

## 8 Conditionering

Onder conditionering verstaat men het in conditie houden van de hydraulische vloeistof en daarmee van het systeem zodat de installatie bedrijfszeker en volgens de opgegeven specificaties kan functioneren.

### 8.1 Filtratie

Uit onderzoek blijkt dat minimaal 75% van storingen in een hydraulisch systeem met het reinheidsniveau van de olie te maken heeft. Deze bewustwording heeft er bij veel machinebouwers toe geleid dat er meer aandacht is voor de juiste filterkeuze, maar ook voor het voorkomen van vuil in het systeem tijdens het bouwen van het systeem door eisen te stellen aan de reinheid van toegeleverde componenten en door het systeem te spoelen voor opstarten.

Tevens is er een toename van de werkdruk in hydraulische systemen waarbij 350 tot 800 bar geen uitzonderingen meer zijn. Door deze toename worden de toleranties van bewegende onderdelen in hydraulische componenten, bijvoorbeeld plunjers in schuiven en pompen, ook kleiner. In tabel 8.1 staat van een groot aantal hydraulische componenten de dynamische speling weergegeven. In  $\mu\text{m}$  (1  $\mu\text{m}$  ofwel 1 micrometer=0,001 mm).

Component	Specifiek	Dynamische speling
Kleppen/schuiven	servo	1-4 $\mu\text{m}$
	proportioneel	1-6 $\mu\text{m}$
	zwart/wit	2-8 $\mu\text{m}$
Regelbare plunjerpomp	boring $\Leftrightarrow$ plunjer	5-40 $\mu\text{m}$
	poortenplaat $\Leftrightarrow$ cilinderblok	0,5-5 $\mu\text{m}$
Schottenpomp	schottip $\Leftrightarrow$ stator	0,5-1 $\mu\text{m}$
	axiaal schot $\Leftrightarrow$ huis	5-13 $\mu\text{m}$
Tandwielpomp	radiaal: tandkop $\Leftrightarrow$ huis	0,5-5 $\mu\text{m}$
	axiaal: tand $\Leftrightarrow$ lagerbril	0,5-5 $\mu\text{m}$
Kogellagers	smeerfilmdikte	0,1-0,7 $\mu\text{m}$
Tonlagers	smeerfilmdikte	0,1-1 $\mu\text{m}$
Glijlagers	smeerfilmdikte	0,5-100 $\mu\text{m}$
Afdichtingen	afdichting $\Leftrightarrow$ as	0,05-0,5 $\mu\text{m}$
Tandwielen	tandspeling	0,1-1 $\mu\text{m}$

Tabel 8.1: Dynamische speling

### 8.1.1 Effecten van vuil in olie

Het kritische gebied voor vuilgrootte in olie ligt van 0,2 tot 100  $\mu\text{m}$ . Ter vergelijking: een deeltje van 40  $\mu\text{m}$  is zichtbaar voor het menselijk oog, een menselijke haar heeft een diameter van 75  $\mu\text{m}$ .

De effecten van vuil in olie kunnen worden ingedeeld in vijf groepen:

- **abrasieve slijtage:** vuildeeltjes zijn groter dan de kleinste spleetgrootte en veroorzaken een schurende/vretende werking tussen bewegende delen met nauwkeurige toleranties;
- **adhesieve slijtage:** vuildeeltjes kleiner dan de kleinste spleetgrootte polijsten de loopoppervlakken van bewegende delen. Door het polijsten worden de loopoppervlakken aangetast en gaan vreten of lassen als er geen smeerfilm is of de metalen oppervlakken door hoge belasting direct contact maken;
- **erosieve slijtage:** bij grote drukval en dus hoge stroomsnelheden, veroorzaakt een olie met vuildeeltjes een eroderende werking op metalen oppervlakten. Metalen delen verliezen toleranties en vorm;
- **puntbelasting:** vuildeeltjes tussen twee oppervlakten veroorzaken puntbelasting en kunnen anderen deeltjes doen uitbreken;
- **verkleving:** bij zeer lage stroomsnelheden of bij lang niet bedienen van stuurschuiven kan vuil zich gaan ophopen tussen de spleet van bewegende delen zoals plunjers. Hierdoor kunnen de bewegende delen verkleven.

