

Van Mourik Broekmanweg 6  
2628 XE Delft  
Postbus 49  
2600 AA Delft

[www.tno.nl](http://www.tno.nl)

T +31 88 866 30 00  
F +31 88 866 30 10  
[infodesk@tno.nl](mailto:infodesk@tno.nl)

## Ontwerpcriteria voor stofzuigers

Datum	31 juli 2013
Auteur(s)	A.P. Wilken
Exemplaarnummer	SVW-WNA-v1.0
Oplage	
Aantal pagina's	12 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen	1
Opdrachtgever	
Projectnaam	Werkgroep Stofvrij werken
Projectnummer	060.03789

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor opdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belang-hebbenden is toegestaan.

© 2013 TNO

# Inhoudsopgave

<b>1</b>	<b>Inleiding .....</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Ontwerpcriteria .....</b>	<b>4</b>
2.1	Debiet / airflow .....	4
2.2	Afzuigslang .....	4
2.3	Filters .....	5
2.3.1	Vorm van het filter .....	7
2.4	Filterreiniging .....	7
2.4.1	Handmatig reinigen versus automatisch reinigen .....	8
2.4.2	Vormen van filterreiniging .....	9
2.5	Stofopvang.....	10
2.6	Compartimentering .....	10
	<b>Bijlage(n)</b>	
	A Valkuilen	

# 1 Inleiding

Bij het ontwerp van een stofzuiger is een groot aantal zaken van invloed op het al dan niet succesvol functioneren in de praktijk. Door jarenlange ervaring met de ontwerpen van diverse leveranciers, tests in de praktijk en het afzonderlijk bekijken van de invloed van elk ontwerpaspect heeft TNO richtlijnen opgesteld die als leidraad kunnen worden gebruikt voor het ontwerpen van goede stofzuigers. Deze richtlijnen zijn in dit document uitgeschreven.

## 2 Ontwerpcriteria

Hieronder worden de diverse parameters besproken die elk op hun eigen manier bepalend zijn voor functioneren van een stofzuiger in de praktijk.

### 2.1 Debiet / airflow

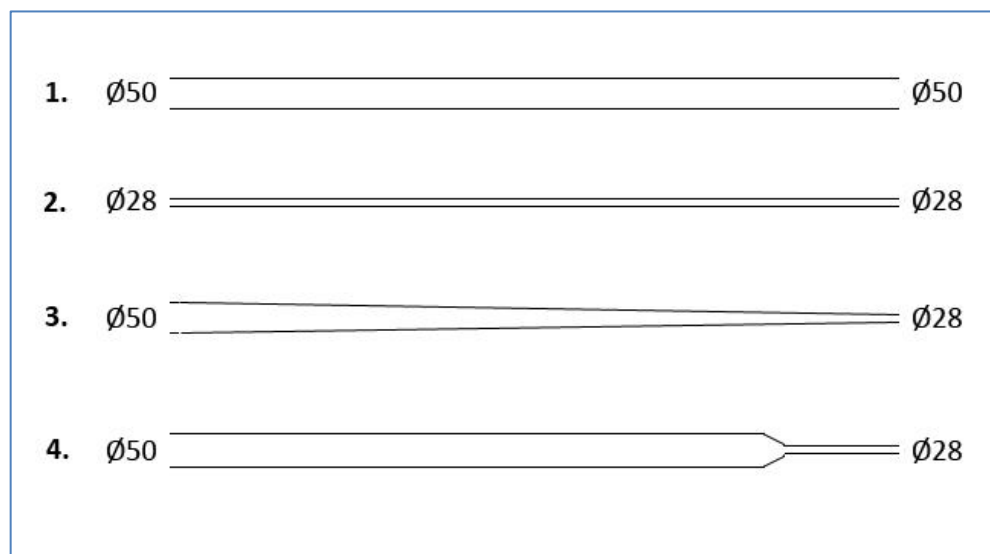
In de regel geldt dat de luchtstroom door de afzuigslang zo hoog mogelijk dient te zijn. Dit geldt zowel voor de luchtvolumestroom (in m<sup>3</sup>/uur) om grote hoeveelheden stof af te kunnen voeren, als voor de luchtstroomsnelheid (in m/s) in de afvoerslang om voldoende impuls te hebben om stofdeeltjes mee te voeren. Beide parameters zijn aan elkaar gerelateerd middels de diameter van de afvoerslang.

