartimenten

Luchtkanaalsystemen moeten voldoen aan de brandcompartimenteisen, zoals beschreven in het Bouwbesluit. Bij de passage van een luchtkanaal door een brandcompartiment moet een brandklep worden toegepast, die minimaal gelijk is aan de brandwerendheid van de scheiding waarin zij zich bevindt. Smeltzekeringen van de brandklep moeten door middel van een inspectiekuif of via een uitneembaar bedieningsblok bereikbaar zijn. Om branddoorslag via ventilatiekanalen te voorkomen, moeten luchtkanalen brandwerend worden uitgevoerd of moet er ter plaatse van een doorvoering van de scheidingsconstructie een brandklep worden aangebracht. Indien brandkleppen niet ter plaatse van de doorvoering kunnen worden aangebracht, is het noodzakelijk het luchtkanaalgedeelte vanaf de scheidingsconstructie tot op de scheiding van het brandkleplad brandwerend uit te voeren met een brandwerendheid gelijk aan die van desbetreffende scheiding.

De brandwerendheid van een brandklep moet zijn aangetoond door middel van een certificaat van een erkende instantie.

Rookcompartimenten

Als een luchtkanaal de grens van een rookcompartiment doorsnijdt, moet een brandklep worden toegepast of moet het kanaalgedeelte dat deze scheiding passeert over een afstand van minimaal 3 meter ononderbroken en zonder openingen (roosters) brandwerend geïsoleerd worden uitgevoerd. De 3 meter mag ten opzichte van de rookscheiding verschuiven.

Kwaliteitseisen

Geen.

Verwijzingen

Regelgeving

Bouwbesluit.

Normen en richtlijnen

LUKA Kwaliteitshandboek 'Luchtkanaalsystemen 2009'.
ISSO/SBR-publicatie 809 'Brandveilige doorvoeringen'.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad I.3-5 Dampdichte isolatie

Wettelijke eisen

Geen.

Kwaliteitseisen

Luchtkanalen waardoor lucht gevoerd wordt met een temperatuur lager dan de omgevingstemperatuur moeten dampdicht geïsoleerd worden om condensatie op het kanaal te voorkomen.

Verwijzingen

Normen en richtlijnen

Luka kwaliteitshandboek 'Luchtkanaalsystemen 2009'.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad I.3-6 Thermische isolatie

Wettelijke eisen

Geen.

Kwaliteitseisen

Uit het oogpunt van energiebesparing ter bescherming van het milieu tegen onder andere de uitstoot van verbrandingsgassen, moeten luchtkanalen thermisch worden geïsoleerd wanneer er een temperatuurverschil tussen de lucht in en buiten het luchtkanaal is.

De keuze van de isolatiedikte wordt, afhankelijk van de situatie, bepaald op grond van de volgende criteria:

1. Het voorkomen van oppervlaktecondensatie (zie ook SB I.3-5);
2. Het toelaatbare energieverlies per m kanaal;
3. De toelaatbare opwarming/afkoeling in het kanalsysteem;
4. De minimale totale jaarlijkse kosten voor het isoleren en het dekken van het energieverlies.

De berekende grootste isolatiedikte is maatgevend.

Aanvullende kwaliteitseisen

Alleen uitwendige isolatie toepassen.

Verwijzingen

Normen en richtlijnen

Luka kwaliteitshandboek 'Luchtkanaalsystemen 2009'.
ISSO-publicatie 64 'Kwaliteitseisen isoleren'.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	4 Middelen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad I.4-1 Overzicht middelen programmafase

Programma van eisen

Hoofdstuk 4 gaat nader in op de kwaliteit van het ontwerp en gaat in paragraaf 4.2 nader in op de ontwerpuitgangspunten. Hoofdstuk 2 gaat nader in op de luchtdichtheidsklassen.

Geluid

Geluid is een belangrijke bron van klachten. Het vaststellen van goede uitgangspunten hierover is van groot belang. Paragraaf 4.5 gaat hier nader op in.

Luchtdichtheid

Hoofdstuk 2 gaat in op de classificatie van luchtkanaalsystemen in het algemeen de toepassing van verschillende luchtdichtheidsklassen.

Brandwerendheid

Hoofdstuk 11 gaat in op de eisen betreffende brandwerendheid van luchtkanaalsystemen en hoe deze eisen te realiseren.

Thermische isolatie

Hoofdstuk 8 gaat in op de noodzaak van het aanbrengen van thermische isolatie, de materiaalkeuze en het isolatiedikte bij luchtkanaalsystemen.

Dampdichte isolatie

Hoofdstuk 10 behandelt wanneer het noodzakelijk is dampdichte isolatie aan te brengen en, welke materialen en dikten gebruikt worden.

Verwijzingen

Hoofdstukken en bijlagen

Paragraaf 4.5 Akoestische aspecten.

Hoofdstuk 2. Classificatie van luchtkanalen.

Hoofdstuk 9. Akoestische isolatie.

Hoofdstuk 10. Dampdichte isolatie

Hoofdstuk 11. Brandwerende isolatie/bekleding.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	8 Documentatie				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad I.8-1 Rapportage

Programma van Eisen

In het Programma van Eisen moet minimaal te zijn vastgelegd:

1. Het gebouwontwerp:
 1. Gebruiksoppervlakte van het gebouw;
 2. Positie en maatvoering van verblijfsgebieden en verblijfsruimten;
 3. Positie van de opstellingsruimte.
2. De binnenmilieuparameters:
 1. Gewenst kwaliteitsniveau ten gevolge van geluid van kanalensystemen en buitengeluid.
3. Overige specifieke eisen en wensen ten aanzien van het kanalensysteem:
 1. Ontwerpfilosofie;
 2. Beschikbaar budget.

Naast de eisen en randvoorwaarden worden in het Programma van Eisen de protocollen, contracten, verklaringen e.d. aangewezen die bij oplevering moeten worden overlegd:

1. Controleprotocol met steekproefbepaling;
2. Meetprotocol met steekproefbepaling;
3. Opleveringsprotocol;
4. Onderhoudsverklaring;
5. Garantieverklaring.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	8 Documentatie				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad I.8-2 Vraagspecificatieblad kwaliteitseisen

Vraagspecificatie

Tijdens de programmafase worden diverse keuzes gemaakt m.b.t. de eisen die door de opdrachtgever aan de kwaliteit van het ventilatiesysteem worden gesteld.

Dit vraagspecificatieblad is bedoeld om alle gemaakte keuzes met betrekking tot het ventilatiesysteem te specificeren, en dient als middel om de eisen en wensen van de opdrachtgever door te geven naar de ontwerp fase.

Per kwaliteitsaspect is de groene keuzemogelijkheid als een hoger kwaliteitsniveau (comfortabeler, energiezuiniger en/of duurzamer) aan te merken.

Invulblad en uitgangspunten		Eisen	Middelen
1.	Project		
2.	Plaats		
3.	Contactpersoon/ventilatiedeskundige	I.2-1	I.8-1
4.	Offerte nummer		
5.	Datum vaststelling uitgangspunten		

Algemeen		Eisen	Middelen
6.	Ligging van luchtkanalen	<input type="checkbox"/> Alle in het zicht <input type="checkbox"/> Geheel of gedeeltelijk weggewerkt in plafonds, koven etc. <input type="checkbox"/> Geheel of deels ingestort in wand/vloer	I.2-1 Hoofdstuk 4
7.	Beperkingen in ruimtegebruik	<input type="checkbox"/> Geheel of deels ingestort in wand/vloer <input type="checkbox"/> Slechts beperkte inbouwhoogte beschikbaar	I.2-1 Hoofdstuk 4
8.	Corrosieve omgeving	<input type="checkbox"/> Niet van toepassing <input type="checkbox"/> Ja, zwembad <input type="checkbox"/> Ja , overige: _____	I.0-2 Paragraaf 3.1.1 Paragraaf 3.10
9.	Thermische isolatie	<input type="checkbox"/> Maximaal toegestane opwarming in kanaal: _____ K <input type="checkbox"/> Maximaal toegestane afkoeling in kanaal: _____ K	II.3-2 Hoofdstuk 9
10.	Luchtdichtheidsklasse	<input type="checkbox"/> LUKA klasse B <input type="checkbox"/> LUKA klasse C	I.3-1 Paragraaf 2.2
11.	Geluid van kanalensysteem	Kwaliteitscijfer volgens NEN 1070 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 2	I.3-2 I.4-10
12.	Dampdichtisolatie	<input type="checkbox"/> Niet noodzakelijk <input type="checkbox"/> Wel noodzakelijk en wel voor: _____	II.3-4 II.4-1
13.	Ontwerp methode	<input type="checkbox"/> Methode van constante wrijving <input type="checkbox"/> Methode van constante snelheid <input type="checkbox"/> Methode van geleidelijke snelheidsreductie <input type="checkbox"/> _____	II.3-7 II.4-1
14.	Oplevering	Te overleggen documenten bij oplevering: <input type="checkbox"/> Werktekening(en) <input type="checkbox"/> Lektestrapportage <input type="checkbox"/> Inregelstaten <input type="checkbox"/> Gebruikershandleiding <input type="checkbox"/> _____	I.2-1 II.4-1

Specificatieblad I.8-3 Uitwisseling met architect/bouwer

Overleg met de architect/bouwer

Dit is noodzakelijk bij:

1. Toepassing van instortkanalen; denk aan:
 1. Afmetingen van de kanalen;
 2. Ligging t.o.v. wapening;
 3. Doorvoeren naar vertrekken/schachten.
2. Toepassing van schachten:
 1. Beschikbare/benodigde ruimte in de schacht;
 2. Temperaturen in de schacht en van de luchtkanalen;
 3. Plaats in de schacht voor de luchtkanalen.
3. Toepassing van verlaagde plafonds; denk hierbij aan zaken als:
 1. Beschikbare hoogte;
 2. Obstakels als constructieve elementen/balken, brandwerende voorzieningen etc.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	0 Algemeen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad II.0-1 Algemeen

Algemeen

In de ontwerpfase (en de uitwerkingsfase) wordt het systeemontwerp op basis van de uitgangspunten en randvoorwaarden uit de programmafase uitgewerkt. Hierbij kunnen de volgende subfasen worden onderscheiden:

1. Structuurontwerp;
2. Voorlopig ontwerp;
3. Definitief ontwerp.

Bij de uitwerking van de specificatiebladen is deze onderverdeling niet genoemd.

Structuurontwerp

In de subfase van het structuurontwerp wordt de hoofdstructuur van de luchtkanaalsystemen binnen het gebouw vastgelegd en bepaalt men (op basis van voorlopige luchtdebieten en vermogens) globaal de ruimtebehoefte voor schacht(en), verlaagde plafonds en opstellingsruimte, rekening houdend met de randvoorwaarden die het bouwkundig ontwerp stelt.

Voorlopig ontwerp

In de subfase van het voorlopig ontwerp wordt een definitieve keuze van het kanaalmateriaal, de kanaalvorm en de ontwerpmethodiek gemaakt; het ontwerp wordt verder globaal uitgewerkt.

Definitief ontwerp

In de subfase van het definitieve ontwerp worden definitieve berekeningen uitgevoerd en wordt het kanalensysteem in detail uitgewerkt en gedimensioneerd.

Ontwerpfilosofie

Het ontwerp van het luchtkanalensysteem dient te zijn gebaseerd op een ontwerpfilosofie.

Een comfortabel/gezond binnenklimaat is het primaire uitgangspunt voor het installatieontwerp. Om dat te bereiken kunnen verschillende ontwerpfilosofieën gehanteerd worden. De te kiezen filosofie is mede afhankelijk van de in het Programma van Eisen geformuleerde eisen en wensen. Zo is het mogelijk dat het installatieontwerp tegen zo laag mogelijke investeringskosten gerealiseerd moet worden. Ook kan een minimaal energiegebruik of extra (thermisch en/of akoestisch) comfort de maatgevende ontwerpeis zijn. De ontwerpfilosofie bepaalt uiteindelijk het installatieontwerp.

Installaties

Het ontwerp van een luchtkanalensysteem hangt samen met het ontwerp van het type kanalensysteem en de beschikbare hoeveelheid ruimte.

Kwaliteitsniveau

Naast bovengenoemde aspecten worden nadere voorwaarden gesteld aan de kwaliteit van het luchtkanalensysteem. Daarbij wordt onderscheid gemaakt in:

Wettelijke eisen

De eisen volgend uit het Bouwbesluit van 2003 en andere wettelijke voorschriften zijn opgenomen als wettelijke eisen en dienen te allen tijde te worden opgevolgd. Vanaf 2012 wordt het bouwbesluit aangepast. Waar mogelijk wordt hier wel al op ingegaan.

Kwaliteitseisen

Kwaliteitseisen dienen als aanvulling op de wettelijke eisen en garanderen de kwaliteit van het kanalensysteem. Kwaliteitseisen zijn afgeleid van bijvoorbeeld eisen van Woningborg en Woonkeur of betrekken technische uitvoeringseisen. Ook aan deze eisen moet altijd worden voldaan.

Aanvullende kwaliteitseisen

Aanvullende kwaliteitseisen hebben veelal betrekking op het te realiseren (hogere) comfortniveau of zijn gebaseerd op eisen vanuit duurzaam bouwen. Aanvullende kwaliteitseisen zijn facultatief en worden in overleg tussen opdrachtgever/gebruiker en opdrachtnemer vastgesteld. Het vraagspecificatieblad kwaliteit kan daarbij als hulpmiddel dienen.

In het vraagspecificatieblad kwaliteit (SB I.8-2) zijn de keuzes met betrekking tot kwaliteit volgend uit de programmafase vastgelegd.

Verwijzingen

Normen en richtlijnen

BRL 6000-10 'Nationale beoordelingsrichtlijn voor het KOMO-INSTAL procescertificaat voor 'Installeren van ventilatievoorzieningen van woningen', Stichting KBI, Rotterdam (2005).

IEA Annex 27, 'Evaluation and Demonstration of Domestic Ventilation Systems' (1998) hoofdstuk 6.

SBR 'Duurzaam bouwen: Nationaal pakket woningbouw' (2004). www.sbr-info.nl.
SBR-publicatie 200 'Bouwtechnische details voor energie-efficiënte woningbouw' (1996).

Specificatiebladen

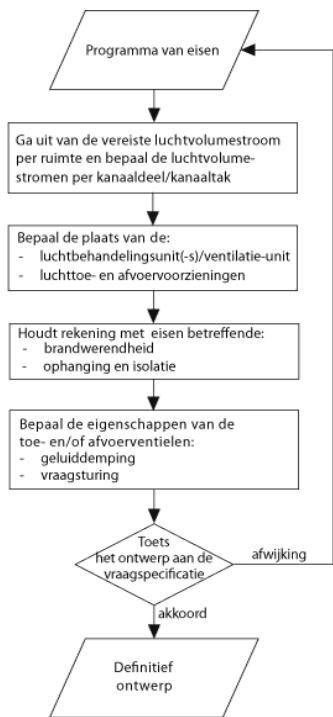
I.0-2 Uitgangspunten

I.8-2 Vraagspecificatieblad kwaliteitseisen

Specificatieblad II.2-1 Uitwisseling informatie

Stappenplan

In elke ontwerpfase kunnen de volgende stappen doorlopen worden om het luchtkanalensysteem te dimensioneren.



Afb. II.1 Stappenplan ontwerpfase

Toelichting bij stappenplan:

In verband met de inrichting van de opstelplaats(-en), de geveldoorvoeren en het ontwerp van het verwarmingssysteem dient het fabrikaat en het type ventilatie-unit/rooster bij voorkeur op dit moment in de ontwerpfase te worden vastgesteld.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad II.3-1 Drukverliesberekening

Wettelijke eisen

Geen.

Kwaliteitseisen

Snelheden in de kanalen worden begrensd in verband met geluidproductie en weerstanden. Derhalve mogen de volgende waarden niet overschreden worden:

Luchtsnelheden

1. Collectieve kanalen: 5 m/s;
2. Hoofdkanalen: 4 m/s;
3. Aftakkingen:
 1. Toevoer 3,0 m/s;
 2. Afzuig 3,5 m/s.

Systeemweerstand woningbouw

1. Het kanalensysteem moet zodanig worden ontworpen dat het drukverschil over het systeem kleiner is dan 100 Pa bij $63 \text{ dm}^3/\text{s}$;
2. Het kanalensysteem bij een hybride ventilatiesysteem moet zodanig worden ontworpen dat het drukverschil over het systeem kleiner is dan 50 Pa bij $63 \text{ dm}^3/\text{s}$;
3. Beperk de totale lengte van het kanalensysteem voor zowel luchttoevoer als luchtafvoer tot maximaal 10 m (richtwaarde) (toevoer en afvoer afzonderlijk);
4. Beperk het drukverlies bij de overgang van een rechthoekig kanaal naar een rond kanaal tot 10 Pa per aansluiting;
5. Neem in het ontwerp tussen de 1e bocht en de ventilatieunit/WTW-unit/luchtbehandelingsunit een recht stuk kanaal op met een lengte van 3 à 5 keer de kanaaldiameter.

Systeemweerstand utiliteitsbouw

1. Beperk het drukverlies bij de overgang van een rechthoekig kanaal naar een rond kanaal tot 10 Pa per aansluiting;
2. Neem in het ontwerp tussen de 1e bocht en de ventilatieunit/luchtbehandelingsunit een recht stuk kanaal op met een lengte van 3 à 5 keer de kanaaldiameter.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad II.3-2 Thermische isolatie

Wettelijke eisen

Geen.

Kwaliteitseisen

Uit het oogpunt van energiebesparing ter bescherming van het milieu tegen onder andere de uitstoot van verbrandingsgassen, moeten luchtkanalen thermisch geïsoleerd worden wanneer de temperatuur van de lucht in en buiten de luchtkanalen verschilt (zie SB I.8-2).

De keuze van de isolatiedikte wordt, afhankelijk van de situatie, bepaald op grond van de volgende criteria:

1. Het toelaatbare energieverlies per m kanaal;
2. De toelaatbare opwarming/afkoeling in het kanalensysteem;
3. De minimale totale jaarlijkse kosten voor het isoleren en het dekken van het energieverlies.

De berekende grootste isolatiedikte is maatgevend.

Verwijzingen

Normen en richtlijnen

NEN 1068 Thermische isolatie van gebouwen - Rekenmethoden.

Specificatiebladen

[I.8-2 Vraagspecificatieblad kwaliteitseisen](#)

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad II.3-3 Akoestische isolatie

Wettelijke eisen

Geen volgens het Bouwbesluit van 2003.

Uit het Bouwbesluit vanaf 2011 volgt dat het geluid in verblijfsruimten voor woningen niet boven de 30 dB mag komen. Voor scholen en kinderopvang geldt 30 dB.

In de verblijfsruimten van andere dan de wettelijke genoemde ruimten geldt een geluidsniveau van maximaal 30 dB.

Kwaliteitseisen

Men spreekt van akoestische isolatie als luchtkanalen in- of uitwendig van isolatiemateriaal worden voorzien met het doel:

1. Geluidsvoortplanting in het luchtkanaal te beperken (geluidsabsorptie);
2. Geluidsin- en afstraling van de luchtkanalen te beperken (geluidsisolatie).

In tabel II.1 is aangegeven in welke situaties akoestische isolatie moet worden toegepast.

Tabel II.1 Toepassingsgebied van akoestische isolatie

Kanaaltoepassing	Akoestische isolatie		Opmerkingen
	Inwendig ¹⁾	Uitwendig	
Aanzuigkanaal voor buitenlucht	Beperken geluidsuitstraling naar omgeving	-	Tevens thermische isolatie
Kanaalstuk in technische ruimte tussen demper en vloerdoorgaande	-	Beperken geluidsinstraling van- uit technische ruimte in kanaal	-
Luchttoevoer-, afvoer en recirculatiekanalen	Beperken geluid van ventilator, inregelen, drukregelaars, stroming	Beperken geluidsuitstraling naar vertrek	Inwendig bekleden vermijden, bij voorkeur demper toepassen
Kanalen tussen vertrekken	Beperken overspraak	Beperken geluidsafstraling	Alleen plaatselijk aanbrengen

1) Betreft alleen rechthoekige kanalen.

Akoestische eigenschappen/akoestische demping moet worden bepaald volgens ISSO-publicatie 24. Wanneer een geluidsniveau van meer dan 30 dB uit de berekeningen volgt moeten geluiddempende voorzieningen getroffen worden.

Verwijzingen

Regelgeving

Bouwbesluit.

Normen en richtlijnen

NEN 5077 Geluidwering in gebouwen - Bepalingsmethoden voor de grootheden voor geluidwering van uitwendige scheidingsconstructies, luchtgeluidisolatie, contactgeluidisolatie, geluidniveaus veroorzaakt door installaties en nagalmijd.

ISSO-publicatie 24 'Installatiegeluid, ontwerpaanbevelingen en grondslagen voor geluidstechnische berekeningen aan installaties.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad II.3-4 Dampdichte isolatie

Wettelijke eisen

Geen.

Kwaliteitseisen

1. Het aanzuigkanaal voor buitenlucht en een kanaal voor de afvoerlucht naar buiten moet dampdicht geïsoleerd te worden met minimaal 12 mm dampdicht isolatiemateriaal om condensaatvorming te voorkomen. Indien deze kanalen worden ingestort dan moet het isolatiemateriaal zowel drukvast als dampdicht zijn;
2. Het isolatiemateriaal, inclusief de afwerking van naden, moet dampdicht zijn. De kanalen moeten aan de buitenzijde geïsoleerd worden;
3. Kanalen voor gekoelde lucht moeten dampdicht geïsoleerd zijn;
4. Tussen het isolatieoppervlak en de omringende vlakken moet een minimum ruimte van tenminste 25 mm gehandhaafd blijven, teneinde voldoende luchtbeweging te waarborgen;
5. De isolatiedikte bij appendages moet gelijk zijn aan de dikten van de desbetreffende kanaalisolatie;
6. Bij kanalen moet de isolatie, voorzien van een ononderbroken, dampremmende afwerking, in muurdoorvoeringen worden doorgezet. De vrije ruimte tussen het isolatieoppervlak en de doorvoering moet minimaal gelijk zijn aan de isolatiedikte teneinde voldoende luchtbeweging te waarborgen en condensatie te voorkomen;
7. Koude isolatiesystemen moeten in compartimenten worden aangebracht, om watertransport tussen de isolatie en het kanaal te voorkomen. Compartimenteren moet worden uitgevoerd bij de ondersteuningen door middel van een niet agressief afdichtingmateriaal;
8. Flexibel elastomeerschuim of het polyethyleenschuim isolatiemateriaal moet voldoen aan max. klasse 2 van NEN 6065 en een rookdichtheid van max. $2,2 \text{ m}^3$ volgens NEN 6066, tenzij anders voorgeschreven / toegelaten door de plaatselijke brandweer.

Materiaal voor dampdichte isolatie

Voor dampdichte isolatie moet gebruik worden gemaakt van flexibele elastomeer schuimen of flexibele polyethyleenschuimen in de vorm van platen of schalen (alleen voor diameters tot 80 mm).

Verwijzingen

Normen en richtlijnen

ISSO-publicatie 64 Kwaliteitseisen isolatie.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad II.3-5 Brandveiligheid

Wettelijke eisen

Bouwbesluit

Beperking van het ontstaan van een brandgevaarlijke situatie

Materiaal toegepast aan de binnenzijde van een kanaal, koker of schacht met een inwendige doorsnede groter dan $0,015 \text{ m}^2$ en grenzend aan meer dan één brandcompartiment moet over een dikte van 10 mm onbrandbaar te zijn (bepaald conform NEN 6064). Deze eis geldt niet indien het kanaal, de schacht of de koker ligt in en uitsluitend is bestemd voor één of meer boven elkaar gelegen toilet- of badruimten.

Beperking van uitbreiding van brand

Een besloten ruimte ligt in een brandcompartiment.

De weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag (WBDBO) moet ten minste 60 minuten bedragen van een brandcompartiment naar een besloten ruimte.

Volstaan kan worden met 30 minuten indien:

1. De permanente vuurbelasting van het brandcompartiment niet groter is dan 500 MJ/m^2 ;
2. Het brandcompartiment en de besloten ruimte op hetzelfde perceel liggen en de hoogste vloer van een verblijfsgebied niet hoger ligt dan 7 m boven het aansluitende terrein.

In de context van deze publicatie wordt hiermee de branddoorslag tussen twee brandcompartimenten via een schacht, koker of kanaal bedoeld of, indien de schacht als besloten ruimte wordt aangemerkt, de branddoorslag van het brandcompartiment naar de schacht.

Kwaliteitseisen

Aan de binnenzijde van een kanaal mogen in verband met kanaalvervuiling alleen gladde isolatiematerialen aanwezig zijn.

Verwijzingen

Regelgeving

Bouwbesluit.

Normen en richtlijnen

NEN-EN 13501-1. Brandclassificatie van bouwproducten en bouwdelen - Deel 1: Classificatie op grond van resultaten van beproeving van het brandgedrag, 2007.

NEN-EN 1366-1: Beproeving van de brandwerendheid van installaties in gebouwen - Deel 1: Ventilatiekanalen, 1999.

NEN-EN 1366-2: Bepaling van de brandwerendheid van installaties - Deel 2: Brandkleppen, 1999.

ISO 10294-2: Beproeving van de brandwerendheid - Brandkleppen voor luchtverdeelsystemen - Deel 2: Classificatie, criteria en toepassingsgebied van beproeving, 1999.

ISSO/SBR-publicatie 809 Brandveilige doorvoeringen.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad II.3-6 Reinigbaarheid

Wettelijke eisen

Geen.

Kwaliteitseisen

Het ontwerp en de uitvoering van de klimaatinstallaties als geheel moeten zodanig zijn dat de kans op microbiologische besmetting zo klein mogelijk is. Daarbij zijn de volgende aspecten van belang:

1. De apparatuur en de luchtkanalen moeten inwendig zo glad mogelijk zijn en bij voorkeur niet met isolatiematerialen zijn bekleed;
2. De apparatuur en de luchtkanalen dienen via voorzieningen inwendig te kunnen worden geïnspecteerd en gereinigd;
3. De apparatuur en de luchtkanalen dienen zo min mogelijk dode hoeken te bevatten of plaatsen waar zich (condens)water kan verzamelen;
4. De gebruikte materialen moeten bestand zijn tegen gangbare desinfectantia (waterstofperoxide, middelen op alcoholbasis, chloor), met name chloor;
5. De ontsmetting moet zodanig kunnen worden uitgevoerd dat het onderhoudspersoneel zelf niet in contact kan komen met potentieel infectieuze, giftige of tot overgevoeligheid aanleiding gevende micro-organismen.

Inspectieluiken

Voor de reiniging van kanalen moeten deze voorzien zijn van inspectieluiken.

Inspectieluiken worden volgens NEN-EN 12792 geplaatst bij:

1. Diameterverandering van het kanaal;
2. Bij bochten met een hoek groter dan 45 graden;
3. Bij bochten met airturns;
4. Bij brandkleppen en;
5. Bij lengten groter dan 7,5 meter (tenzij anders overeengekomen).

Aanvullende kwaliteitseisen

Eisen met betrekking tot inspectieluiken het zelfde bij de kwaliteitseisen echter inspectieluiken aanbrengen bij lengten groter dan 5 meter.

Verwijzingen

Normen en richtlijnen

NEN-EN 12792 Ventilatie van gebouwen - Symbolen, terminologie en grafische symbolen, 2003.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad II.3-7 Kanalenontwerp

Wettelijke eisen

Metalen luchtkanaalsystemen moeten worden geaard volgens NEN 1010.

Kwaliteitseisen

Algemeen

Alleen kanalen en hulpstukken toepassen in gestandaardiseerde maten en uitvoering.

Thermische isolatie

1. Bij toepassing van mechanische toe- en afvoer moet het aanzuigkanaal voor buitenlucht en het kanaal voor de afvoerlucht naar buiten geïsoleerd worden om condensaat vorming te voorkomen. Indien deze kanalen worden ingestort dan moet het isolatiemateriaal drukvast en dicht zijn;
2. Aan- en afvoerkanaal in een bouwkundige schacht (gestapelde bouw) dienen geïsoleerd te worden;
3. Het isolatiemateriaal, inclusief de afwerking van naden, moet dicht zijn. De kanalen dienen aan de buitenzijde geïsoleerd te worden.

Collectieve kanalen

1. Afvoerkanaal dienen verticaal te verlopen;
2. Voorzie de kanalen aan de buitenzijde van dicht thermische isolatie;
3. Pas terugslagkleppen toe;
4. Houd een ruimte van 50 mm aan tussen kanaal en schacht.

Doorvoeren

1. Doorvoeren van kanalen door wanden en vloeren moeten rondom de kanalen worden voorzien van een flexibele, blijvend luchtdichte afdichting, rekening houdend met brandveiligheidseisen;
2. De doorvoeren van het toe- en afvoerkanaal in de bouwkundige schacht dienen contactvrij en blijvend luchtdicht uitgevoerd te zijn;
3. Collectieve luchtkanaal dienen luchtdicht op de individuele installaties te worden aangesloten.

Bevestiging

1. De luchtkanaal dienen zodanig bevestigd of opgehangen te worden dat de kanaaldelen met toebehoren een stabiel en strak geheel vormen;
2. De roosters moeten met behulp van klemveren aan kanalen en apparaten bevestigd worden;
3. De maximum toegestane afstand tussen de ondersteuningspunten bedraagt 2 m;
4. Indien noodzakelijk dient demontage van de kanalen eenvoudig mogelijk te zijn;
5. De kanalen dienen zodanig bevestigd te worden dat de luchtbehandelingunit/ventilatie-unit goed bereikbaar blijft.

Plaatdikte kanalen

De mechanische eigenschappen van de kanalen moeten voldoen aan NEN-EN 13180 'Ventilatie in gebouwen. Luchtkanaal. Afmetingen en mechanische eisen voor flexibele kanalen'. Indien de kanalen niet aan deze Europese norm voldoen dan dienen de in hoofdstuk 3 opgenomen minimale afmetingen te worden gehanteerd.

Luchtdichtheid

Een kanalensysteem voor een ventilatie-installatie, dat volgens de gangbare productiemethoden wordt vervaardigd, vertoond op naden en verbindingen een zekere mate van lek. Internationaal en door LuKa worden de volgende klassen gehanteerd.

Tabel II.2 Overzicht luchtdichtheidsklassen

Klasse	Lekfactor	Max. testdruk [Pa]	Mate van luchtdichtheid
A	$0,027 \cdot 10^{-3}$	400	matig
B	$0,009 \cdot 10^{-3}$	1.000	redelijk
C	$0,003 \cdot 10^{-3}$	1.000	goed
D	$0,001 \cdot 10^{-3}$	1.000	zeer goed

LUKA-klassen gelden ook voor rechthoekige, ovale en ronde kanalen. De verbindingen van de kanalen dienen luchtdicht te worden afgewerkt met tape of een rubberdichting. Hierbij moet extra aandacht worden geschonken aan de afdichting bij toe- en afvoerroosters.

1. De luchtdichtheid van een kanalensysteem dat goed bereikbaar is, moet voldoen aan klasse B volgens de door LUKA gehanteerde kwaliteitsnormen;
2. Op plaatsen die na oplevering niet meer bereikbaar zijn moet het kanalensysteem voldoen aan klasse C.

Geluiddempende voorzieningen

Als in het ventilatiesysteem niet voldoende natuurlijke demping wordt bereikt, moeten geluiddempende voorzieningen in het systeem worden ingebouwd.

Plaats aanzuig- en afvoeropening

Plaats de aanzuig- en afvoerpunten in de gebouwschil op voldoende afstand van elkaar.

Luchtsnelheid in kanalen

Snelheden in de kanalen worden begrensd in verband met geluidproductie en weerstanden. Derhalve mogen de volgende snelheden niet overschreden worden:

1. Collectieve kanalen: 5 m/s;
2. Hoofdkanalen: 4 m/s;
3. Aftakkingen:
 1. Toevoer 3,0 m/s;
 2. Afzuig 3,5 m/s.

Uitzondering hierop vormen de buitenluchtaansluitingen (veelal korte kanalen met een vaste diameter 150 mm), waar hogere luchtsnelheden zijn toegestaan.

Inspectieluiken

Voor de reiniging van kanalen moeten deze voorzien zijn van inspectieluiken. Inspectieluiken worden volgens NEN-EN 12792 geplaatst bij:

1. Diameterverandering van het kanaal;
2. Bij bochten met een hoek groter dan 45 graden;
3. Bij bochten met airturns;
4. Bij brandkleppen en;
5. Bij lengten groter dan 7,5 meter (tenzij anders overeengekomen).

Aanvullende kwaliteitseisen

Afzuigkanalen

Bij boven elkaar gelegen keuken / toilet en badkamer dienen de afzuigkanalen gescheiden te worden uitgevoerd.

Luchtdichtheid

De luchtdichtheid van het kanalensysteem moet voldoen aan klasse C volgens de door LUKA gehanteerde kwaliteitsnormen.

Toevoerlucht gestapeld bouw

De kwaliteit van de toevoerlucht bij het aanzuigpunt moet voldoende zijn. De mogelijkheden voor het projecteren van de aanzuig- en afvoervoorzieningen worden bepaald door de verdunningsfactor.

De aan te houden afstand tussen de uitmonding van zowel een afvoer- en aanzuigopening in de gevel als een afvoer- en aanzuigopening in het dak, wordt bij gestapeld bouw zo groot dat de aanzuigopeningen in het gevelvlak dienen te worden geprojecteerd en de afvoeropeningen in het dak.

Verwijzingen

Wettelijke eisen

Bouwbesluit.

NEN 1010 Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties.

Normen en richtlijnen

NEN-EN 12237 'Ventilation for buildings. Strength and leakage of sheet metal air ducts and fittings with circular cross sections. Requirements and testing' (2003).

NEN-EN 13180 'Ventilatie in gebouwen. Luchtkanalen. Afmetingen en mechanische eisen voor flexibele kanalen' (2002).

NEN-EN 1505 'Ventilatie van gebouwen. Rechthoekige dunwandige metalen luchtleidingen en verbindingsstukken. Afmetingen' (1998).

NEN-EN 1506 'Ventilatie van gebouwen; Luchtkanalen; Afmetingen en mechanische eisen voor flexibele luchtkanalen' (1998).

'Kwaliteitshandboek luchtkanalen' (2009). Nederlandse Vereniging van Luchtkanalenfabrikanten; ISSO/SBR-publicatie 809 Brandveilige doorvoeringen.

Specificatiebladen

[II.3-1 Kwaliteit toevoerlucht](#)

[I.3-4 Geluid van installaties](#)

Specificatieblad II.3-8 Doorvoeren door dak en buitenwand

Wettelijke eisen

Geen.

Kwaliteitseisen geveldoorkoer en muurroosters

Algemeen

De constructie van de muurdoorvoerset moet zo zijn uitgevoerd, dat ongewenste vervormingen ten gevolge van vervoer, montage of normaal gebruik overeenkomstig het installatievoorschrift van de fabrikant niet mogelijk zijn. Beschadiging van de onderdelen vergroot de kans op luchtlekkages.

Regeninslag en condensaat

Het muurrooster moet regeninslagvrij zijn uitgevoerd. De geveldoorkoer wordt van binnen naar buiten afwaterend aangebracht, onder een hoek van tenminste 5 graden.

Luchtdichtheid bij woningen

De totale luchttransportweg moet aan de eisen uit specificatieblad II.3-7 voldoen. Daarom worden aan de mate van luchtdichtheid tussen de muurdoorvoer en de unit en tussen de muurdoorvoer en het muurrooster dezelfde luchtdichtheidseisen gesteld als aan de gevelventilatie-unit. De ruimte tussen de geveldoorkoer en de muur moet luchtdicht worden afgewerkt cf. luchtdichtheidsklasse 2 uit SBR-publicatie 'Luchtdicht bouwen'.

Luchtdichtheid bij utiliteitsgebouwen

De totale luchttransportweg moet aan de eisen uit specificatieblad II.3-7 voldoen. Daarom worden aan de mate van luchtdichtheid tussen de muurdoorvoer en de unit en tussen de muurdoorvoer en het muurrooster dezelfde luchtdichheidseisen gesteld als aan de ventilatie-unit.

Kwaliteitseisen dakdoorvoer

Algemeen

De constructie van het toevoersysteem moet zo zijn uitgevoerd, dat ongewenste vervormingen ten gevolge van montage of normaal gebruik overeenkomstig het installatievoorschrift van de fabrikant niet mogelijk zijn.

Constructieve verbindingen

De constructieve verbindingen van het toevoersysteem moeten zodanig zijn uitgevoerd dat bij normaal gebruik regenwater niet naar binnen vloeit en niet in de verbindingen kan blijven staan.

Aansluitverbindingen

De aansluitverbindingen van het afvoersysteem moeten zodanig zijn uitgevoerd dat bij normaal gebruik condensaat of regenwater niet naar buiten vloeit en niet in de verbinding kan blijven staan.

Temperatuurbestendigheid

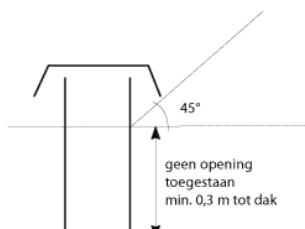
De toevoerkap of luchtinlaatconstructie moet bestand zijn tegen een temperatuur van - 20 °C tot + 60 °C. Nadat de toevoerkap of luchtinlaatconstructie weer de kamertemperatuur heeft aangenomen, mag deze geen scheuren vertonen en geen vormverandering hebben ondergaan die de werking nadelig beïnvloedt. Voor woningen zijn de beproevingssomstandigheden beschreven in GASTEC rapport Criteria toe- en afvoersystemen HR-wtw.

Bevestigingsconstructie

De dakdoorvoerconstructie moet zodanig zijn uitgevoerd dat deze met een bevestigingsconstructie op deugdelijke wijze aan een muur of aan het dakbeschot kan worden bevestigd.

Regeninslag woningbouw

Een toevoersysteem moet regeninslagvrij zijn uitgevoerd. Dit wordt bereikt door geen openingen toe te staan in het gebied zoals aangegeven in afbeelding II.2. De hoogte tot de onderzijde van de kap moet minimaal 0,3 m zijn.



Afb. II.2 Regeninslagvrij toevoersysteem

Regeninslag utiliteitsbouw

Een toevoersysteem moet regeninslagvrij zijn uitgevoerd.

Sterkte: weerstand tegen verticale belasting bij woningbouw

De toevoerkap of toevoerconstructie moet onder de beproevingsomstandigheden zonder blijvende vervorming een gelijkmatig aangebrachte kracht van $7 \times d_{\text{nom}}$ N kunnen weerstaan met als maximale kracht 750 N.

Indien het bovenste deel van de constructie een kleinere diameter heeft dan de nominale diameter dient de verticale kracht gerelateerd te worden aan deze kleinere diameter.

Sterkte: windbelasting bij woningen

Onder de beproevingsomstandigheden volgens GASTEC rapport Criteria toe- en afvoersystemen HR-wtw, juli 2003, paragraaf 13.5, moet de toevoerkap of toevoerconstructie zonder blijvende vervorming een belasting van 10^3 N per mm^2 betrokken op het geprojecteerde verticale oppervlak van de toevoerconstructie zonder blijvende vervorming kunnen weerstaan.

Verwijzingen

Normen en richtlijnen

SBR-publicatie 'Luchtdicht bouwen'.

GASTEC rapport Criteria toe- en afvoersystemen HR-WTW.

Specificatieblad II.3-9 Ophanging en ondersteuning

Wettelijke eisen

Geen.

Kwaliteitseisen

Algemeen

Bestaat er geen gevaar voor condensatie dan zijn er ter plaatse van de ophangconstructie geen speciale voorzieningen nodig. Bestaat gevaar voor condensatie dan moeten de kanalen, inclusief de ophangconstructie, uitwendig worden geïsoleerd.

Brandwerendheidseisen

Om ervoor te zorgen dat bij een brand de bevestiging van luchtkanalen niet bezwijkt mogen bevestigingsmiddelen, waaronder pluggen, niet van kunststof of een ander bij brand vervormend materiaal zijn vervaardigd. Gebruik bijvoorbeeld metalen pluggen of invoegers.

Corrosiebestendigheid

Eis is dat ophang constructies zodanig bestand zijn tegen omgevingsinvloeden dat de constructie niet bezwijkt. Met name in chloorhoudende omgevingen (bijvoorbeeld zwembaden) is dit van groot belang. Bij zwembaden verdient het aanbeveling de ophangconstructie uit te voeren in RVS met werkstofnummer 1.4529 of gegalvaniseerd ijzer en de constructie van een goede coating te voorzien. Bij beschadiging van de coating moet deze bijgewerkt worden.

Horizontale kanalen

De bevestiging van de luchtkanalen aan het plafond moet qua sterkte en duurzaamheid gelijkwaardig zijn aan die van de kanalen zelf en zodanig strak en stabiel worden uitgevoerd dat deze onder normale belastingen en bij normaal in het gebouw voorkomende omgevingscondities (temperatuurwisselingen) blijvend verzekerd is.

De verankering in betonnen plafonds geschiedt door middel van:

1. Draadstangen in geboorde gaten;
2. Ankers;
3. Montagerail, die:
 1. Vooraf in het plafond wordt ingestort;
 2. Achteraf door boren wordt aangebracht.

De lengte van de montagerail is zodanig dat deze minimaal 50 mm buiten de (buitenste) draadstang(en) uitsteekt. De afstand tussen de draadstangen, is afhankelijk van de aanwezigheid van uitwendige isolatie, minimaal 300 mm en maximaal 100 mm groter dan de kanaalbreedte.

Ronde metalen luchtkanalen

De beugels bij kanalen met een diameter van 500 mm of meer worden uitgevoerd als tweepuntsophanging met een boven- en onderbeugel. Tussen beugel en kanaal moet ter voorkoming van overdracht van trillingen over de volle omtrek vilt of PE-band met minimale afmeting van 18 x 4 mm (b x d) worden aangebracht.

Voor kanalen met een diameter kleiner dan 500 mm wordt volstaan met éénpuntsbeugels (boven- en onderbeugel) uit sendzimir verzinkt bandstaal of gaatjesband, voorzien van vilt of PE-band, of met geplastificeerd gaatjesband met éénpuntsophanging. Daarnaast kunnen standaardbeugels met rubber inlage worden toegepast.

De maximale hartafstand tussen de ophangpunten in lengterichting van het kanaal bedraagt 3 m.

Tabel II.3 Eisen voor de ophanging van ronde metalen kanalen

Maximale kanaaldiameter (inwendig) [mm]	Diameter draadstang [mm]	Ophanging	Maximale hoh-afstand ophangpunten [mm]
< 500	minimaal M6	eenpunts	3.000
≥ 500	minimaal M6	tweepunts	3.000

Kunststofkanalen

Beugelafstanden van kunststofkanalen mogen niet groter zijn dan de in tabel II.4 gegeven waarden.

Tabel II.4 Beugelafstand (in cm) voor horizontale kunststofkanalen (DVS 2210 -1) [29]

d [mm]	PVC ¹⁾					HDPE				
	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
63	140	130	120	85	55	120	115	105	100	90
75	150	140	135	95	60	135	130	120	110	100
90	165	155	150	105	70	150	145	135	125	115
110	185	175	170	120	80	165	160	150	145	130
125	210	205	185	160	90	175	170	160	155	140
140	215	210	195	160	110	190	185	175	165	150
160	225	215	210	170	130	205	195	185	175	160
200	255	235	225	200	150	230	220	210	200	190
225	250	240	240	200	160	245	235	225	215	205
250						260	250	240	230	210
280						275	265	255	240	220
315						290	280	270	255	235
355						310	300	290	275	255
400						330	315	305	290	270

1) Voor verticale leidingen: afstand uit de tabel vermenigvuldigd met 1,3.

Rechthoekige metalen luchtkanalen

Ongeïsoleerde rechthoekige kanalen van metaal worden opgehangen door middel van een onderbeugel in de vorm van een hoekprofiel, U-profiel of montagerail, voorzien van vilt of PE-band met minimale afmetingen van 18 x 4 mm (b x d). De onderbeugel wordt met 2 draadstangen aan het plafond bevestigd. De lengte van de montagerail is zodanig dat deze minimaal 50 mm buiten de (buitenste) draadstang(en) uitsteekt. De afstand tussen de draadstangen, is afhankelijk van de aanwezigheid van uitwendige isolatie, minimaal 300 mm en maximaal 100 mm groter dan de kanaalbreedte. De onderlinge hart op hart afstand tussen de ophangpunten in lengterichting van het kanaal bedraagt 3 m. Eisen voor rechthoekige metalen luchtkanalen zijn gegeven in tabel II.5.

Tabel II.5 Eisen voor de ophanging van rechthoekige kanalen

Grootste kanaalzijde [mm]	Diameter van draadstang [mm]	Draagconstructie ¹⁾			Maximale afstand ophangpunten [mm]
		Hoekprofiel [afbeelding 6.3A]	U-profiel [afbeelding 6.3B]	Montagerail [afbeelding 6.3C]	
400	6	25 x 25 x 1,5	25 x 25 x 1,5	20 x 25 x 1,5	3.000
600	8	25 x 25 x 3	25 x 25 x 3	25 x 25 x 1,5	3.000
1.000	8	30 x 30 x 3	25 x 30 x 3	30 x 25 x 1,5	2.500
1.400	8	40 x 40 x 3	30 x 40 x 3	40 x 25 x 1,5	2.500
2.000	8	40 x 40 x 4	30 x 40 x 4	40 x 25 x 1,5	2.500

1) Hoogte x breedte x dikte in mm.

Tabel II.6 geeft de eisen voor ovale metalen luchtkanalen.

Tabel II.6 Eisen voor de ophanging van ovale metalen kanalen

Grootste kanaalzijde [mm]	Diameter van draadstang [mm]	Draagconstructie ¹⁾		Maximale afstand ophangpunten [mm]
		1/2-rond [afbeelding 6.4 a]	Hoekprofiel [afbeelding 6.4 b]	
400	8	25 x 3	25 x 25 x 3	3.000
600	8	30 x 4	25 x 25 x 3	3.000
1.000	8	40 x 5	30 x 30 x 3	3.000
1.400	8	-	40 x 40 x 3	3.000
1.700	8	-	40 x 40 x 4	3.000

1) (hoogte) x breedte x dikte in mm.

Verticale kanalen

De bevestiging van de luchtkanalen aan een (schacht)wand moet qua sterkte en duurzaamheid gelijkwaardig zijn aan die van de kanalen zelf en zodanig strak en stabiel worden uitgevoerd dat deze onder normale belastingen en bij normaal in het gebouw voorkomende omgevingscondities (temperatuurwisselingen) blijvend verzekerd is

Verwijzingen

Normen en richtlijnen

Luka Kwaliteitshandboek Luchtkanalen 2009.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad II.3-10 Selectie van luchtkanalen

Selectie van luchtkanalen

Geen.

Kwaliteitseisen

Kwaliteitseisen

1. Selecteer luchtkanalen met zodanige afmetingen dat de maximaal toelaatbare luchtsnelheden/drukverliezen niet overschreden worden;
2. Selecteer luchtkanalen met een zodanige vorm (rechthoekig, rond, ovaal) dat deze in de beschikbare ruimte zijn in te bouwen;
3. Selecteer luchtkanalen zodanig dat de aan de gewenste/vereiste lekdichtheid voldaan wordt;
4. Selecteer luchtkanalen met de gewenste mechanische stijfheid tbv ophanging en akoestiek.

Materiaalkeuze

1. Verzinkt stalen kanalen worden in 't algemeen standaard toegepast als voor metalen kanalen gekozen is. Voor specifieke toepassingen worden soms andere materialen gebruikt (zie onderstaand);
2. Roestvast stalen kanalen hebben als eigenschap dat ze goed corrosiebestendig zijn. Ze worden vooral in de voedingsmiddelen industrie toegepast. Roestvast stalen kanalen moeten niet gebruikt worden in omgevingen met chloor zoals bijvoorbeeld zwembaden;
3. Aluminium wordt toegepast in de procesindustrie of bij kanalen waar men later niet meer bij kan (bijvoorbeeld achter een voorzetwand);
4. Kunststofkanalen zijn chemisch- en corrosiebestendig. Verder zijn ze onderhoudsvrij en hebben ze een lange levensduur.