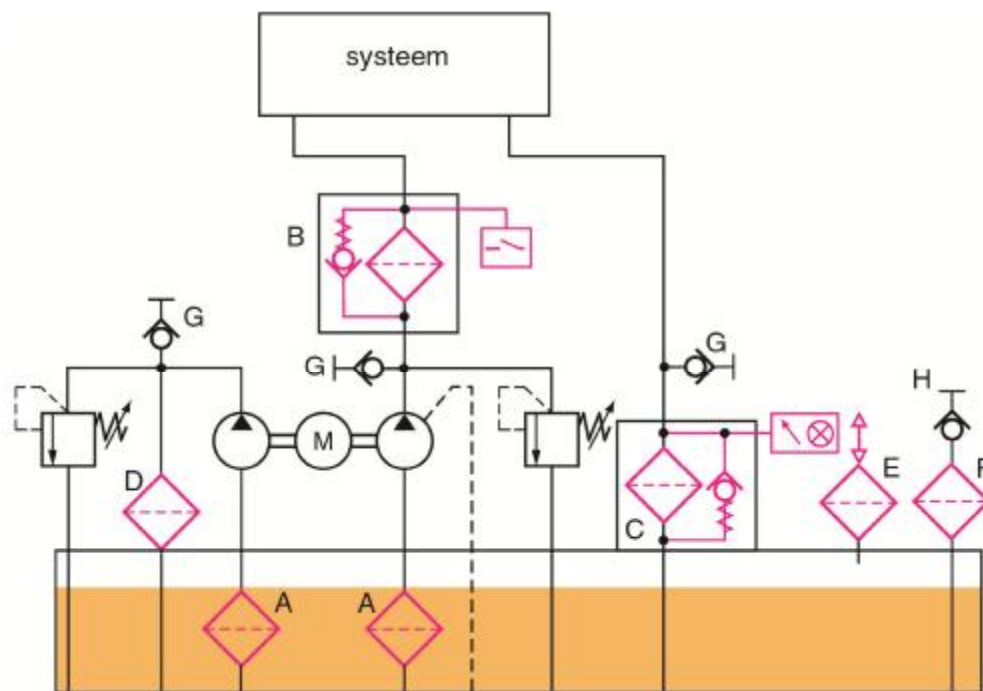
### 8.1.2 Bronnen van vervuiling

Vervuiling in een hydraulisch systeem kan gerelateerd zijn aan een groot aantal oorzaken. Zoals boven genoemd is het rein samenbouwen van het systeem een noodzakelijk uitgangspunt. Tijdens gebruik zien we vervuiling optreden door reparatie van een systeem, slijtage van componenten in het systeem, inbreng van vuil van buiten af door onder andere snelkoppelingen, aanzuigen van vervuilde lucht via het reservoir of lekke zuigleiding en inbreng van vuil via cilinderstangen of bijvullen met vervuilde olie.

### 8.1.3 Hydraulische filters

Om de hierboven beschreven effecten van vuil in een systeem te voorkomen, worden filters toegepast. Het hart van het filter wordt gevormd door het filtermedium. Het filtermedium vormt de barrière voor vuil en hiermee de scheiding tussen vuile en schone olie. De vuile olie stroomt door het filtermedium, het vuil blijft steken in de poriën van het medium en de schone olie verlaat het filter. Het medium kan opgebouwd zijn uit fijnmazig gaas, cellulose, glasvezel of kunststof. De keuze van het type medium is afhankelijk van gewenste reinheid, vuilvangcapaciteit, drukval en chemische bestendigheid.

### 8.1.4 Soorten filters



**Afb.8.1 Filterconfiguraties**

Een hydraulische installatie kan op verschillende manieren worden voorzien van filters om de reinheid van het systeem te verbeteren. Afbeelding 8.1 geeft de meest voorkomende oplossingen weer.