Voor bewerkingen waarbij de stofbron in z'n geheel wordt ingesloten door de afzuigaccessoire (zie compartimentering hieronder) is een minder hoge volumestroom nodig, dan wanneer de compartimentering semi-open of open is.

Concreet geldt voor kleine/enkelmotorige stofzuigers dat een volumestroom gewenst is van minimaal 150 m<sup>3</sup>/uur, gemeten aan het einde van de afzuigslang. Deze minimale capaciteit moet gedurende de gehele periode dat er gewerkt wordt aanwezig zijn. Voor zware bewerkingen als het frezen van sleuven in kalkzandsteen geldt al snel een minimale effectieve afzuigcapaciteit van 200 m<sup>3</sup>/uur.

### 2.2 Afzuigslang

Voor de eindgebruiker is het van belang dat het stofzuigsysteem niet hinderlijk is bij het werken met handgereedschap. Een stugge, dikke afzuigslang kan in veel gevallen belemmerend werken en ertoe leiden dat er helemaal niet meer met stofafzuigmiddelen wordt gewerkt. Een goed werkbaar compromis is het taps toe laten lopen van de afzuigslang van een diameter van minimaal 50 mm bij de stofzuiger tot een beter hanteerbare diameter ter hoogte van de aansluiting op het handgereedschap. Figuur 1 laat mogelijke oplossingen zien, waarbij de waarde van 28 mm aan het einde van de slang arbitrair gekozen is.



Figuur 1: mogelijke vormen van de stofafzuigslang

1. Gewenste situatie vanuit oogpunt van afzuigcapaciteit
2. Gewenste situatie vanuit oogpunt gebruiker
3. Momenteel opkomend compromis
4. Compromis met betere prestaties dan bij situatie 3.

Samengevat:

- Een grotere slangdiameter is beter dan een kleinere slangdiameter (Ø 50 mm, flow onveranderd; Ø 38 mm, flow vermindert met 25 %; Ø 19 mm, flow vermindert met 65%)
- Kortere slangen zijn beter dan langere slangen (standaard 3-5 meter)
- Een gladde binnenzijde van de slang is beter dan een ruwe/geribbelde binnenzijde

## 2.3 Filters

Een open deur: stofzuigers zuigen stof. Maar daarnaast worden ook grote hoeveelheden omgevingslucht afgezogen. Filters worden vervolgens ingezet om de afgezogen lucht te ontdoen van het stof en weer min-of-meer schoon naar buiten te blazen. De volgende filterconcepten worden voornamelijk toegepast:

- Drietrapsfiltersysteem (cycloon, fijnfilter, H/ HEPA filter)
- Enkelvoudig filtersysteem (L,M,H)
- Disposable filtersysteem (de stofzak is tevens een filterzak)

In stofzuigers worden over het algemeen drie types filters gebruikt; L voor Laag, M voor Midden en H voor Hoog. Er wordt hierbij verwezen naar het afvangrendement, ofwel de hoeveelheid stof die door het filter wordt tegengehouden t.o.v. het totale aanbod stof. Tabel 1 geeft de rendementen weer zoals vastgelegd in de IEC-norm 60335-2-69.