Verwijzingen

Specificatiebladen

[II.4-1 Overzicht middelen ontwerpfase.](#)

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	4 Middelen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad II.4-1 Overzicht middelen ontwerpfase

Middelen ontwerpfase

Drukverliesberekening

Bij de drukverliesberekening worden de afmetingen van de kanalen bepaald en wordt de benodigde opvoerhoogte van de ventilator bepaald. De theorie van de drukverliesberekening wordt gehandeld in hoofdstuk 5. De weerstandswaarden van hulstukken worden gegeven in bijlage G. De weerstandscoëfficiënten van de ventilatoropstelling volgen uit bijlage H.

Thermische isolatie

Thermische isolatie dient ervoor om de warmteafgifte/opname van een kanalensysteem te beperken. De berekeningsmethodiek en de toegepaste materialen worden beschreven in hoofdstuk 8.

Akoestische isolatie

Ventilatoren produceren geluid. Om te voorkomen dat geluid door de kanalen aan de vertrekken wordt afgegeven kunnen kanalen akoestisch geïsoleerd worden. Hoofdstuk 9 gaat nader in op de theorie en toegepaste materialen.

Dampdichte isolatie

Luchtkanalen die lucht transporteren met een temperatuur die lager is dan de vertrektemperatuur moeten dampdicht geïsoleerd worden om te voorkomen dat er schade/hinder ontstaat door condensatie op de desbetreffende kanalen. Hoofdstuk 10 gaat nader in op de dampdichte isolatie.

Brandveiligheid

Niet alleen aan een gebouw, maar ook aan de installaties in een gebouw worden eisen gesteld mbt de brandveiligheid. Het gaat hierbij om bijvoorbeeld doorvoeringen door brandcompartimenten of eisen m.b.t. rookontwikkeling bij een eventuele brand. Hoofdstuk 11 behandelt brandwerende isolatie en doorvoeringen door brandcompartimenten. Brandwerende ophangingen worden behandeld in paragraaf 6.1.1. Hoofdstuk 11 behandelt het brandwerend isoleren van luchtkanalen.

Kanalontwerp

Bij het kanalen ontwerp moet met veel zaken rekening worden gehouden. Het gaat hierbij niet alleen om luchtsnelheden maar ook om zaken als het type kanalensysteem en inpassing in het gebouw. Hoofdstuk 4 gaat nader in op ontwerpuitgangspunten en situering en uitvoering.

Doorvoeren

Kanalen moeten soms door buitenwanden of daken worden gevoerd. Eisen m.b.t. deze doorvoeren worden gegeven in paragraaf 6.3.3.

Ophanging en ondersteuning

De ophanging en ondersteuning van luchtkanalen wordt behandeld in hoofdstuk 6.

Verwijzingen

Hoofdstukken en bijlagen

- Hoofdstuk 4: Kwaliteit van het ontwerp.
- Hoofdstuk 5: Drukverliesberekening.
- Hoofdstuk 6: Ophanging en ondersteuning.
- Hoofdstuk 8 Thermische isolatie.
- Hoofdstuk 9 Akoestische isolatie.
- Hoofdstuk 10 Dampdichte isolatie.
- Hoofdstuk 11 Brandwerende isolatie/bekledingen.
- Paragraaf 6.1.1 Brandwerendheid van ophangingen.
- Paragraaf 6.3.3 Doorvoeringen door buitenwanden en/of daken.

Specificatieblad II.8-1 Rapportage

Rapportage

Aan het einde van de ontwerpfase dienen de volgende gegevens minimaal te zijn vastgelegd:

1. De resultaten van de capaciteits- en weerstandsberekening;
2. De installatietekeningen van het systeemontwerp met daarin aangegeven:
 1. Positie van de opstellingsruimte;
 2. Plaats en specificaties van de luchtbehandelingsunit/ventilatie-unit/WTW-unit;
 3. Plaats en specificaties van de dakdoorvoer;
 4. Luchtvolumestromen;
 5. Verloop van het kanalenstelsel met afmetingen van de kanalen en peilmaten;
 6. Plaats van de afzuigvoorzieningen in het gebouw;
 7. Plaats van de toevoervoorzieningen in het gebouw;
 8. Luchtvolumestromen per ventiel en de instelling ervan;
 9. Luchtsnelheden in de luchtkanalen;
 10. Inregelgegevens van apparaten, roosters en volumeregelaars;
 11. Plaats en lengte van eventuele geluiddempers;
 12. Brandwerende voorzieningen;
 13. Plaats van bedieningschakelaars.

Bovengenoemde gegevens dienen als uitgangspunt voor de uitwerkingsfase.

Specificatieblad II.8-2 Vraagspecificatieblad kwaliteitsaspecten

Vraagspecificatie

Tijdens de ontwerpfase worden diverse keuzes gemaakt m.b.t. de eisen die door de opdrachtgever aan de kwaliteit van het kanalensysteem worden gesteld.

Dit vraagspecificatieblad is bedoeld om alle gemaakte keuzes met betrekking tot het kanalensysteem te specificeren, en dient als middel om de eisen en wensen van de opdrachtgever door te geven naar de ontwerpfase.

Per kwaliteitsaspect is de groene keuzemogelijkheid als een hoger kwaliteitsniveau (geluidsarme, energiezuiniger en/of duurzamer) aan te merken.

Invulblad en uitgangspunten		Eisen	Middelen
1.	Project		
2.	Plaats		
3.	Contactpersoon/ventilatiedeskundige	II.2-1	II.8-1
4.	Offerte nummer		
5.	Datum vaststelling uitgangspunten		

Algemeen		Eisen	Middelen	
6.	Inregelvoorzieningen	<input type="radio"/> Nee <input type="radio"/> Ja	II.3-1	II.4-1
7.	Materiaal luchtkanalen	<input type="radio"/> Thermisch verzinkt plaatstaal <input type="radio"/> Kunststof <input type="radio"/> Aluminium <input type="radio"/> RVS <input type="radio"/> Minerale wol <input type="radio"/> Hardschuim <input type="radio"/> _____	II.3-10	Hoofdstuk 3
8.	Vorm van luchtkanalen	<input type="radio"/> Rond <input type="radio"/> Vierkant <input type="radio"/> Rechthoekig <input type="radio"/> Ovaal	II.3-7	Hoofdstuk 3
9.	Geluiddempende voorzieningen toevoerlucht	<input type="radio"/> 1000 mm geluiddempende slang <input type="radio"/> _____ (> 1000 mm) geluiddempende slang <input type="radio"/> Geluiddemping	II.3-7	Paragraaf 9.4
10.	Geluiddempende voorzieningen afvoerlucht	<input type="radio"/> 500 mm geluiddempende slang <input type="radio"/> _____ (> 500 mm) geluiddempende slang <input type="radio"/> Geluiddemping	II.3-7	Paragraaf 9.4
11.	Overspraakdempers	<input type="radio"/> Nee <input type="radio"/> Ja	II.3-3	Paragraaf 4.5
12.	Isoleren van kanalen	<input type="radio"/> Thermische isolatie _____ mm op _____ kanalen <input type="radio"/> Akoestische isolatie _____ mm op _____ kanalen <input type="radio"/> Dampdichte isolatie _____ mm op _____ kanalen	II.3-7	Hoofdstuk 8 Hoofdstuk 9 Hoofdstuk 10
13.	Brandwerend isoleren	<input type="radio"/> Nee <input type="radio"/> Ja, op _____ kanalen	II.3-7	Hoofdstuk 11

Gestapelde bouw		Eisen	Middelen
16.	Toevoerkanalen	<input type="radio"/> Collectief <input type="radio"/> Individueel door schacht <input type="radio"/> Individueel door gevel	II.3-2
17.	Afzuigkanalen	<input type="radio"/> Collectief <input type="radio"/> Via de verkeersruimten <input type="radio"/> Individueel door schacht <input type="radio"/> Individueel door gevel	II.3-7
18.	Positionering luchttoevoer	<input type="radio"/> Conform wettelijke verdunningsfactor <input type="radio"/> Conform wettelijke verdunningsfactor en individuele aanzuig vanaf de gevel	II.3-7

Luchttoevoerventielen			Eisen	Middelen
19.	Geluidniveau	<input type="radio"/> Lp ≤ _____ dB(A) <input type="radio"/> Lw ≤ _____ dB(A)		
20.	Drukverlies	<input type="radio"/> ≤ 10 Pa <input type="radio"/> ≤ 20 Pa <input type="radio"/> ≤ 30 Pa <input type="radio"/> ≤ 40 Pa	II.3-1	Hoofdstuk 5

Instelgegevens toevoerventielen per ruimte

Ruimte	Aantal	Afmetingen/diameter [mm]	Q _v [dm ³ /s]	Worplengte [m]	Openingshoek/spleetbreedte [mm]	Drukval [Pa]	Lp/Lw [dB]
1.							
2.							
3.							
4.							
5.							
6.							
7.							
8.							
9.							
10.							

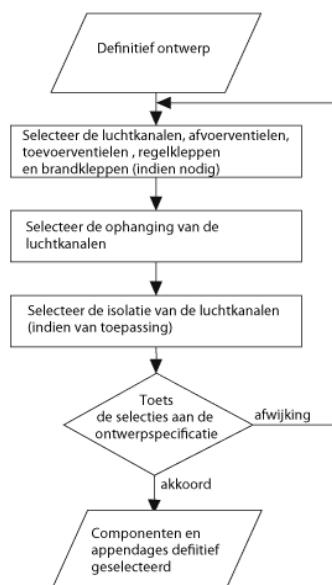
Specificatieblad III.0-1 Algemeen

Doelstelling

In de uitwerkingsfase wordt het systeemontwerp tot in detail uitgewerkt en besteksklaar gemaakt.

Stappenplan

De volgende stappen kunnen doorlopen worden om het luchtkanalensysteem tot in detail uit te werken.



Afb. III.1 Stappenplan uitwerkingsfase

Specificatieblad III.2-1 Uitwisseling informatie

Informatie uitwisseling

In de volgende informatiedragers liggen de uitgangspunten voor de uitwerkingsfase vast:

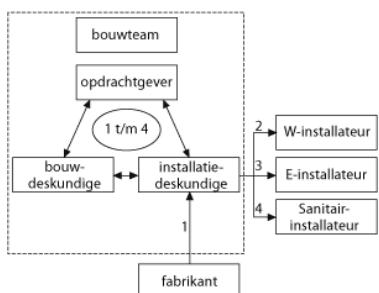
1. Het Programma van Eisen conform specificatieblad I.8-1 en vraagspecificatiebladen I.8-2 en II.8-2;
 2. Het woningontwerp (voorlopig ontwerp of definitief ontwerp);
 3. Het systeemontwerp conform specificatieblad II.8-1.

In de uitwerkingsfase worden de systeemcomponenten geselecteerd.

Gedurende de uitwerkingsfase worden de volgende toetsmomenten onderscheiden:

1. Controle van de definitieve installatietekeningen door de installatiedeskundige;
 2. Validatie van de gekozen systeemcomponenten op basis van de ontwerpspecificaties;
 3. Zo nodig vervaardigen van een combinatietakening E, W en S.

In de uitvoeringsfase is uitwisseling van informatie noodzakelijk tussen diverse disciplines. In het volgende schema zijn de noodzakelijke informatiestromen gespecificeerd.



Afb. III.2 Informatiestroom in uitwerkingsfase

Toelichting bij het communicatieschema:

1. Productinformatie;
 2. Gegevens m.b.t. installatie: bestek soms schrijving en installatietekeningen;
 3. Gegevens m.b.t. elektra: voeding, positie schakelaar;
 4. Gegevens m.b.t. sanitair: n.v.t.

Verwijzingen

Specificatiebladen

I.8-1 Rapportage

II.8-1 Rapportage

II.8-2 Vraagspecificatieblad kwaliteitsaspecten

III.0-1 Randvoorwaarden

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad III.3-1 Luchtkanalen

Wettelijke eisen

Geen.

Kwaliteitseisen

Selecteer de kanalen en hulpstukken conform de in het ontwerp opgenomen specificaties en ga na of aan de gestelde en de te stellen eisen voldaan wordt.

Verwijzingen

Normen en richtlijnen

NEN-EN 13180 Ventilatie in gebouwen. Luchtkanalen. Afmetingen en mechanische eisen voor flexibele kanalen'.

NEN-EN 1505 'Ventilatie van gebouwen. Rechthoekige dunwandige metalen luchtleidingen en verbindingsstukken; Afmetingen' (1998).

Nederlandse vereniging voor luchtkanalenvabrikanten, 'Kwaliteitshandboek luchtkanalen' (2009).

Specificatiebladen

[II.8-2 Vraagspecificatieblad kwaliteitsaspecten](#)

[II.4-1 Overzicht middelen ontwerp fase](#)

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad III.3-2 Hulpstukken

Wettelijke eisen

Geen.

Kwaliteitseisen

Hulpstukken moeten voldoen aan dezelfde eisen voldoen als de kanalen qua maatvoering, wanddikte en luchtdoorlatendheidsklasse.

Verwijzingen

Normen en richtlijnen

NEN-EN 1505 'Ventilatie van gebouwen. Rechthoekige dunwandige metalen luchtleidingen en verbindingsstukken; Afmetingen' (1998). Nederlandse vereniging voor luchtkanalenfabrikanten, 'Kwaliteitshandboek luchtkanalen' (2009).

Specificatiebladen

[II.8-2 Vraagspecificatieblad kwaliteitsaspecten](#)

[II.4-1 Overzicht middelen ontwerpfase](#)

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad III.3-3 Ophanging/ondersteuning luchtkanalen

Wettelijke eisen

Geen.

Kwaliteitseisen

Selecteer de ondersteuning/ophanging zodanig dat deze voldoet aan de eisen betreffende:

1. Afmetingen;
2. Sterkte en stijfheid;
3. Corrosiebestendigheid en;
4. Brandveiligheid.

Verwijzingen

Normen en richtlijnen

Nederlandse vereniging voor luchtkanalenvfabrikanten, ' Kwaliteitshandboek luchtkanalen' (2009).

Specificatiebladen

[II.8-2 Vraagspecificatieblad kwaliteitsaspecten](#)

[II.4-1 Overzicht middelen ontwerp fase](#)

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad III.3-4 Inregelvoorzieningen

Wettelijke eisen

Geen.

Kwaliteitseisen

Algemeen

Selecteer regelkleppen waarvan de regelkarakteristiek overeenkomt met de specificaties volgend uit de weerstandsberekening en het kanalenontwerp.

Selecteer regelkleppen waarvan de klepverstelhoek kan worden geborgd.

Productinformatie

Gegevens over de regelkarakteristiek van regelkleppen moeten bij voorkeur worden ontleend aan de bijbehorende documentatie van de fabrikant. Regelkleppen moeten voldoen aan ISO-inbouwmaten en zijn afgestemd op de kanaaldiameter / kanaalafmetingen waarin ze worden opgenomen.

Verwijzingen

Normen en richtlijnen

Nederlandse vereniging voor luchtkanalenfabrikanten, 'Kwaliteitshandboek luchtkanalen' (2009).

Specificatiebladen

[III.4-1 Overzicht middelen uitwerkingsfase](#)

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	4 Middelen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad III.4-1 Overzicht middelen uitwerkingsfase

Selectie kanalen

De afmetingen en de eisen te stellen aan de luchtkanalen zijn in hoofdstuk 3 gegeven.

Selectie regelkleppen

Luchtkanaalstelsels moeten ingeregd worden om ervoor te zorgen dat ieder vertrek de gewenste luchtvolumestroom krijgt. Om dat te realiseren zijn inregelkleppen noodzakelijk. Paragraaf 5.2 gaat nader in op ontwerpmethoden.

Verwijzingen

Hoofdstukken en bijlagen

Hoofdstuk 3 Standaardisatie van kanalen en hulpstukken.
Paragraaf 5.2 Ontwerpmethoden.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	8 Documentatie				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad III.8-1 Rapportage

Rapportage

Aan het einde van de uitwerkingsfase moet minimaal zijn vastgelegd:

1. De installatietekeningen van het kanalenontwerp met daarin aangegeven:
 1. Luchtvolumestroom per vertrek;
 2. Inregelgegevens van apparaten, roosters en volumeregelaars.
2. De montagetekeningen en montagevoorschriften;
3. De bestekomschrijving of werkomschrijving met daarin opgenomen:
 1. Algemene informatieoverdracht (tekeningen, onderhouds- en bedrijfsvoorschriften, garantiebepalingen);
 2. Functionele omschrijving van de installatieonderdelen;
 3. Tekeningen en berekeningen;
 4. Ontwerpwaarden m.b.t. inregeldebieten, luchtlekkage, geluidniveau;
 5. Meetprotocollen;
 6. Controleprotocol;
 7. Opleveringsprotocol;
 8. Onderhoudsverklaring;
 9. Bedieningsinstructies.
4. Eventuele afwijkingen ten opzichte van de ontwerpspecificaties conform II.8-1 en II.8-2;
5. Kosten.

Bovengenoemde gegevens dienen als uitgangspunt voor de uitvoeringsfase.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
--------------	-------------	------------	----------------	---------------	----------

Beheeraspect:	
---------------	--

Datum: 01-03-2022

Specificatieblad III.8-2 Vraagspecificatieblad kwaliteitsaspecten

Vraagspecificatie

Tijdens de ontwerp fase worden diverse keuzes gemaakt m.b.t. de eisen die aan de kwaliteit van het luchtkanalensysteem worden gesteld. Een aantal keuzen zijn reeds vermeld in specificatieblad II.8-2.

Dit vraagspecificatieblad is bedoeld om alle gemaakte keuzes met betrekking tot het ventilatiesysteem te specificeren, en dient als middel om de eisen en wensen van de opdrachtgever te vertalen in een ontwerp en door te geven naar de uitvoeringsfase.

Invulblad en uitgangspunten		Eisen	Middelen
1.	Project		
2.	Plaats		
3.	Contactpersoon/ventilatiedeskundige	III.2-1	III.8-1
4.	Offerte nummer		
5.	Datum vaststelling uitgangspunten		

Geselecteerde componenten		Merk/Type/Uitvoering	Eisen	Middelen
8.	Kanalen		III.3-1	Hoofdstuk 3
9.	Inregelvoorzieningen		III.3-3	Hoofdstuk 5
10.	Terugslagkleppen		III.3-2	Hoofdstuk 5
11.	Brandkleppen		II.3-5	Paragraaf 4.4 Paragraaf 11.2
12.	Dakdoorvoeren		II.3-8	
13.	Overspraak- en geluiddempers		II.3-3	Hoofdstuk 9
14.	Isolatie kanalen		II.3-2	Paragraaf 4.2

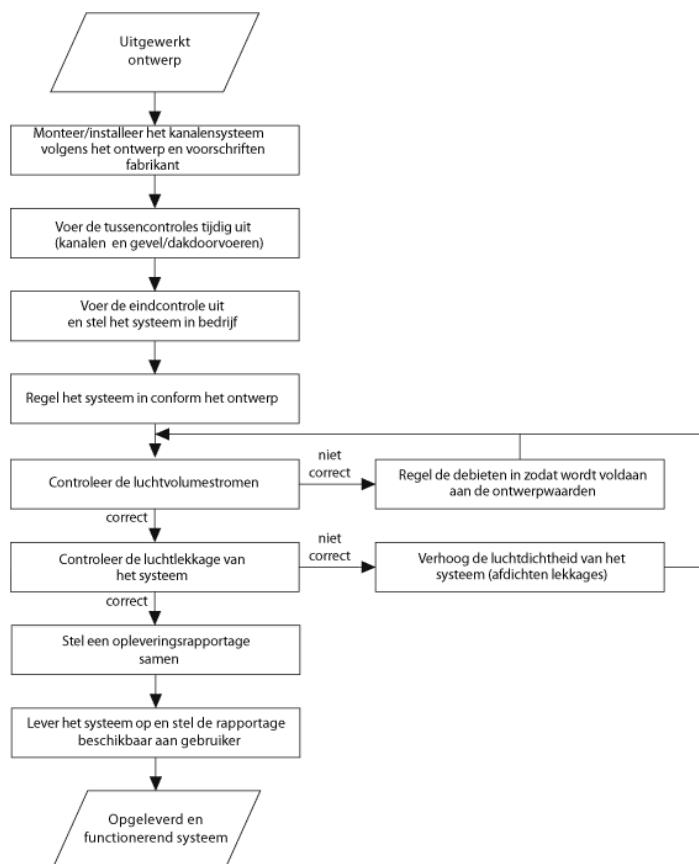
Specificatieblad IV.0-1 Algemeen

Doelstelling

In de uitvoeringsfase wordt het systeem gerealiseerd en in gebruik genomen.

Stappenplan

De volgende stappen kunnen doorlopen worden om het luchtkanalensysteem te realiseren en na montage te controleren.



Afb. IV.1 Stappenplan uitvoeringsfase

Verwijzingen

Specificatiebladen

[V.2-1 Uitwisseling informatie](#)

[V.3-1 Gebruik van het luchtkanaalsysteem](#)

[V.3-2 Onderhoud van het luchtkanaalsysteem](#)

Specificatieblad IV.2-1 Uitwisseling informatie

Informatiedragers

In de volgende informatiedragers liggen de uitgangspunten voor de uitvoeringsfase vast:

1. Het Programma van Eisen conform specificatieblad I.8-1;
2. Het gebouwontwerp;
3. Het systeemontwerp conform specificatieblad II.8-1 en III.8-1;
4. De bestekomschrijving en installatietekeningen;
5. Het meetprotocol met steekproefbepaling;
6. Het controleprotocol met steekproefbepaling;
7. Het opleveringsprotocol.

Informatie verwerven

In de uitvoeringsfase worden de systeemcomponenten geïnstalleerd en gecontroleerd.

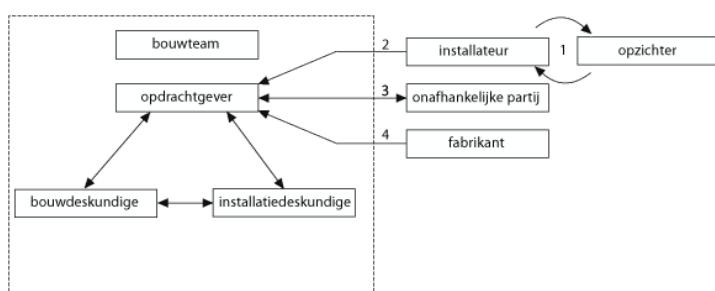
Gedurende de uitvoeringsfase worden de volgende toetsmomenten onderscheiden voor de installateurs /opzichter van de installateurs:

1. Controle van de montage volgens de montagevoorschriften;
2. Controle van de installatie volgens de installatievoorschriften;
3. Controle van de werking volgens de prestatiecriteria:
 1. Meten van ventilatiesysteem volgens meetprotocol;
 2. Controleren van ventilatiesysteem volgens het controleprotocol.

De resultaten van de diverse metingen en controles worden gebundeld volgens het opleveringsprotocol.

Noodzakelijk overleg

In de uitvoeringsfase is overleg noodzakelijk tussen diverse disciplines. In het volgende schema zijn de noodzakelijke informatiestromen gespecificeerd.



Afb. IV.2 Communicatieschema

Toelichting bij het communicatieschema:

1. De installateur zorgt voor de montage en installatie en voor het inregelen en in bedrijf stellen van het systeem (conform specificatiebladen IV.3-1, IV.4-1). De installateur wordt daarbij tussentijds en zodra het systeem gereed is gecontroleerd door of namens de opdrachtgever (conform specificatieblad IV.4-1);
2. Na het in bedrijf stellen worden de diverse rapportages gebundeld en overgedragen aan de opdrachtgever (conform specificatieblad IV.8-1);
3. Een onafhankelijke partij controleert/verifieert of aan de vooraf gestelde eisen wordt voldaan (conform specificatiebladen IV.4-1) en rapporteert naar de opdrachtgever. In geval van procescertificatie (op basis van BRL 6000-10) is dit punt niet van toepassing;
4. Relevante fabriekshandleidingen worden overdragen aan de opdrachtgever ten behoeve van oplevering.

Verwijzingen

Specificatiebladen

[I.8-1 Rapportage](#)

[II.8-1 Rapportage](#)

[II.8-2 Vraagspecificatieblad kwaliteitsaspecten](#)

[III.8-1 Rapportage](#)

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad IV.3-1 Montage en installatietechnische eisen

Wettelijke eisen

Geen.

Kwaliteitseisen

Algemeen

1. De montage van de gehele installatie moet zorgvuldig te worden uitgevoerd;
2. Door middel van tussentijdse controles en een eindcontrole dient de kwaliteit van het geïnstalleerde ventilatiesysteem te worden bewaakt;
3. De installatie moet schoon opgeleverd worden.

Kanalensysteem

1. Luchtkanalen dienen luchtdicht gemonteerd te worden volgens het ontwerp, het LUKA-Kwaliteitshandboek en de voorschriften van de fabrikant of leverancier. Daarbij moet extra aandacht worden besteed aan:
 1. Flexibele slang: Contact tussen flexibele kanalen van aluminium en kalkhoudend bouwmateriaal moet worden voorkomen in verband met aantasting. Flexibele slangen moeten op voorspanning worden gemonteerd om een zo glad mogelijke binnenwand te verkrijgen;
 2. Geluiddempende slang: Geluiddempende slang mag niet worden gebruikt als bochtstuk en moet, net als flexibele slang, strak worden gemonteerd;
 3. Dampdicht isolatie: Het isolatiemateriaal, inclusief de afwerking van naden, moet dampdicht worden uitgevoerd;
 4. Instortkanalen: vóór het storten van de druklaag op de breedplaatbekistingsvloer dienen instortkanalen tussentijds visueel te worden gecontroleerd op correcte, onbeschadigde montage.
2. Regel- en terugslagkleppen dienen gemonteerd te worden volgens het ontwerp en de voorschriften van de fabrikant of leverancier;
3. Brandkleppen dienen gemonteerd te worden volgens het ontwerp en de voorschriften van de fabrikant of leverancier;
4. Gevel- en dakdoorvoeren ten behoeve van aanzuig- en afvoerkanalen dienen volgens het ontwerp te worden uitgevoerd en tussentijds te worden gecontroleerd.

Ophanging van kanaalsystemen

De luchtkanalen moeten met inbegrip van de nodige verbindingen en hulpstukken zodanig worden gemonteerd dat deze, compleet met de isolatie, niet doorhangen of kunnen vervormen en een strak geheel vormen. De kanalen dienen vrij van andere installaties te worden opgehouden en bevestigd aan voldoende solide constructies.

Om ervoor te zorgen dat bij een brand de bevestiging van luchtkanalen niet bezwijkt mogen bevestigingsmiddelen, waaronder pluggen, niet van kunststof of een ander bij brand vervormend materiaal zijn vervaardigd. Gebruik bijvoorbeeld metalen pluggen.

Eis is dat ophangconstructies zodanig bestand zijn tegen omgevingsinvloeden dat de constructie niet bezwijkt. Met name in chloorhoudende omgevingen (bijvoorbeeld zwembaden) is dit van groot belang.

Voor metalen kanalen met een diameter kleiner dan 500 mm wordt volstaan met éénpuntsbeugels (boven- en onderbeugel) uit sendzimir verzinkt bandstaal of gaatjesband, voorzien van vilt of PE-band, of met geplastificeerd gaatjesband met éénpuntsophanging. Daarnaast kunnen standaardbeugels met rubber inlage worden toegepast.

De maximale hartafstand tussen de ophangpunten in lengterichting van het kanaal bedraagt 3 m.

De maximale beugelafstand bij kunststofkanalen mag niet groter zijn dan de in tabel IV.1 gegeven waarden.

Tabel IV.1 Beugelafstand (in cm) voor horizontale kunststofkanalen

d [mm]	PVC ¹⁾					HDPE				
	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C
63	140	130	120	85	55	120	115	105	100	90
75	150	140	135	95	60	135	130	120	110	100
90	165	155	150	105	70	150	145	135	125	115
110	185	175	170	120	80	165	160	150	145	130
125	210	205	185	160	90	175	170	160	155	140
140	215	210	195	160	110	190	185	175	165	150
160	225	215	210	170	130	205	195	185	175	160
200	255	235	225	200	150	230	220	210	200	190
225	250	240	240	200	160	245	235	225	215	205
250						260	250	240	230	210
280						275	265	255	240	220
315						290	280	270	255	235
355						310	300	290	275	255
400						330	315	305	290	270

1) Voor verticale leidingen: afstand uit de tabel vermenigvuldigd met 1,3.

De ophanging van uitwendig geïsoleerde ronde horizontale luchtkanalen geschiedt in principe op dezelfde wijze als bij de ongeïsoleerde kanalen. Bestaat er geen gevaar voor condensatie dan zijn er ter plaatse van de ophangconstructie geen speciale voorzieningen nodig. De kanalen kunnen, inclusief de ophangconstructie, uitwendig worden geïsoleerd.

Bij kans op condensatie ter plaatse van de ophangconstructie moet om het kanaal een schaal worden opgenomen van pir-schuim, voorzien van een versterkte aluminium folie met een overlap van 25 mm. De dikte van de schaal is ten minste gelijk aan die van de kanaalisolatie met een breedte van 100 mm. In dit geval is de beugeling om de isolatie heen.

Bij rechthoekige metalen luchtkanalen moet de beugeling/ophanging voldoen aan de in tabel IV.2 gegeven waarden.

Tabel IV.2 Eisen voor de ophanging van rechthoekige metalen kanalen

Grootste kanaalzijde [mm]	Diameter van draadstang [mm]	Draagconstructie ¹⁾			Maximale afstand ophangpunten [mm]
		Hoekprofiel [afbeelding 6.3 a1]	U-profiel [afbeelding 6.3 a2]	Montagerail [afbeelding 6.3 a3]	
400	6	25 x 25 x 1,5	25 x 25 x 1,5	20 x 25 x 1,5	3.000
600	8	25 x 25 x 3	25 x 25 x 3	25 x 25 x 1,5	3.000
1.000	8	30 x 30 x 3	25 x 30 x 3	30 x 25 x 1,5	2.500
1.400	8	40 x 40 x 3	30 x 40 x 3	40 x 25 x 1,5	2.500
2.000	8	40 x 40 x 4	30 x 40 x 4	40 x 25 x 1,5	2.500

1) Hoogte x breedte x dikte in mm.

De ophanging van uitwendig geïsoleerde rechthoekige luchtkanalen geschiedt in principe op dezelfde wijze als bij de ongeïsoleerde kanalen. Bestaat er geen gevaar voor condensatie dan zijn er ter plaatse van de ophangconstructie geen speciale voorzieningen nodig. De kanalen kunnen, inclusief de ophangconstructie, uitwendig worden geïsoleerd.

Bij kans op condensatie ter plaatse van de ophangconstructie moet om het kanaal een plaat worden opgenomen van pir-schuim, voorzien van een versterkte aluminium folie met een overlap van 25 mm. De dikte van de schaal is tenminste gelijk aan die van de kanaalisolatie met een breedte van 100 mm. De beugeling is dan om de isolatie heen.

Voor de ophanging van ovale kanalen dienen bandstalen beugels, strips of hoekprofielen te worden toegepast, die door middel van twee draadstangen worden bevestigd (zie afbeelding 6.4). Tussen de ophanging en het kanaal moet een 10 mm dikke viltlaag of een rubberen vulstrip met een hardheid van 60° Shore, dikte 5 mm, worden aangebracht die bij voorkeur breder is dan de ophanging.

De onderbeugel wordt met 2 draadstangen aan het plafond bevestigd. De afstand tussen deze draadstangen en het kanaal is minimaal 30 mm en maximaal 100 mm. De onderlinge hart op hart afstand tussen de ophangpunten in lengterichting van het kanaal bedraagt 3 m.

Inregelen

De installatie moet ingeregeld worden.

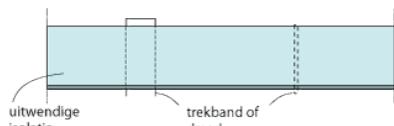
Bij gebruik van de voorinstelmethode moeten de regelkleppen op de berekende stand gezet worden.

Als voor het inregelen de proportionele methode gebruikt wordt, zijn de te volgen stappen gegeven in paragraaf 15.3.

Isolatie van kanaalsystemen

Bevestiging op ronde kanalen

Ronde kanalen worden alleen uitwendig van isolatie voorzien door toepassing van dekens. Deze worden door middel van binden met een trekband van minimaal 10 mm breed om de 600 mm aan het kanaal bevestigd. Het gebruik van kunststof trekbanden leidt in geval van brand tot functieverlies en wordt daarom afgeraad.



Afb. IV.3 Bevestiging door binden

De naden worden met aluminium all-weather kleefband met een breedte van 75 mm dampdicht afgewerkt. De kleefkracht op staal moet minimaal 9N/25 mm² bedragen. Alvorens het plakband aan te brengen moet de ondergrond stof- en vetvrij worden gemaakt.

Rechthoekige kanalen

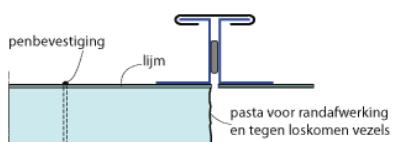
Rechthoekige luchtkanalen kunnen zowel in- als uitwendig worden geïsoleerd. Hiervoor komen de bevestigingsmethoden volgens tabel IV.3 in aanmerking.

Tabel IV.3 Bevestigingsmethoden van mineraalwol bij rechthoekige kanalen

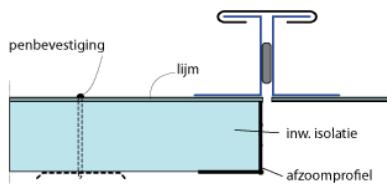
Mineraalwolisolatie	Bevestiging door middel van		
	Lijmen	Binden	Pennen
Lamellen dekens	uitwendig	-	in-/uitwendig

Toegepast wordt de bevestiging door middel van een zelfklevende lamellendeken of door middel van pennen in combinatie met lijmen, die in de volgende afbeeldingen is weergegeven voor in- en uitwendige isolatie.

Inwendige isolatie



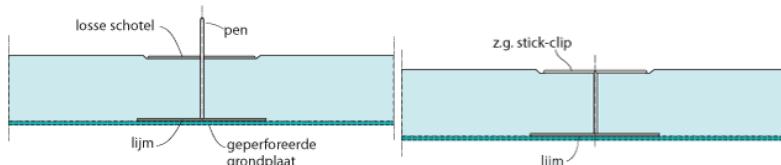
Afb. IV.4 Bevestiging en randafwerking met pasta



Afb. IV.5 Bevestiging en randafwerking met afzoomprofiel

Uitwendige isolatie

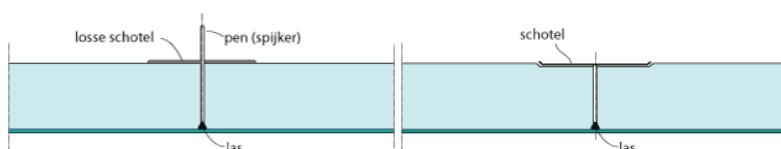
Voor de bevestiging van de uitwendige isolatie wordt gebruik gemaakt van de plakpen met losse schotel of stick-clip (splittongpen).



Afb. IV.6 Bevestiging met plakpen

De plakpennen moeten met daartoe geschikte lijm worden bevestigd. De toepassing van zelfklevende plakpennen wordt aangeraden.

De laspen met losse schotels of als schotelpennen



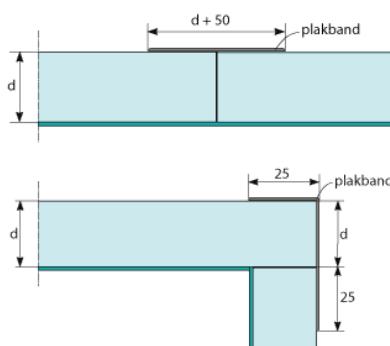
Afb. IV.7 Bevestiging met laspen

Las- en schotelpennen worden door weerstandslassen aangebracht.

Bij zowel de in- als uitwendige isolatie met mineraalwol moeten de pennen in aantal en patroon zodanig te worden aangebracht dat er sprake is van een gelijkmatige bevestiging, zonder dat er spanning op de aangeplakte naden ontstaat. Voor een goede bevestiging wordt aanbevolen:

1. 3 à 4 pennen per m^2 indien geen gevaar voor loslaten bestaat door het eigen gewicht of door de optredende zuigdruk in het kanaal;
2. 6 à 8 pennen per m^2 indien de isolatielagen door hun eigen gewicht of door de optredende zuigdruk kunnen loslaten.

Bij toepassing van schotelpennen moet men de lengte zo te kiezen dat het isolatiemateriaal minimaal wordt ingedrukt. Dit geldt eveneens voor pennen waarop losse schotels worden bevestigd. Indien aan de uitwendige afwerking eisen worden gesteld, moeten de pennen worden ingekort en de losse schotels of de penschotels met aluminium plakband worden afgewerkt. De naden worden eveneens hiermee afgewerkt.



Afb. IV.8 Afwerking van de naden met aluminium plakband

De naden worden met aluminium all weather kleefband met een breedte van 75 mm dampedicht afgewerkt. De kleefkracht op staal moet minimaal 9N/25 mm² bedragen. Alvorens het plakband aan te brengen moet de ondergrond stof- en vettvrij te worden gemaakt.

Afwerking

De uitwendig aangebrachte mineraalwolisolatie is bij binnenopstelling afgewerkt met versterkte aluminiumfolie dat met een overlap wordt aangebracht.

Uitwendig geïsoleerde kanalen in de buitenlucht moeten worden afgewerkt met aluminium beplating.

Verwijzingen

Normen en richtlijnen

DVS 2210-1 Industrierohrleitungen aus thermoplastischen Kunststoffen - Projektierung und Ausfuhrung - Oberirdische Rohrsysteme, 1997.
Luka Kwaliteitshandboek Luchtkanalen 2009.

Specificatieblad IV.4-1 Overzicht middelen realisatiefase

Kanalen

De montage en ophanging van luchtkanalen, regelkleppen, brandkleppen, (geluiddempende) slangen komt aan de orde in hoofdstuk 6.

Inregelen

Het inregelen wordt behandeld in paragraaf 15.3.

Keuren/beproeven

Het keuren/beproeven wordt in hoofdstuk 13 behandeld.

Specificatieblad IV.8-1 Rapportage

Rapportage

Aan het einde van de uitvoeringsfase dient een opleveringsrapport te worden samengesteld conform het opleveringsprotocol. Het opleveringsrapport moet de volgende informatie bevatten:

1. Ontwerpspecificaties en eventuele afwijkingen ten opzichte van de ontwerpspecificaties;
2. Controlerapport met betrekking tot montage en installatie;
3. Meetrapporten met betrekking tot:
 1. Regelknop ventilatiecapaciteit;
 2. Ventilatiedebiet;
 3. Lekdichtheid.

Specificatieblad V.0-1 Algemeen

Doelstelling

In de beheerfase worden het gebouw en het luchtkanalensysteem in gebruik genomen en moet de installatie onderhouden worden.

Verwijzingen

Specificatiebladen

Specificatiebladen beheerfase.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	2 Communicatie				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad V.2-1 Uitwisseling informatie

Informatiedragers

In de volgende informatiedragers liggen de uitgangspunten voor de beheerfase vast:

1. De technische documentatie van de geïnstalleerde apparatuur;
2. De onderhoudsverklaring;
3. De garantieverklaring;
4. De gebruiksinstructie.

Verwijzingen

Specificatiebladen

[I.8-1 Rapportage](#)

[II.8-1 Rapportage](#)

[III.8-1 Rapportage](#)

[IV.8-1 Rapportage](#)

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad V.3-1 Gebruik van het luchtkanaalsysteem

Wettelijke eisen

Geen.

Kwaliteitseisen

Voor een correct gebruik van de installatie moet een bedieningsvoorschrift verstrekt worden. Hierbij zijn de volgende punten van belang:

1. Overzicht garanties;
2. Specificatie gebruikte onderdelen met leveranciers;
3. Onderhoud van het luchtkanalensysteem.

Een storingswijzer moet ook geleverd worden.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	3 Eisen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad V.3-2 Onderhoud van het luchtkanaalsysteem

Wettelijke eisen

Geen.

Kwaliteitseisen

Het onderhoud van het ventilatiesysteem kan worden onderverdeeld in onderhoud door de gebruiker/gebouwbeheerder en door de installateur.

De handleiding voor het onderhoud door de gebruiker/gebouwbeheerder omvat minimaal het volgende:

1. Aanduiding van de onderhoudswerkzaamheden die door de gebruiker zelf kunnen worden uitgevoerd en die door een installateur verricht moeten worden;
2. Frequentie reiniging roosters en ventielen;
3. Frequentie vervanging filters;
4. Handleiding reiniging roosters en ventielen;
5. Handleiding vervangen filters;
6. Storingswijzer.

Het onderhoud door de installateur moet ten minste gericht zijn op:

1. Controle op vervuiling en vervanging filters;
2. Controle op vervuiling en reiniging ventilatoren;
3. Controle van de regeling;
4. Controle van overige sensoren;
5. Controle op (en zo nodig repareren van) beschadigingen aan elektrische bekabeling.

Verwijzingen

Normen en richtlijnen

ISSO-publicatie 63 Beheer en onderhoud van ventilatiesystemen in woningen en woongebouwen.

Projectfase:	I Programma	II Ontwerp	III Uitwerking	IV Uitvoering	V Beheer
Beheeraspect:	4 Middelen				
Datum:	01-03-2022				

Specificatieblad V.4-1 Overzicht middelen beheerfase

Meetmethoden

Paragraaf 15.2 gaat nader in op de toe te passen meetmethoden en de plaats van en het aantal benodigde meetpunten.

Inregelen

Paragraaf 15.3 gaat nader in op het inregelen van het luchtkanalensysteem.

Gebruikers instructies

Paragraaf 15.4 gaat nader in op de instructies voor de gebruikers.

Inspectie en reiniging

Paragraaf 15.6 gaat nader in op het reinigen van componenten en het uitvoeren van inspecties.

Bijlagen

Bijlage A Verbinden van kunststofkanalen

In deze bijlage wordt ingegaan op het verbinden van de volgende verbindingstechnieken en de materialen waarop dat van toepassing is:

1. Lijmen van PVC;
2. Lassen van PVC;
3. Spiegellassen PE en PP;
4. Electromof lassen PE;
5. Extrusielassen PE en PP;
6. Moflassen PP.

A.1 Lijmen van PVC

Algemeen geldt dat de aanwijzingen van de leverancier van de kanalen en de lijm gevolgd moeten worden.

Wanneer de leverancier geen andere aanwijzingen geeft moet men zich houden aan de volgende regels:

1. Kanaal haaks afzagen;
2. Eventuele bramen moeten van de kanaaleinden verwijderd worden;
3. Kanaal aanschuinen zodat montage makkelijker wordt;
4. Beide oppervlakken van de te verlijmen delen met een geschikte reiniger behandelen tot een mat oppervlak ontstaat;
5. Temperatuur van lucht en materiaal moet tussen de 5 en 30 °C liggen;
6. Gebruik een voor materiaal en toepassing geschikte lijmsoort;
7. Binnenzijde van de fitting schraal insmeren en de buitenzijde royaal insmeren (niet met cyclische beweging maar in de langsrichting van de buis (kwast diameter 10 mm bij buis tot 25 mm, diameter 20 mm van 50 - 63 mm diameter en daarboven een kwast van 30x5 mm);
8. Buis en fitting in elkaar schuiven (niet draaien) en enige seconden vasthouden;
9. Overtollige lijm direct verwijderen;
10. Gedurende de eerste 5 minuten verlijmde buizen niet bewegen. Bij lage temperaturen (< 10 graden) wordt dat 15 minuten.

Voorkom zware mechanische belastingen binnen 10-12 uur.

Alvorens de constructie onder druk te zetten moet men de droogtijd van de gebruikte lijm aan houden. Tabel A.1 geeft richtwaarden.

Tabel A.1 Richtwaarden voor de droogtijd in uren afhankelijk van buisdiameter, druk en temperatuur (bron SABA)

Diameter	Temperatur	Druk < 10 bar
Ø 16 - 75 mm	> 15 °C	2 uur
	5 - 15 °C	4 uur
Ø 90 - 160 mm	> 15 °C	4 uur
	5 - 15 °C	8 uur
Ø 200 - 400 mm	> 15 °C	8 uur
	5 - 15 °C	16 uur

Opmerking: Bij kanalen tot 90 mm kan de verlijming geschieden door 1 persoon. Daarboven zijn i.v.m. verwerkingstijd 2 personen nodig.

Lijmverbindingen mogen alleen gelegd worden door personen die in het bezit zijn van een certificaat voor het verlijmen van PVC.

A.2 Lassen van PVC

Naast lijmen is PVC ook te goed te verbinden door lassen.

Bij het lassen van PVC zijn er de volgende mogelijkheden:

1. Lassen met hete lucht en vulmateriaal;
2. Bij het PVC lassen van dikkere materialen wordt met hete lucht de PVC van de verschillende lagen verhit tot het smeltpunt. In de naad wordt PVC lasdraad toegevoerd en vloeit het geheel uit tot één geheel;
3. Lassen met hete lucht en op elkaar drukken; dunne lagen worden met hete lucht verhit tot het smeltpunt en daarna onder druk aan elkaar gevoegd;
4. Het smelten van beide oppervlakken met behulp van een verwarmde plaat en daarna de vlakken op elkaar drukken.

A.3 Spiegellassen PE en PP

Voorwaarden voor het uitvoeren van spiegellassen zijn:

1. De buizen moeten een haakse zaagsnede hebben en vrij zijn van bramen;
2. De lasspiegel moet schoon zijn;
3. De temperatuur van de lasspiegel moet 210 °C zijn;
4. Tot Ø 63 mm kan eventueel handmatig gelast worden; daarboven is een spiegellasmachine noodzakelijk;
5. Pas de juiste lasdruk toe (zie tabel A.2).

Tabel A.2 Richtwaarden voor de lasdruk (bron: Dyka)

ϕ [mm]	Lasdruk [kg]
40	6
50	7
63	9
75	10
90	15
110	22
125	28
160	45
200	57
250	90
315	140

Werkwijze bij handmatig spiegellassen

1. Druk de te lassen uiteinden licht tegen de spiegel, zodat de warmte gelijkmatig in kan dringen;
2. Houd de tijd tussen het afnemen van de spiegel en het bij elkaar brengen zo kort mogelijk;
3. Het lassen gebeurt door de twee stukken geleidelijk, met de gewenste druk (zie tabel A.2) tegen elkaar te duwen;
4. Afkoelen mag niet versneld plaatsvinden;
5. De vorm van de lasnaad moet gelijkmatig zijn (zie onderstaand voorbeeld).



Afb. A.1 Lasnaad na spiegellassen

Bij het gebruik van een spiegellasmachine moeten de richtlijnen bij de machine gevuld worden.

A.4 Electromoflassen PE

De electrolasmof is een los element. Buizen/hulpstukken kunnen tot de halve mofdiepte in de mof geschoven worden. In de mof zit een weerstandsdraad die met stroom de warmte produceert die voor het lassen benodigd is. Het sturen van de stroom wordt geregeld met een zgn. lastrafo, die het lasproces stuurt m.b.v. een elektronische tijdsturing. Bij het gebruik van het juiste moffensnoer wordt de mof herkend en berekent de lastrafo de benodigde stroomsterkte en tijd.

De lastrafo alleen laten gebruiken door daartoe opgeleide medewerkers.

Werkwijze bij het gebruik van electrolasmoffen:

1. Zaag of snijd de buis op lengte en verwijder eventuele bramen;
2. Verwijder het oxidelaagje aan de buitenzijde met een krabber (lengte van afkrabben is insteekdiepte + 1 cm);
3. Ontvet de binnenzijde van de mof met PE-reiniger;
4. Leidingonderdelen aftrekken en voldoende ver in de mof steken;
5. Controleeren of lastrafo uit staat en vervolgens de snoeren met een draaiende beweging aansluiten;
6. Startknop lastrafo indrukken en wachten tot proces voltooid is;
7. Lastrafo uit zetten;
8. Verbinding laten afkoelen zonder deze te beladen;
9. Na afkoeling de snoeren verwijderen.

A.5 Extrusielassen PP en PE

Toepassing - bij PE/PP dikwandig materiaal.

Principe - De extruder voedt zich met PE/PP lasdraad (2 mm t/m 5 mm) vanaf een rol. Direct bij opname wordt het lasdraad warm en neemt de wormschoef dit op om het te verwerken tot een plastische massa. Via de uitstroommond verlaat deze massa de extruder en zorgt de lasser ervoor dat met een bepaalde druk, snelheid en geleiding de gewenste lasrups gelegd wordt

A.6 PP Moflassen

Moflassen wordt toegepast bij PP buis en fittingen. Het grote voordeel bij deze lasmethode is dat er aan de binnenzijde van de buis of fitting geen lasril ontstaat, en dus geen vernauwing, vuilzetting of drukverlies in het leidingsysteem.