#### *A. Zuigfilter*

Zuigfilters dienen alleen als grof voorfilter met een filtergrootte van 150-200  $\mu\text{m}$ . Een belangrijk nadeel van deze filters is dat bij een vervuild filterelement of bij een hoge viscositeit, de drukval over het filter hoog is waardoor de onderdruk in de zuigleiding van de pomp toeneemt. Daardoor neemt de kans op cavitatie van de pomp toe. Veelal wordt het zuigfilter weggelaten en wordt de olie in het reservoir door het systeemfilter op het juiste reinheidsniveau gehouden.

#### *B. Persfilter*

Het persfilter dient om het systeem na het filter te beschermen. Dit kan van belang zijn bij onder andere servosystemen, systemen met leidingwerk met grote diameter en/of systemen die bij eventuele stilstand een groot economisch effect op de bedrijfsvoering hebben. In zo'n situatie kunnen filterfijnheden van 2-20  $\mu\text{m}$  worden toegepast. Hierbij moet wel rekening worden gehouden dat de bypass klep opent bij een vervuild element en/of bij

het opstarten met koude olie. Indien men dit wil voorkomen kan men een zogenaamd 'high strength element' kiezen die de volledige werkdruk in het systeem aankan. Dit is onder andere gebruikelijk bij systemen met servokleppen

#### *C. Retourfilter*

Het retourfilter zit meestal op of in het oliereservoir. Het zorgt er voor dat de olie met de juiste reinheidsgraad terugkomt in het reservoir. In het ontwerp moet goed rekening worden gehouden met de maximale vloeistofstroom die naar het reservoir gaat. Zo zal bij een aandrijving met een differentiaalcilinder, tijdens de ingaande slag een verhoogde volumestroom ontstaan als gevolg van de oppervlakteverhouding tussen zuiger- en stangzijde.

#### *D. Bypassfilter*

Het bypassfilter conditioneert de olie in het reservoir door continu een kleine constante flow door een filter te sturen. De systeemflow gaat dus niet door dit filter. Om dit filter van olie te voorzien is of een stroomregelklep of een extra pomp nodig met een lage opbrengst. Door de olie continu over het bypass filter met een vaak kleine filtratie grootte van circa 3 tot 10  $\mu\text{m}$  te sturen kan de reinheid van het systeem vaak drastisch worden verbeterd.

#### *E. Luchtfilters*

Een vaak ondergewaardeerd filter is het luchtfilter, ook wel beluchter of breather genoemd. Het luchtfilter zorgt ervoor dat lucht die in het reservoir gezogen wordt bij verlagen van het olieniveau schoon is. Zeker in sterk vervuilde omgeving (stof) kan door naar binnen gezogen lucht veel vuil in het hydraulische systeem terecht komen. Optioneel kan een beluchter met overdrukklep worden geplaatst waardoor in het reservoir een overdruk heerst die het nog beter beschermt tegen extern vuil. Ook vermindert een beluchter, die het reservoir op voorspanning houdt, de kans op cavitatie van de pomp.

Luchtfilters kunnen tevens worden voorzien van absorptie materiaal waarmee water uit de binnenkomende lucht kan worden gehaald.

#### *F. Vulfilters*

Filter dat toegepast wordt om nieuwe olie die in het systeem gebracht wordt tijdens het vullen te filtreren.

#### *G. Meet- en/of bemonsteringskoppeling*

Deze minimess snelkoppelingen kunnen worden gebruikt als meetpunt of als bemonsteringspunt om een oliemonster te trekken.

#### *H. Snelkoppeling voor het vullen van het reservoir*

Door bij het vullen van het reservoir in plaats van een afschroefbare tankdop een snelkoppeling te gebruiken, wordt een belangrijke oorzaak van vervuiling voorkomen.

