

Splitsen van Beademingsmachines

HET BEADEMEN VAN MEERDERE PATIËNTEN MET ÉÉN BEADEMINGSMACHINE

IN CRISIS SITUATIE

Versie 1.0, dd 23-03-2020

Heder de Vries¹

Prof. Ruud Verdaasdonk²

Dr. Frans de Jongh³

Marijn Vriens ¹

Dr. Jonne Doorduïn⁴

Prof. Leo Heunks¹

1 Afdeling intensive care, Amsterdam UMC, locatie VUmc;

2 Universiteit Twente,

3 Afdeling intensive care Amsterdam UMC, locatie AMC en medisch spectrum Twente, Enschede;

4 Afdeling Neurologie, Radboudumc.

Inhoud

- Basisprincipes
- Benodigdheden
- Opstelling
- Voor- en nadelen
- Monitoring en praktische tips
- Bewijskracht en aanvullende bronnen
- Bijlagen

Doel van document

Dit document beschrijft het principe en praktische toepassing van het beademen van meerdere patiënten met een enkele intensive care beademingsmachine. Dit kan in uitzonderlijke omstandigheden noodzakelijk zijn indien acuut het aantal beademingsbehoeftige patiënten de beschikbaarheid van apparatuur overstijgt.

Achtergrond

Tijdens ernstige gezondheids crises zou het kunnen voorkomen dat onverwacht te weinig beademingsmachines beschikbaar zijn voor het aantal patiënten met ernstig respiratoir falen. Te denken valt aan aanslagen of pandemische infecties, zoals momenteel COVID-19.

Een mogelijke (tijdelijke) oplossing voor een tekort aan beademingsmachines is om meerdere patiënten te beademen met één intensive care beademingsmachine. De moderne IC beademingsmachines hebben grote reserve met betrekking tot teugvolume en drukken, waardoor het technisch mogelijk is twee of zelfs meer patiënten met 1 machine te beademen. Deze techniek geldt alleen ter overbrugging tot transport van patiënt naar een locatie waar wel beademingsmachines beschikbaar zijn of tot nieuwe beademingsmachines beschikbaar zijn op locatie van de patiënt.

In dit document worden de fysiologische principes, de benodigdheden, de opstelling en de potentiële gevaren van deze techniek beschreven.

Disclaimer

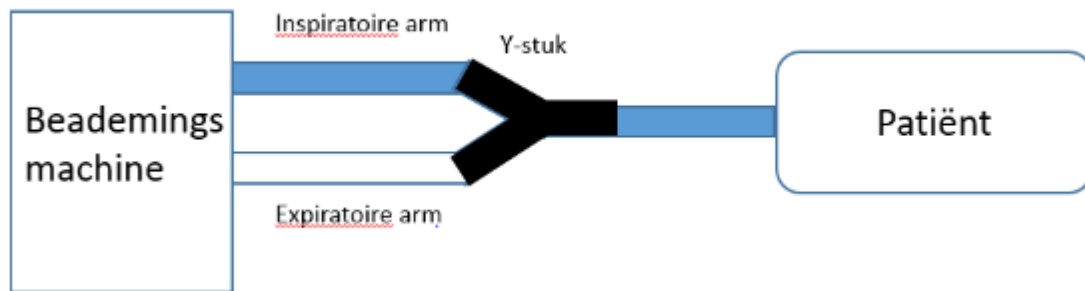
Deze techniek dient alleen in noodsituaties te worden gebruikt. Elke patiënt is uniek, de tips in dit document kunnen niet eigen klinisch oordeel vervangen. Beademingsmachines zijn niet ontworpen, noch geregistreerd voor beademen van meer dan 1 patiënt tegelijkertijd. Dit document betreft off-label gebruik. De auteurs benadrukken dat deze toepassing alleen in uitzonderlijke omstandigheden overwogen kan worden en na overleg met belanghebbenden.

De demonstratie in dit document beschreven is uitgevoerd met de Servo-U (Getinge, Zweden) en gecontroleerd met de Evita Infinity 500 (Draeger, Duitsland) en Philips V680. Bij Evita dient automatische tube compensatie uitgeschakeld te zijn. Andere machines zullen op korte termijn geëvalueerd worden. Voordat deze techniek in de praktijk toegepast wordt raden wij sterk aan met testballonnen het circuit te controleren.