Principe - Door een warmte-element worden de buitenkant van de buis en de binnenkant van het hulpstuk gelijktijdig plastic, waarbij de buis en het hulpstuk direct in elkaar geschoven worden, zodat deze kunnen afkoelen.

Bijlage B Checklist eigenschappen isolatiematerialen

Eigenschap	Waarde grootheid	Normen/meetmethode
Warmtegeleidingscoëfficiënt	0 °C _____ W/(m·K)	
	10 °C _____ W/(m·K)	
	20 °C _____ W/(m·K)	
	30 °C _____ W/(m·K)	
	40 °C _____ W/(m·K)	
	50 °C _____ W/(m·K)	
Waterdampdifussiecoëfficiënt	Waterdampdifussiecoëfficiënt	
	Van afwerking _____ m	
Waterdampgeleidingscoëfficiënt		_____ kg/(m·h·Pa)
	Bereik min. _____ °C	
Temperatuur	Bereik max. _____ °C	
Vochtopname bij rv 95%	In gewichtsprocenten _____ %	
	In volumeprocenten _____ %	
Wateropname	In gewichtsprocenten _____ %	
	In volumeprocenten _____ %	
Soortelijke massa	_____ kg/m³	
Toelaatbare luchtsnelheid	_____ m/s	
Wandruwheid	_____ mm	
Uiterlijke kenmerken	Elasticiteit	
	Brosheid _____ %	
	Vezel/celstructuur	
	Vezelgrootte _____ m	
Brandeigenschappen	Kleur	
	Brandklasse	
	Zelfdovend	
	Vlamoverslag	
	Vlamuitbreiding	

	Niet afdruipend		
	Rookdichtheid	_____ m ³	
	Giftige gassen		
Brandwerendheid	Wanddoorvoeringen	_____ min.	
	Vloerdoorvoeringen	_____ min.	
Biologisch/chemisch gedrag	Verouderingsbestendig		
	Verrottingsvast		
	Chemicaliënbestendig		
Milieu en gezondheid	Reuk		
	Asbestvrij		
	CFK-vrij		
	Afwerking naden		
	Oplosmiddelvrije lijm		

Bijlage C Thermische berekeningsgrondslagen

C.1 Thermische berekeningsgrondslagen

Indien de temperatuur van de lucht in een luchtkanaal verschilt van die van de omgeving, ontstaat er een warmtestroom in de richting van de laagste temperatuur. De grootte van deze warmtestroom hangt af van de mate en afwerking van isolatie, het temperatuurverschil tussen de lucht in en buiten het kanaal, de luchtbeweging om het kanaal en de grootte van het warmteoverdragende oppervlak. Het warmtetransport vindt plaats via geleiding, convectie en straling.

De in dit hoofdstuk gegeven formules hebben uitsluitend betrekking op het stationaire warmtetransport, waarbij de temperatuur in de tijd constant is.

C.2 Warmteoverdracht door geleiding

De geleiding van warmte wordt met behulp van de warmtegeleidingscoëfficiënt λ in rekening gebracht volgens de wet van Fourier, die voor een vlakke homogene wand met ééndimensionaal warmtetransport kan worden geschreven als:

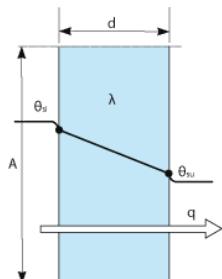
$$q = \lambda \cdot \frac{d\theta}{dx} \quad [W/m^2] \quad (C.1)$$

Voor een constructie die uit één homogene laag bestaat gaat vergelijking (C.1) over in:

$$q = \frac{\lambda}{d} (\theta_{si} - \theta_{su}) \quad [W/m^2] \quad (C.2)$$

Waarin:

q	=	warmtestroomdichtheid	$[W/m^2]$
λ	=	warmtegeleidingscoëfficiënt	$[W/(m \cdot K)]$
d	=	dikte van de laag	$[m]$
θ_{si}	=	oppervlaktetemperatuur aan binnenzijde	$[^\circ C]$
θ_{su}	=	oppervlaktetemperatuur aan buitenzijde	$[^\circ C]$



Afb. C.1 Temperatuurverloop in een vlakke enkelvoudige wand

De warmtestroomdichtheid in een wand die uit meerlagen bestaat wordt berekend met:

$$q = \frac{\theta_{si} - \theta_{su}}{R} \quad [W/m^2] \quad (C.3)$$

Waarin:

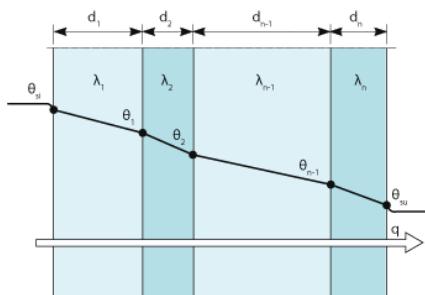
$$R = \frac{A}{R} \quad [m^2 \cdot K/W]$$

De thermische weerstand van een meerlagige wand berekent men uit de serieschakeling van de weerstanden van de afzonderlijke lagen:

$$R = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} \quad [m^2 \cdot K/W] \quad (C.4)$$

Waarin:

d_j	=	dikte van laag j	$[m]$
λ_j	=	warmtegeleidingscoëfficiënt van laag j	$[W/(m \cdot K)]$
n	=	aantal lagen	$[-]$



Afb. C.2 Temperatuurverloop in een vlakke meervoudige wand

Voor een cilindrische constructie bestaande uit één laag berekent men de lineaire warmtestroomdichtheid q' , dat wil zeggen de warmtestroomdichtheid per strekkende meter, als volgt:

$$q' = \frac{\theta_{si} - \theta_{su}}{R'} \quad [W/m] \quad (C.5)$$

Waarin:

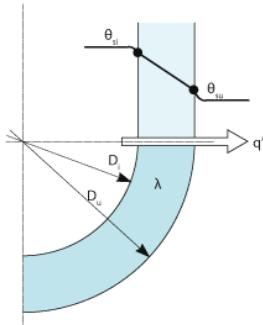
q'	=	lineaire warmtestroomdichtheid	$[W/m]$
R'	=	lineaire weerstand van cilindrische laag	$[m \cdot K/W]$

Met:

$$R' = \frac{\ln\left(\frac{D_u}{D_i}\right)}{2 \cdot n \cdot \lambda} \quad [m \cdot K/W] \quad (C.6)$$

Waarin:

D_u	=	buitendiameter van de laag	$[m]$
D_i	=	binnendiameter van de laag	$[m]$
\ln	=	natuurlijke logaritme	$[-]$



Afb. C.3 Temperatuurverloop in een enkelvoudige cilindrische laag

Bij een meervoudige isolatie bedraagt de lineaire warmtestroomdichtheid:

$$q' = \frac{\theta_{si} - \theta_{su}}{R'} \quad [W/m] \quad (C.7)$$

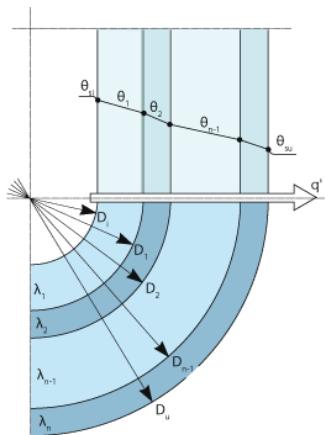
De totale weerstand R' berekent men uit de serieschakeling van de weerstanden van de afzonderlijke lagen:

$$R' = \frac{1}{2\pi} \sum_{j=1}^n \frac{\ln\left(\frac{D_j}{D_{j-1}}\right)}{\lambda_j} \quad [m \cdot K/W] \quad (C.8)$$

Waarin:

D_j	=	diameter van laag j	$[m]$
D_{j-1}	=	diameter van laag j-1	$[m]$
λ_j	=	warmtegeleidingscoëfficiënt van laag j	$[W/(m \cdot K)]$
n	=	aantal lagen	$[-]$

waarbij: $D_0 = D_i$ en $D_n = D_u$.



Afb. C.4 Temperatuurverloop in een meervoudige cilindrische laag

C.3 Warmteoverdracht door convectie

Bij warmteoverdracht door convectie wordt de warmtestroomdichtheid met behulp van de warmte-overdrachtscoëfficiënt h berekend met:

$$q = h \cdot \theta_s - \theta_l \quad [W/m^2] \quad (C.9)$$

Waarin:

q	=	warmtestroomdichtheid	$[W/(m^2)]$
h	=	warmteoverdrachtscoëfficiënt	$[W/(m^2 \cdot K)]$
θ_s	=	oppervlaktetemperatuur	$[^\circ C]$
θ_l	=	luchttemperatuur	$[^\circ C]$

Bij de stroming van lucht in kanalen treedt gedwongen convectie op, terwijl bij de stroming om kanalen sprake kan zijn van vrije convectie (opstelling in gebouw) en van gedwongen convectie (opstelling in open lucht, windaanval).

C.3.1 Warmteoverdracht in kanaal

De warmteoverdracht van de in het kanaal stromende lucht naar de kanaalwand wordt in rekening gebracht door de warmteoverdrachtscoëfficiënt h_i die wordt berekend met:

$$h_i = 0,023 \cdot \frac{\lambda_i}{D_i} \cdot Re_{D_i}^{0,8} \cdot Pr^{0,33} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (C.10)$$

Waarin:

h_i	=	warmteoverdrachtscoëfficiënt binnenzijde	$[W/(m^2 \cdot K)]$
λ_i	=	warmtegeleidingscoëfficiënt van lucht in kanaal	$[W/(m \cdot K)]$
D_i	=	inwendige diameter van kanaal	$[m]$
Re_{D_i}	=	kengetal van Reynolds, betrokken op kanaallucht	$[-]$
Pr	=	kengetal van Prandtl (= 0,7 voor lucht)	$[-]$

Met:

$$Re_{D_i} = \frac{v_i \cdot D_i}{u} \quad [-] \quad (C.11)$$

Waarin:

v_i	=	gemiddelde luchtsnelheid in kanaal	$[m/s]$
u	=	kinematische viscositeit van kanaallucht	$[m^2/s]$

C.3.2 Warmteoverdracht om kanaal

Convective warmteoverdrachtscoëfficiënt aan de buitenzijde van het kanaal wordt bij vrije convectie in horizontaal kanaal berekend met:

$$h_c = 1,35 \cdot \left(\frac{\theta_{su} - \theta_l}{D_u} \right)^{0,25} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (C.12)$$

Convective warmteoverdrachtscoëfficiënt aan de buitenzijde van het kanaal wordt bij gedwongen convectie berekend met:

$$h_c = 4,13 \cdot \frac{v_u^{0,8}}{D_u^{0,2}} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (C.13)$$

Waarin:

h_c	=	warmteoverdrachtscoëfficiënt voor convectie	$[W/(m^2 \cdot K)]$
θ_{su}	=	oppervlaktetemperatuur aan buitenzijde kanaal	$[^\circ C]$
θ_0	=	temperatuur van de omgeving	$[^\circ C]$
D_u	=	uitwendige kanaaldiameter (incl. isolatie)	$[m]$
v_u	=	luchtsnelheid om kanaal	$[m/s]$

De warmteoverdracht tussen het oppervlak van de (on)geïsoleerde kanaalwand en de omgevende lucht wordt in rekening gebracht door de warmteoverdrachtscoëfficiënt h_u die wordt berekend uit:

$$h_u = h_c + h_s \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (C.14)$$

Waarin:

h_u	=	warmteoverdrachtscoëfficiënt buitenzijde	$[W/(m^2 \cdot K)]$
h_c	=	warmteoverdrachtscoëfficiënt voor convectie	$[W/(m^2 \cdot K)]$
h_s	=	warmteoverdrachtscoëfficiënt voor straling	$[W/(m^2 \cdot K)]$

C.4 Warmteoverdracht door straling

De warmteoverdrachtscoëfficiënt voor straling wordt berekend met:

$$h_s = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \epsilon_s \cdot \frac{T_o^4 - T_{su}^4}{\theta_o - \theta_{su}} \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (C.15)$$

Waarin:

h_s	= warmteoverdrachtscoëfficiënt voor straling	[W/(m ² ·K)]
ϵ_s	= emissiefactor van kanaaloppervlak	[–]
T_o	= absolute temperatuur van de omgeving	[K]
T_{su}	= absolute oppervlaktetemperatuur aan buitenzijde kanaal	[K]
θ_o	= temperatuur van de omgeving	[°C]
θ_{su}	= oppervlaktetemperatuur aan buitenzijde kanaal	[°C]

Aangezien in de praktijk het temperatuurverschil tussen het kanaaloppervlak en de omgeving gering is kan formule C.15 zonder grote afwijkingen worden benaderd door:

$$h_s = 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot \epsilon_s \cdot 4 \cdot T_{\text{gem}}^3 \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})] \quad (\text{C.16})$$

Waarin:

$$T_{\text{gem}} = \frac{1}{2} \cdot (T_{su} + T_o) \quad [\text{°C}] \quad (\text{C.17})$$

De emissiefactor ϵ_s , die afhangt van aard van het kanaaloppervlak of de kanaalafwerking, kan aan tabel C.1 worden ontleend.

Tabel C.1 Emissiefactor ϵ_s van luchtkanalen

Kanaaloppervlak/afwerking	Conditie	Emissiefactor ϵ_s
PVA en PVC ¹⁾	wit	0,65
	groen	0,75
	grijs	0,87
	zwart	0,90
Metaalhoudende verf	wit	0,62
	groen	0,72
	grijs	0,85
	zwart	0,92
Synthetische schuimrubbers	zacht	0,80
	hard	0,86
	gepolijst	0,05
	dof	0,07
Aluminium	geoxideerd	0,15
	nieuw	0,08
	dof	0,25
	gepolijst	0,24
Verzinkt plaatstaal	verweerd/dof	0,82
Roestvast staal		

1) PVA = polyvinylalcohol, PVC = polyvinylchloride

C.5 Stationair warmtetransport

Voor de stationaire situatie, waarbij de temperaturen in de tijd onveranderlijk zijn, wordt de warmtestroomdichtheid als volgt berekend uit het temperatuurverschil tussen de lucht in het kanaal en de omgeving.

Vlakke constructies

$$q = U \cdot (\theta_i - \theta_o) \quad [\text{W}/\text{m}^2] \quad (\text{C.18})$$

Waarin:

$$\frac{1}{U} = R_i + R + R_u = R_t \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}] \quad (\text{C.19})$$

Met:

$$R_i = \frac{1}{h_i} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}] \quad (\text{C.20})$$

$$R = \sum_{j=1}^n \frac{d_j}{\lambda_j} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}] \quad (\text{C.21})$$

$$R_u = \frac{1}{h_u} \quad [\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}] \quad (\text{C.22})$$

Cilindrische constructies

$$q' = U' \cdot (\theta_i - \theta_o) \quad [\text{W}/\text{m}] \quad (\text{C.23})$$

$$\frac{1}{U'} = R'_i + R' + R'_u = R'_t \quad [\text{m} \cdot \text{K}/\text{W}] \quad (\text{C.24})$$

$$R'_i = \frac{1}{n \cdot h_i \cdot D_i} \quad [m \cdot K/W] \quad (C.25)$$

$$R' = \frac{1}{2n} \sum_{j=1}^n \frac{\ln\left(\frac{D_j}{D_{j-1}}\right)}{\lambda_j} \quad [m \cdot K/W] \quad (C.26)$$

$$R'_u = \frac{1}{n \cdot h_u \cdot D_u} \quad [m \cdot K/W] \quad (C.27)$$

Waarin:

d_j	=	dikte van laag j	[m]
h_u	=	warmteoverdrachtscoëfficiënt buitenzijde	[W/(m²·K)]
h_i	=	warmteoverdrachtscoëfficiënt binnenzijde	[W/(m²·K)]
n	=	aantal lagen	[–]
q	=	warmtestroomdichtheid	[W/(m²)]
q'	=	lineaire warmtestroomdichtheid	[W/m]
R'	=	lineaire weerstand van cilindrische laag	[m·K/W]
R	=	thermische weerstand	[m²·K/W]
D_j	=	diameter van laag j	[m]
D_{j-1}	=	diameter van laag j-1	[m]
λ_j	=	warmtegeleidingscoëfficiënt van laag j	[W/(m·K)]
θ_o	=	temperatuur van de omgeving	[°C]
θ_i	=	temperatuur in kanaal	[°C]

De uitwendige diameter van het kanaal is inclusief de eventueel aanwezige thermische isolatie.

C.6 Temperatuurverloop in constructie

Het temperatuurverloop in een meerlagige constructie volgens afbeelding C.5 wordt berekend met:

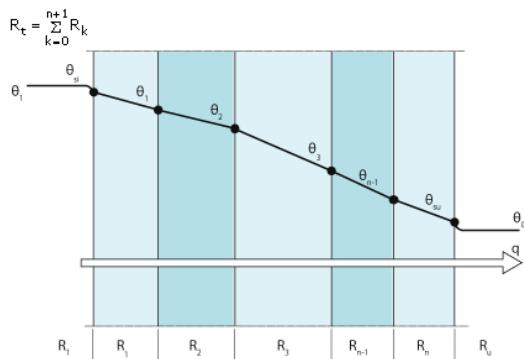
$$\theta_j = \theta_i - \frac{1}{R_t} \cdot \sum_{k=0}^{j-1} R_k \cdot (\theta_i - \theta_o) \quad [-] \quad (C.28)$$

Waarbij:

$$\theta_o = \theta_s \text{ en } R_o = R_s$$

$$\theta_n = \theta_{su}$$

$$\theta_{n+1} = \theta_o \text{ en } R_{n+1} = R_u$$



Afb. C.5 Temperatuurverloop in een meerlagige constructie

Het temperatuurverloop wordt berekend door voor de totale weerstand lucht op lucht (R'_t resp. R_t) te hanteren:

1. Voor ronde kanalen: formules C.24 t/m C.27;
2. Voor rechthoekige kanalen: formules C.19 t/m C.22.

Bijlage D Energieverlies per meter kanaal

Deze bijlage bevat de volgende tabellen met energieverlies in W/m per meter:

1. Tabel D.1 Energieverlies bij toepassing van glas-/steenwol ($\lambda_{is} = 0,036 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$);
2. Tabel D.2 Energieverlies bij toepassing van polyetheen ($\lambda_{is} = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$);
3. Tabel D.3 Energieverlies bij toepassing van PIR/PUR ($\lambda_{is} = 0,023 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$);
4. Tabel D.4 Energieverlies bij toepassing van synthetisch schuimrubber ($\lambda_{is} = 0,038 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$);
5. Tabel D.5 Energieverlies bij toepassing van polyetheen ($\lambda_{is} = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$);
6. Tabel D.6 Energieverlies bij toepassing van synthetisch schuimrubber ($\lambda_{is} = 0,038 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$).

Tabel D.1 Energieverlies in W/m bij toepassing van glas-/steenwol ($\lambda_{is} = 0,036 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)

Glas/steenwol		Emissiefactor uitwendig isolatieoppervlak	Uitwendige kanaaldiameter [mm]	Warmte-isolatiedikte [mm]									
				5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0,2 (metaal)	0,2 (metaal)	0,2 (metaal)	63	9,0	6,8	5,6	4,8	4,3	3,9	3,6	3,4	3,2	3,0
			80	10,9	8,2	6,7	5,8	5,1	4,6	4,3	4,0	3,7	3,5
			100	13,1	9,8	8,0	6,9	6,1	5,5	5,0	4,6	4,3	4,1
			125	15,8	11,9	9,6	8,2	7,2	6,5	5,9	5,5	5,1	4,8
			160	19,4	14,6	11,9	10,1	8,8	7,9	7,2	6,6	6,1	5,7
			200	23,5	17,7	14,3	12,2	10,6	9,5	8,6	7,9	7,3	6,8
			250	28,4	21,4	17,4	14,7	12,8	11,4	10,3	9,5	8,8	8,2
			315	34,7	26,2	21,3	18,0	15,7	13,9	12,6	11,5	10,6	9,9
			(355)	38,4	29,1	23,6	20,0	17,4	15,5	14,0	12,7	11,8	10,9
			400	42,6	32,3	26,2	22,2	19,3	17,2	15,5	14,1	13,0	12,1
			(450)	47,2	35,9	29,1	24,7	21,5	19,1	17,2	15,7	14,4	13,4
			500	51,7	39,4	32,0	27,1	23,6	20,9	18,9	17,2	15,8	14,7
			(560)	57,0	43,5	35,4	30,0	26,1	23,2	20,9	19,0	17,5	16,2
			630	63,1	48,3	39,4	33,4	29,0	25,8	23,2	21,1	19,4	18,0
			(710)	70,0	53,7	43,9	37,2	32,4	28,7	25,9	23,5	21,6	20,0
			800	77,7	59,8	48,8	41,4	36,1	32,0	28,8	26,2	24,1	22,3
			(900)	86,0	66,4	54,3	46,1	40,2	35,6	32,1	29,2	26,8	24,9
			1.000	94,3	72,9	59,8	50,8	44,2	39,3	35,3	32,2	29,6	27,4
			(1.120)	104,1	80,7	66,2	56,3	49,1	43,5	39,2	35,7	32,8	30,4
			1.250	114,6	89,0	73,2	62,3	54,3	48,2	43,4	39,5	36,3	33,6
0,8 (kunststof)	0,8 (kunststof)	0,8 (kunststof)	63	10,8	7,8	6,2	5,3	4,7	4,2	3,9	3,6	3,4	3,2
			80	13,2	9,5	7,6	6,4	5,6	5,0	4,6	4,2	3,9	3,7
			100	16,1	11,5	9,1	7,6	6,7	5,0	5,4	5,0	4,6	4,3
			125	19,5	13,9	11,0	9,2	8,0	7,1	6,4	5,9	5,4	5,1
			160	24,3	17,3	13,6	11,3	9,8	8,7	7,8	7,1	6,6	6,1
			200	29,7	21,1	16,6	13,8	11,8	10,4	9,4	8,5	7,9	7,3
			250	36,3	25,8	20,2	16,8	14,4	12,7	11,3	10,3	9,5	8,8
			315	44,7	31,8	25,0	20,6	17,7	15,5	13,9	12,6	11,5	10,7
			(355)	49,8	35,5	57,8	23,0	19,7	17,3	15,4	14,0	12,8	11,8
			400	55,6	39,6	31,1	25,7	22,0	19,2	17,2	15,5	14,2	13,1
			(450)	61,8	44,2	34,6	28,6	24,5	21,4	19,1	17,3	15,8	14,6
			500	68,1	48,7	38,2	31,5	26,9	23,6	21,0	19,0	17,3	16,0
			(560)	75,5	54,1	42,4	35,0	29,9	26,2	23,3	21,0	19,2	17,7
			630	84,1	60,3	47,3	39,1	33,4	29,2	26,0	23,5	21,4	19,7
			(710)	93,8	67,4	52,9	43,7	37,3	32,6	29,0	26,6	23,9	22,0
			800	104,6	75,4	59,2	48,9	41,8	36,5	32,5	29,3	26,7	24,5
			(900)	116,5	84,1	66,1	54,6	46,7	40,8	36,3	32,7	29,3	27,4
			1.000	128,3	92,8	73,0	60,3	51,5	45,0	40,0	36,1	32,9	30,2
			(1.120)	142,4	103,2	81,2	67,2	57,4	50,1	44,6	40,1	36,6	33,6
			1.250	157,5	114,3	90,1	74,5	63,7	55,6	49,4	44,5	40,6	37,2

Tabel D.2 Energieverlies in W/m bij toepassing van polyetheen ($\lambda_{is} = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)

Polyetheen (PE)		Uitwendige kanaaldiameter [mm]	Warmte-isolatiedikte [mm]									
Emissiefactor uitwendig isolatieoppervlak			5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0,2 (metaal)	63	8,9	6,7	5,5	4,7	4,2	3,8	3,5	3,3	3,1	2,9	
	80	10,8	8,1	6,6	5,7	5,0	4,5	4,2	3,9	3,6	3,4	
	100	13,0	9,7	7,9	6,7	5,9	5,4	4,9	4,5	4,2	4,0	
	125	15,6	11,7	9,5	8,1	7,1	6,4	5,8	5,3	5,0	4,7	
	160	19,2	14,4	11,6	9,9	8,6	7,7	7,0	6,5	6,0	5,6	
	200	23,3	17,4	14,1	11,9	10,4	9,3	8,4	7,7	7,1	6,7	
	250	28,1	21,1	17,1	14,4	12,6	11,2	10,1	9,3	8,6	8,0	
	315	34,3	25,8	20,9	17,7	15,4	13,7	12,3	11,3	10,4	9,7	
	(355)	38,1	28,7	23,2	19,6	17,1	15,2	13,7	12,5	11,5	10,7	
	400	42,2	31,9	25,8	21,8	19,0	16,8	15,2	13,8	12,7	11,8	
	(450)	46,7	35,4	28,7	24,2	21,1	18,7	16,8	15,3	14,1	13,1	
	500	51,2	38,8	31,5	26,6	23,1	20,5	18,5	16,8	15,5	14,4	
	(560)	56,5	42,9	34,9	29,5	25,6	22,7	20,4	18,6	17,1	15,9	
	630	62,5	47,7	38,7	32,8	28,5	25,3	22,7	20,7	19,0	17,6	
	(710)	69,4	53,0	43,2	36,5	31,8	28,1	25,3	23,0	21,2	19,6	
	800	77,0	59,0	48,1	40,7	35,4	31,4	28,2	25,7	23,6	21,8	
	(900)	85,3	65,5	53,5	45,3	39,4	34,9	31,4	28,6	26,3	24,3	
	1.000	93,5	72,0	58,8	49,9	43,4	38,5	34,6	31,5	28,9	26,8	
	(1.120)	103,2	79,7	65,2	55,3	48,2	42,7	38,4	35,0	32,1	29,7	
	1.250	113,6	87,9	72,0	61,2	53,3	47,3	42,5	38,7	35,5	32,9	
0,8 (kunststof)	63	10,6	7,6	6,1	5,2	4,6	4,1	3,8	3,5	3,3	3,1	
	80	13,1	9,3	7,4	6,3	5,5	4,9	4,5	4,1	3,8	3,6	
	100	15,8	11,3	8,9	7,5	6,5	5,8	5,3	4,8	4,5	4,2	
	125	19,3	13,7	10,8	9,0	7,8	6,9	6,2	5,7	5,3	5,0	
	160	24,0	17,0	13,3	11,1	9,6	8,5	7,6	7,0	6,4	6,0	
	200	29,3	20,7	16,2	13,5	11,6	10,2	9,2	8,3	7,7	7,1	
	250	35,8	25,4	19,8	16,4	14,1	12,4	11,1	10,1	9,2	8,6	
	315	44,2	31,3	24,5	20,2	17,3	15,2	13,6	12,3	11,3	10,4	
	(355)	49,2	34,9	27,3	22,5	19,3	16,9	15,1	13,6	12,5	11,5	
	400	54,9	39,0	30,5	25,1	21,5	18,8	16,8	15,2	13,9	12,8	
	(450)	61,1	43,5	34,0	28,0	23,9	20,9	18,7	16,9	15,4	14,2	
	500	67,3	47,9	37,5	30,9	26,4	23,1	20,5	18,5	16,9	15,6	
	(560)	74,6	53,2	41,6	34,3	29,3	25,6	22,8	20,6	18,8	17,3	
	630	83,1	59,4	46,5	38,3	32,7	28,6	25,4	22,9	20,9	19,2	
	(710)	92,7	66,4	52,0	42,8	36,5	31,9	28,4	25,6	23,3	21,5	
	800	103,4	74,2	58,1	47,9	40,9	35,7	31,7	28,6	26,1	23,9	
	(900)	115,2	82,8	64,9	53,5	45,7	39,9	35,4	31,9	29,1	26,7	
	1.000	126,9	91,4	71,7	59,2	50,4	44,0	39,1	35,2	32,1	29,5	
	(1.120)	140,8	101,6	79,8	65,8	56,2	49,0	43,6	39,2	35,7	32,8	
	1.250	155,7	112,6	88,5	73,1	62,3	54,4	48,3	43,5	39,6	36,4	

Tabel D.3 Energieverlies in W/m bij toepassing van PIR/PUR ($\lambda_{is} = 0,023 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$)

Polyisocyanuraat/polyurethaan (PIR/PUR)

1. Luchttemperatuur in kanaal: 30 °C;
2. Omgevingstemperatuur: 15 °C.

Emissiefactor uitwendig isolatieoppervlak	Uitwendige kanaaldiameter [mm]	Warmte-isolatiedikte [mm]									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0,2 (metaal)	63	7,3	5,1	4,1	3,4	3,0	2,7	2,5	2,3	2,2	2,0
	80	8,9	6,2	4,9	4,1	3,6	3,2	2,9	2,7	2,5	2,4
	100	10,7	7,5	5,9	4,9	4,3	3,8	3,5	3,2	3,0	2,8
	125	12,9	9,0	7,1	5,9	5,1	4,5	4,1	3,7	3,5	3,2
	160	16,0	11,2	8,7	7,3	6,3	5,5	5,0	4,5	4,2	3,9
	200	19,5	13,6	10,6	8,8	7,5	6,7	6,0	5,4	5,0	4,6
	250	23,6	16,6	12,9	10,7	9,2	8,0	7,2	6,5	6,0	5,6
	315	29,0	20,4	15,9	13,1	11,2	9,8	8,8	8,0	7,3	6,8
	(355)	32,2	22,7	17,7	14,6	12,5	10,9	9,8	8,8	8,1	7,5
	400	35,8	25,3	19,7	16,2	13,9	12,2	10,9	9,8	9,0	8,3
	(450)	39,7	28,1	21,9	18,1	15,4	13,5	12,1	10,9	10,0	9,2
	500	43,6	30,9	24,1	19,9	17,0	14,9	13,3	12,0	10,9	10,1
	(560)	48,2	34,2	26,8	22,1	18,9	16,5	14,7	13,3	12,1	11,2
	630	53,5	38,1	29,8	24,6	21,0	18,4	16,4	14,8	13,5	12,4
	(710)	59,4	42,5	33,3	27,5	23,4	20,5	18,3	16,5	15,0	13,8
	800	66,1	47,3	37,1	30,7	26,2	22,9	20,4	18,4	16,8	15,4
	(900)	73,4	52,7	41,4	34,2	29,2	25,5	22,7	20,5	18,7	17,2
	1.000	80,6	58,0	45,6	37,7	32,2	38,2	25,1	22,6	20,6	19,0
	(1.120)	89,1	64,4	50,7	41,9	35,8	31,3	27,9	25,1	22,9	21,1
	1.250	98,2	71,2	56,1	46,4	39,7	34,7	30,9	27,8	25,4	23,3
0,8 (kunststof)	63	8,5	5,7	4,4	3,7	3,2	2,9	2,6	2,4	2,2	2,1
	80	10,4	7,0	5,4	4,4	3,8	3,4	3,1	2,8	2,6	2,5
	100	12,7	8,5	6,5	5,3	4,6	4,0	3,6	3,3	3,1	2,9
	125	15,5	10,3	7,8	6,4	5,5	4,8	4,3	3,9	3,6	3,4
	160	19,4	12,8	9,7	7,9	6,8	5,9	5,3	4,8	4,4	4,1
	200	23,7	15,7	11,9	9,7	8,2	7,2	6,4	5,8	5,3	4,9
	250	29,1	19,3	14,6	11,8	10,0	8,7	7,7	7,0	6,4	5,9
	315	36,0	23,9	18,0	14,6	12,3	10,7	9,5	8,5	7,8	7,1
	(355)	40,2	26,7	20,1	16,3	13,7	11,9	10,5	9,5	8,6	7,9
	400	44,9	29,8	22,5	18,2	15,3	13,3	11,7	10,5	9,6	8,8
	(450)	50,0	33,3	25,1	20,3	17,1	14,8	13,0	11,7	10,6	9,8
	500	55,2	36,7	27,7	22,4	18,8	16,3	14,4	12,9	11,7	10,7
	(560)	61,3	40,9	30,8	24,9	20,9	18,1	16,0	14,3	13,0	11,9
	630	68,4	45,6	34,5	27,8	23,4	20,2	17,8	16,0	14,5	13,3
	(710)	76,4	51,1	38,6	31,1	26,1	22,6	19,9	17,8	16,2	14,8
	800	85,4	57,2	43,2	34,9	29,3	25,3	22,3	19,9	18,1	16,5
	(900)	95,3	63,9	48,4	39,0	32,7	28,3	24,9	22,3	20,2	18,5
	1.000	105,1	70,6	53,5	43,1	36,2	31,2	27,5	24,6	22,3	20,4
	(1.120)	116,8	78,7	59,6	48,0	40,3	34,8	30,7	27,4	24,8	22,7
	1.250	129,4	87,3	66,1	53,4	44,8	38,7	34,0	30,4	27,5	25,5

Tabel D.4 Energieverlies in W/m bij toepassing van synthetisch schuimrubber ($\lambda_s = 0,038 \text{ W/(m·K)}$)

Synthetisch schuimrubber

1. Luchttemperatuur in kanaal: 30 °C;
2. Omgevingstemperatuur: 15 °C.

Emissiefactor uitwendig isolatieoppervlak	Uitwendige kanaaldiameter [mm]	Warmte-isolatiedikte [mm]									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0,2 (metaal)	63	9,2	7,0	5,8	5,0	4,5	4,1	3,8	3,5	3,3	3,2
	80	11,1	8,5	7,0	6,0	5,3	4,8	4,5	4,2	3,9	3,7
	100	13,4	10,2	8,3	7,2	6,3	5,7	5,2	4,9	4,5	4,3
	125	16,1	12,2	10,0	8,5	7,5	6,8	6,2	5,7	5,3	5,0
	160	19,8	15,0	12,3	10,5	9,2	8,2	7,5	6,9	6,4	6,0
	200	24,0	18,2	14,8	12,6	11,0	9,9	9,0	8,2	7,6	7,1
	250	29,0	22,0	18,0	15,3	13,3	11,9	10,8	9,9	9,1	8,5
	315	35,3	26,9	22,0	18,6	16,3	14,5	13,1	12,0	11,1	10,3
	(355)	39,1	29,9	24,4	20,7	18,1	16,1	14,5	13,3	12,3	11,4
	400	43,4	33,2	27,1	23,0	20,1	17,9	16,1	14,7	13,6	12,6
	(450)	48,0	36,8	30,1	25,5	22,3	19,8	17,9	16,3	15,1	14,0
	500	52,6	40,4	33,0	28,1	24,5	21,8	19,6	17,9	16,5	15,3
	(560)	58,0	44,6	36,5	31,1	27,1	24,1	21,7	19,8	18,3	16,9
	630	64,2	49,6	40,6	34,5	30,1	26,8	24,2	22,0	20,3	18,8
	(710)	71,2	55,1	45,2	38,5	33,6	29,8	26,9	24,5	22,6	20,9
	800	79,0	61,3	50,3	42,8	37,4	33,3	30,0	27,3	25,1	23,3
	(900)	87,5	68,0	56,0	47,7	41,6	37,0	33,4	30,4	28,0	25,9
	1.000	95,8	74,7	61,5	52,5	45,8	40,8	36,8	33,5	30,8	28,5
	(1.120)	105,8	82,7	68,2	58,2	50,9	45,2	40,8	37,2	34,2	31,7
	1.250	116,4	91,2	75,3	64,3	56,2	50,1	45,1	41,1	37,8	35,0
0,8 (kunststof)	63	11,1	8,1	6,5	5,5	4,9	4,4	4,0	3,8	3,5	3,3
	80	13,6	9,8	7,9	6,7	5,8	5,2	4,8	4,4	4,1	3,9
	100	16,5	11,9	9,5	8,0	6,9	6,2	5,6	5,2	4,8	4,5
	125	20,0	14,4	11,4	9,6	8,3	7,4	6,7	6,1	5,7	5,3
	160	24,9	17,9	14,1	11,8	10,2	9,0	8,2	7,5	6,9	6,4
	200	30,4	21,8	17,2	14,3	12,4	10,9	9,8	8,9	8,2	7,7
	250	37,2	26,6	21,0	17,4	15,0	13,2	11,9	10,8	9,9	9,2
	315	45,8	32,9	25,9	21,5	18,4	16,2	14,5	13,2	12,1	11,2
	(355)	51,0	36,7	28,9	23,9	20,5	18,0	16,1	14,6	13,4	12,4
	400	56,8	40,9	32,2	26,7	22,9	20,1	17,9	16,3	14,9	13,7
	(450)	63,2	45,6	35,9	29,8	25,5	22,4	20,0	18,1	16,5	15,2
	500	69,6	50,2	39,6	32,8	28,1	24,6	22,0	19,9	18,2	16,7
	(560)	77,2	55,8	44,0	36,4	31,2	27,3	24,4	22,0	20,1	18,5
	630	85,9	62,2	49,1	40,6	34,8	30,5	27,2	24,5	22,4	20,6
	(710)	95,8	69,5	54,8	45,4	38,9	34,1	30,3	27,4	25,0	23,0
	800	106,8	77,7	61,3	50,8	43,5	38,1	33,9	30,6	27,9	25,7
	(900)	119,0	86,7	68,5	56,8	48,6	42,5	42,5	34,2	31,2	28,7
	1.000	131,0	95,6	75,6	62,7	53,7	47,0	41,8	37,7	34,4	31,6
	(1.120)	145,3	106,3	84,1	69,8	59,7	52,3	46,5	42,0	38,2	35,2
	1.250	160,7	117,8	93,3	77,4	66,3	58,0	51,6	46,6	42,4	39,0

Tabel D.5 Energieverlies in W/m bij toepassing van polyetheen ($\lambda_{is} = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)

Polyetheen (PE)

1. Luchttemperatuur in kanaal: 16 °C;
2. Omgevingstemperatuur: 26 °C.

Emissiefactor uitwendig isolatieoppervlak	Uitwendige kanaaldiameter [mm]	Koude-isolatiedikte [mm]									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0,2 (metaal)	63	-5,7	-4,4	-3,6	-3,1	-2,8	-2,5	-2,3	-2,2	-2,1	-2,0
	80	-7,0	-5,3	-4,3	-3,7	-3,3	-3,0	-2,8	-2,6	-2,4	-2,3
	100	-8,4	-6,3	-5,2	-4,4	-3,9	-3,5	-3,2	-3,0	-2,8	-2,7
	125	-10,1	-7,6	-6,2	-5,3	-4,7	-4,2	-3,8	-3,5	-3,3	-3,1
	160	-12,4	-9,4	-7,4	-6,5	-5,7	-5,1	-4,7	-4,3	-4,0	-3,7
	200	-15,0	-11,3	-9,2	-7,9	-6,9	-6,1	-5,6	-5,1	-4,7	-4,4
	250	-18,1	-13,8	-11,2	-9,5	-8,3	-7,4	-6,7	-6,1	-5,7	-5,3
	315	-22,1	-16,8	-13,7	-11,6	-10,1	-9,0	-8,2	-7,5	-6,9	-6,4
	(355)	-24,5	-18,7	-15,2	-12,9	-11,3	-10,0	-9,0	-8,3	-7,6	-7,1
	400	-27,2	-20,8	-16,9	-14,4	-12,5	-11,1	-10,0	-9,2	-8,4	-7,8
	(450)	-30,1	-23,0	-18,8	-15,9	-13,9	-12,3	-11,1	-10,2	-9,4	-8,7
	500	-33,0	-25,3	-20,6	-17,5	-15,3	-13,6	-12,2	-11,2	-10,3	-9,5
	(560)	-36,4	-28,0	-22,9	-19,4	-16,9	-15,0	-13,5	-12,3	-11,3	-10,5
	630	-40,3	-31,1	-25,4	-21,6	-18,8	-16,7	-15,0	-13,7	-12,6	-11,7
	(710)	-44,8	-34,6	-28,3	-24,0	-21,0	-18,6	-16,8	-15,3	-14,0	-13,0
	800	-49,7	-38,4	-31,5	-26,8	-23,4	-20,7	-18,7	-17,0	-15,6	-14,5
	(900)	-55,0	-42,7	-35,1	-29,8	-26,0	-23,1	-20,8	-19,0	-17,4	-16,1
	1.000	-60,3	-46,9	-38,6	-32,8	-28,7	-25,5	-22,9	-20,9	-19,2	-17,8
	(1.120)	-66,1	-52,0	-42,8	-36,4	-31,8	-28,3	-25,4	-23,2	-21,3	-19,7
	1.250	-73,3	-57,3	-47,3	-40,3	-35,2	-31,3	-28,2	-25,7	-23,6	-21,8
0,8 (kunststof)	63	-7,0	-5,1	-4,1	-3,5	-3,1	-2,8	-2,5	-2,3	-2,2	-2,1
	80	-8,6	-6,2	-4,9	-4,2	-3,7	-3,3	-3,0	-2,8	-2,6	-2,4
	100	-10,5	-7,5	-5,9	-5,0	-4,3	-3,9	-3,5	-3,2	-3,0	-2,8
	125	-12,8	-9,1	-7,2	-6,0	-5,2	-4,6	-4,2	-3,8	-3,5	-3,3
	160	-15,9	-11,3	-8,9	-7,4	-6,4	-5,7	-5,1	-4,6	-4,3	-4,0
	200	-19,4	-13,8	-10,8	-9,0	-7,7	-6,8	-6,1	-5,6	-5,1	-4,8
	250	-23,7	-16,9	-13,3	-11,0	-9,4	-8,3	-7,4	-6,7	-6,2	-5,7
	315	-29,3	-20,9	-16,4	-13,5	-11,6	-10,2	-9,1	-8,2	-7,5	-7,0
	(355)	-32,6	-23,3	-18,2	-15,1	-12,9	-11,3	-10,1	-9,1	-8,4	-7,7
	400	-36,4	-26,0	-20,4	-16,8	-14,4	-12,6	-11,2	-10,1	-9,3	-8,6
	(450)	-40,5	-29,0	-22,7	-18,7	-16,0	-14,0	-12,5	-11,3	-10,3	-9,5
	500	-44,6	-32,0	-25,0	-20,7	-17,6	-15,4	-13,7	-12,4	-11,3	-10,4
	(560)	-49,5	-35,5	-27,8	-23,0	-19,6	-17,1	-15,3	-13,8	-12,6	-11,6
	630	-55,1	-39,6	-31,1	-25,6	-21,9	-19,1	-17,0	-15,3	-14,0	-12,9
	(710)	-61,5	-44,3	-34,8	-28,7	-24,5	-21,4	-19,0	-17,1	-15,6	-14,4
	800	-68,6	-49,5	-38,9	-32,1	-27,4	-23,9	-21,2	-19,1	-17,4	-16,0
	(900)	-76,5	-55,3	-43,4	-35,9	-30,6	-26,7	-23,7	-21,4	-19,5	-17,9
	1.000	-84,3	-61,0	-48,0	-39,6	-33,8	-29,5	-26,2	-23,6	-21,5	-19,7
	(1.120)	-93,5	-67,9	-53,4	-44,1	-37,6	-32,8	-29,2	-26,3	-23,9	-21,9
	1.250	-103,4	-75,2	-59,2	-48,9	-41,8	-36,5	-32,4	-29,1	-26,5	-24,3

Tabel D.6 Energieverlies in W/m bij toepassing van synthetisch schuimrubber ($\lambda_s = 0,038 \text{ W/(m·K)}$)

Synthetisch schuimrubber

1. Luchttemperatuur in kanaal: 16 °C;
2. Omgevingstemperatuur: 26 °C

Emissiefactor uitwendig isolatieoppervlak	Uitwendige kanaaldiameter [mm]	Koude-isolatiedikte [mm]									
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0,2 (metaal)	63	-5,9	-4,6	-3,8	-3,3	-3,0	-2,7	-2,5	-2,5	-2,2	-2,1
	80	-7,2	-5,5	-4,6	-4,0	-3,5	-3,2	-3,0	-2,8	-2,6	-2,4
	100	-8,6	-6,6	-5,5	-4,7	-4,2	-3,8	-3,5	-3,2	-3,0	-2,8
	125	-10,4	-8,0	-6,5	-5,6	-5,0	-4,5	-4,1	-3,8	-3,5	-3,3
	160	-12,8	-9,8	-8,0	-6,9	-6,1	-5,4	-5,0	-4,6	-4,3	-4,0
	200	-15,4	-11,8	-9,7	-8,3	-7,3	-6,5	-5,9	-5,5	-5,1	-4,7
	250	-18,7	-14,3	-11,8	-10,0	-8,8	-7,9	-7,1	-6,5	-6,1	-5,7
	315	-22,8	-17,5	-14,4	-12,3	-10,7	-9,6	-8,8	-8,0	-7,4	-6,8
	(355)	-25,2	-19,5	-16,0	-13,6	-11,9	-10,6	-9,6	-8,8	-8,1	-7,6
	400	-27,9	-21,6	-17,7	-15,1	-13,2	-11,8	-10,7	-9,8	-9,0	-8,4
	(450)	-30,9	-24,0	-19,7	-16,8	-14,7	-13,1	-11,8	-10,8	-10,0	-9,3
	500	-33,9	-26,3	-21,6	-18,5	-16,1	-14,4	-13,0	-11,9	-10,9	-10,2
	(560)	-37,4	-29,1	-23,9	-20,4	-17,9	-15,9	-14,4	-13,1	-12,1	-11,2
	630	-41,4	-32,3	-26,6	-22,7	-19,9	-17,7	-16,0	-14,6	-13,4	-12,5
	(710)	-45,9	-35,9	-29,6	-25,3	-22,1	-19,7	-17,8	-16,2	-15,0	-13,9
	800	-50,9	-39,9	-33,0	-28,2	-24,7	-22,0	-19,8	-18,1	-16,7	-15,5
	(900)	-56,4	-44,3	-36,7	-31,4	-27,5	-24,5	-22,1	-20,2	-18,6	-17,2
	1.000	-61,8	-48,7	-40,3	-34,5	-30,2	-26,9	-24,3	-22,2	-20,4	-18,9
	(1120)	-68,2	-53,9	-44,7	-38,3	-33,5	-29,9	-27,0	-24,6	-22,7	-21,0
	1.250	-75,0	-59,4	-49,3	-42,3	-37,1	-33,1	-29,9	-27,3	-25,1	-23,3
0,8 (kunststof)	63	-7,3	-5,4	-4,3	-3,7	-3,3	-2,9	-2,7	-2,5	-2,4	-2,2
	80	-9,0	-6,5	-5,2	-4,4	-3,9	-3,5	-3,2	-3,0	-2,8	-2,6
	100	-10,9	-7,9	-6,3	-5,3	-7,6	-4,1	-3,8	-3,5	-3,2	-3,0
	125	-13,2	-9,6	-7,6	-6,4	-5,6	-4,9	-4,5	-4,1	-3,8	-3,6
	160	-16,5	-11,9	-9,4	-7,9	-6,8	-6,0	-5,5	-5,0	-4,6	-4,3
	200	-20,1	-14,5	-11,5	-9,6	-8,3	-7,3	-6,6	-6,0	-5,5	-5,1
	250	-24,6	-17,8	-14,0	-11,7	-10,0	-8,8	-7,9	-7,2	-6,6	-6,1
	315	-30,3	-21,9	-17,3	-14,4	-12,3	-10,8	-9,7	-8,8	-8,1	-7,5
	(355)	-33,8	-24,4	-19,3	-16,0	-13,7	-12,1	-10,8	-9,8	-9,0	-8,3
	400	-37,6	-27,3	-21,5	-17,9	-15,3	-13,4	-12,0	-10,9	-10,0	-9,2
	(450)	-42,9	-30,4	-24,0	-19,9	-17,1	-15,0	-13,4	-12,1	-11,1	-10,2
	500	-46,1	-33,5	-26,5	-21,9	-18,8	-16,5	-14,7	-13,3	-12,2	-11,2
	(560)	-51,1	-37,2	-29,4	-24,4	-20,9	-18,3	-16,3	-14,7	-13,5	-12,4
	630	-56,9	-41,5	-32,8	-27,2	-23,3	-20,4	-18,2	-16,4	-15,0	-13,8
	(710)	-63,5	-46,4	-36,7	-30,4	-26,0	-22,8	-20,3	-18,3	-16,7	-15,4
	800	-70,9	-51,8	-41,0	-34,0	-29,1	-25,5	-22,7	-20,5	-18,7	-17,2
	(900)	-78,9	-57,9	-45,8	-38,0	-32,5	-28,5	-25,4	-22,9	-20,9	-19,2
	1.000	-87,9	-63,8	-50,6	-42,0	-35,9	-31,5	-28,0	-25,3	-23,0	-21,2
	(1120)	-96,4	-71,0	-56,3	-46,7	-40,0	-35,0	-31,2	-28,1	-25,6	-23,5
	1.250	-106,7	-78,6	-62,4	-51,8	-44,4	-38,9	-34,6	-31,2	-28,4	-26,1

Bijlage E Minimale isolatiedikte opdat de afkoeling/opwarming niet meer bedraagt dan 1,5 K

De tabellen E.1 t/m E.4 geven voor ronde kanalen van verschillende lengte, die met glas-/steenwol, polyetheen en synthetisch schuimrubber worden geïsoleerd, de minimale isolatiedikte opdat de afkoeling van verwarmde lucht niet meer bedraagt dan 1,5 K bij een:

1. Luchttemperatuur in kanaal: 30 °C;
2. Omgevingstemperatuur: 15 °C.

Tabel E.1 Minimale isolatiedikte bij toepassing van glas/steenwol ($\lambda_{is} = 0,036 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$).