Tabel 1: filterclassificatie volgens EN-IEC 60335-2-69

Filterklasse	Minimaal Filterrendement*
L	99%
M	99,9%
H	99,995%

\* bij deeltjes tussen 0,1 en 5,0  $\mu\text{m}$ , waarvan 90% kleiner is dan 1,0  $\mu\text{m}$

In sommige stofzuigers wordt gebruik gemaakt van HEPA-filters. HEPA staat voor 'High Efficiency Particulate Air'. Dit type filter is een micro-filter waarbij er verschillende classificaties zijn, vastgelegd in de norm EN 1822-1. Tabel 2 geeft een overzicht. De HEPA-filters die in stofzuigers worden toegepast zijn veelal van het type H13.

Tabel 2: HEPA-filterclassificatie volgens EN 1822-1

Filterklasse	Minimaal Filterrendement*
H10	85%
H11	95%
H12	99,5%
H13	99,95%
H14	99,995%

\* bij deeltjes met een grootte tussen 0,15 en 0,30  $\mu\text{m}$

Voor alle filters geldt dat het afvangrendement toeneemt naarmate de filters meer vervuild raken. Dit is een positief effect. In de praktijk zal een licht vervuild L-filter al zeer snel gelijkwaardig zijn aan een schoon M-filter. Helaas heeft een vervuild filter een hogere weerstand dan een schoon filter en zal er, naarmate het filter meer vervuild raakt, steeds minder lucht door gaan stromen.

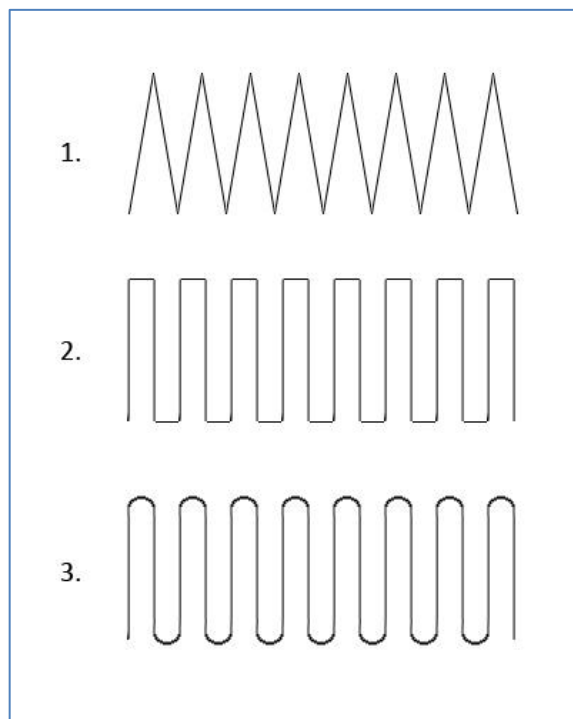
Het hardnekkige misverstand heerst dat een stofzuiger met een H-filter altijd beter presteert dan een L- of een M-filter. Op papier is het afvangrendement van een H-filter inderdaad beter.

In de praktijk blijkt met name bij het bewerken van kwartshoudend materiaal dat het juist de H-filters zijn die snel verstopt raken en daarmee de prestaties van het totale gereedschapssysteem negatief beïnvloeden.

Om verstoppingen van de filters zoveel mogelijk te voorkomen of uit te stellen kan er gebruik gemaakt worden van voorafscheiders. Dit kan filtermateriaal zijn, geïntegreerd in de stofzak, maar voorfiltering kan bijvoorbeeld ook d.m.v. cyclonen.

### 2.3.1 Vorm van het filter

De vorm van de momenteel meest voorkomende filters werkt verstoppingen in de hand. Om een zo groot mogelijk filteroppervlak te krijgen worden lamellen filtermateriaal onder een scherpe hoek gevouwen. Juist deze scherpe hoek is bij uitstek geschikt om stof mechanisch in te verankeren en bemoeilijkt het reinigingsproces. Figuur 2 laat de huidige situatie zien en twee alternatieve filtervormen die waarschijnlijk beter te reinigen zijn.