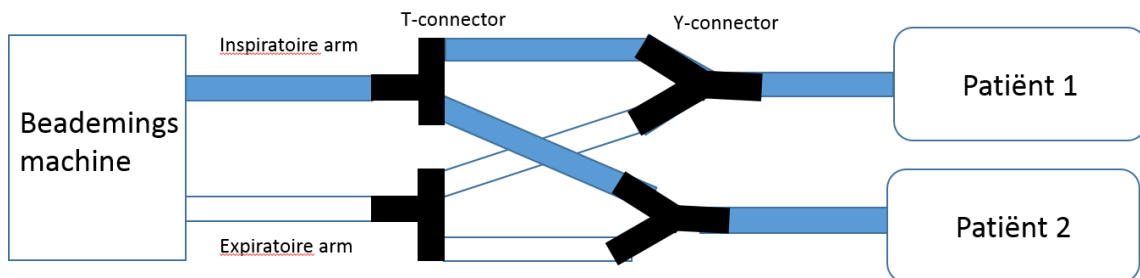
Basisprincipes

Normaliter wordt een patiënt in serie geschakeld in een gesloten systeem met een beademingsmachine (**Figuur 1**). De machine meet exact hoeveel druk gegenereerd wordt en welk teugvolume aan de patiënt toegediend wordt. Immers, het volume dat de beademingsmachine via de inspiratiepoort verlaat, moet in een gesloten systeem ook bij de expiratiepoort weer uitkomen. Onder deze omstandigheden heeft de professional controle over de drukken, volumina en frequentie van beademing.

Figuur 1: gebruikelijke opstelling bij invasieve mechanische beademing



Het is technisch mogelijk om meerdere patiënten in parallel te schakelen aan één beademingsmachine (**Figuur 2**). Om dit te bereiken moet zowel de inspiratoire arm als de expiratoire arm van de beademingsmachine worden gesplitst met T-connectoren of Y-connectoren. Vervolgens worden twee reguliere patiëntcircuits aangesloten op de gesplitste inspiratie- en expiratieslangen.



Figuur 2 legenda: schematisch overzicht hoe twee patiënten aan een beademingsmachine gekoppeld worden. De een-wegkleppen zijn niet weergegeven in dit schema

In dat geval zal de beademingsmachine drukken en volumina genereren voor beide patiënten. Afhankelijk van de beademingsmodus zal ofwel het volume gewaarborgd worden (volume control ventilation), ofwel de druk (pressure control). Het volume dat door de beademingsmachine gemeten wordt, is het totale volume van beide patiënten samen. Hoe dit teugvolume zich over de twee patiënten verdeelt hangt af van de ademmechanica (respiratoire compliantie) van de individuele patiënten.

Volume-gecontroleerde beademing is zeer af te raden onder deze omstandigheden. Indien er een acute obstructie ontstaat in het circuit van één patiënt, zal het volledige teug volume aan de andere patiënt toegediend worden.

Het heeft dus **sterke voorkeur om druk-gecontroleerd te beademen**. Bij druk-gecontroleerde beademing is zeker dat de plateau-drukken voor beide patiënten hetzelfde is indien de inspiratietijd voldoende lang is (eindinspiratoire flow naar nul). Als er een obstructie ontstaat in het circuit van de ene patiënt, zal dit geen invloed hebben op het teugvolume van de andere patiënt. Een ander potentieel voordeel van druk-gecontroleerde modaliteiten is dat patiënten met verschillende lichaamslengte (ideaalgewicht) aan eenzelfde circuit aangesloten kunnen worden.

Een opstelling met meerdere patiënten aan één beademingsmachine is ook niet toepasbaar indien (een of beide patiënten) ademdrive hebben en dus de machine triggeren. Het is uiteraard gevaarlijk indien de ademdrive van de ene patiënt invloed heeft op de teugen van de andere patiënt. Er moet dus een plan zijn hoe patiënten ondersteund gaan worden als sedatie verminderd wordt en er weer respiratoire drive is.