Tabel E.2 Minimale isolatiedikte bij toepassing van polyetheen ($\lambda_{is} = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$).

Tabel E.3 Minimale isolatiedikte in bij toepassing van PIR/PUR ($\lambda_{is} = 0,023 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$).

Tabel E.4 Minimale isolatiedikte bij toepassing van synthetisch schuimrubber ($\lambda_{is} = 0,038 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$).

De benodigde minimale isolatiedikte bij een toelaatbare opwarming van gekoelde lucht van 1,5 K is voor polyetheen en synthetisch schuimrubber in de tabellen E.5 en E.6 weergegeven bij een:

1. Luchttemperatuur in kanaal: 16 °C;
2. Omgevingstemperatuur: 26 °C.

Tabel E.5 Minimale isolatiedikte bij toepassing van polyetheen ($\lambda_{is} = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$).

Tabel E.6 Minimale isolatiedikte bij toepassing van synthetisch schuimrubber ($\lambda_{is} = 0,038 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$).

Tabel E.1 Minimale isolatiedikte in mm bij een toelaatbare afkoeling van verwarmde lucht van 1,5 K bij toepassing van glas/steenwol ($\lambda_{is} = 0,036 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)

Glas/steenwol

1. Luchttemperatuur in kanaal: 30 °C;
2. Omgevingstemperatuur: 15 °C.

Emissiefactor uitwendig isolatieoppervlak	Uitwendige kanaaldiameter [mm]	Luchtsnelheid [m/s]											
		4				6				8			
		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]	
		15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60
0,2 (metaal)	63	-	-	-	-	84	-	-	-	47	-	-	-
	80	93	-	-	-	44	-	-	-	27	96	-	-
	100	52	-	-	-	27	90	-	-	16	54	-	-
	125	32	-	-	-	17	53	-	-	10	34	65	-
	160	20	61	-	-	10	32	62	99	5	21	40	62
	200	12	39	74	-	5	21	40	62	2	13	26	41
	250	7	26	49	75	2	14	27	42	0	8	17	27
	315	3	17	33	50	0	8	18	28	0	4	11	18
	(355)	1	13	27	41	0	6	14	23	0	2	8	14
	400	0	10	22	34	0	4	11	18	0	1	6	11
	(450)	0	8	17	28	0	25	8	15	0	0	4	9
	500	0	6	14	23	0	1	6	12	0	0	3	7
	(560)	0	4	11	19	0	0	4	9	0	0	1	5
	630	0	4	11	19	0	0	4	9	0	0	1	5
	(710)	0	2	8	15	0	0	2	7	0	0	0	3
	800	0	0	4	9	0	0	0	3	0	0	0	1
	(900)	0	0	2	6	0	0	0	1	0	0	0	0
	1.000	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	(1.120)	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.250	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0,8 (kunststof)	63	-	-	-	-	90	-	-	-	52	-	-	-
	80	99	-	-	-	49	-	-	-	31	-	-	-
	100	57	-	-	-	31	96	-	-	20	59	-	-
	125	37	-	-	-	20	58	-	-	13	38	71	-
	160	24	66	-	-	13	37	67	-	8	25	44	68
	200	16	44	80	-	9	25	45	68	5	17	31	46
	250	11	31	54	81	5	18	32	47	3	12	21	32
	315	7	21	38	56	3	12	22	33	1	8	15	23
	(355)	5	18	31	46	2	10	18	27	0	6	12	19
	400	3	14	26	39	1	8	15	23	0	4	10	16
	(450)	2	12	22	33	0	6	12	19	0	3	8	13
	500	1	10	19	28	0	5	10	16	0	2	6	11
	(560)	0	8	15	24	0	3	8	14	0	1	5	9
	630	0	6	13	20	0	2	7	11	0	0	4	7
	(710)	0	4	10	16	0	1	5	9	0	0	2	5
	800	0	3	8	13	0	0	4	7	0	0	1	4
	(900)	0	1	6	11	0	0	2	5	0	0	0	3
	1.000	0	0	5	9	0	0	1	4	0	0	0	2
	(1.120)	0	0	0	7	0	0	0	3	0	0	0	1
	1.250	0	0	2	5	0	0	0	2	0	0	0	0

- wil zeggen > 100 mm

Tabel E.2 Minimale isolatiedikte in mm bij een toelaatbare afkoeling van verwarmde lucht van 1,5 K bij toepassing van polyetheen ($\lambda_s = 0,035 \text{ W/(m·K)}$)

Polyetheen (PE)		Uitwendige kanaaldiameter [mm]	Luchtsnelheid [m/s]													
			4				6				8					
			Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]			
		0,2 (metaal)	15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60		
			63	-	-	-	79	-	-	-	45	-	-	-		
			80	88	-	-	42	-	-	-	26	91	-	-		
			100	50	-	-	26	86	-	-	16	52	-	-		
			125	31	-	-	16	51	-	-	10	32	63	-		
			160	19	58	-	9	31	59	94	5	20	38	60		
			200	12	38	71	-	5	21	39	60	2	13	25	39	
			250	7	25	47	72	2	13	26	40	0	8	17	27	
			315	2	17	32	48	0	8	17	27	0	4	11	18	
			(355)	1	13	26	40	0	6	14	22	0	2	8	14	
			400	0	10	21	33	0	4	11	18	0	0	6	11	
			(450)	0	7	17	27	0	2	8	14	0	0	4	8	
			500	0	5	14	22	0	1	6	11	0	0	0	6	
			(560)	0	3	11	18	0	0	4	9	0	0	1	5	
			630	0	2	8	14	0	0	2	7	0	0	0	3	
			(710)	0	0	6	11	0	0	1	4	0	0	0	1	
			800	0	0	3	8	0	0	0	3	0	0	0	0	
			(900)	0	0	2	6	0	0	0	1	0	0	0	0	
			1.000	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	
			(1.120)	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0	
			1.250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
0,8 (kunststof)		0,8 (kunststof)	63	-	-	-	85	-	-	-	50	-	-	-		
			80	94	-	-	47	-	-	-	29	97	-	-		
			100	55	-	-	29	91	-	-	19	57	-	-		
			125	35	-	-	20	56	-	-	13	37	68	-		
			160	23	64	-	13	36	65	-	8	24	43	65		
			200	15	43	77	-	8	25	44	66	5	17	30	44	
			250	10	30	52	78	5	17	31	45	3	11	21	31	
			315	6	21	36	54	3	12	21	32	1	7	14	22	
			(355)	5	17	30	45	2	9	18	27	0	6	12	18	
			400	3	14	25	38	1	7	15	22	0	4	10	15	
			(450)	2	10	21	32	0	6	12	19	0	3	8	12	
			500	1	9	18	27	0	4	10	16	0	2	6	10	
			(560)	0	7	15	23	0	3	8	13	0	1	5	9	
			630	0	6	12	19	0	2	6	11	0	0	4	7	
			(710)	0	4	10	16	0	1	5	9	0	0	2	5	
			800	0	3	8	13	0	0	3	7	0	0	1	4	
			(900)	0	1	6	11	0	0	2	5	0	0	0	3	
			1.000	0	0	4	9	0	0	1	4	0	0	0	2	
			(1.120)	0	0	3	7	0	0	0	3	0	0	0	1	
			1.250	0	0	2	5	0	0	0	2	0	0	0	0	

- wil zeggen > 100 mm

Tabel E.3 Minimale isolatiedikte in mm bij een toelaatbare afkoeling van verwarmde lucht van 1,5 K bij toepassing van PIR/PUR ($\lambda_s = 0,023 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$)

Polyisocyanuraat/polyurethaan (PIR/PUR)

1. Luchttemperatuur in kanaal: 30 °C;
2. Omgevingstemperatuur: 15 °C.

Emissiefactor uitwendig isolatieoppervlak	Uitwendige kanaaldiameter [mm]	Luchtsnelheid [m/s]											
		4				6				8			
		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]		15	30	45	60	15	30
0,2 (metaal)	63	81	-	-	-	39	-	-	-	24	83	-	-
	80	44	-	-	-	23	74	-	-	15	45	93	-
	100	28	87	-	-	15	45	88	-	10	29	54	89
	125	18	53	-	-	10	29	54	86	6	19	35	54
	160	12	34	62	96	6	19	34	52	3	12	23	35
	200	8	23	41	63	3	13	24	35	1	8	16	24
	250	4	16	29	43	1	8	16	25	0	5	11	17
	315	2	11	20	30	0	5	11	17	0	0	7	11
	(355)	1	8	16	25	0	4	9	14	0	2	5	9
	400	0	6	13	21	0	2	7	11	0	1	4	7
	(450)	0	5	10	17	0	1	5	9	0	0	3	5
	500	0	4	9	14	0	1	4	7	0	0	2	4
	(560)	0	2	7	12	0	0	3	6	0	0	1	3
	630	0	1	5	9	0	0	2	4	0	0	0	2
	(710)	0	0	4	7	0	0	1	3	0	0	0	1
	800	0	0	2	5	0	0	0	2	0	0	0	0
	(900)	0	0	1	4	0	0	0	1	0	0	0	0
	1.000	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	(1.120)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,8 (kunststof)	63	85	-	-	-	42	-	-	-	26	87	-	-
	80	47	-	-	-	26	78	-	-	17	49	-	-
	100	31	91	-	-	17	48	92	-	12	32	58	93
	125	21	57	-	-	12	32	58	90	8	22	38	58
	160	14	37	65	-	8	22	37	56	5	15	26	38
	200	10	26	45	66	5	15	27	39	3	10	18	27
	250	7	19	32	46	3	11	19	28	2	7	13	19
	315	4	13	23	33	2	8	14	20	1	5	9	14
	(355)	3	11	19	28	1	6	11	17	0	4	8	12
	400	2	9	16	24	0	5	9	14	0	3	6	10
	(450)	1	7	14	20	0	4	8	12	0	2	5	8
	500	1	6	12	17	0	3	7	10	0	1	4	7
	(560)	0	5	10	15	0	2	5	9	0	1	3	6
	630	0	4	8	12	0	1	4	7	0	0	2	4
	(710)	0	3	6	10	0	1	3	6	0	0	2	3
	800	0	2	5	8	0	0	2	4	0	0	1	2
	(900)	0	1	4	7	0	0	1	3	0	0	0	2
	1.000	0	0	3	6	0	0	1	3	0	0	0	1
	(1.120)	0	0	2	4	0	0	0	2	0	0	0	0
	1.250	0	0	1	3	0	0	0	1	0	0	0	0

- wil zeggen > 100 mm

Tabel E.4 Minimale isolatiedikte in mm bij een toelaatbare afkoeling van verwarmde lucht van 1,5 K bij toepassing van synthetisch schuimrubber ($\lambda_s = 0,038 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)

Synthetisch schuimrubber

1. Luchttemperatuur in kanaal: 30 °C;
2. Omgevingstemperatuur: 15 °C.

Emissiefactor uitwendig isolatieoppervlak	Uitwendige kanaaldiameter [mm]	Luchtsnelheid [m/s]											
		4				6				8			
		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]	
		15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60
0,2 (metaal)	63	-	-	-	-	93	-	-	-	52	-	-	-
	80	-	-	-	-	48	-	-	-	29	-	-	-
	100	57	-	-	-	29	99	-	-	17	59	-	-
	125	35	-	-	-	18	58	-	-	11	36	71	-
	160	21	65	-	-	10	35	66	-	5	22	42	67
	200	13	42	80	-	6	23	43	67	2	14	28	44
	250	8	28	52	81	2	15	29	45	0	9	18	29
	315	3	18	35	53	0	9	19	30	0	0	12	19
	(355)	2	14	28	44	0	6	15	24	0	3	9	15
	400	0	11	23	36	0	4	12	19	0	1	6	12
	(450)	0	8	18	29	0	2	9	16	0	0	4	9
	500	0	6	15	24	0	1	7	13	0	0	3	7
	(560)	0	4	12	20	0	0	5	10	0	0	1	5
	630	0	2	9	9	0	0	3	7	0	0	0	3
	(710)	0	0	6	6	0	0	1	5	0	0	0	1
	800	0	0	4	9	0	0	0	3	0	0	0	0
	(900)	0	0	2	6	0	0	0	1	0	0	0	0
	1.000	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
	(1.120)	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.250	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
0,8 (kunststof)	63	-	-	-	-	99	-	-	-	57	-	-	-
	80	-	-	-	-	53	-	-	-	33	-	-	-
	100	62	-	-	-	33	-	-	-	21	64	-	-
	125	29	-	-	-	22	63	-	-	14	41	77	-
	160	25	71	-	-	14	40	72	-	9	26	48	73
	200	17	47	86	-	9	27	48	73	5	18	33	49
	250	11	33	58	87	6	19	34	50	3	12	23	34
	315	7	23	40	59	3	13	23	35	1	8	16	24
	(355)	5	19	33	49	2	10	19	29	0	6	13	20
	400	4	15	28	41	1	8	16	24	0	5	10	16
	(450)	2	12	23	35	0	6	13	20	0	3	8	14
	500	1	10	20	30	0	5	11	17	0	2	7	11
	(560)	0	8	16	16	0	4	9	14	0	1	5	9
	630	0	6	13	21	0	2	7	12	0	0	4	7
	(710)	0	4	11	17	0	1	5	9	0	0	3	6
	800	0	3	8	14	0	0	4	7	0	0	1	4
	(900)	0	2	6	11	0	0	2	6	0	0	0	3
	1.000	0	1	5	9	0	0	1	4	0	0	0	2
	(1.120)	0	0	3	7	0	0	0	3	0	0	0	1
	1.250	0	0	2	5	0	0	0	2	0	0	0	0

- wil zeggen > 100 mm

Tabel E.5 Minimale isolatiedikte in mm bij een toelaatbare opwarming van gekoelde lucht van 1,5 K bij toepassing van polyetheen ($\lambda_s = 0,035 \text{ W/(m·K)}$)

Polyetheen (PE)

1. Luchttemperatuur in kanaal: 16 °C;
2. Omgevingstemperatuur: 26 °C.

Emissiefactor uitwendig isolatieoppervlak	Uitwendige kanaaldiameter [mm]	Luchtsnelheid [m/s]											
		4				6				8			
		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]		15	30	45	60	15	30
0,2 (metaal)	63	73	-	-	-	33	-	-	-	20	75	-	-
	80	39	-	-	-	19	67	-	-	11	40	86	-
	100	23	80	-	-	11	39	81	-	6	24	49	82
	125	14	47	-	-	6	25	25	79	3	15	30	49
	160	8	29	55	89	2	15	30	47	0	9	19	30
	200	4	19	36	56	0	9	19	31	0	5	12	20
	250	1	12	24	38	0	5	12	20	0	2	2	13
	315	0	6	15	25	0	1	7	13	0	0	3	7
	(355)	0	4	12	20	0	0	5	10	0	0	2	5
	400	0	2	9	16	0	0	3	7	0	0	0	3
	(450)	0	1	6	12	0	0	1	5	0	0	0	2
	500	0	0	4	10	0	0	0	3	0	0	0	0
	(560)	0	0	3	7	0	0	0	2	0	0	0	0
	630	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	(710)	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	800	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	(900)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	(1.120)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,8 (kunststof)	63	79	-	-	-	38	-	-	-	24	82	-	-
	80	46	-	-	-	23	73	-	-	15	45	92	-
	100	28	86	-	-	15	45	87	-	9	29	54	88
	125	18	53	-	-	10	29	54	85	6	19	35	54
	160	11	34	61	95	6	19	34	52	3	12	23	35
	200	7	23	41	62	3	13	24	36	1	8	16	24
	250	4	16	29	43	1	9	17	25	0	5	11	17
	315	2	11	20	30	0	5	11	17	0	3	7	12
	(355)	1	8	16	25	0	4	9	14	0	2	5	9
	400	0	6	13	21	0	3	7	12	0	1	4	7
	(450)	0	5	11	17	0	1	5	10	0	0	3	6
	500	0	3	9	15	0	1	4	8	0	0	2	5
	(560)	0	2	7	12	0	0	3	6	0	0	1	3
	630	0	1	5	10	0	0	2	5	0	0	0	2
	(710)	0	0	4	7	0	0	1	3	0	0	0	1
	800	0	0	2	6	0	0	0	2	0	0	0	0
	(900)	0	0	1	4	0	0	0	1	0	0	0	0
	1.000	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	(1.120)	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- wil zeggen > 100 mm

Tabel E.6 Minimale isolatiedikte in mm bij een toelaatbare opwarming van gekoelde lucht van 1,5 K bij toepassing van synthetisch schuimrubber ($\lambda_s = 0,038 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$)

Synthetisch schuimrubber

1. Luchttemperatuur in kanaal: 16 °C;
2. Omgevingstemperatuur: 26 °C.

Emissiefactor uitwendig isolatieoppervlak	Uitwendige kanaaldiameter [mm]	Luchtsnelheid [m/s]											
		4				6				8			
		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]		Kanaallengte [m]							
		15	30	45	60	15	30	45	60	15	30	45	60
0,2 (metaal)	63	85	-	-	-	38	-	-	-	22	88	-	-
	80	44	-	-	-	21	78	-	-	12	46	-	-
	100	26	92	-	-	12	44	93	-	7	27	55	94
	125	16	53	-	-	7	27	54	90	3	17	34	55
	160	8	32	62	-	3	16	33	52	0	9	21	33
	200	4	20	40	63	0	10	21	34	0	5	13	22
	250	1	13	26	41	0	5	13	22	0	2	7	14
	315	0	7	17	27	0	2	8	14	0	0	3	8
	(355)	0	5	13	22	0	0	5	11	0	0	2	6
	400	0	3	10	17	0	0	3	8	0	0	0	4
	(450)	0	1	7	14	0	0	1	6	0	0	0	2
	500	0	0	5	11	0	0	0	4	0	0	0	0
	(560)	0	0	3	8	0	0	0	2	0	0	0	0
	630	0	0	1	5	0	0	0	0	0	0	0	0
	(710)	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	800	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
	(900)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	(1.120)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0,8 (kunststof)	63	92	-	-	-	43	-	-	-	27	95	-	-
	80	49	-	-	-	26	85	-	-	16	51	-	-
	100	31	98	-	-	16	50	-	-	10	32	62	-
	125	20	59	-	-	11	32	61	97	6	21	39	61
	160	13	37	68	-	6	21	38	58	3	14	25	39
	200	8	25	46	69	3	14	26	39	1	9	17	27
	250	5	17	32	47	1	9	18	28	0	6	12	19
	315	2	11	22	33	0	6	12	19	0	3	8	13
	(355)	1	9	18	27	0	4	10	16	0	2	6	10
	400	0	7	15	23	0	3	8	13	0	1	4	8
	(450)	0	5	12	19	0	2	6	10	0	0	3	6
	500	0	4	10	16	0	1	4	8	0	0	2	5
	(560)	0	2	8	13	0	0	3	7	0	0	1	4
	630	0	1	6	10	0	0	2	5	0	0	0	2
	(710)	0	0	4	8	0	0	1	3	0	0	0	1
	800	0	0	2	6	0	0	0	2	0	0	0	0
	(900)	0	0	1	4	0	0	0	1	0	0	0	0
	1.000	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0
	(1.120)	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	0
	1.250	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- wil zeggen > 100 mm

Bijlage F Achtergronden lekverlies

F.1 Theorie

Bij de beoordeling van het lekverlies van een kanalenstelsel wordt het omhullende oppervlak van de kanalen als maatgevende grootheid beschouwd. Het totale lekverlies van een systeem ontstaat daarmee uit een sommatie (integratie) van de lekkages van de deelsystemen (kanaalsecties).

A	=	kanaaldoorsnede	[m ²]
O	=	kanaalomtrek	[m]
D	=	hydraulische diameter van het kanaal	[m]
f	=	lekverliesconstante	[m ³ /s/m ² /Pa ^{0,65}]
x	=	plaats op het kanaal	[m]
Φ	=	lekverlies	[m ³ /s]
P	=	statische druk	[Pa]
L	=	lengte van kanaalsectie	[m]
λ	=	wrijvingscoëfficiënt	[–]
ζ	=	wrijvingscoëfficiënt	[–]
v	=	stroomsnelheid	[m/s]
ρ	=	soortelijke massa	[kg/m ³]

Over een kanaalstukje met lengte dx is het lekverlies:

$$d\Phi = O \cdot dx \cdot f \cdot p_{(x)}^{0,65} \quad [m^3/s] \quad (F.1)$$

Over de sectie wordt een lineair verloop van het drukverlies aangenomen.

$$p_{(x)} \approx p_{(x=0)} + \left(\frac{\lambda}{D} + \sum \zeta \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \frac{x}{L} \quad [Pa] \quad (F.2)$$

Bij aanwezigheid van plaatselijke weerstanden kan het drukverloop over de langsrichting van een kanaalsectie niet lineair zijn! Omdat het om een numerieke benadering van het lekverlies gaat, worden de druksprongen tengevolge van de plaatselijke weerstanden in de sectie buiten beschouwing gelaten.

De statische druk verloopt dan lineair over de sectie.

$$p_{(x)} \approx p_{(x=0)} + \left(\frac{\lambda}{D} \right) \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \cdot \frac{x}{L} = p_{(x=0)} + \Delta p_{sectie} \cdot \frac{x}{L} \quad [Pa] \quad (F.3)$$

Na integratie is het lekverlies over de sectie te beschrijven met:

$$\Phi_{lek} = \Phi_{(x=L)} - \Phi_{(x=0)} = O \cdot L \cdot f \cdot p_{(x=0)}^{0,65} \cdot \left(1 + \frac{0,65}{2} \cdot \frac{\Delta p_{sectie}}{p_{(x=0)}} \right) \quad [m^3/s] \quad (F.4)$$

Het lekverlies is ook te schrijven als:

$$\Phi_{lek, gecorr.} = \Phi_{lek, ongecorr.} \cdot \left(1 + \frac{0,65}{2} \cdot \frac{\Delta p_{sectie}}{p_{(x=0)}} \right) \quad [m^3/s] \quad (F.5)$$

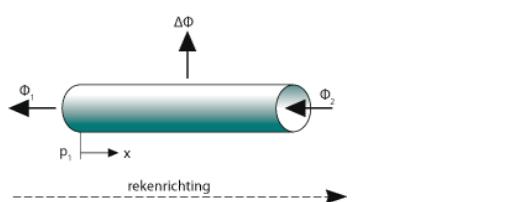
Waarbij:

$$\Phi_{lek, ongecorr.} = O \cdot L \cdot f \cdot p_{(x=0)}^{0,65} \quad [m^3/s] \quad (F.6)$$

Ook bij een recht kanaal zonder plaatselijke weerstanden kan het drukverloop niet lineair zijn aangezien de volumestroom door het kanaal niet constant is. Uit een numerieke opdeling van de sectie in 20 stappen blijkt dan dat de benadering van het lekverlies met $\Phi_{lek, gecorr.}$ voldoende nauwkeurig is.

$$\text{Indien } \frac{\Delta p_{sectie}}{p_{(x=0)}} \leq 1,71 \quad \text{dan geldt} \quad 1 \leq \frac{\Phi_{lek, werkelijk}}{\Phi_{lek, gecorr.}} \leq 1,05 \quad [-] \quad (F.7)$$

De rekenmethodiek bij een toevoerkanaal is als volgt:



Afb. F.1 Volgorde rekenmethodiek bij bepalen lekverliezen

Bij een afvoerkanaal is de rekenmethodiek hetzelfde; het enige verschil is dat alle stroomrichtingen zijn omgekeerd.

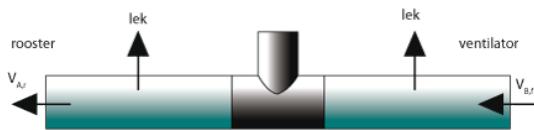
F.2 Invloed op de energiebalans

De drukverliesberekening is gebaseerd op de wet van Bernoulli, die afgeleid is uit de energiebalans van de stroming. De lekstroom beïnvloedt de energiebalans van de stroming: via de lekstroom gaat er immers energie verloren. Strikt genomen, geldt de wet van Bernoulli hier niet. Maar uit praktische overwegingen wordt de drukverliesberekening op de gebruikelijke wijze uitgevoerd. Het doel van een berekening met lekverliezen is slechts om de invloed op het drukverlies op het door de ventilator te verplaatsen luchtdebit en opvoerdruk inzichtelijk te maken.

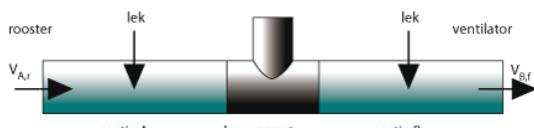
1. Het kanalenstelsel bestaat uit SECTIES en KNOOPPUNTEN;
2. Een SECTIE heeft overal dezelfde kanaaldoorsnede;
3. Knooppunten zijn T-stukken en verloopstukken;
4. Secties en knooppunten voldoen aan de massabalans;
5. Het vrijingsverlies van een sectie wordt per definitie betrokken op de stroomsnelheid aan de zijde van de roosters;
6. Een sectie heeft een lekverlies;
7. Een knooppunt heeft geen lekverlies;
8. Bij de berekening van het lekverlies per sectie wordt het drukverlies ten gevolge van hulpstukken (bochten, verloopstukken etc.) verwaarloosd.

Het lekverlies over de sectie wordt berekend met:

$$\Phi_{lek, sectie} = Q_{sectie} \cdot L_{sectie} \cdot f \cdot p_{(x=0)}^{0,65} \cdot \left(1 + \frac{0,65}{2} \cdot \frac{L_{sectie} \cdot R_{sectie}}{p_{(x=0)}} \right) \quad [m^3/s] \quad (F.8)$$



Afb. F.2 Afspraken voor berekening toevoerkanaal met lekverlies



Afb. F.3 Afspraken voor berekening afzuigkanaal met lekverlies

Bijlage G Weerstandscoëfficiënten van hulpstukken

G.1 Ronde bochten ○

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2$$

[Pa] (G.1)

$$\zeta = \zeta_0 \cdot C_{Re} \cdot \frac{\lambda}{\lambda_{\varepsilon=0}}$$

[-] (G.2)

ζ_0 geldt voor $Re = 10^6$ en $\varepsilon = 0$

Indien $30^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$ en $0,5 \leq R/D \leq 8$ de formule voor ζ_0 gebruiken. In het gebied $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ kan men ζ_0 benaderen door middel van lineaire interpolatie tussen 0° en 30° ; $\zeta_0(0^\circ) \equiv 0$.

$$\zeta_0 = 0,028 \cdot (1 - \cos(1,5 \cdot \alpha - 20^\circ)) \cdot \left[3 \cdot \left[\frac{D}{R} \right]^3 + 2 \cdot \sqrt{\frac{D}{R}} \right] + 0,00021 \cdot \frac{R}{D} \cdot \alpha + 0,05$$

[-] (G.3)

	ζ_0	r/D									
		0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	8,0
	0°	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	15°	0,06	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	0,04	0,05
	30°	0,12	0,08	0,07	0,07	0,07	0,07	0,08	0,08	0,08	0,10
	45°	0,30	0,14	0,10	0,09	0,09	0,09	0,09	0,10	0,11	0,13
	60°	0,55	0,23	0,15	0,12	0,11	0,11	0,11	0,12	0,13	0,16
	75°	0,84	0,34	0,21	0,15	0,13	0,13	0,13	0,14	0,16	0,20
	90°	1,13	0,44	0,27	0,18	0,16	0,16	0,16	0,17	0,18	0,23
	105°	1,37	0,52	0,32	0,21	0,18	0,18	0,18	0,19	0,20	0,26
	120°	1,52	0,58	0,35	0,22	0,20	0,19	0,19	0,21	0,23	0,29

Als $1,0 \leq R/D \leq 2,0$ wordt C_{Re} berekend met de volgende formule:

$$C_{Re} = 2,9 \cdot \left(\frac{3,500}{Re} \right)^{2,7+1,3R/D}$$

[-] (G.4)

Indien $R/D < 2,0$ is vindt er een begrenzing plaats op $C_{Re} = 1$

Als $R/D > 2,0$ wordt de correctiefactor met de formule berekend door $R/D = 2,0$ in te vullen; men past in dit geval geen begrenzing toe.

C_{Re}	r/D										
	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
10.000	-	-	2,23	2,31	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38
20.000	-	-	1,88	1,99	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09
30.000	-	-	1,69	1,83	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93
40.000	-	-	1,58	1,72	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83
50.000	-	-	1,49	1,64	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76
60.000	-	-	1,43	1,43	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
80.000	-	-	1,33	1,48	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
100.000	-	-	1,25	1,25	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
200.000	-	-	1,05	1,21	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
300.000	-	-	1,00	1,11	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
400.000	-	-	1,00	1,05	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
500.000	-	-	1,00	1,00	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
600.000	-	-	1,00	1,00	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
800.000	-	-	1,00	1,00	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
1.000.000	-	-	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2.000.000	-	-	1,00	1,00	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
3.000.000	-	-	1,00	1,00	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
4.000.000	-	-	1,00	1,00	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
5.000.000	-	-	1,00	1,00	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
6.000.000	-	-	1,00	1,00	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
8.000.000	-	-	1,00	1,00	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
10.000.000	-	-	1,00	1,00	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65

Bron: Miller

G.2 Uitwerking voor ronde bochten met R/D = 1 ○

$$\zeta = \zeta_0 \cdot C_{Re} \cdot \frac{\lambda}{\lambda_{\epsilon=0}} \quad [-] \quad (G.5)$$

ζ_0 geldt voor $Re = 10^6$ en $\epsilon = 0$

$$C_{Re} = 2,9 \cdot \left(\frac{3.500}{Re} \right)^{0,25} \quad [-] \quad (G.6)$$

$C_{Re} \geq 1$

De formules voor de ζ -waarden zijn onderstaand uitgewerkt voor luchtkanalen.

De uitgangspunten hierbij zijn:

1. Luchtttemperatuur $\theta = 20^\circ\text{C}$;
2. Soortelijke massa $\rho = 1,188 \text{ kg/m}^3$;
3. Kinematische viscositeit $\nu = 15,21 \cdot 10^{-6}$;
4. Wandruwheid $\epsilon = 0,15 \cdot 10^{-3}$.

Uitwerking van het wrijvingsverlies in recht kanaal van 1 Pa/m

Stromingscondities							Hoek α							
D [mm]	R [Pa/m]	v [m/s]	Re	λ	λ als $\epsilon=0$	C _{re}	15°	30°	45°	45°	75°	90°	105°	120°
63	1,00	1,69	7.020	0,0369	0,0340	2,44	0,09	0,18	0,28	0,41	0,56	0,71	0,83	0,92
80	1,00	2,01	10.592	0,0332	0,0304	2,20	0,08	0,17	0,25	0,37	0,51	0,64	0,76	0,83
100	1,00	2,36	15.511	0,0302	0,0276	2,00	0,08	0,15	0,23	0,34	0,46	0,59	0,69	0,76
125	1,00	2,76	22.659	0,0277	0,0251	1,82	0,07	0,14	0,21	0,31	0,42	0,54	0,63	0,69
160	1,00	3,27	34.371	0,0252	0,0227	1,64	0,06	0,13	0,19	0,28	0,38	0,49	0,57	0,63
200	1,00	3,80	49.981	0,0233	0,0209	1,49	0,06	0,12	0,17	0,26	0,35	0,45	0,52	0,58
250	1,00	4,41	72.544	0,0216	0,0193	1,36	0,05	0,11	0,16	0,24	0,32	0,41	0,48	0,53
315	1,00	5,14	106.509	0,0201	0,0178	1,23	0,05	0,10	0,15	0,22	0,30	0,37	0,44	0,48
400	1,00	6,01	158.114	0,0186	0,0164	1,12	0,04	0,09	0,13	0,20	0,27	0,34	0,40	0,44
500	1,00	6,95	228.336	0,0174	0,0152	1,02	0,04	0,08	0,12	0,18	0,25	0,31	0,37	0,40
630	1,00	8,05	333.616	0,0163	0,0142	1,00	0,04	0,08	0,12	0,18	0,24	0,31	0,36	0,40
800	1,00	9,37	492.988	0,0153	0,0132	1,00	0,04	0,08	0,12	0,18	0,25	0,31	0,37	0,40
1.000	1,00	10,79	709.141	0,0145	0,0124	1,00	0,04	0,08	0,12	0,18	0,25	0,31	0,37	0,41
1.250	1,00	12,40	1.018.879	0,0137	0,0116	1,00	0,04	0,08	0,12	0,18	0,25	0,32	0,37	0,41

Uitwerking van het wrijvingsverlies in recht kanaal van 2 Pa/m

Stromingscondities							Hoek α							
D [mm]	R [Pa/m]	v [m/s]	Re	λ	λ als $\epsilon=0$	C _{re}	15°	30°	45°	45°	75°	90°	105°	120°
63	2,00	2,50	10.335	0,0341	0,0306	2,21	0,09	0,17	0,26	0,38	0,52	0,66	0,78	0,85
80	2,00	2,95	15.542	0,0309	0,0276	2,00	0,08	0,16	0,23	0,35	0,47	0,60	0,70	0,70
100	2,00	3,45	22.694	0,0286	0,0251	1,82	0,07	0,14	0,21	0,32	0,43	0,55	0,64	0,71
125	2,00	4,02	33.062	0,0260	0,0230	1,65	0,06	0,13	0,20	0,29	0,40	0,50	0,59	0,65
160	2,00	4,75	50.013	0,0238	0,0209	1,49	0,06	0,12	0,18	0,26	0,36	0,46	0,54	0,59
200	2,00	5,52	72.562	0,02210	0,0193	1,36	0,05	0,11	0,16	0,24	0,30	0,42	0,49	0,54
250	2,00	6,39	105.090	0,0206	0,0178	1,24	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30	0,38	0,45	0,50
315	2,00	7,43	153.968	0,0192	0,0165	1,13	0,05	0,09	0,14	0,20	0,28	0,35	0,41	0,45
400	2,00	8,67	228.132	0,0179	0,0152	1,02	0,04	0,08	0,13	0,19	0,25	0,32	0,38	0,42
500	2,00	10,00	328.891	0,0168	0,0142	1,00	0,04	0,08	0,12	0,18	0,25	0,32	0,37	0,41
630	2,00	11,58	479.745	0,0158	0,0133	1,00	0,04	0,08	0,12	0,18	0,25	0,32	0,38	0,41
800	2,00	13,46	707.804	0,0149	0,0124	1,00	0,04	0,08	0,13	0,19	0,25	0,32	0,38	0,42
1.000	2,00	15,46	1.016.647	0,0141	0,0116	1,00	0,04	0,08	0,13	0,19	0,26	0,32	0,38	0,42
1.250	2,00	17,75	1.458.850	0,0134	0,0109	1,00	0,04	0,08	0,13	0,19	0,26	0,33	0,39	0,42

Bron: Miller

G.3 Interactie bij twee ronde bochten met R/D=1 ○

$$\Delta p = 2 \cdot C_B \cdot \zeta_0 \cdot C_{Re} \cdot \frac{\lambda}{\lambda_{\epsilon=0}} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad [-] \quad (G.7)$$

C_B = correctiefactor i.v.m. de opstelling

De combinatiehoek β en de afstand L_s tussen de bochtstukken bepalen de correctiefactor.
Er treedt alleen interactie op als de afstand L_s kleiner is dan 25 keer de kanaaldiameter.

Als $L_s/D \leq 25$ en $\beta = 0^\circ$

$$C_B = 1,07 - 0,46 \cdot \exp\left(-\frac{L_s}{14 \cdot D}\right) + 0,38 \cdot \exp\left(-\left(\frac{\frac{L_s}{D} + 0,12}{1,6}\right)^2\right)$$

[-] (G.8)

Als $L_s/D \leq 25$ en $\beta = 90^\circ$

$$C_B = 1,05 - 0,37 \cdot \exp\left(-\frac{L_s}{14 \cdot D}\right) + 0,15 \cdot \exp\left(-\left(\frac{\frac{L_s}{D} - 0,27}{1,6}\right)^2\right)$$

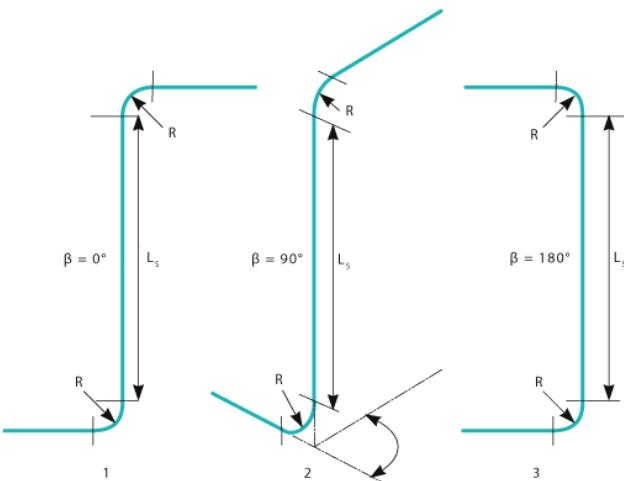
[-] (G.9)

Als $L_s/D \leq 25$ en $\beta = 180^\circ$

$$C_B = 1,07 - 0,47 \cdot \exp\left(-\frac{L_s}{14 \cdot D}\right) - 0,05 \cdot \exp\left(-\left(\frac{\frac{L_s}{D} - 0,29}{1,6}\right)^2\right)$$

[-] (G.10)

Als $L_s/D > 25$ geldt voor alle opstellingen $C_B \equiv 1,00$



C_B	Hoek β		
	0°	90°	180°
L_s/D			
0,0	0,99	0,83	0,55
0,5	0,95	0,84	0,57
1,0	0,87	0,84	0,59
1,5	0,79	0,82	0,61
2,0	0,74	0,80	0,64
2,5	0,71	0,78	0,66
3,0	0,71	0,77	0,68
4,0	0,72	0,78	0,72
5,0	0,75	0,79	0,74
6,0	0,77	0,81	0,76
8,0	0,81	0,84	0,80
10	0,84	0,87	0,84
15	0,91	0,92	0,91
20	0,96	0,96	0,96
25	0,99	0,99	0,99
30	1,00	1,00	1,00
35	1,00	1,00	1,00
40	1,00	1,00	1,00
45	1,00	1,00	1,00
50	1,00	1,00	1,00

Bron: Miller

G.4 Correctiefactor C_o voor lengte stroomafwaarts bij ronde bochten \odot

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{1}{2} \rho \cdot v^2$$

[Pa] (G.11)

$$\zeta = \zeta_0 \cdot C_{Re} \cdot \frac{\lambda}{\lambda_{\epsilon=0}}$$

[-] (G.12)

$$C_{Re} = 0,9 - 0,7 \cdot \exp\left[-\frac{\zeta_0}{0,21}\right] + 0,13 \cdot \exp\left[-\left(\frac{\frac{L_u}{D}}{0,5 + 0,4 \cdot \zeta_0}\right)^2\right] + 0,024 \cdot \frac{L_u}{D}$$

[-] (G.13)

Bovenstaande formule is bruikbaar als $0 \leq \zeta_0 \leq 0,25$ waarbij $0 \leq L_u/D \leq 13$

Indien $L_u/D > 13$ moet C_{Re} worden begrensd op 1.

Bij 90° -bochten met $R/D = 1$ kan de correctiefactor C_o worden gebruikt van $\zeta_0 = 0,25$.

C_0	ζ_0					
	L_u/D	0,00	0,05	0,10	0,15	0,20
0,0	0,33	0,48	0,63	0,82	1,23	2,67
0,5	0,26	0,41	0,55	0,69	0,93	1,69
1,0	0,23	0,38	0,49	0,59	0,68	0,83
1,5	0,24	0,38	0,50	0,59	0,67	0,73
2,0	0,25	0,40	0,51	0,61	0,68	0,74
2,5	0,26	0,41	0,53	0,62	0,69	0,75
3,0	0,27	0,42	0,54	0,63	0,70	0,76
4,0	0,30	0,44	0,56	0,65	0,73	0,78
5,0	0,32	0,47	0,59	0,68	0,75	0,81
6,0	0,34	0,49	0,61	0,70	0,77	0,83
7,0	0,37	0,52	0,63	0,73	0,80	0,86
8	0,39	0,54	0,66	0,75	0,82	0,88
9	0,42	0,56	0,68	0,77	0,85	0,90
10	0,44	0,59	0,71	0,80	0,87	0,93
11	0,46	0,61	0,73	0,82	0,89	0,95
12	0,49	0,64	0,75	0,85	0,92	0,98
13	0,51	0,66	0,78	0,87	0,94	1,00
15	0,56	0,71	0,83	0,92	0,99	1,00
20	0,68	0,83	0,95	1,00	1,00	1,00
25	0,80	0,95	1,00	1,00	1,00	1,00

Bron: Miller

G.5 Gesegmenteerde bochten $\alpha = 90^\circ$ ○

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad [\text{Pa}] \quad (\text{G.14})$$

$$\zeta = \zeta_0 \cdot C_{Re} \cdot \frac{\lambda}{\lambda_{\epsilon=0}} \quad [-] \quad (\text{G.15})$$

 ζ_0 geldt voor $Re = 10^6$ en $\epsilon = 0$ De R/D-verhouding van een gesegmenteerde bocht van 90° volgt uit:

$$\frac{R}{D} = \frac{L_{\text{segment}}}{2 \cdot D} \cdot \cot \left(\frac{90^\circ}{2 \cdot N} \right) \quad [-] \quad (\text{G.16})$$

Waarin:

N	= aantal segmenten van bocht	[-]
-----	------------------------------	-----

L_{segment}	= lengte van segment (op het hart gemeten)	[m]
----------------------	--	-----

D	= inwendige diameter van kanaal	[m]
-----	---------------------------------	-----

Benadering van ζ_0 d.m.v. een formule is niet mogelijk!

Opmerking: De halve aansluitsegmenten samen beschouwt men als één segment.

	ζ_0 voor $\alpha = 90^\circ$		r/D							
	N	$90^\circ/N$	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0
2	45°	0,45	0,35	0,30	0,32	0,35	0,40	0,40	0,50	0,55
3	30°	0,42	0,33	0,27	0,23	0,21	0,23	0,26	0,29	0,32
4	22,5°	0,40	0,31	0,25	0,21	0,19	0,19	0,21	0,23	0,25
	Gladde bocht	0,27	0,18	0,16	0,16	0,16	0,17	0,18	0,18	0,23

C_{Re}	r/D								
Re	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
10.000	2,23	2,31	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38	2,38
20.000	1,88	1,99	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09	2,09
30.000	1,69	1,83	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93	1,93
40.000	1,58	1,72	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83	1,83
50.000	1,49	1,64	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76	1,76
60.000	1,43	1,57	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70	1,70
80.000	1,33	1,48	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61	1,61
100.000	1,25	1,41	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54	1,54
200.000	1,05	1,21	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
300.000	1,00	1,11	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
400.000	1,00	1,05	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
500.000	1,00	1,00	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14	1,14
600.000	1,00	1,00	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10	1,10
800.000	1,00	1,00	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04	1,04
1.000.000	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2.000.000	1,00	1,00	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88	0,88
3.000.000	1,00	1,00	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81	0,81
4.000.000	1,00	1,00	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77	0,77
5.000.000	1,00	1,00	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74
6.000.000	1,00	1,00	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71	0,71
8.000.000	1,00	1,00	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67	0,67
10.000.000	1,00	1,00	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65	0,65

Bron: Miller

G.6 Verloopstukken ○

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 \quad [\text{Pa}] \quad (\text{G.17})$$

Waarin:

$$v_1 = \text{de instroom snelheid} \quad [\text{m/s}]$$

$$\zeta_{12} = \zeta_s + \zeta_w \quad [-] \quad (\text{G.18})$$

Voor een vernauwend verloopstuk met een hoek α geldt:



$$\zeta_w = \frac{\lambda_1}{8 \cdot \tan(0,5 \cdot \alpha)} \cdot \left(\left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4 - 1 \right) \quad [-] \quad (\text{G.20})$$

Voor een verwijdend verloopstuk met een hoek α geldt:



$$\zeta_w = \frac{\lambda_1}{8 \cdot \tan(0,5 \cdot \alpha)} \cdot \left(1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^4 \right) \quad [-] \quad (\text{G.22})$$

Uitwerking van het wrijvingsverlies in recht kanaal van 1 Pa/m

ζ_{12} voor een verloopstuk met $\alpha = 36^\circ$					Vernauwend D_2/D_1					Verwijdend D_2/D_1				
					0,32	0,40	0,50	0,63	0,79	1,26	1,58	2,00	2,51	3,16
Stromingscondities					A_2/A_1					A_2/A_1				
D_1 [mm]	R [Pa/m]	v_1 [m/s]	Re_1	λ_1	0,10	0,16	0,25	0,40	0,63	1,58	2,51	3,98	6,31	10,00
63	1,00	1,69	7.020	0,0341	1,30	0,51	0,19	0,07	0,02	0,00	0,11	0,30	0,45	0,57
80	1,00	2,01	10.592	0,0309	1,18	0,46	0,18	0,06	0,02	0,00	0,11	0,29	0,45	0,57
100	1,00	2,36	15.511	0,0283	1,08	0,42	0,16	0,06	0,02	0,00	0,11	0,29	0,45	0,57
125	1,00	2,76	22.659	0,0260	0,99	0,39	0,15	0,05	0,02	0,00	0,11	0,29	0,45	0,57
160	1,00	3,27	34.371	0,0238	0,91	0,36	0,14	0,05	0,01	0,00	0,11	0,29	0,45	0,56
200	1,00	3,80	49.981	0,0221	0,84	0,33	0,13	0,05	0,01	0,00	0,11	0,29	0,45	0,56
250	1,00	4,41	72.544	0,0206	0,78	0,31	0,12	0,04	0,01	0,00	0,11	0,29	0,45	0,56
315	1,00	5,14	106.509	0,0192	0,73	0,29	0,11	0,04	0,01	0,00	0,11	0,29	0,45	0,56
400	1,00	6,01	158.114	0,0179	0,68	0,27	0,10	0,04	0,01	0,00	0,11	0,29	0,45	0,56
500	1,00	6,95	228.336	0,0168	0,64	0,25	0,10	0,03	0,01	0,00	0,11	0,29	0,45	0,56
630	1,00	8,05	333.616	0,0158	0,60	0,24	0,09	0,03	0,01	0,00	0,11	0,29	0,45	0,56
800	1,00	9,37	492.988	0,0149	0,57	0,22	0,09	0,03	0,01	0,00	0,11	0,29	0,45	0,56
1.000	1,00	10,79	709.141	0,0141	0,54	0,21	0,08	0,03	0,01	0,00	0,11	0,29	0,45	0,56
1.250	1,00	12,40	1.018.879	0,0134	0,51	0,20	0,08	0,03	0,01	0,00	0,11	0,29	0,45	0,56

Uitwerking van het wrijvingsverlies in recht kanaal van 2 Pa/m

ζ_{12} voor een verloopstuk met $\alpha = 36^\circ$					Vernauwend D_2/D_1					Verwijdend D_2/D_1				
					0,32	0,40	0,50	0,63	0,79	1,26	1,58	2,00	2,51	3,16
Stromingscondities					A_2/A_1					A_2/A_1				
D_1 [mm]	R [Pa/m]	v_1 [m/s]	Re_1	λ_1	0,10	0,16	0,25	0,40	0,63	1,58	2,51	3,98	6,31	10,00
63	2,00	2,50	10.335	0,0341	1,30	0,51	0,19	0,07	0,02	0,29	0,57	0,70	0,76	0,78
80	2,00	2,95	15.542	0,0309	1,18	0,46	0,18	0,06	0,02	0,29	0,57	0,70	0,76	0,78
100	2,00	3,45	22.694	0,0283	1,08	0,42	0,16	0,06	0,02	0,29	0,57	0,70	0,76	0,78
125	2,00	4,02	33.062	0,0260	0,99	0,39	0,15	0,05	0,02	0,29	0,56	0,70	0,76	0,78
160	2,00	4,75	50.013	0,0238	0,91	0,36	0,14	0,05	0,01	0,29	0,56	0,70	0,75	0,78
200	2,00	5,52	72.562	0,0221	0,84	0,33	0,13	0,05	0,01	0,29	0,56	0,70	0,75	0,78
250	2,00	6,39	105.090	0,0206	0,78	0,31	0,12	0,04	0,01	0,29	0,56	0,70	0,75	0,78
315	2,00	7,43	153.968	0,0192	0,73	0,29	0,11	0,04	0,01	0,29	0,56	0,70	0,75	0,78
400	2,00	8,67	228.132	0,0179	0,68	0,27	0,10	0,04	0,01	0,29	0,56	0,70	0,75	0,78
500	2,00	10,00	328.891	0,0168	0,64	0,25	0,10	0,03	0,01	0,29	0,56	0,70	0,75	0,78
630	2,00	11,58	479.745	0,0158	0,60	0,24	0,09	0,03	0,01	0,29	0,56	0,69	0,75	0,78
800	2,00	13,46	707.804	0,0149	0,57	0,22	0,08	0,03	0,01	0,29	0,56	0,69	0,75	0,78
1.000	2,00	15,46	1.016.647	0,0141	0,54	0,21	0,08	0,03	0,01	0,29	0,56	0,69	0,75	0,77
1.250	2,00	17,75	1.458.850	0,0134	0,51	0,20	0,08	0,03	0,01	0,29	0,56	0,69	0,75	0,77

Bron: Klima & Kälte Ingenieur + Miller

G.7 Plotselinge diameterovergangen ○

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_1^2 \quad [\text{Pa}] \quad (\text{G.23})$$

Waarin:

$$v_1 = \text{de instroomsnelheid} \quad [\text{m/s}]$$

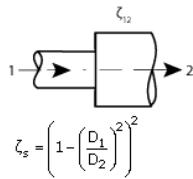
$$\zeta_{12} = \zeta_s + \zeta_w \quad [-] \quad (\text{G.24})$$

Voor een vernauwende diameterovergang geldt:



$$\zeta_w = 0 \quad [-] \quad (\text{G.26})$$

Voor een verwijdende diameterovergang geldt:



$$\zeta_s = \left(1 - \left(\frac{D_1}{D_2} \right)^2 \right)^2$$

[-] (G.27)

$$\zeta_w = 0$$

[-] (G.28)

	Vernauwend D_2/D_1					Verwijdend D_2/D_1					
	0,32	0,40	0,50	0,63	0,79	1,00	1,26	1,58	2,00	2,51	3,16
	A_2/A_1	A_2/A_1	A_2/A_1	A_2/A_1	A_2/A_1	A_2/A_1	A_2/A_1	A_2/A_1	A_2/A_1	A_2/A_1	
ζ_{12}	61,51	24,23	9,24	3,10	0,61	0,00	0,14	0,36	0,56	0,71	0,81

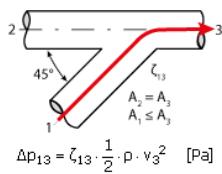
Opmerking: Plotselinge diameterovergangen zijn bij de LUKA niet gebruikelijk.