Figuur 2: vormgeving fijnfilters

1. Momenteel veel gebruikt filter met scherpe hoeken waarin stof verankert
2. Mogelijke oplossing om met hetzelfde filteroppervlak stof makkelijker los te kloppen
3. Nog een optie waarbij de scherpe hoeken helemaal verwijderd zijn

## 2.4 Filterreiniging

Het allerbelangrijkste ontwerpcriterium voor stofzuigers in het algemeen is er zorg voor te dragen dat de stoffilters niet sterk vervuilen en verstopt raken. Als dit wel gebeurt, vermindert de capaciteit van de stofzuiger sterk tijdens gebruik. In de regel geldt dat de filterreiniging voldoende vaak uitgevoerd moet worden. In de praktijk varieert 'voldoende vaak' per type stofzuiger en filtersysteem. De grotere cycloonstofzuigers kunnen bij zware bewerkingen (haakse slijper of (dubbele) sleuvenfrees in kalkzandsteen) soms wel tot maximaal 10 minuten non-stop gebruikt worden. De filters van kleine, enkelmotorige stofzuigers zullen bij dezelfde bewerking een paar keer per minuut gereinigd moeten worden om de minimale afzuigcapaciteit te kunnen blijven waarborgen.

### 2.4.1 *Handmatig reinigen versus automatisch reinigen*

Filters kunnen handmatig gereinigd worden door de gebruiker of volledig automatisch. Daarnaast bestaan er verschillende vormen van filterreiniging. In de volgende paragrafen staan de specifieke voor- en nadelen van verschillende combinaties vermeld.

#### 2.4.1.1 *Handmatige filterreiniging*

Indien de filters uitsluitend handmatig gereinigd kunnen worden, is er een aantal zaken waarmee rekening gehouden moet worden:

- Zodra stof zichtbaar vrijkomt bij het handgereedschap is dit een indicatie dat er ergens in de keten iets niet goed (meer) functioneert. Indien er geen stofzak wordt gebruikt, is de eerste verdachte een verstopt (voor)filter dat gereinigd of vervangen dient te worden.
- Schadelijk fijnstof is onzichtbaar. Ook zonder zichtbaar stof kan het noodzakelijk zijn de filters te reinigen. Een duidelijk hoorbaar akoestisch signaal zodra de luchtstroom door de slang te laag wordt en/of de drukval over het filter te groot, is hiervoor een goede indicator. Minder goed werkt alleen een brandend lampje. Dit wordt makkelijk over het hoofd gezien. Enkel een manometer zal in de praktijk eerder bij toeval op een verstopt filter wijzen dan dat hier bij elk gebruik op gelet wordt. Een combinatie van een duidelijk knipperend lampje en een luid akoestisch signaal werkt het best.
- De filterreiniging dient eenvoudig uitvoerbaar te zijn. Zodra er veel verschillende stappen doorlopen moeten worden die allemaal even kritisch zijn voor het verloop van de reiniging zal dit in de praktijk fout gaan.
- Handmatig de filters reinigen kan in sommige gevallen betekenen dat de afzuigslang losgehaald moet worden, of dat de ketel opengemaakt dient te worden. Dit zijn handelingen waarbij de kans op het vrijkomen van fijnstof vergroot aanwezig is. Vanuit dit oogpunt dient het aantal filterreinigingen juist geminimaliseerd te worden, wat onwenselijk is voor behoud van de zuigkracht.

#### 2.4.1.2 *Automatische filterreiniging*

Deze reiniging geniet de voorkeur boven handmatig reinigen om de eenvoudige reden dat de gebruiker van het handgereedschap niet meer betrokken is bij de reiniging. De gebruiker hoeft niet meer over de reiniging na te denken en kan de filterreiniging niet vergeten of negeren. Afhankelijk van het type automatische reiniging kan het voorkomen dat de zuigkracht tijdens de reiniging tijdelijk wegvalt. Als op dat moment het handgereedschap nog is ingeschakeld, zal er (kortstondig) stof vrijkomen. Het vaker uitvoeren van de filterreiniging heeft in dit geval een negatief effect op de blootstelling van de gebruiker.