Benodigdheden

Voor het beademen van twee patiënten met één beademingsmachine is het volgende nodig:

- 1x beademingsmachine
- 2x patiëntcircuits, met per circuit (**Figuur 3**)
 - 1x Y-stuk
 - 1x Swivel connector
 - 1x Virus/bacterie filter (HEPA filter)
- Extra materialen om dubbele beademing mogelijk te maken (**Figuur 4**)
 - 1x Inspiratoire slang van de beademingsmachine
 - 1x Expiratoire slang van de beademingsmachine
 - 2x T-connectoren (of twee extra y-connectoren) met één-wegkleppen/ventielen
 - leverancier: <https://nl.intersurgical.com/producten/intensive-care/connectoren>

Figuur 3: standaard patiëntcircuit inclusief kunstlong



Figuur 4: Extra benodigdheden



Legenda: De een-wegkleppen zijn geplaatst in de T-connectors. In deze t-connectors zitten één-wegkleppen ingebouwd. De richting van de pijlen geeft de luchtstroom aan die onbelemmerd is door het de één-wegklep. Let goed op richting van luchtstroom!

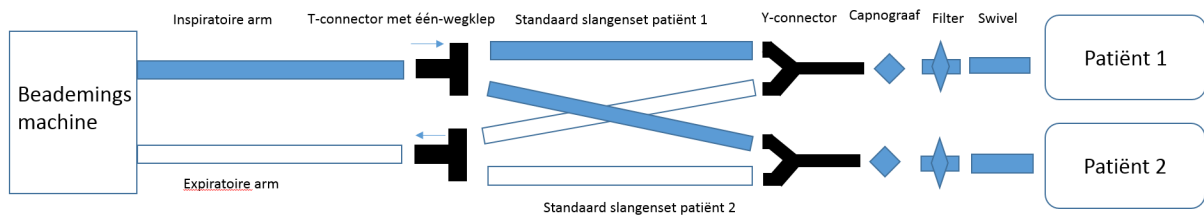
Figuur 5: T-stuk met één-wegkleppen



*De richting van de pijlen geeft aan naar welke kan luchtstroom mogelijk is. Deze specifieke T-connector kan dus gebruikt worden om de expiratie-slangen van beide patiënten samen te laten komen. Let nadrukkelijk op de richting van de pijlen. De kleppen kunnen in de originele T-connectoren van richting veranderd worden door ze in andere richting te plaatsen, zie de **bijlagen**!*

Opstelling

Figuur 5: schematische opstelling



Legenda: de pijlen op de T-connectoren geven de richting aan die de luchtstroom onbelemmerd kan volgen; luchtstroom de andere richting op wordt tegengehouden. Zie bijlage 1 voor een uitvergroete variant van deze figuur en voor een optie zonder T-connectoren met ingebouwde één-wegklep.

Figuur 6: opstelling in de praktijk



Legenda: Elke kunstlong symboliseert één patiënt. De teugvolumina die zichtbaar zijn op de beademingsmachine zijn het totale teugvolume van de kunstlongen samen.

Voordelen en beperkingen van deze set-up

Voordelen

- Relatief simpele opstelling, die snel op te bouwen is
- Slechts enkele extra disposables nodig
- In druk-gecontroleerde modi blijven plateaudrukken en *driving pressures* voor beide patiënten bruikbaar

Beperkingen

- PEEP en FiO₂ zijn niet per patiënt te regelen.
- Volumina zijn niet direct per patiënt te meten, en zullen afhangen van de totale compliantie van het respiratoire systeem van de individuele patiënten. Het is dus van belang alleen patiënten met ongeveer zelfde respiratoire compliantie en ernst van ARDS te koppelen aan één machine
- Ook zijn teugvolumina niet direct per patiënt te beïnvloeden (zie onder voor een aantal manieren waarop dit indirect wel kan).
- Indien inspiratietijden kort zijn (en de flow eind-inspiratoir niet tot 0 komt), heeft ook de weerstand van de individuele patiënten invloed op het bereikte teugvolume in de betreffende patiënt.
- Indien er geen één-weg kleppen worden toegevoegd aan het circuit, is het mogelijk dat er terugstroom optreedt tussen beide patiënten. Hierdoor zouden ongewenst hoge drukken kunnen ontstaan, en zouden pathogenen en andere aerosolen uitgewisseld kunnen worden tussen de patiënten. Zie de bijlagen voor meer informatie over de één-wegkleppen.
- Er is een capnograaf per patiënt noodzakelijk als continu het end-tidal CO₂ gemeten moet worden (zie beneden voor alternatieve oplossingen).
- Alarmgrenzen moeten **nauwkeurig** ingesteld worden, omdat er bij disconnectie van één patiënt nog steeds volume terug kan komen van de andere patiënt. De beademingsmachine zal dus niet direct alarmeren vanwege disconnectie!