Bron: Miller

G.8 Verzamelend T-stuk 45° (scherp) ○

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \cdot \frac{v_2}{v_3} \right) \quad [-] \quad (G.29)$$

v_1/v_3	ζ_{13}	v_2/v_3										
		0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,70
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,44	-0,65	-0,91
0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,21	-0,37	-0,58	-0,85
0,4	-	-	-	-	-	-	-0,01	-0,13	-0,29	-0,51	-0,77	
0,5	-	-	-	-	-	0,14	0,08	-0,03	-0,20	-0,42	-0,69	
0,6	-	-	-	-	0,26	0,25	0,19	0,07	-0,10	-0,32	-0,59	
0,7	-	-	-	0,35	0,39	0,37	0,30	0,19	0,01	-0,21	-0,48	
0,8	-	-	0,40	0,49	0,52	0,50	0,43	0,31	0,14	-0,09	-0,36	
0,9	-	0,41	0,55	0,63	0,67	0,65	0,57	0,45	0,27	0,05	-0,23	
1,0	0,39	0,58	0,71	0,79	0,82	0,80	0,73	0,60	0,42	0,19	-0,09	
1,1	0,57	0,75	0,88	0,96	0,99	0,97	0,89	0,76	0,58	0,35	0,06	
1,2	0,76	0,94	1,07	1,14	1,17	1,14	1,06	0,93	0,75	0,52	0,23	
1,3	0,96	1,14	1,26	1,34	1,36	1,33	1,25	1,12	0,93	0,69	0,41	
1,4	1,17	1,35	1,47	1,54	1,56	1,53	1,45	1,31	1,12	0,88	0,59	
1,5	1,39	1,57	1,69	1,76	1,78	1,74	1,66	1,52	1,33	1,09	0,79	
1,6	1,63	1,63	1,92	1,99	2,00	1,97	1,88	1,74	1,54	1,30	1,00	
1,7	1,87	2,04	2,16	2,22	2,24	2,20	2,11	1,97	1,77	1,52	1,23	
1,8	2,13	2,30	2,41	2,48	2,49	2,44	2,35	2,21	2,01	1,76	1,46	
1,9	2,40	2,56	2,68	2,74	2,75	2,70	2,61	2,46	2,26	2,01	1,70	
2,0	2,68	2,84	2,95	3,01	3,02	2,97	2,87	2,72	2,52	2,27	1,96	



$$\Delta p_{13} = \zeta_{13} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_3^2 \quad [\text{Pa}]$$

$$\begin{aligned} a_0 &= -0,76 \\ a_1 &= 0,58 \\ a_2 &= 0,57 \\ a_3 &= 2,36 \\ a_4 &= -2,60 \\ a_5 &= -0,24 \end{aligned}$$

ζ_{23}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11	0,02
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	0,12	0,04
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,18	0,13	0,06
0,4	-	-	-	-	-	-	0,21	0,20	0,18	0,14	0,08
0,5	-	-	-	-	-	0,18	0,19	0,19	0,18	0,15	0,10
0,6	-	-	-	-	0,10	0,14	0,17	0,18	0,17	0,15	0,12
0,7	-	-	-	-0,00	0,06	0,11	0,14	0,17	0,17	0,16	0,14
0,8	-	-	-0,15	-0,06	0,02	0,08	0,12	0,15	0,17	0,17	0,15
0,9	-	-0,33	-0,21	-0,11	-0,03	0,04	0,10	0,14	0,16	0,17	0,17
1,0	-0,54	-0,40	-0,28	-0,17	-0,07	0,01	0,07	0,12	0,15	0,17	0,18
1,1	-0,63	-0,48	-0,34	-0,23	-0,12	-0,03	0,04	0,10	0,15	0,18	0,19
1,2	-0,71	-0,56	-0,41	-0,28	-0,17	-0,07	0,01	0,08	0,14	0,18	0,20
1,3	-0,80	-0,63	-0,48	-0,34	-0,22	-0,11	-0,01	0,06	0,13	0,18	0,21
1,4	-0,89	-0,71	-0,55	-0,40	-0,27	-0,15	-0,04	0,04	0,12	0,18	0,22
1,5	-0,98	-0,79	-0,62	-0,46	-0,32	-0,19	-0,08	0,02	0,11	0,18	0,23
1,6	-1,07	-0,88	-0,69	-0,52	-0,37	-0,23	-0,11	0,00	0,10	0,18	0,24
1,7	-1,17	-0,96	-0,77	-0,59	-0,42	-0,28	-0,14	-0,02	0,08	0,17	0,25
1,8	-1,26	-1,04	-0,84	-0,65	-0,48	-0,32	-0,18	-0,05	0,07	0,17	0,25
1,9	-1,35	-1,13	-0,91	-0,72	-0,53	-0,36	-0,21	-0,07	0,05	0,16	0,26
2,0	-1,45	-1,21	-0,99	-0,78	-0,59	-0,41	-0,25	-0,10	0,04	0,16	0,26

Bron: Miller

G.9 Verzamelend T-stuk 60° (scherp) ○

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} - \frac{v_2}{v_3} \right)$$

[-] (G.30)

ζ_{13}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,69	-0,95
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,41	-0,63	-0,89
0,3	-	-	-	-	-	-	-	-0,16	-0,33	-0,55	-0,82
0,4	-	-	-	-	-	-	0,06	-0,07	-0,25	-0,47	-0,75
0,5	-	-	-	-	-	0,24	0,16	0,03	-0,15	-0,38	-0,66
0,6	-	-	-	-	0,40	0,36	0,27	0,14	-0,05	-0,28	-0,56
0,7	-	-	-	0,52	0,53	0,48	0,39	0,25	0,07	-0,17	-0,46
0,8	-	-	0,61	0,66	0,67	0,62	0,52	0,38	0,19	-0,05	-0,35
0,9	-	0,67	0,77	0,82	0,81	0,76	0,66	0,52	0,32	0,07	-0,22
1,0	0,70	0,84	0,93	0,98	0,97	0,92	0,81	0,66	0,46	0,21	-0,09
1,1	0,88	1,02	1,11	1,15	1,14	1,08	0,97	0,82	0,61	0,36	0,05
1,2	1,08	1,21	1,29	1,33	1,31	1,25	1,14	0,98	0,77	0,51	0,20
1,3	1,28	1,41	1,49	1,52	1,50	1,43	1,32	1,15	0,94	0,67	0,36
1,4	1,49	1,61	1,69	1,72	1,69	1,62	1,50	1,33	1,12	0,85	0,53
1,5	1,71	1,83	1,90	1,92	1,90	1,82	1,70	1,52	1,30	1,03	0,71
1,6	1,94	2,06	2,12	2,14	2,11	2,03	1,90	1,72	1,50	1,22	0,90
1,7	2,18	2,29	2,35	2,37	2,33	2,25	2,12	1,93	1,70	1,42	1,09
1,8	2,43	2,53	2,59	2,60	2,56	2,48	2,34	2,15	1,92	1,63	1,30
1,9	2,68	2,79	2,84	2,85	2,80	2,71	2,57	2,38	2,14	1,85	1,52
2,0	2,95	3,05	3,10	3,10	3,05	2,96	2,81	2,62	2,37	2,08	1,74

	ζ_{23}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	0,00	
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	0,12	0,00	
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,29	0,21	0,12	0,00	
0,4	-	-	-	-	-	-	0,31	0,27	0,20	0,11	0,00	
0,5	-	-	-	-	-	0,31	0,29	0,25	0,19	0,11	0,00	
0,6	-	-	-	-	0,27	0,28	0,27	0,24	0,18	0,10	0,01	
0,7	-	-	-	0,20	0,24	0,26	0,25	0,22	0,17	0,10	0,01	
0,8	-	-	0,10	0,16	0,21	0,23	0,23	0,21	0,17	0,10	0,02	
0,9	-	-0,04	0,05	0,13	0,18	0,21	0,21	0,20	0,16	0,10	0,02	
1,0	-0,21	-0,09	0,01	0,09	0,15	0,18	0,20	0,19	0,16	0,10	0,03	
1,1	-0,26	-0,14	-0,03	0,06	0,12	0,16	0,18	0,18	0,15	0,11	0,04	
1,2	-0,32	-0,18	-0,07	0,02	0,09	0,14	0,16	0,17	0,15	0,11	0,05	
1,3	-0,37	-0,23	-0,11	-0,01	0,06	0,12	0,15	0,16	0,15	0,11	0,06	
1,4	-0,42	-0,27	-0,15	-0,04	0,04	0,10	0,14	0,15	0,15	0,12	0,07	
1,5	-0,47	-0,31	-0,18	-0,07	0,01	0,08	0,12	0,15	0,15	0,13	0,08	
1,6	-0,52	-0,36	-0,22	-0,10	-0,01	0,06	0,11	0,14	0,15	0,13	0,10	
1,7	-0,56	-0,40	-0,25	-0,13	-0,03	0,05	0,10	0,14	0,15	0,14	0,11	
1,8	-0,61	-0,44	-0,29	-0,16	-0,05	0,03	0,09	0,13	0,15	0,15	0,13	
1,9	-0,66	-0,48	-0,32	-0,19	-0,07	0,02	0,08	0,13	0,16	0,16	0,14	
2,0	-0,70	-0,52	-0,35	-0,21	-0,09	0,00	0,08	0,13	0,16	0,17	0,16	

Bron: Miller

G.10 Verzamelend T-stuk 90° (scherp) ○

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} - \frac{v_2}{v_3} \right) \quad [-] \quad (\text{G.31})$$

	ζ_{13}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,00	
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,66	-0,96	
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,35	-0,61	-0,90	
0,3	-	-	-	-	-	-	-	-0,07	-0,29	-0,54	-0,82	
0,4	-	-	-	-	-	-	0,19	0,01	-0,20	-0,45	-0,74	
0,5	-	-	-	-	-	0,42	0,28	0,10	-0,11	-0,35	-0,63	
0,6	-	-	-	-	0,62	0,52	0,38	0,21	0,01	-0,23	-0,51	
0,7	-	-	-	0,79	0,73	0,63	0,50	0,34	0,13	-0,10	-0,37	
0,8	-	-	0,93	0,91	0,86	0,76	0,64	0,48	0,28	0,05	-0,22	
0,9	-	1,05	1,07	1,05	1,00	0,91	0,79	0,63	0,44	0,21	-0,05	
1,0	1,14	1,20	1,22	1,21	1,16	1,08	0,96	0,80	0,61	0,39	0,13	
1,1	1,30	1,36	1,39	1,38	1,33	1,25	1,14	0,99	0,80	0,58	0,33	
1,2	1,47	1,54	1,57	1,56	1,52	1,45	1,34	1,19	1,01	0,79	0,54	
1,3	1,66	1,73	1,77	1,77	1,73	1,66	1,55	1,41	1,23	1,02	0,77	
1,4	1,87	1,94	1,98	1,98	1,95	1,88	1,78	1,64	1,47	1,26	1,02	
1,5	2,09	2,17	2,21	2,22	2,19	2,13	2,03	1,89	1,72	1,52	1,28	
1,6	2,33	2,41	2,45	2,47	2,44	2,38	2,29	2,16	1,99	1,79	1,56	
1,7	2,58	2,66	2,71	2,73	2,71	2,65	2,56	2,44	2,28	2,08	1,85	
1,8	2,85	2,94	2,99	3,01	2,99	2,94	2,86	2,73	2,58	2,38	2,16	
1,9	3,13	3,22	3,28	3,31	3,29	3,25	3,16	3,05	2,99	2,70	2,48	
2,0	3,43	3,53	3,59	3,62	3,61	3,57	3,49	3,37	3,22	3,22	2,82	

ζ_{23}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	0,01
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	0,14	0,01
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,26	0,15	0,01
0,4	-	-	-	-	-	-	0,43	0,36	0,27	0,15	0,01
0,5	-	-	-	-	-	0,49	0,45	0,38	0,28	0,16	0,02
0,6	-	-	-	-	0,54	0,51	0,46	0,39	0,29	0,16	0,01
0,7	-	-	-	0,57	0,56	0,53	0,48	0,40	0,30	0,17	0,01
0,8	-	-	0,58	0,59	0,59	0,55	0,49	0,41	0,30	0,17	0,01
0,9	-	0,57	0,61	0,62	0,61	0,57	0,51	0,42	0,31	0,17	0,01
1,0	0,55	0,61	0,64	0,65	0,63	0,59	0,52	0,43	0,31	0,17	-0,00
1,1	0,59	0,64	0,67	0,67	0,65	0,60	0,53	0,43	0,31	0,17	-0,01
1,2	0,63	0,67	0,70	0,70	0,67	0,62	0,54	0,44	0,31	0,16	-0,01
1,3	0,66	0,71	0,71	0,72	0,69	0,63	0,55	0,44	0,31	0,16	-0,02
1,4	0,70	0,74	0,75	0,74	0,70	0,64	0,56	0,45	0,31	0,15	-0,03
1,5	0,73	0,77	0,78	0,76	0,72	0,66	0,57	0,45	0,31	0,15	-0,05
1,6	0,76	0,79	0,80	0,78	0,73	0,66	0,57	0,45	0,31	0,14	-0,06
1,7	0,79	0,82	0,82	0,80	0,75	0,67	0,57	0,45	0,30	0,13	-0,07
1,8	0,82	0,85	0,84	0,81	0,76	0,68	0,58	0,45	0,30	0,12	-0,09
1,9	0,85	0,87	0,86	0,83	0,77	0,69	0,58	0,45	0,29	0,11	-0,10
2,0	0,88	0,89	0,88	0,84	0,78	0,69	0,58	0,44	0,28	0,09	-0,12

Bron: Miller

G.11 Splitsend T-stuk 45° (scherp) ○

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} - \frac{v_2}{v_3} \right) \quad [-] \quad (\text{G.32})$$

ζ_{31}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,82	0,92
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,67	0,76	0,85
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,54	0,62	0,70	0,79
0,4	-	-	-	-	-	-	0,44	0,51	0,59	0,66	0,74
0,5	-	-	-	-	-	0,38	0,43	0,50	0,56	0,64	0,71
0,6	-	-	-	-	0,33	0,38	0,44	0,49	0,55	0,62	0,69
0,7	-	-	-	0,32	0,36	0,40	0,45	0,50	0,56	0,62	0,68
0,8	-	-	0,34	0,37	0,40	0,44	0,48	0,52	0,57	0,62	0,68
0,9	-	0,38	0,40	0,42	0,45	0,48	0,51	0,55	0,60	0,64	0,69
1,0	0,45	0,46	0,47	0,49	0,51	0,54	0,56	0,60	0,63	0,68	0,72
1,1	0,55	0,55	0,56	0,57	0,58	0,60	0,63	0,65	0,68	0,72	0,76
1,2	0,66	0,66	0,66	0,66	0,67	0,68	0,70	0,72	0,75	0,78	0,81
1,3	0,78	0,77	0,77	0,77	0,77	0,78	0,79	0,80	0,82	0,84	0,87
1,4	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88	0,89	0,91	0,92	0,94
1,5	1,06	1,04	1,02	1,01	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,02	1,03
1,6	1,22	1,19	1,17	1,15	1,13	1,12	1,12	1,11	1,11	1,12	1,13
1,7	1,39	1,36	1,33	1,30	1,28	1,26	1,25	1,24	1,24	1,24	1,24
1,8	1,57	1,53	1,50	1,47	1,44	1,42	1,40	1,38	1,37	1,36	1,36
1,9	1,76	1,72	1,68	1,64	1,61	1,58	1,55	1,53	1,52	1,50	1,49
2,0	1,97	1,92	1,87	1,83	1,79	1,76	1,72	1,70	1,67	1,66	1,64

ζ_{32}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,00	0,00	0,00
0,4	-	-	-	-	-	-	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,5	-	-	-	-	-	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,6	-	-	-	-	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,7	-	-	-	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,8	-	-	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,9	-	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,0	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,1	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,2	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,3	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,4	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,5	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,6	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,7	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,8	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,9	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
2,0	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00

Bron: Miller

G.12 Splitsend T-stuk 60° (scherp) ○

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} - \frac{v_2}{v_3} \right)$$

[−] (G.33)

ζ_{31}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,87	0,93
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,76	0,82	0,87
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,68	0,73	0,77	0,81
0,4	-	-	-	-	-	-	0,62	0,66	0,70	0,74	0,77
0,5	-	-	-	-	-	0,58	0,61	0,65	0,68	0,71	0,74
0,6	-	-	-	-	0,56	0,59	0,62	0,65	0,67	0,69	0,71
0,7	-	-	-	0,57	0,59	0,62	0,64	0,66	0,67	0,69	0,70
0,8	-	-	0,60	0,62	0,64	0,65	0,67	0,68	0,69	0,69	0,70
0,9	-	0,65	0,66	0,68	0,69	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,70
1,0	0,72	0,73	0,74	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,74	0,73	0,72
1,1	0,82	0,83	0,83	0,82	0,82	0,81	0,81	0,79	0,78	0,76	0,75
1,2	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,78
1,3	1,06	1,04	1,03	1,01	0,99	0,97	0,95	0,92	0,89	0,86	0,83
1,4	1,19	1,17	1,14	1,12	1,09	1,06	1,03	1,00	0,96	0,92	0,88
1,5	1,33	1,30	1,27	1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95
1,6	1,48	1,44	1,41	1,37	1,32	1,28	1,23	1,18	1,13	1,08	1,02
1,7	1,64	1,60	1,55	1,50	1,46	1,40	1,35	1,29	1,23	1,17	1,11
1,8	1,81	1,76	1,71	1,65	1,60	1,54	1,47	1,41	1,34	1,27	1,20
1,9	1,99	1,93	1,87	1,81	1,75	1,68	1,61	1,54	1,46	1,39	1,31
2,0	2,18	2,11	2,05	1,98	1,90	1,83	1,75	1,67	1,59	1,51	1,42

ζ_{32}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,00	0,00	0,00
0,4	-	-	-	-	-	-	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,5	-	-	-	-	-	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,6	-	-	-	-	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,7	-	-	-	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,8	-	-	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,9	-	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,0	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,1	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,2	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,3	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,4	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,5	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,6	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,7	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,8	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,9	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
2,0	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00

Bron: Miller

G.13 Splitsend T-stuk 90° (scherp) ○

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} - \frac{v_2}{v_3} \right)$$

[-] (G.34)

ζ_{31}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,03
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,93	1,03
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,87	0,96	1,06
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,84	0,91	1,00	1,10
0,4	-	-	-	-	-	-	0,82	0,88	0,96	1,04	1,15
0,5	-	-	-	-	-	0,83	0,87	0,93	1,01	1,10	1,21
0,6	-	-	-	-	0,85	0,89	0,93	1,00	1,07	1,16	1,27
0,7	-	-	-	0,90	0,92	0,95	1,00	1,07	1,14	1,24	1,34
0,8	-	-	0,97	0,97	0,99	1,03	1,08	1,14	1,22	1,32	1,42
0,9	-	1,05	1,05	1,05	1,08	1,11	1,16	1,23	1,31	1,40	1,51
1,0	1,16	1,14	1,13	1,14	1,16	1,20	1,25	1,32	1,40	1,50	1,61
1,1	1,25	1,23	1,23	1,24	1,26	1,30	1,36	1,42	1,51	1,60	1,72
1,2	1,35	1,34	1,33	1,34	1,37	1,41	1,46	1,53	1,62	1,71	1,83
1,3	1,46	1,45	1,44	1,46	1,48	1,52	1,58	1,65	1,74	1,83	1,95
1,4	1,58	1,56	1,56	1,58	1,60	1,65	1,70	1,78	1,86	1,96	2,08
1,5	1,71	1,69	1,69	1,70	1,73	1,78	1,84	1,91	2,00	2,10	2,22
1,6	1,84	1,82	1,83	1,84	1,87	1,92	1,98	2,05	2,14	2,24	2,36
1,7	1,98	1,97	1,97	1,99	2,02	2,06	2,12	2,20	2,29	2,39	2,51
1,8	2,13	2,12	2,12	2,14	2,17	2,22	2,28	2,36	2,45	2,55	2,67
1,9	2,29	2,28	2,28	2,30	2,33	2,38	2,44	2,52	2,61	2,72	2,84
2,0	2,45	2,44	2,45	2,47	2,50	2,55	2,62	2,70	2,79	2,90	3,02

ζ_{32}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,00	0,00	0,00
0,4	-	-	-	-	-	-	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,5	-	-	-	-	-	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,6	-	-	-	-	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,7	-	-	-	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,8	-	-	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,9	-	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,0	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,1	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,2	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,3	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,4	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,5	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,6	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,7	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,8	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,9	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
2,0	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00

Bron: Miller

G.14 Verzamelend T-stuk 90° (afgerond R = 0,1 · D₁) ○

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} - \frac{v_2}{v_3} \right) \quad [-] \quad (\text{G.35})$$

ζ_{13}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,71	-0,92
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,44	-0,62	-0,85
0,3	-	-	-	-	-	-	-	-0,20	-0,35	-0,54	-0,78
0,4	-	-	-	-	-	-	0,01	-0,10	-0,25	-0,46	-0,71
0,5	-	-	-	-	-	0,20	0,13	0,01	-0,16	-0,37	-0,64
0,6	-	-	-	-	0,36	0,33	0,24	0,11	-0,07	-0,29	-0,57
0,7	-	-	-	0,50	0,50	0,46	0,36	0,22	0,02	-0,22	-0,51
0,8	-	-	0,62	0,65	0,64	0,58	0,47	0,32	0,11	-0,14	-0,44
0,9	-	0,71	0,78	0,80	0,78	0,70	0,58	0,41	0,20	-0,07	-0,38
1,0	0,77	0,88	0,94	0,95	0,91	0,83	0,69	0,51	0,28	0,01	-0,32
1,1	0,95	1,05	1,09	1,09	1,04	0,94	0,80	0,61	0,36	0,08	-0,26
1,2	1,13	1,21	1,25	1,23	1,17	1,06	0,90	0,70	0,45	0,14	-0,21
1,3	1,31	0,38	1,40	1,37	1,30	1,18	1,01	0,79	0,52	0,21	-0,15
1,4	1,48	1,54	1,55	1,51	1,43	1,29	1,11	0,88	0,60	0,28	-0,10
1,5	1,66	1,70	1,70	1,65	1,55	1,41	1,21	0,97	0,68	0,34	-0,05
1,6	1,83	1,86	1,85	1,79	1,67	1,52	1,31	1,05	0,75	0,40	0,00
1,7	2,00	2,02	1,99	1,92	1,80	1,62	1,41	1,14	0,82	0,46	0,05
1,8	2,17	2,18	2,14	2,05	1,91	1,73	1,50	1,22	0,89	0,52	0,09
1,9	2,30	2,33	2,28	2,18	2,03	1,84	1,59	1,30	0,96	0,57	0,14
2,0	2,50	2,48	2,42	2,31	2,15	1,94	1,68	1,38	1,03	0,63	0,18

ζ_{23}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08	0,05
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14	0,11	0,09
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,20	0,17	0,15	0,14
0,4	-	-	-	-	-	-	0,24	0,22	0,20	0,19	0,18
0,5	-	-	-	-	-	0,28	0,26	0,24	0,23	0,22	0,22
0,6	-	-	-	-	0,31	0,29	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26
0,7	-	-	-	0,33	0,31	0,30	0,29	0,28	0,28	0,29	0,30
0,8	-	-	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,30	0,31	0,32	0,34
0,9	-	0,34	0,32	0,31	0,31	0,30	0,31	0,32	0,33	0,35	0,37
1,0	0,33	0,32	0,31	0,30	0,30	0,31	0,32	0,33	0,35	0,38	0,41
1,1	0,30	0,29	0,29	0,29	0,30	0,31	0,33	0,35	0,38	0,41	0,44
1,2	0,27	0,26	0,27	0,28	0,29	0,31	0,33	0,36	0,40	0,43	0,48
1,3	0,23	0,24	0,25	0,26	0,28	0,31	0,34	0,37	0,41	0,46	0,51
1,4	0,20	0,21	0,23	0,25	0,27	0,31	0,34	0,38	0,43	0,48	0,54
1,5	0,16	0,18	0,20	0,23	0,26	0,30	0,35	0,39	0,45	0,51	0,57
1,6	0,12	0,15	0,18	0,21	0,25	0,30	0,35	0,40	0,46	0,53	0,60
1,7	0,08	0,12	0,15	0,19	0,24	0,29	0,35	0,41	0,48	0,55	0,63
1,8	0,04	0,08	0,13	0,17	0,23	0,29	0,35	0,42	0,49	0,57	0,65
1,9	0,00	0,05	0,10	0,15	0,21	0,28	0,35	0,42	0,50	0,59	0,68
2,0	-0,04	0,01	0,07	0,13	0,20	0,27	0,34	0,43	0,51	0,60	0,70

Bron: Miller

G.15 Splitsend T-stuk 90° (afgerond R = 0,1 · D₁) ○

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} - \frac{v_2}{v_3} \right) \quad [-] \quad (\text{G.36})$$

ζ_{31}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,91	0,93
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,83	0,85	0,89
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,76	0,78	0,82	0,87
0,4	-	-	-	-	-	-	0,72	0,73	0,75	0,80	0,87
0,5	-	-	-	-	-	0,69	0,69	0,71	0,75	0,82	0,90
0,6	-	-	-	-	0,67	0,67	0,68	0,72	0,77	0,85	0,94
0,7	-	-	-	0,67	0,66	0,67	0,70	0,75	0,82	0,91	1,01
0,8	-	-	0,69	0,67	0,67	0,70	0,74	0,80	0,88	0,99	1,11
0,9	-	0,72	0,70	0,69	0,71	0,75	0,80	0,88	0,97	1,09	1,20
1,0	0,77	0,74	0,73	0,74	0,77	0,82	0,89	0,98	1,08	1,21	1,36
1,1	0,80	0,78	0,78	0,81	0,85	0,91	0,99	1,10	1,22	1,36	1,52
1,2	0,85	0,85	0,86	0,90	0,95	1,03	1,12	1,24	1,37	1,53	1,70
1,3	0,92	0,93	0,96	1,01	1,08	1,17	1,28	1,41	1,55	1,72	1,91
1,4	1,02	1,04	1,08	1,15	1,23	1,33	1,45	1,59	1,75	1,94	2,14
1,5	1,14	1,17	1,23	1,30	1,40	1,52	1,65	1,80	1,98	2,17	2,39
1,6	1,28	1,33	1,40	1,49	1,59	1,72	1,87	2,04	2,23	2,43	2,66
1,7	1,44	1,51	1,59	1,69	1,81	1,95	2,11	2,29	2,50	2,72	2,96
1,8	1,63	1,70	1,80	1,92	2,05	2,20	2,38	2,57	2,79	3,02	3,28
1,9	1,84	1,93	2,04	2,16	2,31	2,48	2,67	2,88	3,10	3,35	3,62
2,0	2,07	2,17	2,29	2,44	2,60	2,78	2,98	3,20	3,44	3,70	3,98

ζ_{32}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,00	0,00	0,00
0,4	-	-	-	-	-	-	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,5	-	-	-	-	-	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,6	-	-	-	-	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,7	-	-	-	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,8	-	-	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,9	-	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,0	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,1	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,2	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,3	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,4	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,5	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,6	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,7	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,8	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
1,9	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
2,0	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00

Bron: Miller

G.16 Symmetrische broekstukken $A_1 = A_2 = A_3 \circ [\square]$

$$\zeta_{i3} = a_0 + a_1 \left(\frac{v_i}{v_3} \right) + a_2 \left(\frac{v_i}{v_3} \right)^2 \quad [-] \quad (G.37)$$

$$\zeta_{3,i} = a_0 + a_1 \left(\frac{v_i}{v_3} \right) + a_2 \left(\frac{v_i}{v_3} \right)^2 \quad [-] \quad (G.38)$$

Waarin:

$$i = 1, 2$$

Als gevolg van de symmetrie zijn de indices 1 en 2 verwisselbaar voor ζ .

ζ_{13}	Hoek α				
Coëff.	60°	90°	120°	150°	180°
a_0	-0,54	-0,37	0,13	0,51	0,74
a_1	1,72	1,43	0,32	-0,39	-0,72
a_2	-1,07	-0,76	0,10	0,70	1,13

ζ_{13}	v_i/v_3										
α	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
60°	-0,54	-0,38	-0,24	-0,12	-0,02	0,05	0,11	0,14	0,15	0,14	0,11
90°	-0,37	-0,23	-0,11	-0,01	0,08	0,16	0,21	0,26	0,29	0,30	0,30
120°	0,13	0,16	0,20	0,24	0,27	0,32	0,36	0,40	0,45	0,50	0,55
150°	0,51	0,48	0,46	0,46	0,47	0,49	0,53	0,58	0,65	0,73	0,82
180°	0,74	0,68	0,64	0,63	0,63	0,66	0,71	0,79	0,89	1,01	1,15

ζ_{31}	Hoek α									
Coëff.	60°	90°	120°	150°	180°					
a_0	0,70	0,63	0,63	0,47	0,59					
a_1	-1,27	-0,97	-0,88	-0,08	1,16					
a_2	0,72	0,66	0,80	0,46	-0,61					

ζ_{31}	v_i/v_3										
α	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
60°	0,70	0,58	0,47	0,38	0,31	0,25	0,20	0,16	0,14	0,14	0,15
90°	0,63	0,54	0,46	0,40	0,35	0,31	0,29	0,27	0,28	0,29	0,32
120°	0,63	0,55	0,49	0,44	0,41	0,39	0,39	0,41	0,44	0,49	0,55
150°	0,47	0,47	0,47	0,49	0,51	0,55	0,59	0,64	0,70	0,77	0,85
180°	0,59	0,70	0,80	0,88	0,96	1,02	1,07	1,10	1,13	1,14	1,14

Bron: Miller

G.17 Symmetrische broekstukken $A_1 = A_2 = 0,5 \cdot A_3 \bigcirc [\square]$

$$\zeta_{3,i} = a_0 + a_1 \left(\frac{v_i}{v_3} \right) + a_2 \left(\frac{v_i}{v_3} \right)^2 \quad [-] \quad (G.39)$$

$$\zeta_{3,i} = a_0 + a_1 \left(\frac{v_i}{v_3} \right) + a_2 \left(\frac{v_i}{v_3} \right)^2 \quad [-] \quad (G.40)$$

Waarin:

$$i = 1, 2$$

Als gevolg van de symmetrie zijn de indices 1 en 2 verwisselbaar voor ζ .

ζ_{13}	Hoek α									
Coëff.	30°			60°			90°			
a_0	-2,51			-2,02			-1,45			
a_1	3,51			2,91			2,36			
a_2	-0,88			-0,57			-0,31			

ζ_{13}	v_i/v_3										
α	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
30°	-2,51	-1,84	-1,25	-0,72	-0,27	0,12	0,43	0,68	0,85	0,96	0,99
60°	-2,02	-1,46	-0,95	-0,48	-0,06	0,32	0,65	0,94	1,18	1,37	1,52
90°	-1,45	-0,99	-0,56	-0,15	0,24	0,60	0,94	1,25	1,53	1,79	2,03

ζ_{31}	Hoek α									
Coëff.	30°			60°			90°			
a_0	0,68			0,53			0,56			
a_1	-1,19			-0,84			-0,72			
a_2	0,59			0,35			0,30			

ζ_{31}	v_i/v_3										
α	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0
30°	0,68	0,47	0,30	0,18	0,11	0,08	0,10	0,17	0,29	0,45	0,66
60°	0,53	0,38	0,25	0,15	0,08	0,04	0,03	0,04	0,08	0,15	0,25
90°	0,56	0,43	0,32	0,24	0,18	0,14	0,13	0,14	0,18	0,24	0,32

Bron: Miller

G.18 Verzamelend kruisstuk $A_1 = A_2 = A_3 = A_4 = 90^\circ$ scherp (\bigcirc)

Als gevolg van de symmetrie zijn de indices 1 en 4 verwisselbaar.

$$\zeta_{13} = 1 + \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 - 8 \cdot \frac{\left(1 - \frac{v_1}{v_3} - \frac{v_2}{v_3} \right)^2}{4 - \frac{v_1}{v_3} - \frac{v_2}{v_3}} \quad [-] \quad (G.41)$$

ζ_{13}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-1,00	-0,66	-0,35	-0,06	0,20	0,43	0,62	0,78	0,90	0,97	1,00
0,1	-0,65	-0,34	-0,05	0,21	0,44	0,63	0,79	0,91	0,98	1,01	-
0,2	-0,31	-0,02	0,24	0,47	0,66	0,82	0,94	1,01	1,04	-	-
0,3	0,03	0,29	0,52	0,71	0,87	0,99	1,06	1,09	-	-	-
0,4	0,36	0,59	0,78	0,94	1,06	1,13	1,16	-	-	-	-
0,5	0,68	0,87	1,03	1,15	1,22	1,25	-	-	-	-	-
0,6	0,98	1,14	1,26	1,33	1,36	-	-	-	-	-	-
0,7	1,27	1,39	1,46	1,49	-	-	-	-	-	-	-
0,8	1,54	1,61	1,64	-	-	-	-	-	-	-	-
0,9	1,78	1,81	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,0	2,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

$$\zeta_{23} = 1 + \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 - 16 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 \cdot \frac{1 + \frac{v_2}{v_3}}{\left(3 + \frac{v_2}{v_3} \right)^2} \quad [-] \quad (G.42)$$

ζ_{23}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	1,00	0,99	0,97	0,92	0,85	0,76	0,65	0,52	0,36	0,19	0,00
0,1	1,00	0,99	0,97	0,92	0,85	0,76	0,65	0,52	0,36	0,19	-
0,2	1,00	0,99	0,97	0,92	0,85	0,76	0,65	0,52	0,36	-	-
0,3	1,00	0,99	0,97	0,92	0,85	0,76	0,65	0,52	-	-	-
0,4	1,00	0,99	0,97	0,92	0,85	0,76	0,65	-	-	-	-
0,5	1,00	0,99	0,97	0,92	0,85	0,76	-	-	-	-	-
0,6	1,00	0,99	0,97	0,92	0,85	-	-	-	-	-	-
0,7	1,00	0,99	0,97	0,92	-	-	-	-	-	-	-
0,8	1,00	0,99	0,97	-	-	-	-	-	-	-	-
0,9	1,00	0,99	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,0	1,00	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Bron: Idel'Chik

G.19 Splitsend kruisstuk $A_1 = A_2 = A_3 = A_4$ (90° scherp) ○

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot X + a_2 \cdot X^2 + a_3 \cdot Y + a_4 \cdot Y^2 + a_5 \cdot X \cdot Y + a_6 \cdot Z \cdot Z + a_7 \cdot Z^2 + a_8 \cdot X \cdot Z + a_9 \cdot Y \cdot Z \quad [-] \quad (G.43)$$

Waarin:

$$X = v_1/v_3 \quad [-]$$

$$Y = v_2/v_3 \quad [-]$$

$$Z = v_4/v_3 \quad [-]$$

$$\begin{array}{llllll} \zeta_{31} & a_0 = 0,91 & a_1 = 0,03 & a_2 = 0,39 & a_3 = -0,57 & a_4 = 0,84 \\ & a_5 = 0,24 & a_6 = -0,47 & a_7 = 0,00 & a_8 = 1,81 & a_9 = 0,66 \end{array}$$

ζ_{31}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	0,44	0,50	0,56	0,62	0,69	0,77	0,84	0,92	1,00	1,09	1,18
0,1	0,65	0,69	0,73	0,77	0,82	0,87	0,92	0,98	1,04	1,10	-
0,2	0,83	0,84	0,86	0,88	0,90	0,93	0,96	1,00	1,04	-	-
0,3	0,97	0,96	0,96	0,95	0,96	0,96	0,97	0,98	-	-	-
0,4	1,07	1,04	1,02	0,99	0,97	0,95	0,94	-	-	-	-
0,5	1,14	1,09	1,04	0,99	0,95	0,91	-	-	-	-	-
0,6	1,17	1,10	1,03	0,96	0,89	-	-	-	-	-	-
0,7	1,17	1,07	0,98	0,89	-	-	-	-	-	-	-
0,8	1,13	1,01	0,89	-	-	-	-	-	-	-	-
0,9	1,05	0,91	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,0	0,94	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Als $v_2/v_3 \leq 0,75$ (dit zijn de waarden voor een T-stuk)

$$\begin{array}{llllll} \zeta_{32} & a_0 = 0,41 & a_1 = 0,00 & a_2 = 0,00 & a_3 = -1,08 & a_4 = 0,72 \\ & a_5 = 0,00 & a_6 = 0,00 & a_7 = 0,00 & a_8 = 0,00 & a_9 = 0,00 \end{array}$$

ζ_{32}	v_2/v_3										
	v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
0,0	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00
0,1	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	0,00	-
0,2	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	0,00	-	-
0,3	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	0,01	-	-	-
0,4	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	0,02	-	-	-	-
0,5	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	0,05	-	-	-	-	-
0,6	0,41	0,31	0,22	0,15	0,09	-	-	-	-	-	-
0,7	0,41	0,31	0,22	0,15	-	-	-	-	-	-	-
0,8	0,41	0,31	0,22	-	-	-	-	-	-	-	-
0,9	0,41	0,31	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,0	0,41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Bron: Miller

G.20 Ronde bochten zonder leidchoepen □

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^2 \quad [\text{Pa}] \quad (\text{G.44})$$

$$\zeta = \zeta_0 \cdot C_{Re} \cdot \frac{\lambda}{\lambda_{\epsilon=0}} \quad [-] \quad (\text{G.45})$$

 ζ_0 geldt voor $Re = 10^6$ en $\epsilon = 0$

Indien $30^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$ en $0,5 \leq R/D \leq 8$ de formule voor ζ_0 gebruiken. In het gebied $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ kan men ζ_0 benaderen door middel van lineaire interpolatie tussen 0° en 30° ; $\zeta_0(0^\circ) \equiv 0$.

$$\zeta_0 = 0,028 \cdot (1 - \cos(1,5 \cdot \alpha - 20^\circ)) \cdot \left[3 \cdot \left[\frac{a}{R} \right]^3 + 2 \cdot \sqrt{\frac{a}{R}} \right] + 0,00021 \cdot \frac{R}{a} \cdot \alpha \cdot X + 0,04 \quad [-] \quad (\text{G.46})$$

Waarin:

$$X = \left(\frac{a}{D_h} \right)^{0,66} \quad [-] \quad (\text{G.47})$$

Met de hydraulische diameter:

$$D_h = \frac{4 \cdot a \cdot b}{2 \cdot (a+b)} \quad [\text{m}] \quad (\text{G.48})$$

a [mm]	r [mm]	$r+a$ [mm]	$R(\text{gem})$ [mm]	R/a	Geometrie ($\alpha = 90^\circ$)				b/a			
					0,25	0,33	0,50	1,00	2,00	3,00	4,00	
100	150	250	200	2,00	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,14	0,14	
125	150	275	213	1,70	0,18	0,18	0,17	0,16	0,15	0,15	0,15	
150	150	300	225	1,50	0,19	0,19	0,18	0,17	0,16	0,16	0,16	
175	150	325	238	1,36	0,20	0,20	0,19	0,18	0,18	0,18	0,17	
200	150	350	250	1,25	0,22	0,21	0,20	0,20	0,19	0,19	0,19	
250	150	400	275	1,10	0,24	0,24	0,23	0,23	0,22	0,22	0,22	
300	150	450	300	1,00	0,27	0,27	0,26	0,26	0,25	0,25	0,25	
350	150	500	325	0,93	0,30	0,30	0,29	0,29	0,29	0,29	0,28	
400	150	550	350	0,88	0,33	0,33	0,33	0,32	0,32	0,32	0,32	
500	150	650	400	0,80	0,39	0,39	0,38	0,38	0,37	0,37	0,37	
600	150	750	450	0,75	0,44	0,44	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	
700	150	850	500	0,71	0,49	0,48	0,48	0,48	0,47	0,47	0,47	
800	150	950	550	0,69	0,53	0,52	0,52	0,52	0,51	0,51	0,51	
1.000	150	1.150	650	0,65	0,60	0,59	0,59	0,59	0,58	0,58	0,58	
1.200	150	1.350	750	0,63	0,65	0,65	0,65	0,64	0,64	0,64	0,64	
1.400	150	1.550	850	0,61	0,70	0,69	0,69	0,69	0,69	0,68	0,68	
1.600	150	1.750	950	0,59	0,73	0,73	0,73	0,73	0,72	0,72	0,72	
1.800	150	1.950	1.050	0,58	0,77	0,76	0,76	0,76	0,76	0,75	0,75	
2.000	150	2.150	1.150	0,58	0,79	0,79	0,79	0,78	0,78	0,78	0,78	

Als $1,0 \leq R/D \leq 2,0$ wordt C_{Re} berekend met de volgende formule, waarbij er een begrenzing plaatsvindt op $C_{Re} = 1$ bij berekende lagere waarden.

$$C_{Re} = 2,9 \cdot \left(\frac{3.500}{Re} \right)^{2,7+1,3R/a} \quad [-] \quad (\text{G.49})$$

Bron: Miller

G.21 Ronde bochten met leidchoepen □

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{1}{2} \cdot p \cdot v^2 \quad [\text{Pa}] \quad (\text{G.50})$$

$$\zeta = \zeta_0 \cdot C_{Re} \cdot \frac{\lambda}{\lambda_{\epsilon=0}} \quad [-] \quad (\text{G.51})$$

Indien $30^\circ \leq \alpha \leq 120^\circ$ en $0,5 \leq Y \leq 8$ de formule voor ζ_0 gebruiken. In het gebied $0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ kan men ζ_0 benaderen door middel van lineaire interpolatie tussen 0° en 30° ; $\zeta_0(0^\circ) \equiv 0$.

$$\zeta_0 = 0,028 \cdot (1 - \cos(1,5 \cdot \alpha - 20^\circ)) \cdot \left[3 \cdot \left[\frac{1}{Y} \right]^3 + 2 \cdot \sqrt{\frac{1}{Y}} \right] + 0,00021 \cdot Y \cdot \alpha + 0,04 \quad [-] \quad (\text{G.52})$$

Waarin:

$$Y = \frac{R_{j+1} + R_j}{2 \cdot (R_{j+1} - R_j)} = \frac{X+1}{2 \cdot (X+1)} \quad [-] \quad (\text{G.53})$$

en

$$X = \frac{R_{j+1}}{R_j} = \left(\frac{r+a}{r} \right)^{\frac{1}{N+1}} \quad [-] \quad (\text{G.54})$$

a [mm]	N	r [mm]	R1 [mm]	R2 [mm]	R3 [mm]	R4 [mm]	Y (R/D) _{eq}	ζ_0								
								0°	15°	30°	45°	60°	75°	90°	105°	120°
100	0	150	250	-	-	-	2,00	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,13	0,16	0,18	0,20
125	0	150	275	-	-	-	1,70	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,14	0,17	0,19	0,21
150	0	150	300	-	-	-	1,50	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,15	0,18	0,21	0,22
175	0	150	325	-	-	-	1,36	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,16	0,19	0,22	0,24
200	1	150	229	350	-	-	2,40	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,13	0,16	0,18	0,19
250	1	150	245	400	-	-	2,08	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,13	0,16	0,18	0,20
300	1	150	260	450	-	-	1,87	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,14	0,16	0,18	0,20
350	1	150	274	500	-	-	1,71	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,14	0,17	0,19	0,21
400	2	150	231	357	550	-	2,34	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,13	0,16	0,18	0,19
500	2	150	245	399	650	-	2,09	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,13	0,16	0,18	0,20
600	2	150	256	439	750	-	1,91	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,13	0,16	0,18	0,20
700	2	150	267	477	850	-	1,78	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,14	0,16	0,19	0,21
800	2	150	278	513	950	-	1,68	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,14	0,17	0,19	0,21
1.000	3	150	250	415	691	1.150	2,01	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,13	0,16	0,18	0,20
1.200	3	150	260	450	779	1.350	1,87	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,14	0,16	0,18	0,20
1.400	3	150	269	482	865	1.550	1,76	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,14	0,17	0,19	0,21
1.600	3	150	277	512	947	1.750	1,68	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,14	0,17	0,19	0,21
1.800	3	150	285	541	1.027	1.950	1,61	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,14	0,17	0,20	0,21
2.000	3	150	292	568	1.105	2.150	1,56	0,00	0,03	0,07	0,09	0,11	0,14	0,17	0,20	0,22

Als $1 \leq Y \leq 2,0$ wordt C_{Re} berekend met de volgende formule. Indien $Y < 2,0$ is vindt er een begrenzing plaats op $C_{Re} = 1$. Als $Y > 2,0$ wordt de correctiefactor met de formule berekend door $Y = 2,0$ in te vullen; men past in dit geval geen begrenzing toe.

$$C_{Re} = 2,9 \cdot \left(\frac{3.500}{R_e} \right)^{\frac{1}{2,7+1,3 \cdot Y}} \quad [-] \quad (\text{G.55})$$

Bron: Miller

G.22 Haakse bochten met eenvoudige airturms □

$$\Delta p = \zeta \cdot \frac{1}{2} \cdot p \cdot v^2 \quad [\text{Pa}] \quad (\text{G.56})$$

$$\zeta = \zeta_0 \cdot C_{Re} \cdot \frac{\lambda}{\lambda_{\epsilon=0}} \quad [-] \quad (\text{G.57})$$

De schoepen hebben een straal R en zijn geplaatst op steek S ; de doorlopen hoek $\alpha = 90^\circ$ Bij verwaarlozing van de plaatdikte δ van de schoep geldt:

$$\zeta_0 = 0,028 \cdot (1 - \cos(1,5 \cdot 90^\circ - 20^\circ)) \cdot \left[3 \cdot \left[\frac{S}{R} \right]^3 + 2 \cdot \sqrt{\frac{S}{R}} \right] + 0,00021 \cdot \frac{S}{R} \cdot 90^\circ + 0,05 \quad [-] \quad (\text{G.58})$$

Correctiefactor voor schoepdikte δ :

$$C_{\delta} \approx \left(\frac{\frac{S}{R}}{\frac{S}{R} - \frac{\delta}{R}} \right)^2$$

[-]

(G.59)

De N schoepen zijn volgend een rekenkundige reeks over de kanaalhoogte a verdeeld.
Het aantal schoepen $N = (1,8 \cdot a)/R - 1$ (afronden op een geheel getal).