Verder is het van wezenlijk belang dat de automatische filterreiniging op tijd wordt ingeschakeld. Dit kan door een vast tijdsinterval te kiezen waarop de filters gereinigd worden, of door de filterreiniging automatisch in te laten schakelen als de weerstand van het filter te hoog wordt. In de praktijk is tot nu toe alleen de eerst genoemde methode succesvol gebleken. De tweede methode heeft echter zeker



veel potentieel en kan in theorie overbodige filterreinigingen bij een (nog) niet vervuild filter voorkomen.

Ook bij stofzuigers met een automatische filterreiniging is het belangrijk dat de gebruiker gewaarschuwd wordt als de luchtstroom door de stofzuiger te laag wordt door een verstopt filter of een verstopte slang. In beide gevallen dient er een luid akoestisch signaal te klinken, gecombineerd met een duidelijk zichtbaar, liefst knipperend licht.

#### 2.4.2 *Vormen van filterreiniging*

Filterreiniging kan worden gerealiseerd door toepassing van:

- Luchtomkering of reverse pulse reiniging
- Mechanische reiniging (trilling)
- "continue" vervanging filters en of stofopvangfilters

##### 2.4.2.1 *Luchtomkering*

Bij het omkeren van de luchtstroom komt in het algemeen de stofzuiger op overdruk te staan. Fijnstof zal ontsnappen als er ook maar een heel klein luchtlek aanwezig is. De afdichting bij de aansluiting van de slang op de ketel en de koppeling tussen twee keteldelen zijn belangrijke aandachtspunten. Verder geldt dat tijdens deze vorm van reinigen de afzuigfunctie kortstondig wordt onderbroken. Als het handgereedschap in gebruik is tijdens de filterreiniging, zal er zeker stof vrijkomen. Deze vorm van filterreiniging is in de praktijk zeer regelmatig kwetsbaar gebleken en geniet niet de voorkeur.

##### 2.4.2.2 *Mechanische reiniging*

Bij deze vorm van reinigen wordt het filter kortstondig in trilling gebracht, waardoor het verzamelde stof van het filter kan vallen. Voor het beste resultaat dient er tijdens de trilling geen lucht door het filter te stromen. Om toch een onderdruk te blijven houden bij het gereedschap, kunnen er twee filters gebruikt worden die na elkaar gereinigd worden. Op deze manier kan de stofzuiger door het ene filter blijven zuigen, terwijl het andere filter gereinigd wordt en vice versa. Mits goed toegepast (voldoende hoge frequentie van de reiniging, voldoende lange duur van de reiniging, afsluiting van de luchtstroom door het te reinigen filter) presteert deze vorm van filterreiniging vele malen beter

##### 2.4.2.3 *"continue" vervanging filters*

Alleen indien de zak waarin het stof wordt opgevangen voorzien is van een filterende laag, is er sprake van een filterzak. Als er geen speciale, extra filterende laag aanwezig is, spreken we van een stofzak. Filterzakken hebben als voordeel dat bij het vervangen van een volle zak ook meteen het meest belaste deel van het filtersysteem vervangen wordt. Eventuele nafilts hoeven veel minder vaak gereinigd te worden en de stofzuiger behoudt zijn initiële afzuigcapaciteit langer. Een nadeel van filterzakken is dat deze verbruiksproducten ten opzichte van reguliere stofzakken over het algemeen duurder in aanschaf zijn.

Samengevat:

- In een aantal ongunstige situaties zorgt veelvuldig reinigen van filters voor een verhoogde blootstelling aan schadelijk fijnstof.
- Automatische reiniging verdient de voorkeur boven handmatige reiniging
- Reiniging door mechanische trilling verdient de voorkeur boven luchtomkering
- Te allen tijde dient de zuigkracht behouden te blijven als het handgereedschap aanstaat. Door minimaal twee filters te gebruiken en deze afzonderlijk te reinigen kan dit verwezenlijkt worden.