Monitoring en praktische tips

Het leveren van long-protectieve beademing aan beide patiënten is extra uitdagend met een dubbele opstelling. Om dit toch zo goed mogelijk te garanderen hebben wij enkele praktische tips opgesteld aan de hand van ervaringen met een testcircuit.

I:E-ratio

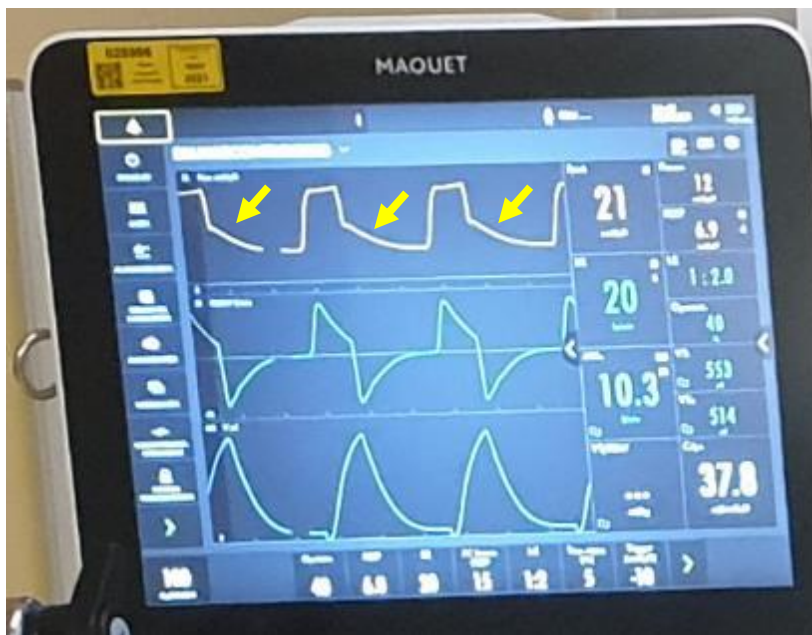
Het is aan te raden om de I:E-ratio zo in te stellen, dat de flow tijdens inspiratie (vrijwel) tot 0 komt. Zodra er geen flow meer is in het systeem, zijn de drukken in principe gelijk tussen alle componenten van de opstelling. Dit heeft de voorkeur, omdat dan waarden als de plateaudruk en driving pressure voor beide patiënten bruikbaar zijn.

Drukpatroon

Door de één-wegkleppen die gebruikt worden om tegenstroom te voorkomen, kan het zijn dat het flowpatroon en het drukpatroon anders uitzien dan normaal. De expiratoire flow wordt namelijk licht belemmerd door de éénwegkleppen. De gemiddelde luchtwegdruk zal hierdoor mogelijk toenemen

Figuur 7).

Figuur 7: afwijkende expiratoire flowpatronen bij gebruik van éénwegskleppen



De expiratoire druk heeft meer tijd nodig dan gebruikelijk om terug te keren op het niveau van de ingestelde PEEP door de verhoogde expiratoire weerstand in de circuits.

Plateaudrukken

De beschreven opstelling is een parallel-schakeling. Dit betekent dat de druk die de beademingsmachine intern meet, in principe ook bereikt wordt in beide individuele patiëntcircuits. De plateaudruk blijft dus valide voor beide patiënten met deze opstelling. Om de plateaudruk te meten dient er een inspiratoire hold van 5-10 seconden gegeven te worden.

Driving pressure

Net als de plateaudruk blijft ook de “driving pressure” gelijk in een parallelschakeling. Om de driving pressure te meten dient eerst een inspiratoire hold gegeven te worden om de plateaudruk te meten. Vervolgens dient er een expiratoire hold van 5-10 seconden gegeven te worden om de totale PEEP te meten. De driving pressure wordt berekend als plateaudruk – totale PEEP.

Cave: mogelijk is de PEEP die de beademingsmachine meet een lichte onderschatting van de ware intrinsic PEEP die heerst in beide patiënten. De berekende driving pressure kan dus een lichte overschatting zijn (immers, de totale PEEP wordt van de plateaudruk afgetrokken. Indien er een te klein getal wordt afgetrokken, is de berekende driving pressure dus een overschatting.). Dit wordt veroorzaakt door de éénwegskleppen die terugstroom belemmeren. In ons eigen testopstelling betrof dit <2 cmH₂O, en heeft dit effect geen belangrijke impact op de driving pressure.