Geometrie (dikte schoep = δ)					ζ_0	
a [mm]	N	R [mm]	S [mm]	R/S	$\delta = 0$	$\delta = R/40$
100	5	30	25	1,20	0,21	0,22
125	6	30	25	1,20	0,21	0,22
150	7	30	25	1,20	0,21	0,22
175	9	30	25	1,20	0,21	0,22
200	8	40	32	1,25	0,21	0,21
250	10	40	32	1,25	0,21	0,21
300	12	40	32	1,25	0,21	0,21
350	11	50	40	1,25	0,21	0,21
400	13	50	40	1,25	0,21	0,21
500	13	60	50	1,20	0,21	0,22
600	16	60	50	1,20	0,21	0,22
700	14	80	65	1,23	0,21	0,22
800	16	80	65	1,23	0,21	0,22
1.000	17	100	80	1,25	0,21	0,21
1.200	20	100	80	1,25	0,21	0,21
1.400	19	125	100	1,25	0,21	0,21
1.600	22	125	100	1,25	0,21	0,21
1.800	20	150	120	1,25	0,21	0,21
2.000	22	150	120	1,25	0,21	0,21

Omdat $1,0 \leq R/D \leq 2,0$ wordt C_{Re} berekend met de volgende formule, waarbij er een begrenzing plaatsvindt op $C_{Re} = 1$ bij berekende lagere waarden.

$$C_{Re} = 2,9 \cdot \left(\frac{3.500}{Re} \right)^{\frac{1}{2,7+1,3R/S}} \approx \left(\frac{3.500}{Re} \right)^{0,23}$$

[-]

(G.60)

Bron: Miller

G.23 Verzamelend T-stuk 45° (scherp) □

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \cdot \frac{v_2}{v_3} \right)$$

[-]

(G.61)

v_1/v_3	v_2/v_3											
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,00	
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,70	-0,96
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,44	-0,65	-0,91	
0,3	-	-	-	-	-	-	-	-0,21	-0,37	-0,58	-0,85	
0,4	-	-	-	-	-	-	-0,01	-0,13	-0,29	-0,51	-0,77	
0,5	-	-	-	-	-	0,14	0,08	-0,03	-0,20	-0,42	-0,69	
0,6	-	-	-	-	0,26	0,25	0,19	0,07	-0,10	-0,32	-0,59	
0,7	-	-	-	0,35	0,39	0,37	0,30	0,19	0,01	-0,21	-0,48	
0,8	-	-	0,40	0,49	0,52	0,50	0,43	0,31	0,14	-0,09	-0,36	
0,9	-	0,41	0,55	0,63	0,67	0,65	0,57	0,45	0,27	0,05	-0,23	
1,0	0,39	0,58	0,71	0,79	0,82	0,80	0,73	0,60	0,42	0,19	-0,09	
1,1	0,57	0,75	0,88	0,96	0,99	0,97	0,89	0,76	0,58	0,35	0,06	
1,2	0,76	0,94	1,07	1,14	1,17	1,14	1,06	0,93	0,75	0,52	0,23	
1,3	0,96	1,14	1,26	1,34	1,36	1,33	1,25	1,12	0,93	0,69	0,41	
1,4	1,17	1,35	1,47	1,54	1,56	1,53	1,45	1,31	1,12	0,88	0,59	
1,5	1,39	1,57	1,69	1,76	1,78	1,74	1,66	1,52	1,33	1,09	0,79	
1,6	1,63	1,80	1,92	1,99	2,00	1,97	1,88	1,74	1,54	1,30	1,00	
1,7	1,87	2,04	2,16	2,22	2,24	2,20	2,11	1,97	1,77	1,52	1,23	
1,8	2,13	2,30	2,41	2,48	2,49	2,44	2,35	2,21	2,01	1,76	1,46	
1,9	2,40	2,56	2,68	2,74	2,75	2,70	2,61	2,46	2,26	2,01	1,70	
2,0	2,68	2,84	2,95	3,01	3,02	2,97	2,87	2,72	2,52	2,27	1,96	

ζ_{23}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,11	0,02
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,18	0,12	0,04
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,21	0,18	0,13	0,06
0,4	-	-	-	-	-	-	0,21	0,20	0,18	0,14	0,08
0,5	-	-	-	-	-	0,18	0,19	0,19	0,18	0,15	0,10
0,6	-	-	-	-	0,10	0,14	0,17	0,18	0,17	0,15	0,12
0,7	-	-	-	0,00	0,06	0,11	0,14	0,17	0,17	0,16	0,14
0,8	-	-	-0,15	-0,06	0,02	0,08	0,12	0,15	0,17	0,17	0,15
0,9	-	-0,33	-0,21	-0,11	-0,03	0,04	0,10	0,14	0,16	0,17	0,17
1,0	-0,54	-0,40	-0,28	-0,17	-0,07	0,01	0,07	0,12	0,15	0,17	0,18
1,1	-0,63	-0,48	-0,34	-0,23	-0,12	-0,03	0,04	0,10	0,15	0,18	0,19
1,2	-0,71	-0,56	-0,41	-0,28	-0,17	-0,07	0,01	0,08	0,14	0,18	0,20
1,3	-0,80	-0,63	-0,48	-0,34	-0,22	-0,11	0,01	0,06	0,13	0,18	0,21
1,4	-0,89	-0,71	-0,55	-0,40	-0,27	-0,15	-0,04	0,04	0,12	0,18	0,22
1,5	-0,98	-0,79	-0,62	-0,46	-0,32	-0,19	-0,08	0,02	0,11	0,18	0,23
1,6	-1,07	-0,88	-0,69	-0,52	-0,37	-0,23	-0,11	0,00	0,10	0,18	0,24
1,7	-1,17	-0,96	-0,77	-0,59	-0,42	-0,28	-0,14	-0,02	0,08	0,17	0,25
1,8	-1,26	-1,04	-0,84	-0,65	-0,48	-0,32	-0,18	-0,05	0,07	0,17	0,25
1,9	-1,35	-1,13	-0,91	-0,72	-0,53	-0,36	-0,21	-0,07	0,05	0,16	0,26
2,0	-1,45	-1,21	-0,99	-0,78	-0,59	-0,41	-0,25	-0,10	0,04	0,16	0,26

Bron: Miller

G.24 Verzamelend T-stuk 60° (scherp) □

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} - \frac{v_2}{v_3} \right) \quad [-] \quad (\text{G.62})$$

ζ_{13}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,69	-0,95
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,41	-0,63	-0,89
0,3	-	-	-	-	-	-	-	-0,16	-0,33	-0,55	-0,82
0,4	-	-	-	-	-	-	0,06	-0,07	-0,25	-0,47	-0,75
0,5	-	-	-	-	-	0,24	0,16	0,03	-0,15	-0,38	-0,66
0,6	-	-	-	-	0,40	0,36	0,27	0,14	-0,05	-0,28	-0,56
0,7	-	-	-	0,52	0,53	0,48	0,39	0,25	0,07	-0,17	-0,46
0,8	-	-	0,61	0,66	0,67	0,62	0,52	0,38	0,19	-0,05	-0,35
0,9	-	0,67	0,77	0,82	0,81	0,76	0,66	0,52	0,32	0,07	-0,22
1,0	0,70	0,84	0,93	0,98	0,97	0,92	0,81	0,66	0,46	0,21	-0,09
1,1	0,88	1,02	1,11	1,15	1,14	1,08	0,97	0,82	0,61	0,36	0,05
1,2	1,08	1,21	1,29	1,33	1,31	1,25	1,14	0,98	0,77	0,51	0,20
1,3	1,28	1,41	1,49	1,52	1,50	1,43	1,32	1,15	0,94	0,67	0,36
1,4	1,49	1,61	1,69	1,72	1,69	1,62	1,50	1,33	1,12	0,85	0,53
1,5	1,71	1,83	1,90	1,92	1,90	1,82	1,70	1,52	1,30	1,03	0,70
1,6	1,94	2,06	2,12	2,14	2,11	2,03	1,90	1,72	1,50	1,20	0,90
1,7	2,18	2,29	2,35	2,37	2,33	2,25	2,12	1,93	1,70	1,42	1,09
1,8	2,43	2,53	2,59	2,60	2,56	2,48	2,34	2,15	1,92	1,63	1,30
1,9	2,68	2,79	2,84	2,85	2,80	2,71	2,57	2,38	2,14	1,85	1,52
2,0	2,95	3,05	3,10	3,10	3,05	2,96	2,81	2,62	2,37	2,08	1,74

ζ_{23}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	0,00
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	0,12	0,00
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,29	0,21	0,12	0,00
0,4	-	-	-	-	-	-	0,31	0,27	0,20	0,11	0,00
0,5	-	-	-	-	-	0,31	0,29	0,25	0,19	0,11	0,00
0,6	-	-	-	-	0,27	0,28	0,27	0,24	0,18	0,10	0,01
0,7	-	-	-	0,20	0,24	0,26	0,25	0,22	0,17	0,10	0,01
0,8	-	-	0,10	0,16	0,21	0,23	0,23	0,21	0,17	0,10	0,02
0,9	-	-0,04	0,05	0,13	0,18	0,21	0,21	0,20	0,16	0,10	0,02
1,0	-0,21	-0,09	0,01	0,09	0,15	0,15	0,20	0,19	0,16	0,10	0,03
1,1	-0,26	-0,14	-0,03	0,06	0,12	0,16	0,18	0,18	0,15	0,11	0,04
1,2	-0,32	-0,18	-0,07	0,02	0,09	0,14	0,16	0,17	0,15	0,11	0,05
1,3	-0,37	-0,23	-0,11	-0,01	0,06	0,12	0,15	0,16	0,15	0,11	0,06
1,4	-0,42	-0,27	-0,15	-0,04	0,04	0,10	0,14	0,15	0,15	0,12	0,07
1,5	-0,47	-0,31	-0,18	-0,07	0,01	0,08	0,12	0,15	0,15	0,13	0,08
1,6	-0,52	-0,36	-0,22	-0,10	-0,01	0,06	0,11	0,14	0,15	0,13	0,10
1,7	-0,56	-0,40	-0,25	-0,13	-0,03	0,05	0,10	0,14	0,15	0,14	0,11
1,8	-0,61	-0,44	-0,29	-0,16	-0,05	0,03	0,09	0,13	0,15	0,15	0,13
1,9	-0,66	-0,48	-0,32	-0,19	-0,07	0,02	0,08	0,13	0,16	0,16	0,14
2,0	-0,70	-0,52	-0,35	-0,21	-0,09	0,00	0,08	0,13	0,16	0,17	0,16

Bron: Miller

G.25 Verzamelend T-stuk 90° (scherp) □

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} - \frac{v_2}{v_3} \right)$$

[-] (G.63)

ζ_{13}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,66	-0,96
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,35	-0,61	-0,90
0,3	-	-	-	-	-	-	-	-0,07	-0,29	-0,54	-0,82
0,4	-	-	-	-	-	-	0,19	0,01	-0,20	-0,45	-0,74
0,5	-	-	-	-	-	0,42	0,28	0,10	-0,11	-0,35	-0,63
0,6	-	-	-	-	0,62	0,52	0,38	0,21	0,01	-0,23	-0,51
0,7	-	-	-	0,79	0,73	0,63	0,50	0,34	0,13	-0,10	-0,37
0,8	-	-	0,93	0,91	0,86	0,76	0,64	0,48	0,28	0,05	0,05
0,9	-	1,05	1,07	1,05	1,00	0,91	0,79	0,63	0,44	0,21	-0,05
1,0	1,14	1,20	1,22	1,21	1,16	1,08	0,96	0,80	0,61	0,39	0,13
1,1	1,30	1,36	1,39	1,38	1,33	1,25	1,14	0,99	0,80	0,58	0,33
1,2	1,47	1,54	1,57	1,56	1,52	1,45	1,34	1,19	1,01	0,79	0,54
1,3	1,66	1,73	1,77	1,77	1,73	1,66	1,55	1,41	1,23	1,02	0,77
1,4	1,87	1,94	1,98	1,98	1,95	1,88	1,78	1,64	1,47	1,26	1,02
1,5	2,09	2,17	2,21	2,22	2,19	2,13	2,03	1,89	1,72	1,52	1,28
1,6	2,33	2,41	2,45	2,47	2,44	2,38	2,38	2,16	1,99	1,79	1,56
1,7	2,58	2,66	2,71	2,73	2,71	2,65	2,56	2,44	2,28	2,08	1,85
1,8	2,85	2,94	2,99	3,01	2,99	2,94	2,86	2,73	2,58	2,38	2,16
1,9	3,13	3,22	3,28	3,31	3,29	3,25	3,16	3,05	2,89	2,70	2,48
2,0	3,43	3,53	3,59	3,62	3,61	3,57	3,49	3,37	3,22	3,04	2,82

ζ_{23}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,13	0,01
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	0,14	0,01
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,35	0,26	0,15	0,01
0,4	-	-	-	-	-	-	0,43	0,36	0,27	0,15	0,01
0,5	-	-	-	-	-	0,49	0,45	0,38	0,28	0,16	0,02
0,6	-	-	-	-	0,54	0,51	0,46	0,39	0,29	0,16	0,01
0,7	-	-	-	0,57	0,56	0,53	0,48	0,40	0,40	0,17	0,01
0,8	-	-	0,58	0,59	0,59	0,55	0,49	0,41	0,30	0,17	0,01
0,9	-	0,57	0,61	0,62	0,61	0,57	0,51	0,42	0,31	0,17	0,01
1,0	0,55	0,61	0,64	0,65	0,63	0,59	0,52	0,43	0,31	0,17	0,00
1,1	0,59	0,64	0,67	0,67	0,65	0,60	0,53	0,43	0,31	0,17	-0,01
1,2	0,63	0,67	0,70	0,70	0,67	0,62	0,54	0,44	0,31	0,16	-0,01
1,3	0,66	0,71	0,72	0,72	0,69	0,63	0,55	0,44	0,31	0,16	-0,02
1,4	0,70	0,74	0,75	0,74	0,70	0,64	0,56	0,45	0,31	0,15	-0,03
1,5	0,70	0,77	0,78	0,76	0,72	0,66	0,57	0,45	0,31	0,15	-0,05
1,6	0,70	0,79	0,80	0,78	0,73	0,66	0,57	0,45	0,31	0,14	-0,06
1,7	0,79	0,82	0,80	0,80	0,75	0,67	0,57	0,45	0,30	0,13	-0,07
1,8	0,82	0,85	0,84	0,81	0,76	0,68	0,58	0,45	0,30	0,12	-0,09
1,9	0,85	0,87	0,86	0,83	0,77	0,69	0,58	0,45	0,29	0,11	-0,10
2,0	0,88	0,89	0,88	0,84	0,78	0,69	0,58	0,44	0,28	0,09	-0,12

Bron: Miller

G.26 Splitsend T-stuk 45° (scherp) □

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} - \frac{v_2}{v_3} \right) \quad [-] \quad (\text{G.64})$$

ζ_{31}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,82	0,92
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,67	0,76	0,85
0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	0,54	0,62	0,70
0,4	-	-	-	-	-	-	-	0,44	0,51	0,59	0,66
0,5	-	-	-	-	-	0,38	0,43	0,50	0,56	0,64	0,71
0,6	-	-	-	-	0,33	0,38	0,44	0,49	0,55	0,62	0,69
0,7	-	-	-	0,32	0,36	0,40	0,45	0,50	0,56	0,62	0,68
0,8	-	-	0,34	0,37	0,40	0,44	0,48	0,52	0,57	0,62	0,68
0,9	-	0,38	0,40	0,42	0,45	0,48	0,51	0,55	0,60	0,64	0,69
1,0	0,45	0,46	0,47	0,49	0,51	0,54	0,56	0,60	0,63	0,68	0,72
1,1	0,55	0,55	0,56	0,57	0,58	0,60	0,63	0,65	0,68	0,72	0,76
1,2	0,66	0,66	0,66	0,66	0,67	0,68	0,70	0,72	0,75	0,75	0,81
1,3	0,78	0,77	0,77	0,77	0,77	0,78	0,79	0,80	0,82	0,84	0,87
1,4	0,91	0,90	0,89	0,88	0,88	0,88	0,88	0,89	0,91	0,92	0,94
1,5	1,06	1,04	1,02	1,01	1,00	1,00	0,99	1,00	1,00	1,02	1,03
1,6	1,22	1,19	1,17	1,15	1,13	1,12	1,12	1,11	1,11	1,12	1,13
1,7	1,39	1,36	1,33	1,30	1,28	1,26	1,25	1,24	1,24	1,24	1,24
1,8	1,57	1,53	1,50	1,47	1,44	1,42	1,40	1,38	1,37	1,36	1,36
1,9	1,76	1,72	1,68	1,64	1,61	1,58	1,55	1,53	1,52	1,50	1,49
2,0	1,97	1,92	1,87	1,83	1,79	1,76	1,72	1,70	1,67	1,66	1,64

ζ_{32}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,00	0,00
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,00	0,00	0,00
0,4	-	-	-	-	-	-	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
0,5	-	-	-	-	-	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
0,6	-	-	-	-	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
0,7	-	-	-	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
0,8	-	-	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
0,9	-	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,0	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,1	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,2	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,3	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,4	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,5	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,6	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,7	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,8	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,9	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
2,0	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00

Bron: Miller

G.27 Splitsend T-stuk 60° (scherp) □

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} - \frac{v_2}{v_3} \right)$$

[-] (G.65)

ζ_{31}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,87	0,93
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,76	0,82	0,87
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,68	0,73	0,77	0,81
0,4	-	-	-	-	-	-	0,62	0,66	0,70	0,74	0,77
0,5	-	-	-	-	-	0,58	0,61	0,65	0,68	0,71	0,74
0,6	-	-	-	-	0,56	0,59	0,62	0,65	0,67	0,69	0,71
0,7	-	-	-	0,57	0,59	0,62	0,64	0,66	0,67	0,69	0,70
0,8	-	-	0,60	0,62	0,64	0,65	0,67	0,68	0,69	0,69	0,70
0,9	-	0,65	0,66	0,68	0,69	0,70	0,70	0,71	0,71	0,71	0,70
1,0	0,72	0,73	0,74	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75	0,74	0,73	0,72
1,1	0,82	0,83	0,83	0,82	0,82	0,81	0,81	0,79	0,78	0,76	0,75
1,2	0,93	0,93	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85	0,83	0,81	0,78
1,3	1,06	1,04	1,03	1,01	0,99	0,97	0,95	0,92	0,89	0,86	0,83
1,4	1,19	1,17	1,14	1,12	1,09	1,06	1,03	1,00	0,96	0,92	0,88
1,5	1,33	1,30	1,27	1,24	1,20	1,17	1,13	1,09	1,04	1,00	0,95
1,6	1,48	1,44	1,41	1,37	1,32	1,28	1,23	1,18	1,13	1,08	1,02
1,7	1,64	1,60	1,55	1,50	1,46	1,40	1,35	1,29	1,23	1,17	1,11
1,8	1,81	1,76	1,71	1,65	1,60	1,54	1,47	1,41	1,34	1,27	1,20
1,9	1,99	1,93	1,87	1,81	1,75	1,68	1,61	1,54	1,46	1,39	1,39
2,0	2,18	2,11	2,05	1,98	1,90	1,83	1,75	1,67	1,59	1,51	1,42

ζ_{32}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,00	0,00	0,00
0,4	-	-	-	-	-	-	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
0,5	-	-	-	-	-	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
0,6	-	-	-	-	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
0,7	-	-	-	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
0,8	-	-	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
0,9	-	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,0	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,1	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,2	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,3	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,4	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,5	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,6	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,7	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,8	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,9	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
2,0	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00

Bron: Miller

G.28 Splitsend T-stuk 90° (scherp) □

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} - \frac{v_2}{v_3} \right)$$

[-] (G.66)

ζ_{31}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,03
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,93	1,03
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,87	0,96	1,06
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,84	0,91	1,00	1,10
0,4	-	-	-	-	-	-	0,82	0,88	0,96	1,04	1,15
0,5	-	-	-	-	-	0,83	0,87	0,93	1,01	1,10	1,21
0,6	-	-	-	-	0,85	0,89	0,93	1,00	1,07	1,16	1,27
0,7	-	-	-	0,90	0,92	0,95	1,00	1,07	1,14	1,24	1,34
0,8	-	-	0,97	0,97	0,99	1,03	1,08	1,14	1,22	1,32	1,42
0,9	-	1,05	1,05	1,05	1,08	1,11	1,16	1,23	1,31	1,40	1,51
1,0	1,16	1,14	1,13	1,14	1,16	1,20	1,25	1,32	1,40	1,50	1,61
1,1	1,25	1,23	1,23	1,24	1,26	1,30	1,36	1,42	1,51	1,60	1,72
1,2	1,35	1,34	1,33	1,34	1,37	1,41	1,46	1,53	1,62	1,71	1,83
1,3	1,46	1,45	1,44	1,46	1,48	1,52	1,58	1,65	1,74	1,83	1,95
1,4	1,58	1,56	1,56	1,58	1,60	1,65	1,70	1,78	1,86	1,96	2,08
1,5	1,71	1,69	1,69	1,70	1,73	1,78	1,84	1,91	2,00	2,10	2,22
1,6	1,84	1,82	1,83	1,84	1,87	1,92	1,98	2,05	2,14	2,24	2,36
1,7	1,98	1,97	1,97	1,99	2,02	2,06	2,12	2,20	2,29	2,39	2,51
1,8	2,13	2,12	2,12	2,14	2,17	2,22	2,28	2,36	2,45	2,55	2,67
1,9	2,29	2,28	2,28	2,30	2,33	2,38	2,44	2,52	2,61	2,72	2,84
2,0	2,45	2,44	2,45	2,47	2,50	2,55	2,62	2,70	2,79	2,90	3,02

ζ_{32}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,00	0,00
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,00	0,00	0,00
0,4	-	-	-	-	-	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,5	-	-	-	-	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,6	-	-	-	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,7	-	-	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,8	-	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
0,9	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00	0,00
1,0	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,1	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,2	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,3	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,4	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,5	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,6	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,7	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,8	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,9	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
2,0	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00

Bron: Miller

G.29 Verzamelend T-stuk 90° (afgerond $R=0,1 \cdot D_1$) \square

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \cdot \frac{v_2}{v_3} \right)$$

[-] (G.67)

ζ_{13}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-1,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,71	-0,92
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,44	-0,62	-0,85
0,3	-	-	-	-	-	-	-	-0,20	-0,35	-0,54	-0,78
0,4	-	-	-	-	-	-	0,01	-0,10	-0,25	-0,46	-0,71
0,5	-	-	-	-	-	0,20	0,13	0,01	-0,16	-0,37	-0,64
0,6	-	-	-	-	0,36	0,33	0,24	0,11	-0,07	-0,29	-0,57
0,7	-	-	0,50	0,50	0,46	0,36	0,22	0,02	-0,22	-0,51	
0,8	-	0,62	0,65	0,64	0,58	0,47	0,32	0,11	-0,14	-0,44	
0,9	0,74	0,78	0,80	0,78	0,70	0,58	0,41	0,20	-0,07	-0,38	
1,0	0,77	0,88	0,94	0,95	0,91	0,83	0,69	0,51	0,28	0,01	-0,32
1,1	0,95	1,05	1,09	1,09	1,04	0,94	0,80	0,61	0,36	0,08	-0,26
1,2	1,13	1,21	1,25	1,23	1,17	1,06	0,90	0,70	0,45	0,14	-0,21
1,3	1,31	1,38	1,40	1,37	1,30	1,18	1,01	0,79	0,42	0,21	-0,15
1,4	1,48	1,54	1,55	1,51	1,43	1,29	1,11	0,88	0,60	0,28	-0,10
1,5	1,66	1,70	1,70	1,65	1,55	1,41	1,21	0,97	0,68	0,34	-0,05
1,6	1,83	1,86	1,85	1,79	1,67	1,52	1,31	1,05	0,75	0,40	0,00
1,7	2,00	2,02	1,99	1,92	1,80	1,62	1,41	1,14	0,85	0,46	0,05
1,8	2,17	2,18	2,14	2,05	1,91	1,73	1,50	1,22	0,89	0,52	0,09
1,9	2,34	2,33	2,28	2,18	2,03	1,84	1,59	1,30	0,96	0,57	0,14
2,0	2,50	2,48	2,42	2,31	2,15	1,94	1,68	1,38	1,03	0,63	0,18

ζ_{23}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,08	0,05
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14	0,11	0,09
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,20	0,17	0,15	0,10
0,4	-	-	-	-	-	-	0,24	0,22	0,20	0,19	0,18
0,5	-	-	-	-	-	0,28	0,26	0,24	0,23	0,22	0,22
0,6	-	-	-	-	0,31	0,29	0,27	0,26	0,26	0,26	0,26
0,7	-	-	-	0,33	0,31	0,30	0,29	0,28	0,28	0,29	0,30
0,8	-	-	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,30	0,31	0,32	0,34
0,9	-	0,34	0,32	0,31	0,31	0,30	0,31	0,32	0,33	0,35	0,37
1,0	0,33	0,32	0,31	0,30	0,30	0,31	0,32	0,33	0,35	0,38	0,41
1,1	0,30	0,29	0,29	0,29	0,30	0,31	0,33	0,35	0,38	0,41	0,44
1,2	0,27	0,26	0,27	0,28	0,29	0,31	0,33	0,36	0,40	0,43	0,48
1,3	0,23	0,24	0,25	0,26	0,28	0,31	0,34	0,37	0,41	0,46	0,51
1,4	0,20	0,21	0,23	0,25	0,27	0,31	0,34	0,38	0,43	0,48	0,54
1,5	0,16	0,18	0,20	0,23	0,26	0,30	0,35	0,39	0,45	0,51	0,57
1,6	0,12	0,15	0,18	0,21	0,25	0,30	0,35	0,40	0,46	0,53	0,60
1,7	0,08	0,12	0,15	0,19	0,24	0,29	0,35	0,41	0,48	0,55	0,63
1,8	0,04	0,08	0,13	0,17	0,23	0,29	0,35	0,42	0,49	0,57	0,65
1,9	0,00	0,05	0,10	0,15	0,21	0,28	0,35	0,42	0,50	0,59	0,68
2,0	-0,04	0,01	0,07	0,13	0,20	0,27	0,34	0,43	0,51	0,60	0,70

Bron: Miller

G.30 Splitsend T-stuk 90° (afgerond R=0,1 · D₁) □

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} - \frac{v_2}{v_3} \right) \quad [-] \quad (G.68)$$

ζ_{31}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,91	0,93
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,83	0,85	0,89
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,76	0,78	0,82	0,87
0,4	-	-	-	-	-	-	0,72	0,73	0,75	0,80	0,87
0,5	-	-	-	-	-	0,69	0,69	0,71	0,75	0,82	0,90
0,6	-	-	-	-	0,67	0,67	0,68	0,72	0,77	0,85	0,94
0,7	-	-	-	0,67	0,66	0,67	0,70	0,75	0,82	0,91	1,01
0,8	-	-	0,69	0,67	0,67	0,70	0,74	0,80	0,88	0,99	1,11
0,9	-	0,72	0,70	0,70	0,71	0,75	0,80	0,88	0,97	1,09	1,22
1,0	0,77	0,74	0,73	0,74	0,77	0,82	0,89	0,98	1,08	1,21	1,36
1,1	0,80	0,78	0,78	0,81	0,85	0,91	0,99	1,10	1,22	1,36	1,52
1,2	0,85	0,85	0,86	0,90	0,95	1,03	1,12	1,24	1,37	1,53	1,70
1,3	0,92	0,93	0,96	1,01	1,08	1,17	1,28	1,41	1,55	1,72	1,91
1,4	1,02	1,04	1,08	1,15	1,23	1,33	1,45	1,59	1,75	1,94	2,14
1,5	1,14	1,17	1,23	1,30	1,40	1,52	1,65	1,80	1,98	2,17	2,39
1,6	1,28	1,33	1,40	1,49	1,59	1,72	1,87	2,04	2,23	2,43	2,66
1,7	1,44	1,51	1,59	1,69	1,81	1,95	2,11	2,29	2,50	2,72	2,96
1,8	1,63	1,70	1,80	1,92	2,05	2,20	2,38	2,57	2,79	3,02	3,28
1,9	1,84	1,93	2,04	2,16	2,31	2,48	2,67	2,88	3,10	3,35	3,62
2,0	2,07	2,17	2,29	2,44	2,60	2,78	2,98	3,20	3,44	3,70	3,98

ζ_{32}	v_2/v_3										
v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,00	0,00
0,2	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,00	0,00	0,00
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,01	0,00	0,00	0,00
0,4	-	-	-	-	-	-	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
0,5	-	-	-	-	-	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
0,6	-	-	-	-	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
0,7	-	-	-	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
0,8	-	-	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
0,9	-	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,0	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,1	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,2	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,3	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,4	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,5	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,6	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,7	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,8	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
1,9	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00
2,0	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00

Bron: Miller

G.31 Verzamelend T-stuk $A_1 = A_2 = A_3$ (afschuining $S = 0$) \square

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \cdot \frac{v_2}{v_3} \right) \quad [-] \quad (G.69)$$

ζ_{13}	Snelheidsoverhouding		
	$0,00 \leq v_1/v_3 \leq 0,25$	$0,25 \leq v_1/v_3 \leq 0,75$	$0,75 \leq v_1/v_3 \leq 1,00$
a_0	-1,00	-0,73	0,10
a_1	5,38	3,22	1,01
a_2	-5,79	-1,47	0
a_3	0	0	0
a_4	0	0	0
a_5	0	0	0

ζ_{13}	v_1/v_3										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{13}	-1,00	-0,52	-0,16	0,10	0,32	0,51	0,67	0,80	0,91	1,01	1,11

ζ_{23}	Snelheidsoverhouding		
	$0,00 \leq v_2/v_3 \leq 0,25$	$0,25 \leq v_2/v_3 \leq 0,75$	$0,75 \leq v_2/v_3 \leq 1,00$
a_0	0,64	0,60	-0,66
a_1	0	0	0
a_2	0	0	0
a_3	-0,13	0,19	3,55
a_4	0	-0,65	-2,89
a_5	0	0	0

ζ_{23}	v_2/v_3										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{23}	0,64	0,63	0,61	0,60	0,57	0,53	0,48	0,41	0,33	0,19	0,00

Bron: Miller

G.32 Verzamelend T-stuk $A_1 = A_2 = A_3$ (afschuining $S = B/8$) \square

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \cdot \frac{v_2}{v_3} \right) \quad [-] \quad (G.70)$$

ζ_{13}	Snelheidsverhouding		
	$0,00 \leq v_1/v_3 \leq 0,25$	$0,25 \leq v_1/v_3 \leq 0,75$	$0,75 \leq v_1/v_3 \leq 1,00$
a_0	-1,00	-0,51	-0,46
a_1	5,48	1,56	1,44
a_2	-7,92	-0,08	0
a_3	0	0	0
a_4	0	0	0
a_5	0	0	0

ζ_{13}	v_1/v_3										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{13}	-1,00	-0,53	-0,22	-0,05	0,10	0,25	0,40	0,54	0,69	0,84	0,98

ζ_{23}	Snelheidsverhouding		
	$0,00 \leq v_2/v_3 \leq 0,25$	$0,25 \leq v_2/v_3 \leq 0,75$	$0,75 \leq v_2/v_3 \leq 1,00$
a_0	0,37	0,35	-1,09
a_1	0	0	0
a_2	0	0	0
a_3	-0,07	0,05	3,89
a_4	0	-0,24	-2,80
a_5	0	0	0

ζ_{23}	v_2/v_3										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{23}	0,37	0,36	0,36	0,34	0,33	0,32	0,29	0,27	0,23	0,14	0,00

Bron: Miller

G.33 Verzamelend T-stuk $A_1 = A_2 = A_3$ (afschuining $S = B/2$) \square

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \cdot \frac{v_2}{v_3} \right) \quad [-] \quad (G.71)$$

ζ_{13}	Snelheidsverhouding		
	$0,00 \leq v_1/v_3 \leq 0,25$	$0,25 \leq v_1/v_3 \leq 0,75$	$0,75 \leq v_1/v_3 \leq 1,00$
a_0	-1,00	-0,79	0,25
a_1	4,56	2,88	0,11
a_2	-5,21	-1,85	0
a_3	0	0	0
a_4	0	0	0
a_5	0	0	0

ζ_{13}	v_1/v_3										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{13}	-1,00	-0,60	-0,30	-0,09	0,07	0,19	0,27	0,32	0,34	0,35	0,36

ζ_{23}	Snelheidsverhouding		
	$0,00 \leq v_2/v_3 \leq 0,25$	$0,25 \leq v_2/v_3 \leq 0,75$	$0,75 \leq v_2/v_3 \leq 1,00$
a_0	-0,08	-0,14	-1,85
a_1	0	0	0
a_2	0	0	0
a_3	0,80	1,27	5,83
a_4	0	-0,94	-3,98
a_5	0	0	0

ζ_{23}	v_2/v_3										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{23}	-0,08	0,00	0,08	0,16	0,22	0,26	0,28	0,29	0,27	0,17	0,00

Bron: Miller

G.34 Splitsend T-stuk $A_1 = A_2 = A_3$ (afschuining $S = 0$) □

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \cdot \frac{v_2}{v_3} \right)$$

[-] (G.72)

ζ_{31}	Snelheidsverhouding		
	$0,00 \leq v_1/v_3 \leq 0,25$	$0,25 \leq v_1/v_3 \leq 0,75$	$0,75 \leq v_1/v_3 \leq 1,00$
a_0	-1,00	-0,73	0,10
a_1	5,38	3,22	1,01
a_2	-5,79	-1,47	0
a_3	0	0	0
a_4	0	0	0
a_5	0	0	0

$A_1 = A_2 = A_3$

$$\Delta p_{31} = \zeta_{31} \cdot \frac{1}{2} \cdot p \cdot v_3^2 \quad [\text{Pa}]$$

ζ_{31}	v_1/v_3										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{31}	-1,00	-0,52	-0,16	0,10	0,32	0,51	0,67	0,80	0,91	1,01	1,11

ζ_{32}	Snelheidsverhouding		
	$0,00 \leq v_2/v_3 \leq 0,25$	$0,25 \leq v_2/v_3 \leq 0,75$	$0,75 \leq v_2/v_3 \leq 1,00$
a_0	0,64	0,60	-0,66
a_1	0	0	0
a_2	0	0	0
a_3	-0,13	0,19	3,55
a_4	0	-0,65	-2,89
a_5	0	0	0

$A_1 = A_2 = A_3$

$$\Delta p_{32} = \zeta_{32} \cdot \frac{1}{2} \cdot p \cdot v_3^2 \quad [\text{Pa}]$$

ζ_{32}	v_2/v_3										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{32}	0,64	0,63	0,61	0,60	0,57	0,53	0,48	0,41	0,33	0,19	0,00

Bron: Miller

G.35 Splitsend T-stuk $A_1 = A_2 = A_3$ (afschuining $S = b/8$) □

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \cdot \frac{v_2}{v_3} \right)$$

[-] (G.73)

ζ_{31}	Snelheidsverhouding		
	$0,00 \leq v_1/v_3 \leq 0,25$	$0,25 \leq v_1/v_3 \leq 0,75$	$0,75 \leq v_1/v_3 \leq 1,00$
a_0	1,00	0,95	0,51
a_1	-1,22	-0,82	0,36
a_2	1,59	0,79	0
a_3	0	0	0
a_4	0	0	0
a_5	0	0	0

$A_1 = A_2 = A_3$

$$\Delta p_{31} = \zeta_{31} \cdot \frac{1}{2} \cdot p \cdot v_3^2 \quad [\text{Pa}]$$

ζ_{31}	v_1/v_3										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{31}	1,00	0,89	0,82	0,78	0,75	0,74	0,74	0,76	0,80	0,83	0,87

ζ_{32}	Snelheidsverhouding		
	$0,00 \leq v_2/v_3 \leq 0,25$	$0,25 \leq v_2/v_3 \leq 0,75$	$0,75 \leq v_2/v_3 \leq 1,00$
a_0	0,57	0,57	0
a_1	0	0	0
a_2	0	0	0
a_3	-1,50	-1,50	0
a_4	1,00	1,00	0
a_5	0	0	0

$A_1 = A_2 = A_3$

$$\Delta p_{32} = \zeta_{32} \cdot \frac{1}{2} \cdot p \cdot v_3^2 \quad [\text{Pa}]$$

ζ_{32}	v_2/v_3										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{32}	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00

Bron: Miller

G.36 Splitsend T-stuk A₁ = A₂ = A₃ (afschuining S = b/2) □

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \cdot \frac{v_2}{v_3} \right)$$

[-] (G.74)

ζ_{31}	Snelheidsverhouding		
	$0,00 \leq v_1/v_3 \leq 0,25$	$0,25 \leq v_1/v_3 \leq 0,75$	$0,75 \leq v_1/v_3 \leq 1,00$
a ₀	1,00	0,96	0,62
a ₁	1,47	-1,15	-0,24
a ₂	-1,25	0,61	0
a ₃	0	0	0
a ₄	0	0	0
a ₅	0	0	0

ζ_{31}	v_1/v_3										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{31}	1,00	0,87	0,76	0,67	0,60	0,54	0,54	0,45	0,43	0,40	0,38

ζ_{32}	Snelheidsverhouding		
	$0,00 \leq v_2/v_3 \leq 0,25$	$0,25 \leq v_2/v_3 \leq 0,75$	$0,75 \leq v_2/v_3 \leq 1,00$
a ₀	0,57	0,57	0
a ₁	0	0	0
a ₂	0	0	0
a ₃	-1,50	-1,50	0
a ₄	1,00	1,00	0
a ₅	0	0	0

ζ_{32}	v_2/v_3										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{32}	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00

Bron: Miller

G.37 Splitsend T-stuk A₁ = A₂ = A₃ (afschuining S = b) □

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \cdot \frac{v_2}{v_3} \right)$$

[-] (G.75)

ζ_{31}	Snelheidsverhouding		
	$0,00 \leq v_1/v_3 \leq 0,25$	$0,25 \leq v_1/v_3 \leq 0,75$	$0,75 \leq v_1/v_3 \leq 1,00$
a ₀	1,00	1,01	0,43
a ₁	-1,60	-1,68	-0,14
a ₂	0,87	1,03	0
a ₃	0	0	0
a ₄	0	0	0
a ₅	0	0	0

ζ_{31}	v_1/v_3										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{31}	1,00	0,85	0,71	0,60	0,50	0,43	0,37	0,34	0,32	0,30	0,29

ζ_{32}	Snelheidsverhouding		
	$0,00 \leq v_2/v_3 \leq 0,25$	$0,25 \leq v_2/v_3 \leq 0,75$	$0,75 \leq v_2/v_3 \leq 1,00$
a ₀	0,57	0,57	0
a ₁	0	0	0
a ₂	0	0	0
a ₃	-1,50	-1,50	0
a ₄	1,00	1,00	0
a ₅	0	0	0

	v_2/v_3										
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
ζ_{32}	0,57	0,43	0,31	0,21	0,13	0,07	0,03	0,01	0,00	0,00	0,00

Bron: Miller

G.38 Verzamelende kanaalsplitsing 90° (stromend) □

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \cdot \frac{v_2}{v_3} \right)$$
[-] (G.76)

$\Delta p_{13} = \zeta_{13} \cdot \frac{1}{2} \cdot p \cdot v_3^2$ $a_0 = 0,66$ $a_1 = -1,27$ $a_2 = 1,11$ $a_3 = -0,72$ $a_4 = -0,43$ $a_5 = 0,81$		$\Delta p_{23} = \zeta_{23} \cdot \frac{1}{2} \cdot p \cdot v_3^2$ $a_0 = 0,45$ $a_1 = -0,51$ $a_2 = -0,12$ $a_3 = -0,55$ $a_4 = 0,46$ $a_5 = 0,57$
---	--	---

ζ_{13}	v_2/v_3																
	v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,49	-0,65	-0,82	-1,00	-1,19	-1,39	-1,59
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,38	-0,52	-0,68	-0,84	-1,01	-1,19	-1,38	-1,58
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,27	-0,40	-0,54	-0,68	-0,84	-1,00	-1,17	-1,35	-1,54
0,3	-	-	-	-	-	-	-	-0,17	-0,28	-0,40	-0,53	-0,67	-0,81	-0,97	-1,13	-1,30	-1,49
0,4	-	-	-	-	-	-	-0,06	-0,16	-0,26	-0,38	-0,50	-0,63	-0,76	-0,91	-1,07	-1,23	-1,40
0,5	-	-	-	-	-	0,04	-0,04	-0,13	-0,22	-0,33	-0,44	-0,56	-0,69	-0,83	-0,98	-1,14	-1,30
0,6	-	-	-	-	0,14	0,07	0,00	-0,08	-0,16	-0,26	-0,37	-0,48	-0,60	-0,73	-0,87	-1,02	-1,18
0,7	-	-	-	0,23	0,18	0,13	0,07	-0,00	-0,08	-0,17	-0,27	-0,27	-0,49	-0,61	-0,74	-0,88	-1,03
0,8	-	-	0,32	0,29	0,26	0,21	0,16	0,09	0,02	-0,06	-0,15	-0,25	-0,35	-0,47	-0,59	-0,72	-0,86
0,9	-	0,41	0,40	0,38	0,35	0,31	0,27	0,21	0,15	0,08	-0,00	-0,09	-0,19	-0,30	-0,41	-0,54	-0,67
1,0	0,50	0,50	0,50	0,49	0,47	0,44	0,40	0,35	0,30	0,23	0,16	0,08	-0,01	-0,11	-0,22	-0,33	-0,46
1,1	0,61	0,62	0,62	0,62	0,61	0,58	0,55	0,52	0,47	0,41	0,35	0,27	0,19	0,10	0,00	-0,10	-0,22
1,2	0,73	0,76	0,77	0,77	0,75	0,73	0,73	0,66	0,61	0,56	0,49	0,42	0,34	0,24	0,14	0,04	
1,3	0,88	0,91	0,93	0,95	0,95	0,94	0,93	0,91	0,88	0,84	0,79	0,73	0,67	0,59	0,51	0,42	0,32
1,4	1,06	1,09	1,12	1,14	1,15	1,16	1,15	1,14	1,11	1,08	1,04	0,99	0,94	0,87	0,79	0,71	0,62
1,5	1,25	1,30	1,33	1,36	1,38	1,39	1,39	1,37	1,35	1,32	1,28	1,23	1,17	1,10	1,03	0,94	
1,6	1,47	1,52	1,57	1,60	1,63	1,65	1,66	1,66	1,64	1,62	1,58	1,54	1,49	1,43	1,37	1,29	

ζ_{23}	v_2/v_3																	
	v_1/v_3	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,36	0,40	0,45	0,51	0,58	0,66	0,75	
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,33	0,36	0,41	0,47	0,53	0,61	0,69	0,79
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,29	0,32	0,37	0,42	0,48	0,55	0,63	0,72
0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,25	0,28	0,32	0,37	0,43	0,49	0,57	0,66
0,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,20	0,23	0,26	0,31	0,36	0,43	0,50	0,59
0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,15	0,17	0,20	0,25	0,30	0,36	0,43	0,51
0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,09	0,11	0,14	0,18	0,23	0,29	0,35	0,41
0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,03	0,05	0,07	0,11	0,15	0,21	0,27	0,34
0,8	-	-	-	-0,04	-0,02	0,00	0,03	0,07	0,12	0,18	0,25	0,33	0,42	0,51	0,62	0,74	0,86	0,99
0,9	-	-0,11	-0,10	-0,08	-0,05	-0,01	0,04	0,09	0,16	0,23	0,32	0,41	0,51	0,62	0,74	0,87	1,01	
1,0	-0,18	-0,17	-0,16	-0,13	-0,10	-0,06	-0,00	0,06	0,13	0,21	0,30	0,40	0,51	0,62	0,75	0,89	1,03	
1,1	-0,26	-0,24	-0,22	-0,19	-0,15	-0,10	-0,04	0,02	0,10	0,19	0,28	0,39	0,50	0,62	0,75	0,89	1,04	
1,2	-0,33	-0,32	-0,29	-0,25	-0,21	-0,15	-0,09	-0,02	0,07	0,16	0,26	0,37	0,49	0,62	0,75	0,90	1,06	
1,3	-0,42	-0,39	-0,36	-0,32	-0,27	-0,21	-0,14	-0,06	0,03	0,13	0,24	0,35	0,48	0,61	0,75	0,91	1,07	
1,4	-0,50	-0,47	-0,43	-0,38	-0,33	-0,26	-0,18	-0,10	-0,01	0,10	0,21	0,33	0,46	0,60	0,75	0,91	1,08	
1,5	-0,59	-0,55	-0,51	-0,45	-0,39	-0,32	-0,24	-0,15	-0,05	0,06	0,18	0,31	0,44	0,59	0,74	0,91	1,08	
1,6	-0,67	-0,63	-0,58	-0,52	-0,45	-0,38	-0,29	-0,19	-0,09	0,03	0,15	0,28	0,42	0,57	0,74	0,91		

Bron: Idel' Chik

G.39 Splitsende kanaalsplitsing 90° (stromend) □

$$\zeta = a_0 + a_1 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right) + a_2 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \right)^2 + a_3 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right) + a_4 \cdot \left(\frac{v_2}{v_3} \right)^2 + a_5 \cdot \left(\frac{v_1}{v_3} \cdot \frac{v_2}{v_3} \right)$$
[-] (G.77)

$\Delta p_{31} = \zeta_{31} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_3^2$	ζ_{32}	$\Delta p_{32} = \zeta_{32} \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_3^2$
$\alpha_0 = 0,38$		$\alpha_0 = 0,43$
$\alpha_1 = -0,75$		$\alpha_1 = 0,00$
$\alpha_2 = 0,74$		$\alpha_2 = 0,02$
$\alpha_3 = 0,54$		$\alpha_3 = -1,13$
$\alpha_4 = -0,17$		$\alpha_4 = 0,70$
$\alpha_5 = -0,35$		$\alpha_5 = 0,01$