## 2.5 Stofopvang

Er is een aantal mogelijkheden om afgezogen stof in de stofzuiger op te vangen:

- "Open" container
- "Open" plastic zak
- Gesloten papieren zak
- Gesloten textiele vlieszak
- Gesloten kunststof zak

De "open" systemen hebben als nadeel dat de filtersystemen niet beschermd zijn en zeer snel vervuilen. Bij bewerkingen met een groot stofaanbod zullen stofzuigers uitsluitend bij een zeer goed functionerend filterreinigingssysteem in staat zijn om zonder stofzak langer dan een paar minuten te blijven werken. De huidige generatie gesloten papieren en textiele stofzakken vervuilen tijdens gebruik en veroorzaken daarmee een vermindering van de effectieve afzuigcapaciteit van de stofzuiger. Een voordeel is uiteraard de verminderde stofbelasting voor de achterliggende L-, M- of H-filters. Bij de verwijdering van de stofzakken is de blootstelling aan schadelijk stof nihil, dit in tegenstelling tot open systemen. Om deze reden gaat de voorkeur nog steeds uit naar het gebruik van een stofzak, waarbij de grootste uitdaging momenteel het ontwikkelen van een stofzak is, die in staat is om de achterliggende fijnfilters langer dan een paar minuten te beschermen en tegelijkertijd niet zelf dicht te slibben.

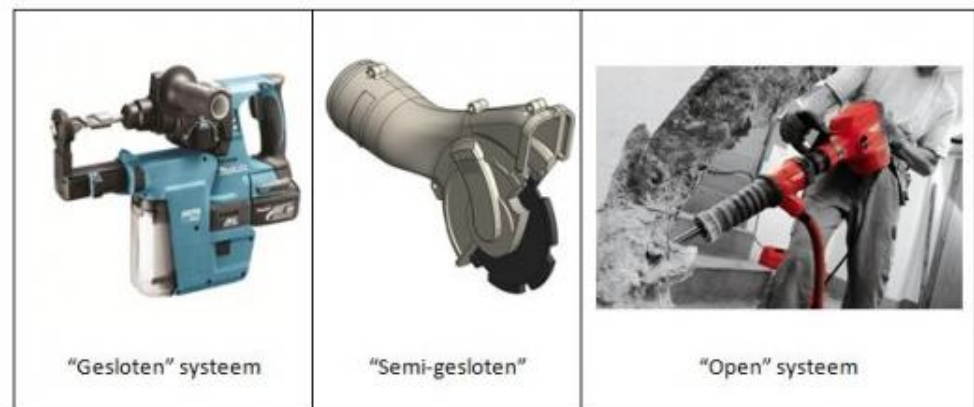
Een open, plastic stofzak heeft als enige toegevoegde waarde dat bij een volle stofzuiger het opgevangen stof in één keer uit de ketel verwijderd kan worden en daarmee weer een min of meer schone ketel oplevert. De filters van de stofzuiger zullen even zwaar belast worden als wanneer er geen stofzak wordt gebruikt. Verder zal bij het openen van de stofzuiger nog steeds aanzienlijk stof vrijkomen.

## 2.6 Compartimentering

Het gebruik van stofzuigers en compartimentering zijn communicerende vaten. Bij een volledige compartimentering van de stofbron kan het stof niet verspreiden naar de directe werkomgeving. Bij een onvolledige compartimentering kan het stof

verspreiden naar de werkomgeving. De mate van compartimentering stelt andere eisen aan de afzuigcapaciteit van stofzuigers.

In figuur 3 zijn voorbeelden gegeven van "gesloten systemen", "semi-gesloten systemen" en "open" systemen.



Figuur 3: verschillende vormen van compartimentering

- Het gesloten systeem is volledig gecompartmenteerd rondom de stofbron.
- Bij de afzuigkap voor een haakse slijper is sprake van een eenduidige verspreidingsrichting van het stof en een daarop aangepaste, gedeeltelijke omsluiting van de stofbron.
- Bij de hakhamer is er een aanzienlijke afstand tussen bron en afzuigslang.