Teugvolumina

Het is niet mogelijk om continu de teugvolumina van de individuele patiënten te meten, behalve als er gebruik wordt gemaakt van extra flowsensoren na Y-stuk bij patiënt, of door kortdurend een kocher op de tube van een van de patiënten te plaatsen. Het volume van de niet-geocludeerde patiënt wordt gemeten door de beademingsmachine. In principe is dit hetzelfde volume dat de patiënt binnen zou krijgen indien de andere patiënt ook aangesloten is op het circuit.

Capnografie

Het is mogelijk om per y-stuk een capnograaf in het circuit te plaatsen, om zo continu de ETCO₂ van de individuele patiënten te monitoren. Dit is zeer aan te raden, omdat disconnecties direct opgemerkt zullen worden.

Schuifweerstand per patiënt

In theorie is het mogelijk om enige invloed uit te oefenen op de teugvolumina die de individuele patiënten krijgen door een variabele weerstand (middels een klem) toe te voegen aan inspiratie slang van elk patiëntencircuit. Dit zou relevant kunnen zijn als beide patiënten een zeer verschillende weerstand of compliantie van het respiratoire systeem hebben. Immers, de luchtstroom zal de weg met de minste weerstand kiezen waardoor de patiënt met de meest compliantie longen en de laagste weerstand het eerst lucht krijgt. Dit is alleen mogelijk indien gebruik wordt gemaakt van relatief korte inspiratietijden. Als de I:E-ratio zo wordt gekozen dat de flow tijdens inspiratie vrijwel tot 0 komt, heeft de weerstand geen invloed meer op het bereikte volume (slechts op de tijd waarin het volume bereikt wordt). Deze techniek is op dit moment nadrukkelijk niet aan te raden.

Aanvullende bronnen

Er is wat ervaring met het beademen van meerdere proefdieren met een enkele beademingsmachine en incidenteel bij opvang van patiënten.

Artikelen

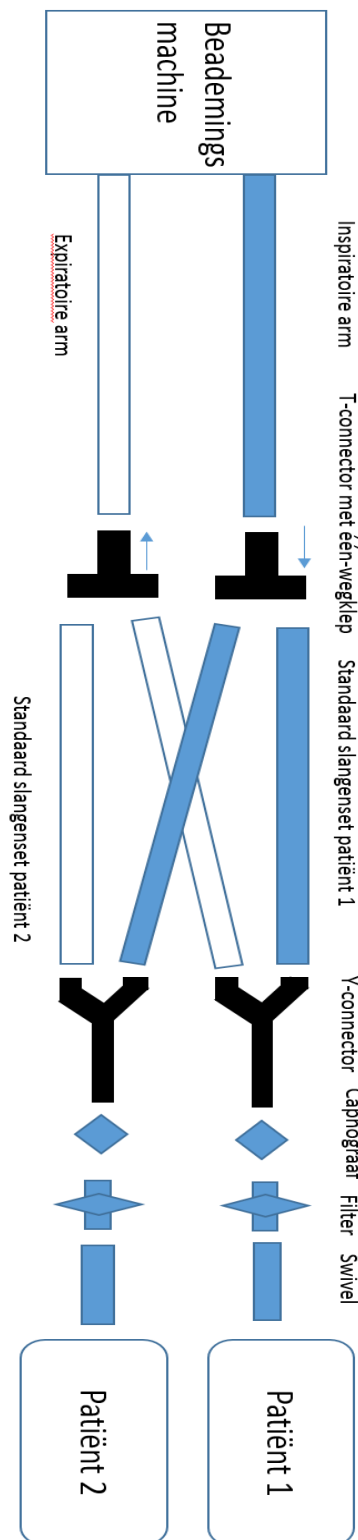
1. Neyman G, Irvin C. A single ventilator for multiple simulated patients to meet disaster surge. *Acad Emerg Med*. 2006;13(11):1246-1249. doi:[10.1197/j.aem.2006.05.009](https://doi.org/10.1197/j.aem.2006.05.009)
2. Paladino L, Silverberg M, Charchaflieh J, et al. Increasing ventilator surge capacity in disasters: ventilation of four adult-human-sized sheep on a single ventilator with a modified circuit. *Resuscitation*. 2008;77(1):121-126. doi:[10.1016/j.resuscitation.2007.10.016](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2007.10.016)
3. Branson R, Blakeman T, Robinson B, Johannigman J. Use of a single ventilator to support 4 patients: laboratory evaluation of a limited concept. *Respir Care*. 2012;57(3):399-403. doi:[10.4187/respcare.01236](https://doi.org/10.4187/respcare.01236)
4. Smith R, Brown J. Simultaneous ventilation of two healthy subjects with a single ventilator. *Resuscitation*. 2009;80(9):1087. doi:[10.1016/j.resuscitation.2009.05.018](https://doi.org/10.1016/j.resuscitation.2009.05.018)