ζ_{31}	v_2/v_3																
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75	0,77	0,78	0,79	0,80	0,81	0,81	
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	0,63	0,65	0,66	0,67	0,68	0,69	0,69	0,69	
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,53	0,54	0,56	0,57	0,58	0,58	0,58	0,58	
0,3	-	-	-	-	-	-	-	0,44	0,46	0,48	0,49	0,49	0,50	0,50	0,49	0,48	
0,4	-	-	-	-	-	-	0,38	0,40	0,41	0,42	0,43	0,43	0,43	0,43	0,42	0,40	
0,5	-	-	-	-	-	0,33	0,35	0,36	0,37	0,38	0,39	0,39	0,38	0,38	0,37	0,36	0,34
0,6	-	-	-	-	0,30	0,32	0,33	0,34	0,35	0,36	0,36	0,35	0,35	0,34	0,33	0,31	0,29
0,7	-	-	-	0,29	0,31	0,32	0,33	0,34	0,34	0,35	0,34	0,34	0,33	0,31	0,30	0,28	0,25
0,8	-	-	0,30	0,32	0,33	0,34	0,35	0,35	0,35	0,35	0,34	0,33	0,32	0,30	0,28	0,26	0,23
0,9	-	0,33	0,34	0,36	0,37	0,37	0,38	0,38	0,38	0,37	0,36	0,35	0,33	0,31	0,29	0,26	0,23
1,0	0,37	0,39	0,40	0,41	0,42	0,42	0,42	0,42	0,41	0,40	0,39	0,37	0,35	0,33	0,30	0,27	0,24
1,1	0,45	0,46	0,47	0,48	0,49	0,49	0,48	0,48	0,47	0,45	0,44	0,42	0,39	0,36	0,33	0,30	0,26
1,2	0,55	0,56	0,56	0,57	0,57	0,56	0,56	0,55	0,53	0,52	0,50	0,47	0,44	0,41	0,38	0,34	0,30
1,3	0,66	0,66	0,67	0,67	0,66	0,66	0,65	0,63	0,61	0,59	0,57	0,54	0,51	0,48	0,44	0,40	0,36
1,4	0,78	0,78	0,78	0,78	0,77	0,76	0,75	0,73	0,71	0,69	0,66	0,63	0,60	0,56	0,52	0,47	0,47
1,5	0,92	0,92	0,92	0,91	0,90	0,89	0,87	0,85	0,82	0,80	0,77	0,73	0,69	0,65	0,61	0,56	0,51
1,6	1,07	1,07	1,06	1,05	1,04	1,02	1,00	0,98	0,95	0,92	0,88	0,88	0,81	0,76	0,71	0,66	0,61

ζ_{32}	v_2/v_3																	
	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	
0,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,00	0,03	0,08	0,14	0,22	0,31	0,41		
0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,02	0,00	0,04	0,08	0,15	0,22	0,31	0,42		
0,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,02	-0,02	0,00	0,04	0,09	0,15	0,22	0,31	0,42	
0,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,01	-0,02	-0,02	0,00	0,04	0,09	0,15	0,23	0,32	0,42
0,4	-	-	-	-	-	-	0,01	-0,01	-0,02	-0,01	0,01	0,04	0,09	0,15	0,23	0,32	0,42	
0,5	-	-	-	-	-	0,05	0,01	-0,01	-0,02	-0,01	0,01	0,04	0,09	0,16	0,23	0,32	0,43	
0,6	-	-	-	0,10	0,05	0,01	-0,01	-0,01	-0,01	-0,01	0,01	0,05	0,10	0,16	0,24	0,33	0,43	
0,7	-	-	0,17	0,10	0,05	0,02	-0,00	-0,01	-0,00	0,02	0,05	0,10	0,16	0,24	0,33	0,44		
0,8	-	-	0,25	0,17	0,11	0,06	0,02	0,00	-0,01	0,00	0,02	0,06	0,10	0,17	0,24	0,33	0,44	
0,9	-	0,34	0,25	0,17	0,11	0,06	0,03	0,00	-0,00	0,00	0,03	0,06	0,11	0,17	0,25	0,34	0,44	
1,0	0,45	0,35	0,25	0,18	0,11	0,07	0,03	0,01	0,00	0,01	0,03	0,07	0,11	0,18	0,25	0,35	0,45	
1,1	0,45	0,35	0,26	0,18	0,12	0,07	0,03	0,01	0,01	0,01	0,04	0,07	0,12	0,18	0,26	0,35	0,46	
1,2	0,46	0,35	0,26	0,19	0,12	0,07	0,04	0,02	0,01	0,02	0,04	0,08	0,13	0,19	0,27	0,36	0,46	
1,3	0,46	0,36	0,27	0,19	0,13	0,08	0,05	0,02	0,02	0,03	0,05	0,08	0,13	0,19	0,27	0,36	0,47	
1,4	0,47	0,36	0,27	0,20	0,13	0,09	0,05	0,03	0,02	0,03	0,05	0,09	0,14	0,20	0,28	0,37	0,48	
1,5	0,48	0,37	0,28	0,20	0,14	0,09	0,06	0,04	0,03	0,04	0,06	0,10	0,15	0,21	0,29	0,38	0,48	
1,6	0,48	0,38	0,29	0,21	0,15	0,10	0,06	0,04	0,04	0,05	0,07	0,10	0,15	0,22	0,29	0,39	0,49	

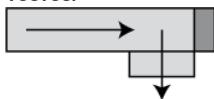
Bron: Idel' Chik

G.40 Instortkanalen-woningbouw stromend eindstuk ○ - □

$$\zeta = \zeta_{\text{ref}} \left(\frac{\text{Re}}{30.000} \right)^n \quad [-] \quad (\text{G.78})$$

$$\Delta p_{\text{hulpstuk}} \equiv \zeta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{\text{in}}^2 \quad [\text{Pa}] \quad (\text{G.79})$$



Toevoer

Instrom	Uitstroom	Opmerking	ζ_{ref}	n
80 x 170	Ø 150	verwijding	2,74	-0,020
80 x 170	Ø 125	vernauwing	2,14	0,122
70 x 170	Ø 150	verwijding	0,57	-0,021
70 x 170	Ø 125	verwijding	0,52	0,058

G.41 Instortkanalen-woningbouw lepe hoek ○ - □

$$\zeta = \zeta_{ref} \left(\frac{Re}{30.000} \right)^n$$

[-] (G.80)

$$\Delta p_{hulpstuk} \equiv \zeta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{in}^2$$

[Pa] (G.81)

**Afvoer**

Instrom	Uitstroom	Opmerking	ζ_{ref}	n
80 x 200	Ø 180	verwijding	2,81	-0,070
80 x 200	Ø 150	verwijding	2,92	-0,049
80 x 220	Ø 150	verwijding	3,08	-0,043
80 x 200	Ø 125	vernauwing	2,17	0,023
80 x 220	Ø 125	vernauwing	2,32	-0,073

Toevoer

Instrom	Uitstroom	Opmerking	ζ_{ref}	n
Ø 125	80 x 220	verwijding	2,31	-0,118
Ø 125	80 x 200	verwijding	2,39	-0,169

G.42 Instortkanalen-woningbouw verloop ○ - □

$$\zeta = \zeta_{ref} \left(\frac{Re}{30.000} \right)^n$$

[-] (G.82)

$$\Delta p_{hulpstuk} \equiv \zeta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{in}^2$$

[Pa] (G.83)

**Afvoer**

	Instrom	Uitstroom	Opmerking	ζ_{ref}	n
verloop	70 x 170	Ø 125	verwijding	2,58	0,120
verloop	80 x 170	Ø 125	vernauwing	2,65	0,163
verloop	80 x 170	Ø 150	verwijding	2,86	-0,066
verloop	80 x 200	Ø 125	vernauwing	1,98	-0,020
verloop	80 x 200	Ø 150	verwijding	2,48	-0,036
verloop	80 x 200	Ø 180	verwijding	2,93	-0,104
verloop	80 x 220	Ø 125	vernauwing	2,17	-0,020
verloop	80 x 220	Ø 150	verwijding	2,40	-0,031
verloop	80 x 220	Ø 180	verwijding	2,81	-0,015

Toevoer

	Instrom	Uitstroom	Opmerking	ζ_{ref}	n
verloop	Ø 125	80 x 200	verwijding	2,28	-0,083
verloop	Ø 125	80 x 220	verwijding	2,44	-0,078

G.43 Instortkanalen-woningbouw instortpot ○ - □

$$\zeta = \zeta_{\text{ref}} \cdot \left(\frac{\text{Re}}{30.000} \right)^n \quad [-] \quad (\text{G.84})$$

$$\Delta p_{\text{hulpsuk}} = \zeta \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{in}^2 \quad [\text{Pa}] \quad (\text{G.85})$$



Afvoer

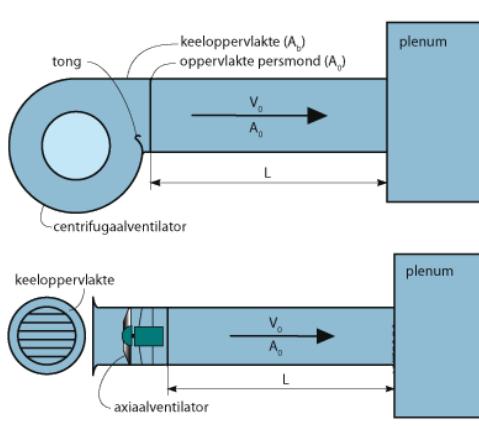
	Instroem	Uitstroem	Opmerking	ζ_{ref}	n
Instortpot	$\varnothing 125$	$\varnothing 125$	vernauwing	6,53	0,112

Toevoer

	Instroem	Uitstroem	Opmerking	ζ_{ref}	n
Instortpot	$\varnothing 80$	$\varnothing 125$	verwijding	1,18	-0,135

Bijlage H Weerstandscoëfficiënten van ventilatoropstelling

H.1 Ventilator uitblazend in plenum ○



Bereken effectieve kanaallengte L_e :

$$v_0 > 13 \text{ m/s} : L_e = \frac{v_0 \cdot \sqrt{A_0}}{4500} \quad [\text{m}] \quad (\text{H.1})$$

Bereken effectieve kanaallengte L_e :

$$v_0 \leq 13 \text{ m/s} : L_e = \frac{\sqrt{A_0}}{350} \quad [\text{m}] \quad (\text{H.2})$$

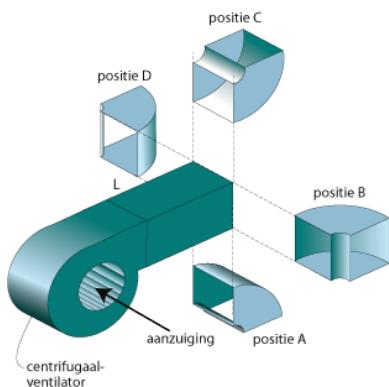
Waarin:

v_0	=	gemiddelde snelheid in de persmond	[m/s]
L_e	=	effectieve kanaallengte	[m]
A_0	=	oppervlakte persmond	[mm ²]

A_b/A_0	ζ_0				
	0	0,12	0,25	0,5	$\geq 1,0$
0,4	2,00	1,00	0,40	0,18	0
0,5	2,00	1,00	0,40	0,18	0
0,6	1,00	0,66	0,33	0,14	0
0,7	0,80	0,40	0,14	0	0
0,8	0,47	0,22	0,10	0	0
0,9	0,22	0,14	0	0	0
1,0	0	0	0	0	0

Bron: ASHRAE

H.2 Ventilator met enkelzijdige aanzuiging □

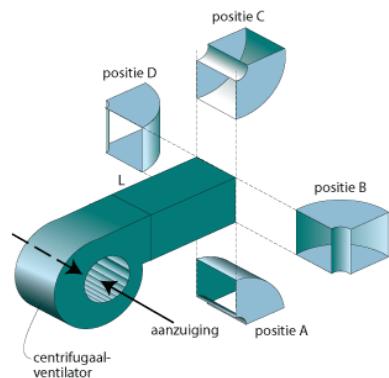


A_b/A_o	Positie bocht	ζ_0				
		0	0,12	0,25	0,5	$\geq 1,0$
0,4	A	3,2	2,7	1,8	0,84	0
	B	4,0	3,3	2,2	1,0	0
	C	5,8	4,8	3,2	1,5	0
	D	5,8	4,8	3,2	1,5	0
0,5	A	2,3	1,9	1,3	0,6	0
	B	2,8	2,4	1,6	0,72	0
	C	4,0	3,3	2,2	1,0	0
	D	4,0	3,3	2,2	1,0	0
0,6	A	1,6	1,3	0,88	0,40	0
	B	2,0	1,7	1,1	0,52	0
	C	2,9	2,4	1,6	0,76	0
	D	2,9	2,4	1,6	0,76	0
0,7	A	1,1	0,88	0,6	0,28	0
	B	1,3	1,1	0,72	0,36	0
	C	2,0	1,6	1,1	0,52	0
	D	2,0	1,6	1,1	0,52	0
0,8	A	0,76	0,64	0,44	0,2	0
	B	0,96	0,80	0,52	0,24	0
	C	1,4	1,2	0,76	0,36	0
	D	1,4	1,2	0,76	0,36	0
0,9	A	0,60	0,48	0,32	0,16	0
	B	0,76	0,64	0,44	0,2	0
	C	1,1	0,92	0,64	0,28	0
	D	1,1	0,92	0,64	0,28	0
1,0	A	0,56	0,48	0,32	0,16	0
	B	0,68	0,56	0,36	0,16	0
	C	1,0	0,84	0,56	0,26	0
	D	1,0	0,84	0,56	0,28	0

A_o = oppervlakte persmond [m^2] (zie bijlage H.1)
 A_b = keeloppervlakte [m^2] (zie bijlage H.1)
 De effectieve lengte L_e wordt berekend volgens bijlage H.1

Bron: ASHRAE

H.3 Ventilator met dubbelzijdige aanzuiging □

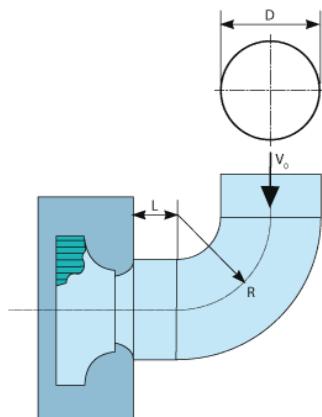


A_b/A_o	Positie bocht	ζ_0				
		0	0,12	0,25	0,5	$\geq 1,0$
0,4	A	3,2	2,7	1,8	0,84	0
	B	5,0	4,2	2,8	1,3	0
	C	5,8	4,8	3,2	1,5	0
	D	4,9	4,1	2,7	1,3	0
0,5	A	2,3	1,9	1,3	0,6	0
	B	3,6	3,0	2,0	0,9	0
	C	4,0	3,3	2,2	1,0	0
	D	3,4	2,8	1,9	0,88	0
0,6	A	1,6	1,3	0,88	0,4	0
	B	2,5	2,1	1,4	0,65	0
	C	2,9	2,4	1,6	0,76	0
	D	2,5	2,1	1,4	0,65	0
0,7	A	1,1	0,88	0,6	0,28	0
	B	1,7	1,4	0,9	0,45	0
	C	2,0	1,6	1,1	0,52	0
	D	1,7	1,4	0,92	0,44	0
0,8	A	0,76	0,64	0,44	0,2	0
	B	1,2	1,0	0,65	0,3	0
	C	1,4	1,2	0,76	0,36	0
	D	1,2	0,99	0,65	0,31	0
0,9	A	0,6	0,48	0,32	0,16	0
	B	0,95	0,80	0,55	0,25	0
	C	1,1	0,92	0,64	0,28	0
	D	0,95	0,78	0,54	0,24	0
1,0	A	0,56	0,48	0,32	0,16	0
	B	0,85	0,70	0,45	0,2	0
	C	1,0	0,84	0,56	0,28	0
	D	0,85	0,71	0,48	0,24	0

A_o = oppervlakte persmond [m^2] (zie bijlage H.1)
 A_b = keeloppervlakte [m^2] (zie bijlage H.1)
 De effectieve lengte L_e wordt berekend volgens bijlage H.1

Bron: ASHRAE

H.4 Ventilator met aanzuiging via bochtstuk ○

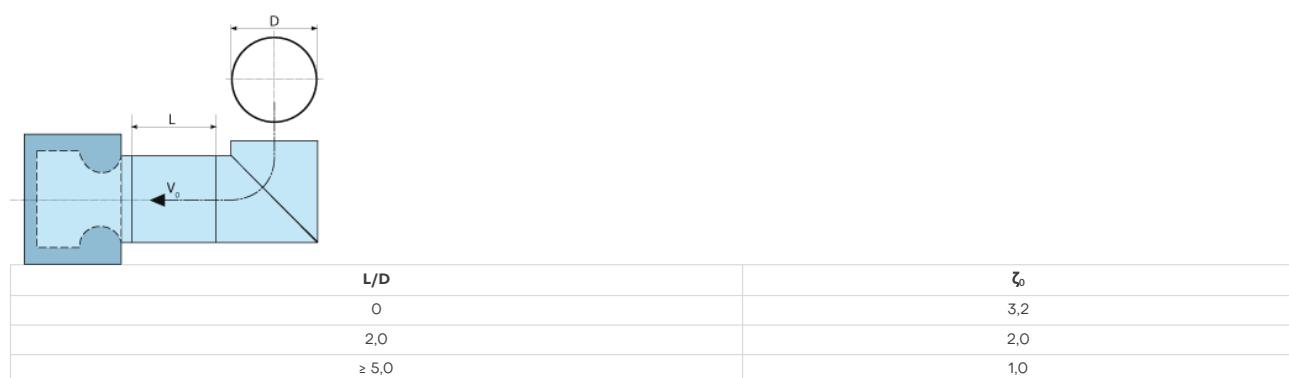


R/D	ζ_0		
	0	2,0	$\geq 5,0$
0,75	1,40	0,80	0,40
1,00	1,20	0,66	0,33
1,50	1,10	0,60	0,33
2,00	1,00	0,53	0,33
3,00	0,66	0,40	0,22

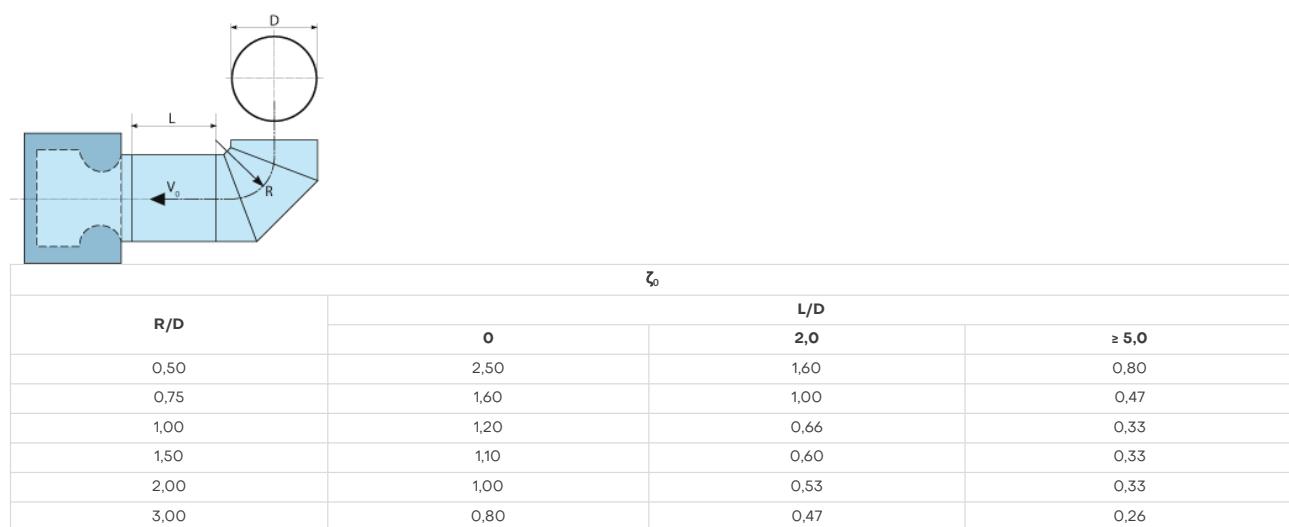
Bron: ASHRAE

H.5 Ventilator met aanzuiging via verstek of segmentbocht ○

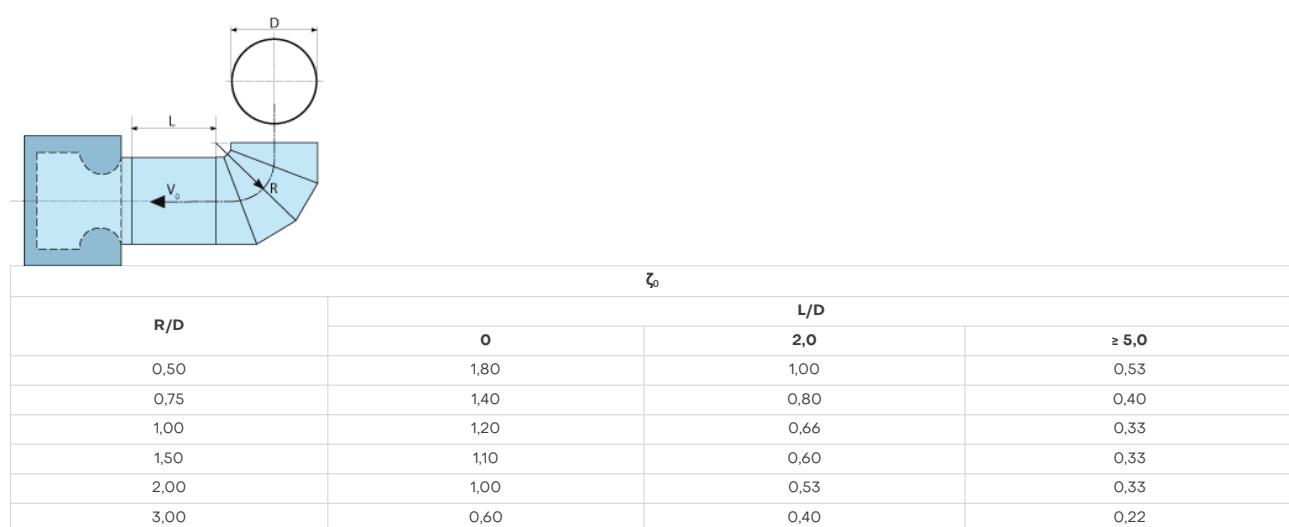
Verstekbocht



Segmentbocht



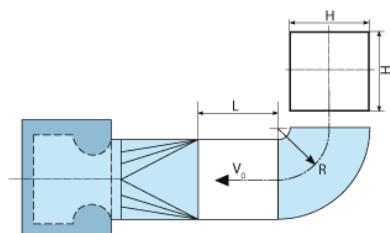
Segmentbocht



Bron: ASHRAE

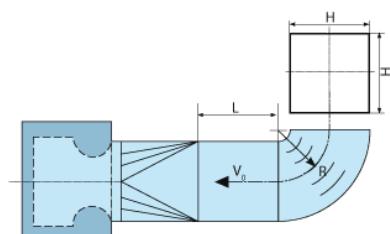
H.6 Ventilator met aanzuiging via bochtstuk □

Bocht zonder leidschoepen



R/H	ζ_0		
	0	2,5	$\geq 6,0$
0,50	2,50	1,60	0,80
0,75	2,00	1,20	0,66
1,00	1,20	0,66	0,33
1,50	1,00	0,50	0,30
2,00	0,80	0,47	0,26

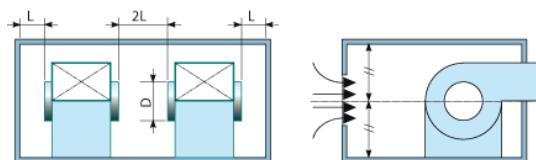
Bocht met leidschoepen



R/H	ζ_0		
	0	2,5	$\geq 6,0$
0,5	0,80	0,47	0,26
1,0	0,53	0,33	0,18
1,5	0,40	0,28	0,16
2,0	1,26	0,22	0,14

Bron: ASHRAE

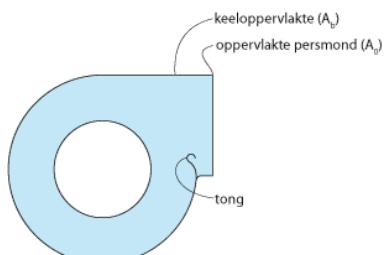
H.7 Opstelling ventilatoren in ventilatorkamer □



L	ζ_0
0,75 D	0,22
0,50 D	0,40
0,40 D	0,53
0,30 D	0,80
0,20 D	1,20

Bron: ASHRAE

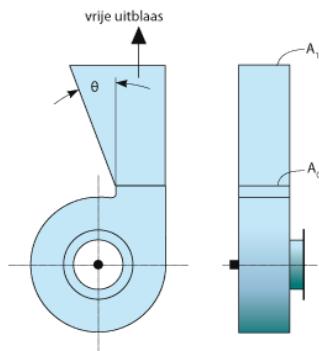
H.8 Ventilator zonder uitlaatdiffusor □



A_b/A_o	ζ_0
0,4	2,00
0,5	2,00
0,6	1,00
0,7	0,80
0,8	0,47
0,9	0,22
1,0	0

Bron: ASHRAE

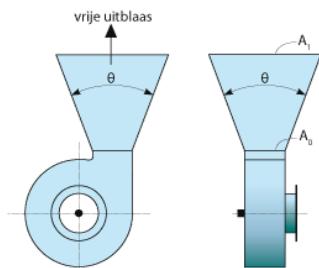
H.9 Ventilator met asymmetrische uitlaatdiffusor □



$\theta [^{\circ}]$	ζ_0					
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
10	0,51	0,34	0,25	0,21	0,18	0,17
15	0,54	0,36	0,27	0,24	0,22	0,20
20	0,55	0,38	0,31	0,27	0,25	0,24
25	0,59	0,43	0,37	0,35	0,33	0,33
30	0,63	0,50	0,46	0,44	0,43	0,42
35	0,65	0,56	0,53	0,52	0,51	0,50

Bron: ASHRAE

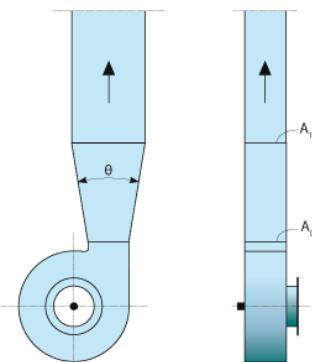
H.10 Ventilator met piramidele uitlaatdiffusor □



$\theta [^{\circ}]$	ζ_0					
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
10	0,54	0,42	0,37	0,34	0,32	0,31
15	0,67	0,58	0,53	0,51	0,50	0,51
20	0,75	0,67	0,65	0,64	0,64	0,65
25	0,80	0,74	0,72	0,70	0,70	0,72
30	0,95	0,78	0,76	0,75	0,75	0,76

Bron: ASHRAE

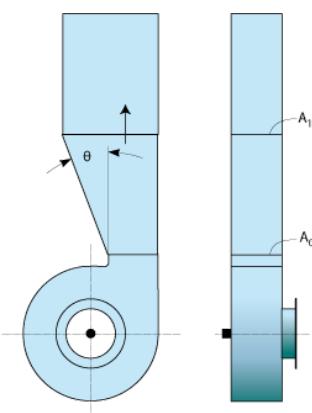
H.11 Ventilator met symmetrische uitlaatdiffusor aangesloten op kanaalwerk □



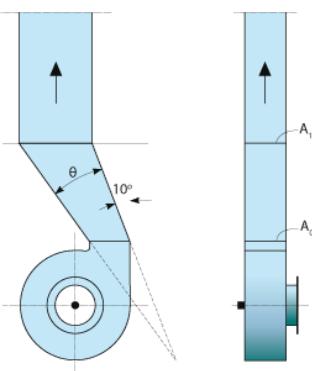
$\theta [^{\circ}]$	ζ_0					
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
10	0,05	0,07	0,09	0,10	0,11	0,11
15	0,06	0,09	0,11	0,13	0,13	0,14
20	0,07	0,10	0,13	0,15	0,16	0,16
25	0,08	0,13	0,16	0,19	0,21	0,23
30	0,16	0,24	0,29	0,32	0,34	0,35
35	0,24	0,34	0,39	0,44	0,48	0,50

Bron: ASHRAE

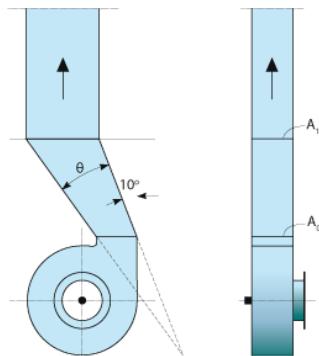
H.12 Ventilator met asymmetrische uitlaatdiffusor aangesloten op kanaalwerk □



$\theta [^{\circ}]$	ζ_0					
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
10	0,08	0,09	0,10	0,10	0,11	0,11
15	0,10	0,11	0,12	0,13	0,14	0,15
20	0,12	0,14	0,15	0,16	0,17	0,18
25	0,15	0,18	0,21	0,23	0,25	0,26
30	0,18	0,25	0,30	0,33	0,35	0,35
35	0,21	0,31	0,38	0,41	0,43	0,44



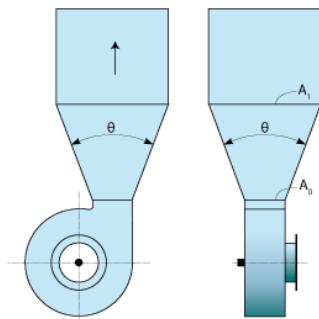
$\theta [^{\circ}]$	ζ_0					
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
10	0,05	0,08	0,11	0,13	0,13	0,14
15	0,06	0,10	0,12	0,14	0,15	0,15
20	0,07	0,11	0,14	0,15	0,16	0,16
25	0,09	0,14	0,18	0,20	0,21	0,22
30	0,13	0,18	0,23	0,26	0,28	0,29
35	0,15	0,23	0,28	0,33	0,35	0,36



$\theta [^{\circ}]$	ζ_0					
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
10	0,05	0,08	0,11	0,13	0,13	0,14
15	0,06	0,10	0,12	0,14	0,15	0,15
20	0,07	0,11	0,14	0,15	0,16	0,16
25	0,09	0,14	0,18	0,20	0,21	0,22
30	0,13	0,18	0,23	0,26	0,28	0,29
35	0,15	0,23	0,28	0,33	0,35	0,36

Bron: ASHRAE

H.13 Ventilator met piramidele uitlaatdiffusor aangesloten op kanaalwerk □



$\theta [^{\circ}]$	ζ_0					
	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
10	0,10	0,18	0,21	0,23	0,24	0,25
15	0,23	0,33	0,38	0,40	0,42	0,44
20	0,31	0,43	0,48	0,53	0,56	0,58
25	0,36	0,49	0,55	0,58	0,62	0,64
30	0,42	0,53	0,59	0,64	0,67	0,69

Bron: ASHRAE

Bijlage I Optimaal kanaalontwerp volgens bouwman

I.1 Inleiding

Deze bijlage is gebaseerd op het proefschrift van Bouwman [14], getiteld 'Optimum air duct system design', waarin hij aangeeft hoe men een luchtkanalsysteem moet dimensioneren opdat de totale, jaarlijkse kosten minimaal zijn.

De totale jaarlijkse kosten zijn het totaal van de kosten voor het afschrijven van de kosten voor het fabriceren en monteren van de kanalen, voor de energie benodigd voor het luchttransport, voor de benodigde ruimte voor de kanalen en voor de compensatie van het warmte- en/of koudeverlies.

Bouwman heeft uitvoerige optimalisatieberekeningen uitgevoerd aan een:

1. Recht onvertakt luchtkanaal;
2. Recht regelmatig vertakt luchtkanaal;
3. Regelmatisch vertakt kanaalsysteem.

Uit het onderzoek blijkt dat, indien uitsluitend rekening wordt gehouden met de kanaal- en energiekosten, analytische kostenfuncties zijn af te leiden, die resulteren in een voor de praktijk eenvoudige methodiek om binnen een bepaalde ontwerpmethode tot een optimaal gedimensioneerd kanaalontwerp te komen. Deze benadering ten aanzien van de kostenposten is geoorloofd omdat het optimale ontwerp slechts weinig wordt beïnvloed indien de kosten voor de benodigde kanaalruimte en voor het compenseren van de warmte- en/of koudeverliezen wel in rekening worden gebracht. De ruimtekosten, bijvoorbeeld voor een verlaagd plafond, kunnen immers niet alleen aan de luchtkanalen worden toegekend vanwege een meervoudig gebruik van deze ruimte. Bovendien zijn in veel gevallen door isolatie van de kanalen de kosten voor het compenseren van de warmte- en/of koudeverliezen van ondergeschikt belang ten opzichte van de overige kosten.

Indien alleen de kanaal- en energiekosten worden beschouwd volgen de totale kosten uit een formule van de volgende gedaante:

$$K_t = C_k \cdot v^k + C_e \cdot v_e \quad [\text{€}] \quad (\text{I.1})$$

I.2 Recht onvertakt kanaalstuk

Voor een recht onvertakt kanaalstuk, zoals aangegeven in de bijgaande afbeelding, wordt voor de optimale snelheid, waarbij K_t minimaal is, gevonden:



Afb. I.1 Recht onvertakt kanaalstuk

$$v_{\text{opt}} = \left(\frac{k \cdot C_k}{e \cdot C_e} \right)^{\frac{1}{k+e}} \quad [\text{m/s}] \quad (\text{I.2})$$

Na invulling van de parameters en de exponenten volgt na uitwerking:

$$v_{\text{opt}} = 10,55 \cdot \left[\frac{q_v}{C_1^2} \cdot \left[\frac{k_k \cdot a \cdot n_v}{t \cdot k_e \cdot \lambda_o} \right]^{10} \right]^{\frac{1}{29}} \quad [\text{m/s}] \quad (\text{I.3})$$

Waarin:

v_{opt}	= optimale luchtsnelheid	[m/s]
q_v	= luchthoeveelheid	[m³/s]
	luchthoeveelheid	
C_1	= voor ronde kanalen: $C_1 = \sqrt{\pi}/4$ voor rechthoekige kanalen: $C_1 = (1+r)/2 \cdot \sqrt{r}$ met $r =$ verhouding van de rechthoekzijden ($r \geq 1$)	[-]
k_k	= prijs van het kanaal per m² wandoppervlak	[€/m²]
a	= annuiteitsfactor voor het kanaal	[-]

Met:

n	= aantal jaren waarover men aflost	[a]
i	= rente (decimaal)	[-]
θ_v	= totaal rendement van de ventilator (decimaal)	[-]
t	= aantal bedrijfsuren ventilator	[h/a]
k_e	= elektriciteitsprijs	[€/kW·h]
λ_o	= wrijvingsfactor van het kanaal bij $Re = 5 \cdot 10^5$	[-]

De uitdrukking (I.3) voor de optimale snelheid geldt alleen indien de energieprijs en de rente gedurende de beschouwde afschrijvingsperiode constant blijven. In geval van een vaste jaarlijkse energieprijsstijging moet de optimale snelheid worden gecorrigeerd volgens:

$$v = a_o \cdot v_{\text{opt}} \quad [\text{m/s}] \quad (\text{I.4})$$

Met:

$$a_o = \left[\frac{1 - \left(\frac{1}{1+i} \right)^n}{1 - \left(\frac{1}{1+i} \right)} \right]^{\frac{10}{29}} \quad [-] \quad (I.5)$$

Waarin:

b = jaarlijkse energieprijsstijging (decimaal) [-]

Er zijn twee gevallen die een nadere beschouwing vereisen:

1. indien het rentepercentage gelijk is aan het percentage dat de energieprijs jaarlijks stijgt wordt a_o :

$$a_o = \left[\frac{1}{n} \cdot \frac{1 - \left(\frac{1}{1+i} \right)^n}{1 - \left(\frac{1}{1+i} \right)} \right]^{\frac{10}{29}} \quad [-] \quad (I.6)$$

2. indien het rentepercentage $i = 0$ volgt voor a_o :

$$a_o = \left[n \cdot \frac{b}{(1-b)^n - 1} \right]^{\frac{10}{29}} \quad [-] \quad (I.7)$$

In tabel I.1 is, uitgaande van verschillende afschrijvingsperioden, voor diverse percentages voor de rente en de energieprijsstijging de waarde a_o voor af te lezen.

Tabel I.1 Waarde van a_o bij verschillende percentages voor rente- en prijsstijgingen

Rente percentage i	Energieprijsstijging b				
	0%	5%	10%	15%	20%
afschrijvingsperiode n = 10 jaar					
0%	1	0,924	0,852	0,783	0,720
5%	1	0,930	0,863	0,798	0,737
10%	1	0,936	0,874	0,813	0,755
15%	1	0,942	0,884	0,827	0,772
20%	1	0,947	0,894	0,841	0,789
afschrijvingsperiode n = 15 jaar					
0%	1	0,882	0,772	0,672	0,582
5%	1	0,896	0,795	0,701	0,614
10%	1	0,909	0,818	0,730	0,647
15%	1	0,920	0,839	0,758	0,680
20%	1	0,930	0,858	0,785	0,712
afschrijvingsperiode n = 20 jaar					
0%	1	0,841	0,696	0,569	0,463
5%	1	0,864	0,733	0,612	0,506
10%	1	0,886	0,770	0,658	0,555
15%	1	0,904	0,804	0,703	0,605
20%	1	0,920	0,834	0,744	0,654

Bij de optimale snelheid, berekend met formule I.3, bedragen de (minimale) totale jaarkosten voor een kanaalstuk met lengte L:

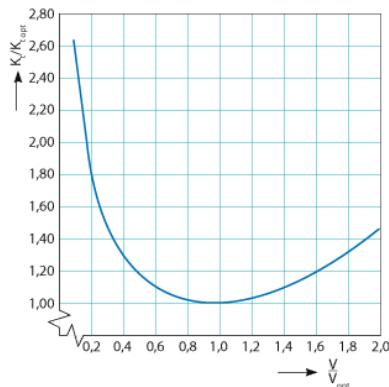
$$K_{t \text{ opt}} = L \cdot C_1 \cdot \sqrt{a_o} \cdot (k_k - \bar{a})^{\frac{5}{6}} \cdot \left(\frac{t \cdot k_e \cdot \lambda_o}{n_v} \right)^{\frac{1}{6}} \quad [\text{€}] \quad (I.8)$$

Indien sprake is van een vaste jaarlijkse energieprijsstijging volgen de totale jaarlijkse kosten uit:

$$K_t = \frac{1}{6} \cdot \left(\frac{5}{\sqrt{a_o}} + a_o^{2/4} \right) \cdot K_{t \text{ opt}} \quad [\text{€}] \quad (I.9)$$

Opmerking: Om praktische redenen zijn de formules I.3, I.8 en I.9 vereenvoudigd.

Het effect van een niet optimaal gekozen snelheid op de totale jaarkosten is onderstaand geïllustreerd.

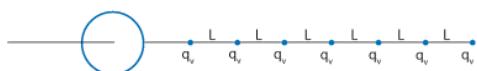


Afb. I.2 Effect van niet optimaal gekozen snelheid

Vanwege de beschikbare reeks van gestandaardiseerde diameters voor ronde kanalen, met een verhouding van 1,25 tussen de opvolgende diameters (R10-reeks) en de gestandaardiseerde afmetingen van rechthoekige kanalen, is het niet in alle gevallen mogelijk optimaal te dimensioneren. De afwijking van de optimale snelheid die ontstaat door de keuze van een kleinere of grotere diameter dan de optimale diameter, resulteert voor het desbetreffende kanaalstuk in maximaal een toename van de totale jaarkosten van ca. 4%.

I.3 Recht regelmatig vertakt kanaal

De werkwijze om voor een recht regelmatig vertakt kanaal, dat wil zeggen een kanaal waarbij de aftakkingen zich op gelijke afstanden van elkaar bevinden met hetzelfde debiet, tot een optimale situatie te komen is, conform het proefschrift van Bouwman, als volgt. Men berekent de snelheid in de, vanaf de ventilator gezien, laatste kanaalsectie, volgens formule I.3.



Afb. I.3 Recht regelmatig vertakt kanaal

Eventueel wordt deze snelheid gecorrigeerd indien er sprake is van een vaste jaarlijkse energieprijsstijging. De op deze wijze bepaalde snelheid is de optimale snelheid in een kanaalstuk indien dit deel apart van het kanalensysteem wordt geoptimaliseerd. Beschouwt men ditzelfde kanaalstuk als een deel van het kanalensysteem dan is een correctie noodzakelijk. Er vanuit gaande dat alleen rekening wordt gehouden met de kanaal- en energiekosten, volgt de optimale snelheid in de laatste kanaalsectie (1) uit:

$$v_{1\text{ opt}} = C_2 \cdot v_{\text{opt}} \quad [\text{m/s}] \quad (\text{I.10})$$

Met:

C_2 = correctiefactor:

$$C_2 = \left(\frac{\sum_j^{0,5(1-m)}}{N \cdot \sum^{2,4m-0,6}} \right)^{10} \quad [-] \quad (\text{I.11})$$

Waarin:

j	= nummer kanaalsectie	[-]
N	= aantal kanaalsecties	[-]
m	= exponent, afhankelijk van ontwerp methode	[-]
v_{opt}	= optimale snelheid in kanaalstuk als dit deel apart van het kanalensysteem wordt geoptimaliseerd volgens formule I.3	[\text{m/s}]

De optimale snelheden in de andere kanaalsecties volgen uit de exponentiële functie:

$$v_{j\text{ opt}} = v_{1\text{ opt}} \left(\frac{q_{vj}}{q_{v1}} \right)^m \quad [\text{m/s}] \quad (\text{I.12})$$

Waarin:

q_{v1}	= luchthoeveelheid in laatste kanaalsectie	[\text{m}^3/\text{s}]
q_{vj}	= luchthoeveelheid in beschouwde kanaalstuk	[\text{m}^3/\text{s}]

De exponent m varieert tussen 0 en 1 afhankelijk van de gekozen ontwerp methode:

1. Methode van constante snelheid: $m = 0$;
2. Methode van constante wrijving: $m = 0,25$;
3. Meest economische methode volgens Bouwman: $m = 0,3793$;
4. Methode van constante diameter: $m = 1$.

De methode van de geleidelijke snelheidsreductie is een combinatie van de methoden van constante snelheid en constante wrijving.

Het is niet mogelijk om voor de methode van statische drukterugwinning een exponent te bepalen. Ook voor deze methode bereiken de totale jaarlijkse kosten een minimum als wordt uitgegaan van de optimale snelheid in de laatste kanaalsectie, berekend volgens (I.3). De snelheid in de overige kanaalstukken hangt af van de wijze waarop de omzetting van dynamische in statische druk wordt berekend. Hiervoor bestaan twee methoden. Het door wrijving optredende statische drukverlies kan worden gecompenseerd door verschillende methoden.

De drukterugwinning (Δp) te relateren aan de dynamische druk volgens:

$$\Delta p_w = \eta_w \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot (v_j^2 - v_{j+1}^2)$$

[Pa]

(I.13)

Waarin:

$$\eta_w = \text{omzettingsrendement}$$

[-]

De drukterugwinning te laten verlopen volgens de theorie van Carnot:

$$\Delta p_w = \rho \cdot v_{(j+1)} - v_{(j)}$$

[Pa]

(I.14)

Opmerking: Uit vergelijkende berekeningen blijkt dat in de optimale situatie de verschillen in de totale jaarkosten bij de diverse ontwerpmethoden gering zijn. De laagste kosten worden gevonden bij $m = 0,3793$.

De totale minimale jaarlijkse kosten voor een recht regelmatig vertakt kanaal volgen uit:

$$K_{\text{opt}} = N \cdot C_3 \cdot K_{\text{opt1}}$$

[€]

(I.15)

Waarin:

$$N = \text{aantal kanaalsecties}$$

[-]

$$C_3 = \text{correctiefactor}$$

[-]

$$C_3 = \left[\frac{1}{N} \cdot \sum j^{0.5(1-m)} \right]^{\frac{24}{29}} \cdot \left[\sum \left(\frac{1}{j} \right)^{0.6(1-4m)} \right]^{\frac{5}{29}}$$

[-]

(I.16)

Waarin:

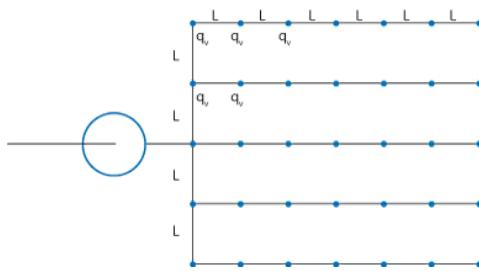
$$K_{\text{opt1}} = \text{minimale jaarlijkse kosten voor een recht onvertakt kanaal volgens formule I.8}$$

[€]

Indien alleen de kanaal- en energiekosten van belang zijn, bedraagt bij de minimale totale jaarlijkse kosten de verhouding tussen de energiekosten en de totale kosten ongeveer 0,17.

I.4 Regelmatisch vertakt kanalensysteem

Bij een regelmatig vertakt kanalensysteem, waarbij de uitblaaspunten gelijke luchthoeveelheden toevoeren en op een regelmatig rooster liggen, verloopt de optimalisatie als volgt.



Afb. I.4 Regelmatisch vertakt kanalensysteem

Het kanalensysteem moet worden opgedeeld in rechte regelmatig vertakte kanaalstukken. Elk kanaalstuk wordt afzonderlijk geoptimaliseerd door bepaling van de optimale snelheid in de verschillende kanaalsecties, conform de methode voor de rechte regelmatig vertakte kanaalstukken. Voor de diameter van de kanaalsecties, die volgt uit de optimale snelheid en het debiet, wordt de dichtstbijzijnde grotere gestandaardiseerde diameter gekozen. Vervolgens wordt het drukverlies van elk der secties bepaald, na eventuele correctie van de snelheid vanwege de keuze van een gestandaardiseerde diameter.

Voor de dimensionering van de ventilator moet worden uitgegaan van het grootste optredende drukverschil tussen resp. de aanzuig-/afvoeropening van het luchtbehandelingsapparaat en enig uitblaas-/afvoerpunt (de 'ongunstigste tak' in het kanalensysteem).

I.5 Lay-out

In zijn proefschrift geeft Bouwman aan hoe een optimaal gedimensioneerd kanaalontwerp kan worden verkregen voor een:

1. Recht onvertakt kanaal;
2. Recht regelmatig vertakt kanaal;
3. Regelmatisch vertakt kanalensysteem.

Vanwege de vele toepassingen is vooral een regelmatig vertakt kanalensysteem, waarbij de uitblaaspunten gelijke luchthoeveelheden toevoeren en op een regelmatig rooster liggen, van praktisch belang.

In het voorgaande is aangegeven hoe een gegeven kanalenontwerp kan worden geoptimaliseerd. Bij regelmatig vertakte kanalensystemen hangen de totale jaarkosten eveneens af van de lay-out. Bouwman heeft verschillende regelmatig vertakte kanalensystemen doorgerekend met als variabelen de vorm, de plaats van het hoofdtoevoerkanaal en de plaats van het hoofdtoevoerpunt. In de afbeeldingen I.5 t/m I.8 zijn voor diverse situaties dimensiooze totale jaarkosten uitgezet tegen de lengte-breedteverhouding van een veld van $n \times m$ roosterpunten. Een veld kan overeenkomen met een gehele verdieping of met een deel van een verdieping. In de ingetekende velden is het hoofdtoevoerkanaal steeds verticaal gesitueerd, terwijl de secundaire kanalen horizontaal gedacht zijn. Voor de plaats van het hoofdtoevoerpunt is uitgegaan van:

1. Een hoekpunt van een veld;
2. Het midden van de korte of lange zijde;
3. Het midden van een veld van $n \times m$ roosterpunten.

In de afbeeldingen zijn krommen getekend voor resp. 60, 240 en 960 uitblaaspunten (eenheden). De belangrijkste conclusies die uit de onderzoeksresultaten kunnen worden getrokken zijn:

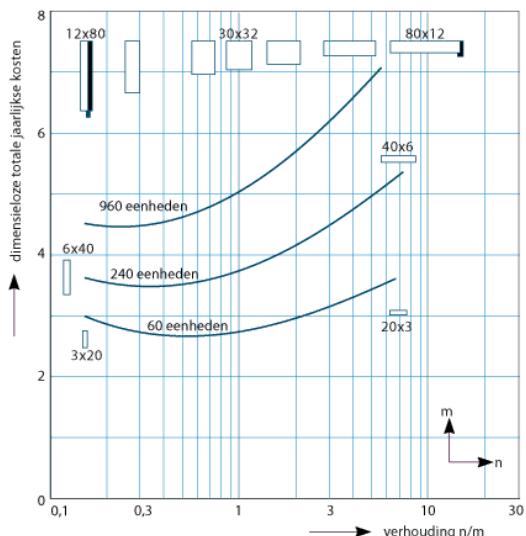
1. Voor minimale jaarkosten moet het hoofdvoerkanaal parallel aan de lange zijde van het distributieveld worden gesitueerd met een voeding in het midden;
2. De lengte/breedte-verhouding van het veld moet liggen tussen 1:2 en 1:4;
3. Indien de ruimtekosten voor de kanalen geen rol spelen is de optimale vloeroppervlakte van één veld 1000 à 2000 m²;
4. Zijn de ruimtekosten wel van belang dan ligt de optimale vloeroppervlakte per veld in de orde van 200 à 400 m².