De keuze van een stofzuiger is mede afhankelijk van de mate van compartimentering. De blauwe boorhamer functioneert stofvrij bij een afzuigcapaciteit van circa 20 m<sup>3</sup>/uur. De haakse slijper met afzuigkap werkt stofvrij bij een capaciteit van 200 m<sup>3</sup>/uur. De getoonde hakhamer werkt stofvrij bij gebruik van een stofzuiger met een capaciteit van meer dan 250 m<sup>3</sup>/uur.

Samengevat:

- Het totale systeem (gereedschap, afzuigmodule, stofzuiger) is bepalend voor de uiteindelijke blootstelling aan stof in de ademzone van de werknemer.
- Hoe beter de compartimentering, des te lager zijn de eisen die aan de stofzuiger gesteld hoeven te worden.

## A Valkuilen

**Voorkeur: Een zo klein en licht mogelijke stofzuiger**

Valkuil 1: Het filteroppervlak te klein maken om te kunnen omgaan met de aangeboden hoeveelheid stof.

Valkuil 2: De motor niet krachtig genoeg maken om een voldoende hoge basisafzuigcapaciteit te bewerkstelligen.

Valkuil 3: Een te kleine ketel toepassen om naast de motor en het filtersysteem nog voldoende ruimte te bieden voor het daadwerkelijk afgezogen stof.

**Voorkeur: Een stofzuiger met een zeer hoge afzuigcapaciteit**

Valkuil 1: De hoge afzuigcapaciteit om zeep helpen door een veel te dunne afzuigslang te gebruiken.

Valkuil 2: Een afzuigslang met grote diameter gebruiken en deze vervolgens met koppelingen op de stofzuiger en/of de afzuigmodule afknippen tot een fractie van de oorspronkelijke diameter waardoor de capaciteit flink wordt verlaagd.

**Voorkeur: Gebruik van stofzakken om afgezogen stof in op te vangen. Dit beschermt de filters en verlaagt de blootstelling bij het legen van de stofzuiger**

Valkuil: Een snel dichtslibbende stofzak die de capaciteit van de stofzuiger tot onacceptabel lage waardes doet afnemen.

**Voorkeur: De gebruiker waarschuwen wanneer de afzuigcapaciteit te laag is**

Valkuil: Een slecht zichtbare manometer gebruiken, enkel een lampje laten branden of het akoestisch alarm het geluid van het gereedschapssysteem niet laten overstemmen.

**Voorkeur: Een zeer goed functionerend filterreinigingssysteem**

Valkuil 1: De verantwoordelijkheid voor de reiniging leggen bij de gebruiker (handmatig reinigen).

Valkuil 2: De reiniging erg ingewikkeld maken (veel individuele handelingen), waardoor er in de praktijk verkeerd gereinigd wordt.

**Voorkeur: Regelmatig filters reinigen om verstopping te voorkomen**

Valkuil 1: Filterreiniging door luchtomkering waarbij (onzichtbaar) fijnstof uit de stofzuiger en/of afzuigmodule wordt geblazen.

Valkuil 2: Filterreiniging waarbij de afzuiging onderbroken wordt terwijl het gereedschap nog aan staat.

**Voorkeur: Automatische filterreiniging die pas ingrijpt als het filter vervuild is (de weerstand over het filter te groot wordt)**

Valkuil: De weerstand niet goed meten of te hoog instellen, waardoor de filterreiniging niet of te laat ingrijpt.

**Voorkeur: Geen stof zien vrijkomen bij bewerkingen**

Valkuil: Als er zichtbaar stof vrijkomt, komt er bijna altijd ook onzichtbaar, schadelijk fijnstof vrij. Als er geen stof zichtbaar is, wil dat niet zeggen dat er geen schadelijk fijnstof vrijkomt.