Videos

1. <https://www.youtube.com/watch?v=NER2h9STy7Q>
Deze video demonstreert dezelfde opstelling zoals beschreven in dit document, inclusief het gebruik van één-wegkleppen.
2. <https://youtu.be/eSVbwWANqRI>
Deze video demonstreert het gebruik van variabele weerstanden om de ventilatie per patiënt aan te passen. Wij raden het gebruik van variabele weerstand nadrukkelijk af.

Bijlagen

Bijlage 1: schematische tekening van de opstelling uitvergroot

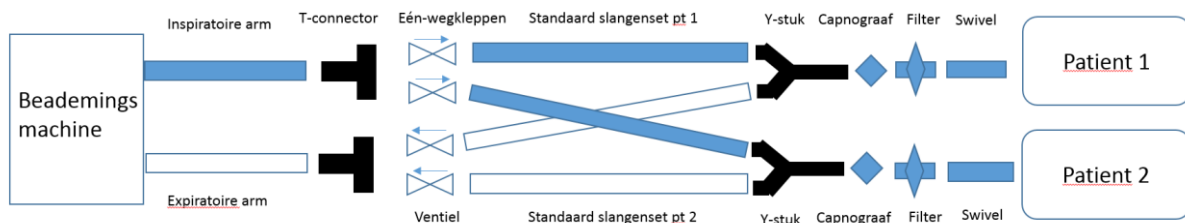


Legenda: de pijlen op de T-connectoren geven de richting van de luchtstroom aan die onbelemmerd wordt door de één-wegkleppen.

Bijlage 2: Instructie voor het maken van T-connectoren met één-wegkleppen

Optie 1: Aparte één-wegkleppen

Om terugstroom tussen de patiënten te belemmeren is het aangeraden om één-wegkleppen (ventielen) toe te voegen aan het circuit. Dit kunnen losse één-wegskleppen zijn die na de T-connectoren op de inspiratoire arm en expiratoire arm worden toegevoegd. De schematische tekening van de opstelling wordt dan als volgt:



In totaal zijn er 4 één-wegkleppen nodig voor een circuit met twee patiënten. Let er goed op dat de één-wegkleppen in de goede richting worden gemonteerd. Test het circuit altijd voordat een patiënt wordt aangesloten met een testlong, om er zeker van te zijn dat er geen obstructies zijn ontstaan door de kleppen.

Optie 2: T-connectoren met één-wegkleppen

Een andere optie is het ombouwen van T-connectoren waar één-wegkleppen inzitten. Deze T-connectoren worden onder andere gebruikt voor ademspiertraining. De kleppen die intern in de T-connectoren aanwezig zijn, kunnen simpel met een schroevendraaier worden gedemonteerd. Vervolgens kunnen de kleppen zo opgesteld worden, dat de luchtstroom in de juiste richting wordt doorgelaten. Hierbij dient er één T-connector te worden gemaakt die de luchtstroom richting de beide zijstukken doorlaat voor de inspiratoire arm, en één T-connector die de luchtstroom richting beide zijstukken belemmerd voor de expiratoire arm. Advies is om de stickers op de T-connectoren aan te passen, zodat de luchtstroom correct wordt weergegeven.

Figuur 8: Binnenzijde T-connector



Binnenkant van de T-connector waarbij de klep zichtbaar is. In deze richting wordt luchtstroom belemmerd.

Figuur 9: Binnenzijde T-connector



Binnenkant van de T-connector waarbij de klep zichtbaar is. In deze richting wordt luchtstroom niet belemmerd.