I.6 Aanbevelingen

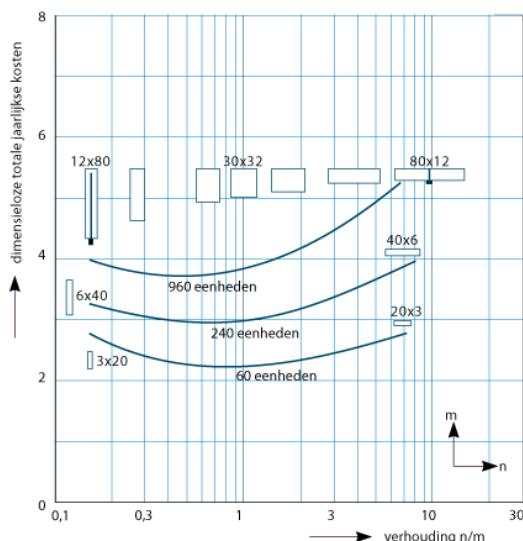
In een vroegere studie heeft Bouwman gewezen op het economische belang van een optimaal gedimensioneerd kanaalontwerp. Ervan uitgaande dat het bouvvolume, voorzien van mechanische ventilatie, in Nederland tenminste $50 \cdot 10^6$ m³ bedraagt, is bij een gemiddeld ventilatievoud van 2 luchtwisselingen per uur gedurende 3.000 uur per jaar een schatting te maken van het besparingspotentieel. Zou bij optimalisatie het totale drukverlies slechts met 50 Pa kunnen worden verminderd, betekent dit reeds bij een totaal ventilatorrendement van 0,5 een jaarlijkse energiebesparing van $8,3 \cdot 10^6$ kWh, overeenkomend met een bedrag van ca. € 1.600.000,00 Gezien de lage schattingen is het aannemelijk dat de werkelijke besparingen aanzienlijk hoger zijn.

Om tot een optimaal kanaalontwerp te komen geeft Bouwman richtlijnen, die in deze publicatie zijn samengevat in de vorm van aanbevelingen en conclusies:

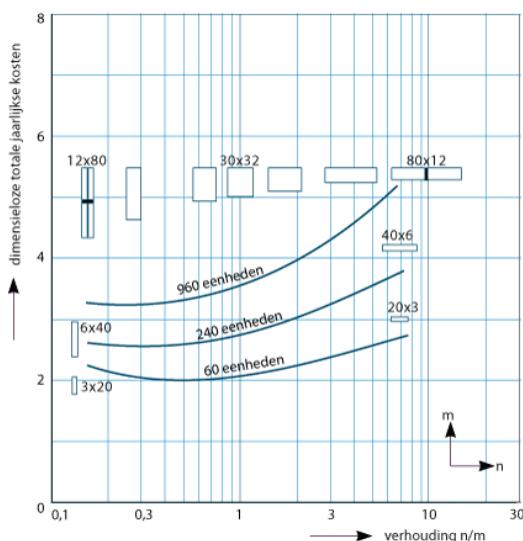
1. Het optimaliseren van een kanaalsysteem is veel belangrijker dan de keuze van een ontwerpmethode;
2. Bij optimalisatie heeft de keuze van een ontwerpmethode nauwelijks invloed op de totale jaarlijkse kosten;
3. Lage totale jaarkosten worden bereikt indien wordt uitgegaan van:
 1. De methode van constante wrijving;
 2. De methode van statische drukterugwinning;
 3. De meest economische methode volgens Bouwman.
4. De optimale snelheden in een regelmatig vertakt kanaal worden gevonden uit de optimale snelheid in de laatste kanaalsectie;
5. De optimale snelheden in een regelmatig vertakt kanaalsysteem worden gevonden door het systeem op een daartoe geschikte wijze op te delen in regelmatig vertakte kanaalstukken;
6. De wijze waarop de optimale snelheden worden berekend is voor toe- en afvoersystemen gelijk;
7. Rekening houdend met de beperkte keus van gestandaardiseerde kanaaldiameters, verdient het aanbeveling de dichtstbijzijnde grotere diameter te kiezen;
8. Bij een geoptimaliseerd ontwerp zijn de totale jaarkosten bij rechthoekige kanalen hoger dan bij toepassing van ronde kanalen;
9. Het verdient aanbeveling luchtkanalen te isoleren met één isolatielijst voor het gehele systeem;
10. Aangezien de lekverliezen een sterke negatieve invloed op de totale jaarkosten hebben, moet gestreefd worden naar een goede luchtdichtheid;
11. Indien de lekverliezen een rol spelen, leidt de keuze van een andere ontwerpmethode of het hanteren van een lagere dan de optimale snelheid, niet tot een wezenlijke vermindering van de totale jaarkosten;
12. De lekverliezen worden beperkt door uit te gaan van:
 1. Kanalen met een betere luchtdichtheid en luchtdichte componenten;
 2. Luchtbehandelingsapparatuur met een lage weerstand.
13. Om bij kanaalsystemen lage totale kosten te realiseren moet de lay-out voldoen aan:
 1. De grootte van het gebied (veldgrootte), dat vanuit één hoofdvoerpunt wordt bestreken, moet worden beperkt;
 2. De lengte/breedte-verhouding van het veld moet liggen tussen 1:2 en 1:4;
 3. Het hoofdvoerkanaal moet evenzijdig aan of langs de lange as van het veld worden gesitueerd;
 4. Het hoofdvoerpunt moet in of nabij het midden van een veld worden gesitueerd.
14. Bij kanaalnetwerken bedraagt de optimale veldgrootte:
 1. 200 - 400 m², indien de ruimtekosten voor de kanalen van belang zijn;
 2. 1000 - 2000 m², indien de ruimtekosten geen rol spelen.



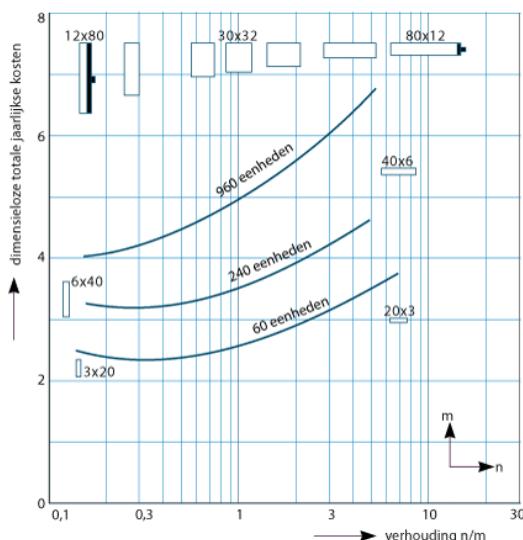
Afb. I.5 Dimensioleuze totale jaarlijkse kosten bij voeding op de hoek van zijde 'n'



Afb. I.6 Dimensiooze totale jaarlijkse kosten bij voeding op midden van zijde 'n'



Afb. I.7 Dimensiooze totale jaarlijkse kosten bij voeding op midden van zijde 'm'



Afb. I.8 Dimensiooze totale jaarlijkse kosten bij voeding in het midden

Bijlage J Voorbeeld van luchtkanaalberekening

De druk- en lekverliesberekening wordt geïllustreerd and de hand van het in de afbeeldingen J.1, J.2 en J.3 gegeven voorbeeld van een kanalenstelsel. Het voorbeeld gaat uit van een verscheidenheid aan vormen, luchtsnelheden en hulpsluitingen, terwijl een deel van het systeem om akoestische redenen inwendig is geïsoleerd.

De berekeningen zijn gebaseerd op:

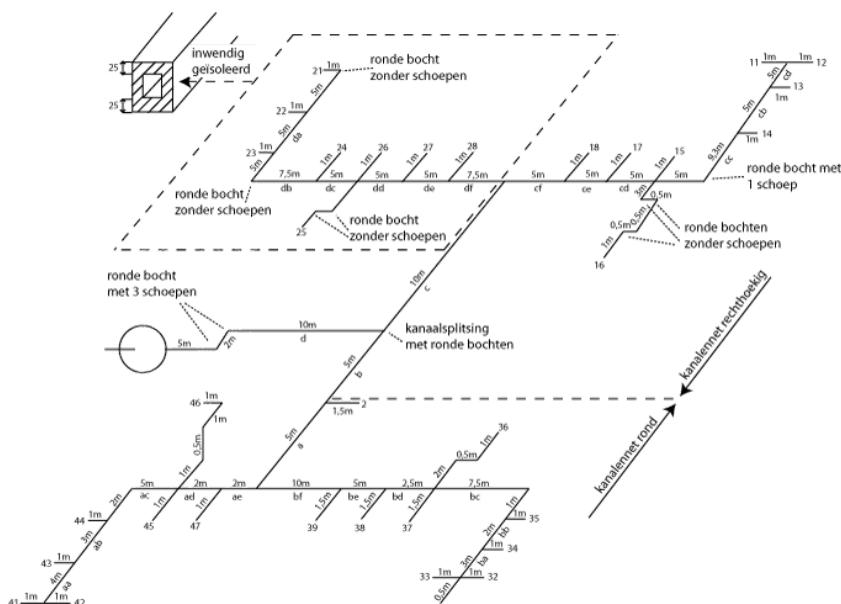
1. Luchtttemperatuur: 15 °C;
2. Absolute vochtigheid: 0,1 gr/kg;
3. Soortelijke massa lucht: 1,209 kg/m³;
4. Kinematische viscositeit lucht: $14,75 \cdot 10^{-6}$ m²/s;
5. Wandruwheid ongeïsoleerd kanaal: 0,15 mm;
6. Wandruwheid inwendige geïsoleerd kanaal: 0,25 mm;
7. Lekverliesconstante: $9 \cdot 10^{-6}$ m³/s·m²·Pa^{0,65}.

De drukverliesberekening wordt uitgevoerd volgens de methode van hoofdstuk 5. De lekverliesberekening volgens bijlage F.

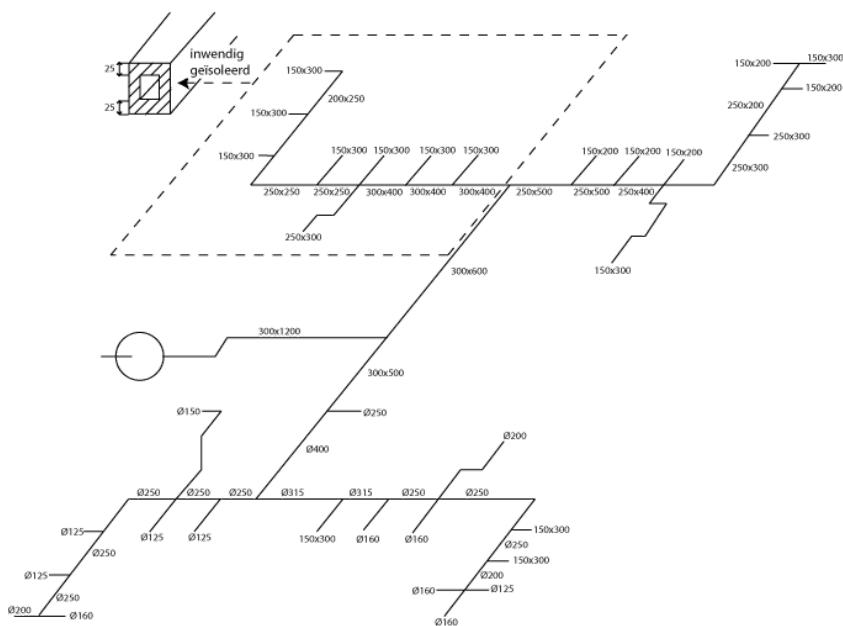
De berekeningsresultaten zijn voor elk van de, met letters en cijfers, gecodeerde componenten vermeld in de berekeningsbladen 1 tot en met 17, waarin tevens alle voor de berekening relevante gegevens zijn aangegeven. Voor zover bekend is rekening gehouden met interactie, terwijl op diverse plaatsen in het kanalenstelsel inregelkleppen zijn opgenomen.

De totaal benodigde ventilatordruk bedraagt 172,45 Pa bij een luchthoeveelheid van 2,22 m³/s.

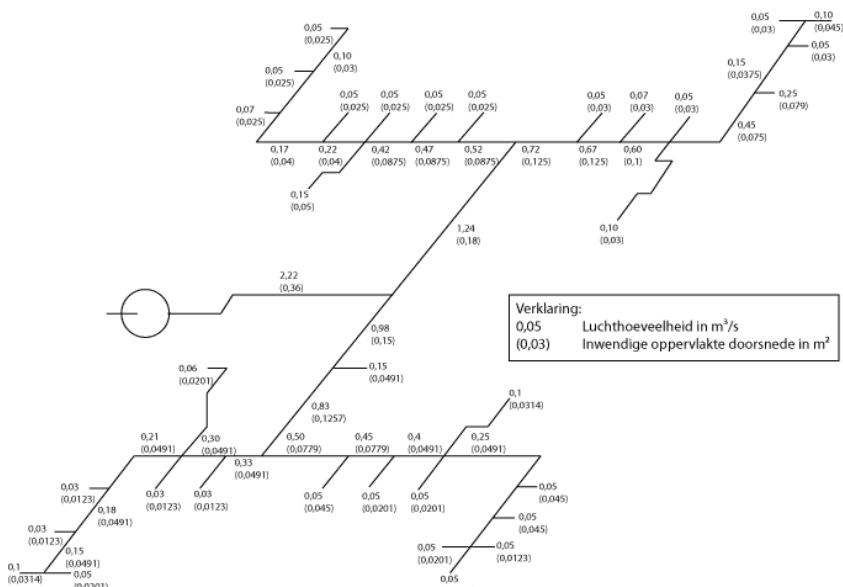
Opmerking: Omwille van de eenvoud en de duidelijkheid is in het rekenvoorbeeld gerekend met lengten hart op hart.
Afwijkingen in de uitkomsten zijn het gevolg van afrondingen.



Afb. J.1 Codering en lengten



Afb. J.2 Kanaaldoorsneden



Afb. J.3 Luchthoeveelheden en inwendige oppervlakten

Code	Omschrijving	Hoogte [m]	Breedte [m]	Diameter [m]	Lekomtrek [m]	Doorsnede [m²]	Debit [m³/s]	Snelheid [m/s]	Lengte [m]	λ [-]	ζ [-]	Bijl. G	P _{stat} [Pa]	P _{dyn} [Pa]	ΔP [Pa]	P _{tot} [Pa]	P _{tot} [Pa]
11	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	1,667	-	-	-	-	10,00	1,69	-	11,69	24,14
	Kanaal	0,15	0,20	0,171	0,700	0,0300	0,050000	1,667	1,0	0,02783	-	-	-	1,69	0,27		
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000028	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,050028	-	-	-	-	-	-	-	3,31		
	Verloopstuk (con)	0,25	0,15	0,188	-	0,0375	0,050028	1,334	-	-	0,006	6	-	1,08	0,01	12,45	
	Omgekeerd T-stuk	-	-	-	-	-	0,050028	4,002	-	-	0,909	17	-	9,75	8,86		
12	Rooster	-	-	-	-	-	0,100000	2,222	-	-	-	-	10,00	3,01	-	13,01	24,14
	Kanaal	0,15	0,30	0,200	0,900	0,0450	0,100000	2,222	1,0	0,02533	-	-	-	3,01	0,38		
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000037	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Verloopstuk (div)	0,25	0,15	0,188	-	0,0375	0,100037	2,668	-	-	0,025	6	-	4,33	0,11	11,13	
	Omgekeerd T-stuk	-	-	-	-	-	0,100037	4,002	-	-	1,092	17	-	9,75	10,65		
ca	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,150065	4,002	-	-	-	-	14,39	9,75	-	24,14	30,25
	Kanaal	0,25	0,15	0,188	0,800	0,0375	0,150065	4,002	5,0	0,02336	-	-	-	9,75	6,07		
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000232	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Verloopstuk (con)	0,25	0,20	0,222	-	0,0500	0,150297	3,006	-	-	0,007	-	-	5,50	0,04	6,11	
	Doorgaand T-stuk	-	-	-	-	-	0,150297	4,007	-	-	0,000	6,28	-	9,77	0,00		
13	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	1,667	-	-	-	-	10,00	1,69	-	11,69	30,25
	Kanaal	0,15	0,20	0,171	0,700	0,0300	0,050000	1,667	1,0	0,02783	-	-	-	1,69	0,27		
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000028	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,050028	-	-	-	-	-	-	-	-	9,25	
	Aftakking T-stuk	-	-	-	-	-	0,050028	4,007	-	-	0,925	28	-	9,77	9,04		
cb	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,200325	4,007	-	-	-	-	20,48	9,77	-	30,25	45,76
	Kanaal	0,25	0,20	0,222	0,900	0,0500	0,200325	4,007	5,0	0,02241	-	-	-	9,77	4,93		
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000311	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,200636	-	-	-	-	-	-	-	-	8,32	
	Verloopstuk (con)	0,25	0,30	0,273	-	0,0750	0,200636	2,675	-	-	0,011	6	-	4,36	0,05	15,51	
cc	Doorgaand T-stuk	-	-	-	-	-	0,200636	6,009	-	-	0,100	28	-	21,98	2,21		
	Rooster	-	-	-	-	-	0,250000	3,333	-	-	-	-	20,00	6,76	-	26,76	45,76
	Kanaal	0,25	0,30	0,273	1,100	0,0750	0,250000	3,333	1,0	0,02194	-	-	-	6,76	0,54		
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000070	-	-	-	-	-	-	-	-	18,99	
	Aftakking T-stuk	-	-	-	-	-	0,250070	6,009	-	-	0,839	28	-	21,98	18,45		
cc	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,450706	6,009	-	-	-	-	23,78	21,98	-	45,76	76,37
	Kanaal	0,25	0,30	0,273	1,100	0,0750	0,450706	6,009	15,0	0,02024	-	-	-	21,98	24,47		
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,001554	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Bocht met 1 schoep	0,25	0,30	0,273	-	0,0750	0,452260	6,030	-	-	0,275	21	-	22,13	6,09	30,61	
	Verloopstuk (con)	0,25	0,40	0,308	-	0,1000	0,452260	4,523	-	-	0,005	6	-	12,45	0,06		
cc	Doorgaand kruisstuk	-	-	-	-	-	0,452260	6,025	-	-	0,000	19	-	22,10	0,00		
	Opmerking: R/a = 1,866, ζ_o = 0,162, C _{Re} = 1,474, λ/λ_o = 1,152, ζ = 0,275																
	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	1,667	-	-	-	-	10,00	1,69	-	11,69	76,37
	Kanaal	0,15	0,20	0,171	0,700	0,0300	0,050000	1,667	1,0	0,02783	-	-	-	1,69	0,27		
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000028	-	-	-	-	-	-	-	-		
15	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,050028	-	-	-	-	-	-	-	-	42,18	64,68
	Verloopstuk (con)	0,25	0,40	0,308	-	0,1000	0,050028	0,500	-	-	0,122	6	-	0,15	0,02		
	Aftakking kruisstuk	-	-	-	-	-	0,050028	6,025	-	-	1,005	19	-	22,10	22,21		
	Rooster	-	-	-	-	-	0,100000	2,222	-	-	-	-	-	15,00	3,01	-	18,01
	Kanaal	0,15	0,30	0,200	0,900	0,0450	0,100000	2,222	5,0	0,02533	-	-	-	3,01	1,90		
16	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000245	-	-	-	-	-	-	-	-	76,37	
	4 Bochten	0,15	0,30	0,200	-	0,0450	0,100245	2,228	-	-	1,838	20	-	3,02	5,55		
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,100245	-	-	-	-	-	-	-	-	28,16	
	Verloopstuk (con)	0,25	0,40	0,308	-	0,1000	0,100245	1,002	-	-	0,040	6	-	0,61	0,02		
	Aftakking kruisstuk	-	-	-	-	-	0,100245	6,025	-	-	1,028	19	-	22,10	22,72		
cd	Opmerking: R/a = 1,000, ζ_o = 0,264, C _{Re} = 1,689, λ/λ_o = 1,082, L _{s/D} = 0,500, C _B = 0,953, ζ = 2 x (0,953 x 2 x 0,264 x 1,689 x 1,082) = 1,838																
	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,602534	6,025	-	-	-	-	54,27	22,10	-	76,37	83,50

	Kanaal	0,25	0,40	0,308	1,300	0,1000	0,602534	6,025	5,0	0,01967	-	-	-	22,10	7,07	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000818	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Verloopstuk (con)	0,25	0,50	0,333	-	0,1250	0,603351	4,827	-	-	0,004	6	-	14,18	0,06	7,13
	Doorgaand T-stuk	-	-	-	-	-	0,603351	5,387	-	-	0,000	28	-	17,67	0,00	
17	Rooster	-	-	-	-	-	0,070000	2,333	-	-	-	-	-	15,00	3,31	-
	Kanaal	0,15	0,20	0,171	0,700	0,0300	0,070000	2,333	1,0	0,02610	-	-	-	3,31	0,50	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000037	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,070037	-	-	-	-	-	-	-	45,98	65,18
	Aftakking T-stuk	-	-	-	-	-	0,070037	5,387	-	-	1,058	28	-	17,67	18,70	
ce	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,673388	5,387	-	-	-	-	-	65,83	17,67	-
	Kanaal	0,25	0,50	0,333	1,500	0,1250	0,673388	5,387	5,0	0,01958	-	-	-	17,67	5,19	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,001053	-	-	-	-	-	-	-	5,19	88,69
	Doorgaand T-stuk	-	-	-	-	-	0,674441	5,796	-	-	0,000	28	-	20,45	0,00	
18	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	1,667	-	-	-	-	-	10,00	1,69	-
	Kanaal	0,15	0,20	0,171	0,700	0,0300	0,050000	1,667	1,0	0,02783	-	-	-	1,69	0,27	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000028	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,050028	-	-	-	-	-	-	-	55,84	77,00
	Aftakking T-stuk	-	-	-	-	-	0,050028	5,796	-	-	1,021	28	-	20,45	20,89	
cf	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,724470	5,796	-	-	-	-	-	68,24	20,45	-
	Kanaal	0,25	0,50	0,333	1,500	0,1250	0,724470	5,796	5,0	0,01941	-	-	-	20,45	5,95	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,001080	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Verloopstuk (con)	0,30	0,60	0,400	-	0,1800	0,725550	4,031	-	-	0,008	6	-	9,89	0,08	37,13
	Omgekeerd T-stuk	-	-	-	-	-	0,725550	6,951	-	-	1,058	17	-	29,41	31,10	
21	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	2,000	-	-	-	-	-	10,00	2,43	-
	Kanaal ¹⁾	0,15	0,30	0,143	0,900	0,0250	0,050000	2,000	6,0	0,02945	-	-	-	2,43	3,01	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000238	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Bocht (zie opm.)	0,15	0,30	0,143	-	0,0250	0,050238	2,010	-	-	0,470	20	-	2,46	1,16	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,050238	-	-	-	-	-	-	-	1,88	6,53
	Verloopstuk (con)	0,20	0,25	0,171	-	0,0250	0,050238	1,675	-	-	0,005	6	-	1,71	0,01	
	Doorgaand T-stuk	-	-	-	-	-	0,050238	3,343	-	-	0,069	28	-	6,80	0,47	
	Opmerking: R/a = 1,200, $\zeta_o = 0,215$, $C_{Re} = 1,935$, $\lambda/\lambda_o = 1,131$, $\zeta = 0,470$															
22	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	2,000	-	-	-	-	-	10,00	2,43	-
	Kanaal ¹⁾	0,15	0,30	0,143	0,900	0,0250	0,050000	2,000	1,0	0,02945	-	-	-	2,43	0,50	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000037	-	-	-	-	-	-	-	-	6,53
	Aftakking T-stuk	-	-	-	-	-	0,050037	3,343	-	-	0,886	28	-	6,80	6,03	
da	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,100275	3,343	-	-	-	-	-	12,16	6,80	-
	Kanaal ¹⁾	0,20	0,25	0,171	0,900	0,0300	0,100275	3,343	5,0	0,02598	-	-	-	6,80	5,15	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000234	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,100509	-	-	-	-	-	-	-	6,88	12,43
	Verloopstuk (con)	0,25	0,25	0,200	-	0,0400	0,100509	2,513	-	-	0,007	6	-	3,84	0,03	
	Doorgaand T-stuk	-	-	-	-	-	0,100509	4,264	-	-	0,033	28	-	11,07	0,37	
23	Rooster	-	-	-	-	-	0,070000	2,800	-	-	-	-	-	15,00	4,77	-
	Kanaal ¹⁾	0,15	0,30	0,143	0,900	0,0250	0,070000	2,800	1,0	0,02794	-	-	-	4,77	0,93	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000048	-	-	-	-	-	-	-	-	11,63
	Aftakking T-stuk	-	-	-	-	-	0,070048	4,264	-	-	0,966	28	-	11,07	10,69	
db	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,170557	4,264	-	-	-	-	-	20,33	11,07	-
	Kanaal ¹⁾	0,25	0,25	0,200	1,000	0,0400	0,170557	4,264	12,5	0,02422	-	-	-	11,07	16,76	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,001010	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Bocht (zie opm.)	0,25	0,25	0,200	-	0,0400	0,171567	4,289	-	-	0,334	20	-	11,20	3,74	20,50
	Doorgaand T-stuk	-	-	-	-	-	0,171567	5,540	-	-	0,000	28	-	18,68	0,00	
	Opmerking: R/a = 1,375, $\zeta_o = 0,180$, $C_{Re} = 1,548$, $\lambda/\lambda_o = 1,200$, $\zeta = 0,334$															
24	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	2,000	-	-	-	-	-	10,00	2,43	-
	Kanaal ¹⁾	0,15	0,30	0,143	0,900	0,0250	0,050000	2,000	1,0	0,02945	-	-	-	2,43	0,50	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000037	-	-	-	-	-	-	-	-	39,46
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,050037	-	-	-	-	-	-	-	-	21,84

	Aftakking T-stuk	-	-	-	-	-	0,050037	5,540	-	-	0,916	28	-	18,68	17,12		
dc	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,221604	5,540	5,0	0,02355	-	-	33,21	18,68	-	51,90	
	Kanaal ¹⁾	0,25	0,25	0,200	1,000	0,0400	0,221604	5,540	-	-	-	-	-	18,68	11,00	63,61	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000486	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Verloopstuk (con)	0,30	0,40	0,292	-	0,0875	0,222090	2,538	-	-	0,033	6	-	3,92	0,13	11,72	
	Doorgaand kruisstuk	-	-	-	-	-	0,222090	4,828	-	-	0,041	19	-	14,19	0,59		
25	Rooster	-	-	-	-	-	0,150000	3,000	-	-	-	-	20,00	5,48	-	25,48	
	Kanaal ¹⁾	0,25	0,30	0,222	1,100	0,0500	0,150000	3,000	5,0	0,02465	-	-	-	5,48	3,04	63,61	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000364	-	-	-	-	-	-	-	-		
	2 Bochten (zie opm.)	0,25	0,30	0,222	-	0,0500	0,150364	3,007	-	-	0,552	20	-	5,51	3,04		
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,150364	-	-	-	-	-	-	-	17,70	38,13	
	Verloopstuk (con)	0,30	0,40	0,292	-	0,0875	0,150364	1,178	-	-	0,019	6	-	1,80	0,03		
	Aftakking kruisstuk	-	-	-	-	-	0,150364	4,828	-	-	1,009	19	-	14,19	14,32		
	Opmerking: R/a = 1,200, $\zeta_0 = 0,206$, $C_{Re} = 1,587$, $\lambda/\lambda_0 = 1,156$, $L_s/D = 2,100$, $C_B = 0,729$, $\zeta = 0,729 \times 2 \times 0,206 \times 1,587 \times 1,156 = 0,552$																
26	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	2,000	-	-	-	-	10,00	2,43	-	12,43	
	Kanaal ¹⁾	0,15	0,30	0,143	0,900	0,0250	0,050000	2,000	1,0	0,02945	-	-	-	2,43	0,50	63,61	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000037	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,050037	-	-	-	-	-	-	-	37,89	51,18	
	Verloopstuk (con)	0,30	0,40	0,292	-	0,0875	0,050037	0,572	-	-	0,133	6	-	0,20	0,003		
dd	Aftakking kruisstuk	-	-	-	-	-	0,050037	4,828	-	-	0,899	19	-	14,19	12,76	68,90	
	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,422491	4,828	-	-	-	-	49,42	14,19	-	63,61	
	Kanaal ¹⁾	0,30	0,40	0,292	1,400	0,0875	0,422491	4,828	5,0	0,02175	-	-	-	14,19	5,29		
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000823	-	-	-	-	-	-	-	-	5,29	
27	Doorgaand T-stuk	-	-	-	-	-	0,423313	5,410	-	-	0,000	28	-	17,81	0,00	68,90	
	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	2,000	-	-	-	-	10,00	2,43	-	12,43	
	Kanaal ¹⁾	0,15	0,30	0,143	0,900	0,0250	0,050000	2,000	1,0	0,02945	-	-	-	2,43	0,50		
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000037	-	-	-	-	-	-	-	-		
de	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,050037	-	-	-	-	-	-	-	-	37,73	56,47
	Aftakking T-stuk	-	-	-	-	-	0,050037	5,410	-	-	1,024	28	-	17,81	18,24	75,47	
	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,473350	5,410	-	-	-	-	51,09	17,81	-	68,90	
	Kanaal ¹⁾	0,30	0,40	0,292	1,400	0,0875	0,473350	5,410	5,0	0,02150	-	-	-	17,81	6,57		
28	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000846	-	-	-	-	-	-	-	-	6,57	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,474197	5,991	-	-	0,000	28	-	21,85	0,00	75,47	
	Aftakking T-stuk	-	-	-	-	-	0,050037	5,991	-	-	1,016	28	-	21,85	22,21		
	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	2,00	-	-	-	-	10,00	2,43	-	12,43	
df	Kanaal ¹⁾	0,15	0,30	0,143	0,900	0,0250	0,050000	2,00	1,0	0,02945	-	-	-	2,43	0,50	63,04	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000037	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,050037	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Verloopstuk (con)	0,30	0,60	0,400	-	0,1800	0,525582	2,920	-	-	0,025	6	-	5,19	0,13		
	Omgekeerd T-stuk	-	-	-	-	-	0,525582	6,951	-	-	0,970	17	-	29,41	28,52		
31	Rooster	-	-	-	-	-	0,524233	5,991	-	-	-	-	53,62	21,85	-	75,47	
	Kanaal	0,30	0,40	0,292	1,400	0,0875	0,524233	5,991	7,5	0,02129	-	-	-	21,85	11,96	125,82	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,001349	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,525582	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Verloopstuk (con)	-	-	0,200	-	0,0314	0,050010	1,592	-	-	0,015	6	-	1,54	0,02		
	Doorgaand kruisstuk	-	-	-	-	-	0,050010	4,776	-	-	0,130	19	-	13,89	1,81		
32	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	4,074	-	-	-	-	10,00	10,11	-	20,11	
	Kanaal	-	-	0,160	0,503	0,0201	0,050000	2,487	0,5	0,02627	-	-	-	3,76	0,31	36,32	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000010	-	-	-	-	-	-	-	-		
	Verloopstuk (con)	-	-	-	-	-	0,050017	-	-	-	-	-	-	-	-		

	Aftakking kruisstuk	-	-	-	-	-	0,050017	4,776	-	-	1,011	19	-	13,89	14,04	
33	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	2,487	-	-	-	-	10,00	3,76	-	13,76
	Kanaal	-	-	0,160	0,503	0,0201	0,050000	2,487	1,0	0,02627	-	-	-	3,76	0,62	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000021	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,050021	-	-	-	-	-	-	-	7,87	
	Verloopstuk (con)	-	-	0,200	-	0,0314	0,050021	1,592	-	-	0,015	6	-	1,54	0,02	22,56
	Aftakking kruisstuk	-	-	-	-	-	0,050021	4,776	-	-	1,011	19	-	13,89	14,04	
ba	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,150048	4,776	-	-	-	-	22,43	13,89	-	36,32
	Kanaal	-	-	0,200	0,628	0,0314	0,150048	4,776	3,0	0,02243	-	-	-	13,89	4,67	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000137	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Verloopstuk (con)	-	-	0,250	-	0,491	0,150184	3,060	-	-	0,013	6	-	5,70	0,07	4,74
	Doorgaand T-stuk	-	-	-	-	-	0,150184	4,079	-	-	0,000	13	-	10,13	0,00	
	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	1,111	-	-	-	-	10,00	0,75	-	10,75
34	Kanaal	0,15	0,30	0,200	0,900	0,0450	0,050000	1,111	1,0	0,02910	-	-	-	0,75	0,11	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000036	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,050036	-	-	-	-	-	-	-	-	30,31
	Aftakking T-stuk	-	-	-	-	-	0,050036	4,079	-	-	0,859	13	-	10,13	8,70	
	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,200221	4,079	-	-	-	-	30,94	10,13	-	41,06
	Kanaal	-	-	0,250	0,785	0,0491	0,200221	4,079	2,0	0,02173	-	-	-	10,13	1,76	
bb	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000134	-	-	-	-	-	-	-	-	1,76
	Doorgaand T-stuk	-	-	-	-	-	0,200355	5,101	-	-	0,000	13	-	15,84	0,00	
	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	1,111	-	-	-	-	10,00	0,75	-	10,75
	Kanaal	0,15	0,30	0,200	0,900	0,0450	0,050000	1,111	1,0	0,02910	-	-	-	0,75	0,11	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000036	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,050036	-	-	-	-	-	-	-	-	30,31
35	Aftakking T-stuk	-	-	-	-	-	0,050036	5,101	-	-	0,877	13	-	15,84	13,89	
	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,250391	5,101	-	-	-	-	26,99	15,84	-	42,83
	Kanaal	0,15	0,30	0,200	0,900	0,0450	0,250391	5,101	8,5	0,02108	-	-	-	15,84	11,35	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000582	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Bocht (zie opm.)	-	-	0,250	-	0,491	0,250973	5,113	-	-	0,396	1	-	15,91	6,30	27,02
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,250973	-	-	-	-	-	-	-	-	32,07
bc	Doorgaand kruisstuk	-	-	-	-	-	0,250973	8,172	-	-	0,016	19	-	40,65	0,66	
	Opmerking: R/a = 1,000, ζ_0 = 0,268, C _{Re} = 1,298, λ/λ_0 = 1,138, ζ = 0,396															
	Rooster	-	-	-	-	-	0,100000	3,183	-	-	-	-	15,00	6,17	-	21,17
	Kanaal	-	-	0,200	0,628	0,0314	0,100000	3,183	3,5	0,02382	-	-	-	6,17	2,57	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000121	-	-	-	-	-	-	-	-	
	2 Bochten (zie opm.)	-	-	0,200	-	0,0314	0,100121	3,187	-	-	0,872	1	-	6,18	5,39	48,67
36	Verloopstuk (con)	-	-	0,250	-	0,0491	0,100121	2,040	-	-	0,013	6	-	2,53	0,03	
	Aftakking kruisstuk	-	-	-	-	-	0,100121	8,172	-	-	1,001	19	-	40,65	40,68	
	Opmerking: R/a = 1,000, ζ_0 = 0,268, C _{Re} = 1,544, λ/λ_0 = 1,105, L _s /D = 0,500, C _B = 0,953, ζ = 0,953 x 2 x 0,268 x 1,544 x 1,105 = 0,872															
	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	2,487	-	-	-	-	10,00	3,76	-	13,76
	Kanaal	-	-	0,160	0,503	0,0201	0,050000	2,487	1,5	0,02627	-	-	-	3,76	0,93	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000031	-	-	-	-	-	-	-	-	
37	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,050031	-	-	-	-	-	-	-	-	16,38
	Verloopstuk (con)	-	-	0,250	-	0,0491	0,050031	1,019	-	-	0,053	6	-	0,63	0,03	56,08
	Aftakking kruisstuk	-	-	-	-	-	0,050031	8,172	-	-	0,953	19	-	40,65	38,73	
	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,401125	8,172	-	-	-	-	29,19	40,65	-	69,84
	Kanaal	-	-	0,250	0,785	0,0491	0,401125	8,172	2,5	0,01995	-	-	-	40,65	8,11	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000173	-	-	-	-	-	-	-	-	
bd	Verloopstuk (con)	-	-	0,315	-	0,0779	0,401298	5,149	-	-	0,012	6	-	16,14	0,19	8,30
	Doorgaand T-stuk	-	-	-	-	-	0,401298	5,791	-	-	0,000	13	-	20,42	0,00	
	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	2,487	-	-	-	-	10,00	3,76	-	13,76
	Kanaal	-	-	0,160	0,503	0,0201	0,050000	2,487	1,5	0,02627	-	-	-	3,76	0,93	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000031	-	-	-	-	-	-	-	-	64,38
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,050031	-	-	-	-	-	-	-	-	42,01
38	Opmerking: R/a = 1,000, ζ_0 = 0,268, C _{Re} = 1,544, λ/λ_0 = 1,105, L _s /D = 0,500, C _B = 0,953, ζ = 0,953 x 2 x 0,268 x 1,544 x 1,105 = 0,872															
	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	2,487	-	-	-	-	10,00	3,76	-	13,76
	Kanaal	-	-	0,160	0,503	0,0201	0,050000	2,487	1,5	0,02627	-	-	-	3,76	0,93	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000031	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,050031	-	-	-	-	-	-	-	-	42,01
	Opmerking: R/a = 1,000, ζ_0 = 0,268, C _{Re} = 1,544, λ/λ_0 = 1,105, L _s /D = 0,500, C _B = 0,953, ζ = 0,953 x 2 x 0,268 x 1,544 x 1,105 = 0,872															

	Aftakking T-stuk	-	-	-	-	-	0,050031	5,791	-	-	1,050	13	-	20,42	21,43	
be	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,451329	5,791	-	-	-	-	57,72	20,42		78,14
	Kanaal	-	-	0,315	0,990	0,0779	0,451329	5,791	5,0	0,01966	-	-	-	20,42	6,37	6,37
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000644	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Doorgaand T-stuk	-	-	-	-	-	0,451973	6,442	-	-	0,000	13	-	25,26	0,00	
39	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	1,111	-	-	-	-	10,00	0,75	-	10,75
	Kanaal	0,15	0,30	0,200	0,900	0,0450	0,050000	1,111	1,5	0,02910	-	-	-	0,75	0,16	84,51
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000055	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,050055	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Aftakking T-stuk	-	-	-	-	-	0,050055	6,442	-	-	0,948	13	-	25,26	23,94	
bf	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,502028	6,442	-	-	-	-	59,25	25,26	-	84,51
	Kanaal	-	-	0,315	0,990	0,0779	0,502028	6,442	10,0	0,01942	-	-	-	25,26	15,57	128,87
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,001373	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Verloopstuk (con)	-	-	0,400	-	0,1257	0,503400	4,006	-	-	0,012	6	-	9,77	0,12	
	Omgekeerd T-stuk	-	-	-	-	-	0,503400	6,641	-	-	1,068	17	-	26,85	28,67	
41	Rooster	-	-	-	-	-	0,100000	3,183	-	-	-	-	15,00	6,17	-	21,17
	Kanaal	-	-	0,200	0,628	0,0314	0,100000	3,183	1,0	0,02382	-	-	-	6,17	0,73	28,15
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000033	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Verloopstuk (con)	-	-	0,250	-	0,0491	0,100033	2,038	-	-	0,013	6	-	2,53	0,03	
	Omgekeerd T-stuk	-	-	-	-	-	0,100033	3,057	-	-	1,092	17	-	5,69	6,21	
42	Rooster	-	-	-	-	-	0,050000	2,487	-	-	-	-	10,00	3,76	-	13,76
	Kanaal	-	-	0,160	0,503	0,0201	0,050000	2,487	1,0	0,02627	-	-	-	3,76	0,62	28,15
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000021	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,050021	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Verloopstuk (con)	-	-	0,250	-	0,0491	0,050021	1,019	-	-	0,053	6	-	0,63	0,03	
aa	Omgekeerd T-stuk	-	-	-	-	-	0,050021	3,057	-	-	0,909	17	-	5,69	5,17	
	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,150054	3,057	-	-	-	-	22,46	5,69	-	28,15
	Kanaal	-	-	0,250	0,785	0,0491	0,150054	3,057	4,0	0,02270	-	-	-	5,69	2,07	30,22
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000220	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Doorgaand T-stuk	-	-	-	-	-	0,150274	3,673	-	-	0,000	13	-	8,21	0,00	
43	Rooster	-	-	-	-	-	0,030000	2,445	-	-	-	-	5,00	3,64	-	8,64
	Kanaal	-	-	0,125	0,393	0,0123	0,030000	2,445	1,0	0,02810	-	-	-	3,64	0,82	30,22
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000011	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,030011	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Aftakking T-stuk	-	-	-	-	-	0,030011	3,673	-	-	1,148	13	-	8,21	9,42	
ab	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,180285	3,673	-	-	-	-	22,0	8,21	-	30,22
	Kanaal	-	-	0,250	0,785	0,0491	0,180285	3,673	3,0	0,02207	-	-	-	8,21	2,17	32,39
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000163	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Doorgaand T-stuk	-	-	-	-	-	0,180448	4,287	-	-	0,000	13	-	11,19	0,00	
	Rooster	-	-	-	-	-	0,030000	2,445	-	-	-	-	5,00	3,64	-	8,64
44	Kanaal	-	-	0,125	0,393	0,0123	0,030000	2,445	1,0	0,02810	-	-	-	3,64	0,82	32,39
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000011	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,030011	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Aftakking T-stuk	-	-	-	-	-	0,030011	4,287	-	-	1,104	13	-	11,19	12,35	
ac	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,210459	4,287	-	-	-	-	21,20	11,19	-	32,39
	Kanaal	-	-	0,250	0,785	0,0491	0,210459	4,287	7,0	0,02158	-	-	-	11,19	6,76	46,90
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000398	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Bocht (zie o.p.m.)	-	-	0,250	-	0,0491	0,210856	4,296	-	-	0,408	1	-	11,23	4,58	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,210856	-	-	-	-	-	-	-	3,01	
	Doorgaand kruisstuk	-	-	-	-	-	0,210856	6,131	-	-	0,007	19	-	22,88	0,15	
	Opmerking: R/a = 1,000, $\zeta_o = 0,268$, $C_{Re} = 1,356$, $\lambda/\lambda_o = 1,123$, $\zeta = 0,408$															
45	Rooster	-	-	-	-	-	0,030000	2,445	-	-	-	-	5,00	3,64	-	8,64
	Kanaal	-	-	0,125	0,393	0,0123	0,030000	2,445	1,0	0,02810	-	-	-	3,64	0,82	46,90
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000011	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,030011	-	-	-	-	-	-	-	-	

	Verloopstuk (con)	-	-	0,250	-	0,0491	0,030011	0,611	-	-	0,182	6	-	0,23	0,04	
	Aftakking kruisstuk	-	-	-	-	-	0,030011	6,131	-	-	0,981	19	-	22,88	22,45	
46	Rooster	-	-	-	-	-	0,060000	2,984	-	-	-	-	8,00	5,42	-	13,42
	Kanaal	-	-	0,160	0,503	0,0491	0,060000	2,984	3,5	0,02545	-	-	-	5,42	3,02	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000069	-	-	-	-	-	-	-	-	
	3 Bochten (zie opm.)	-	-	0,160	-	0,0201	0,060069	2,988	-	-	1,331	1	-	5,43	7,23	33,48
	Verloopstuk (con)	-	-	0,250	-	0,0491	0,060069	1,224	-	-	0,051	6	-	0,91	0,05	
	Doorgaand T- stuk	-	-	-	-	-	0,060069	6,131	-	-	1,013	19	-	22,88	23,18	
	Opmerking: R/a = 1,000, $\zeta_o = 0,268$, $C_{Re} = 1,660$, $\lambda/\lambda_o = 1,105$, $L_s/D = 1,125$, $C_B = 0,853$, $\zeta = 0,853 \times 2 \times 0,268 \times 1,660 \times 1,105 = 1,331$															
ad	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,300935	6,131	-	-	-	-	24,02	22,88	-	46,90
	Kanaal	-	-	0,250	0,785	0,0491	0,300935	6,131	2,0	0,02060	-	-	-	22,88	3,77	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000117	-	-	-	-	-	-	-	-	3,77
	Doorgaand T- stuk	-	-	-	-	-	0,301053	6,744	-	-	0,000	13	-	27,69	0,00	
47	Rooster	-	-	-	-	-	0,030000	2,245	-	-	-	-	5,00	3,64	-	8,64
	Kanaal	-	-	0,125	0,393	0,0123	0,030000	2,245	1,0	0,02810	-	-	-	3,64	0,82	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000011	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,030011	-	-	-	-	-	-	-	12,56	42,03
	Aftakking T- stuk	-	-	-	-	-	0,030011	6,744	-	-	1,035	13	-	27,69	28,65	
ae	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,331063	6,744	-	-	-	-	22,98	27,69	-	50,67
	Kanaal	-	-	0,250	0,785	0,0491	0,331063	6,744	2,0	0,02037	-	-	-	27,69	4,51	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000115	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,331179	-	-	-	-	-	-	-	47,88	
	Verloopstuk (con)	-	-	0,400	-	0,1257	0,331179	2,635	-	-	0,044	6	-	4,23	0,19	78,20
	Omgekeerd T- stuk	-	-	-	-	-	0,331179	6,641	-	-	0,954	17	-	26,85	25,62	
a	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,834579	6,641	-	-	-	-	102,02	26,85	-	128,87
	Kanaal	-	-	0,400	1,257	0,1257	0,834579	6,641	5,0	0,01834	-	-	-	26,85	6,15	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,001165	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Verloopstuk (con)	0,30	0,50	0,375	-	0,1500	0,835745	5,572	-	-	0,003	6	-	18,90	0,06	6,21
	Doorgaand T- stuk	-	-	-	-	-	0,835745	6,572	-	-	0,000	28	-	26,29	0,00	
2	Rooster	-	-	-	-	-	0,150000	3,056	-	-	-	-	15,00	5,68	-	20,68
	Kanaal	-	-	0,250	0,785	0,0491	0,150000	3,056	1,5	0,02271	-	-	-	5,68	0,77	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,000063	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,150063	-	-	-	-	-	-	-	86,51	114,40
	Aftakking T- stuk	-	-	-	-	-	0,150063	6,572	-	-	1,031	28	-	26,29	27,11	
b	Begin kanaal	-	-	-	-	-	0,985807	8,572	-	-	-	-	108,79	26,29	-	135,08
	Kanaal	0,30	0,50	0,375	1,600	0,1500	0,985807	8,572	5,0	0,01862	-	-	-	26,29	6,53	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,001547	-	-	-	-	-	-	-	-	
	Inregelklep	-	-	-	-	-	0,987354	-	-	-	-	-	-	-	0,55	
	Verloopstuk (con)	0,30	0,60	0,400	-	0,1800	0,987354	5,485	-	-	0,003	6	-	18,32	0,06	15,16
	Kanaalsplitsing	-	-	-	-	-	0,987354	6,227	-	-	0,340	39	-	23,61	8,02	
c	Begin kanaal	-	-	-	-	-	1,251132	6,951	-	-	-	-	96,41	29,41	-	125,82
	Kanaal	0,30	0,60	0,400	1,800	0,1800	1,251132	6,951	10,0	0,01824	-	-	-	29,41	13,41	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,003299	-	-	-	-	-	-	-	24,42	
	Kanaalsplitsing	-	-	-	-	-	1,254431	6,227	-	-	0,466	39	-	23,61	11,00	
d	Begin kanaal	-	-	-	-	-	2,241785	6,227	-	-	-	-	126,83	23,61	-	150,24
	Kanaal	0,30	1,20	0,480	3,00	0,3600	2,241785	6,227	17,0	0,01774	-	-	-	23,61	14,83	
	Lekverlies	-	-	-	-	-	0,011084	-	-	-	-	-	-	-	26,37	
	2 Bochten (zie opm.)	0,30	1,20	0,480	-	0,3600	2,252869	6,258	-	-	0,484	20	-	23,84	11,54	
	Opmerking: R/a = 1,866, $\zeta_o = 0,162$, $C_{Re} = 1,311$, $\lambda/\lambda_o = 1,140$, $\zeta = 2 \times 0,162 \times 1,311 \times 1,140 = 0,484$															

1) Kanaal is inwendig geïsoleerd.

Opmerking:
Luchtopbrengst van alle roosters tezamen = 2,220000 m³/s
Luchtopbrengst van de ventilator = 2,252869 m³/s
Lekverlies = 0,032869 m³/s = 1,5%