#### **8.1.5 Ontwerpaspecten**

Bij de keuze van een filter zijn de volgende onderwerpen van belang:

- gewenste oliereinheid en daarmee de filter fijnheid in  $\mu\text{m}$ ;
- gewenste standtijd van het filter en daarmee de **Dirt Hold Capacity** (DHC ofwel vuilvangcapaciteit) in gram van het filter;
- operationele druk voor het filter;
- toelaatbare verschildruk over het filter (=energievernietiging);
- de maximaal optredende volumestroom (let op retour olie uit cilinders);
- de optredende viscositeit(en). Denk aan opstartconditie en bedrijfsconditie;
- mogelijkheden voor inbouw;
- bypass nodig of niet nodig;
- vervuilingsindicatie, optisch, elektrisch of combinatie hiervan;
- gebruikte type olie (norm kunnen niet alle gebruikte materialen (plastics, metalen en lijnsoorten) in hydraulische filters tegen alle oliën (bv Skydrol).

#### **8.1.6 Filterfijnheid**

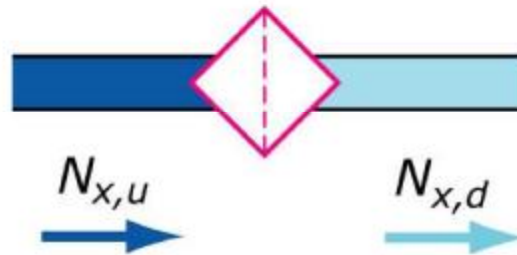
Het vermogen van een filter om vuildeeltjes uit de olie te halen wordt de filterfijnheid van het filter genoemd. Een veel voorkomende denkfout is dat een filter **alle** deeltjes van een opgegeven filterfijnheid uit de olie haalt. Een filter is geen theezeeffe! Voorbeeld: een 10  $\mu\text{m}$  filter haalt niet alle deeltjes van 10  $\mu\text{m}$  en groter uit de olie. In werkelijkheid laat het filter van de aangeboden 10  $\mu\text{m}$  deeltjes nog een klein gedeelte door. Dit komt tot uitdrukking in de  $\beta$ -ratio, een aanduiding om de prestaties van het filter vast te leggen.

#### **8.1.7 Vuilvangvermogen of –capaciteit van een filterelement**

Het vuilvangvermogen is evenredig met de hoeveelheid vuil die het filterelement tegenhoudt (opneemt) tot een bepaalde drukverschil over het filter wordt bereikt.

#### **8.1.8 $\beta$ -ratio van een filterelement**

De bèta-ratio of bèta-verhouding drukt de prestatie van een filter uit en geeft de verhouding tussen het aantal deeltjes vanaf een bepaalde grootte voor het filter ('upstream') en het aantal deeltjes vanaf dezelfde grootte na het filter ('downstream').



Afb.8.2 Bepalen van de  $\beta$ -ratio

$\beta$ -ratio: 
$$\beta_x = \frac{N_{x,u}}{N_{x,d}} = \frac{\text{aantal vuildeeltjes} > x \mu\text{m} (c) \text{ voor het filter}}{\text{aantal vuildeeltjes} > x \mu\text{m} (c) \text{ na het filter}}$$

- $N_{x,u}$  = aantal deeltjes per ml  $> x \mu\text{m}(c)$  voor het filter (ml)<sup>-1</sup>  
 (= upstream)  
 $N_{x,d}$  = aantal deeltjes  $> x \mu\text{m}(c)$  na het filter (ml)<sup>-1</sup>  
 (= downstream)  
 $\beta_x$  =  $\beta$ -ratio voor deeltjes  $> x \mu\text{m}(c)$  -

De afkorting ' $\mu\text{m}(c)$ ' markeert de nieuwe gestandaardiseerde deeltjesgroottes, waarbij (c) staat voor de 'calibration' volgens ISO 11171.

Voorbeeld:

Een filter met een  $\beta_{10} = 201$  betekent dat het filterelement bijvoorbeeld 12.468 deeltjes  $> 10 \mu\text{m}(c)$  voor het filter krijgt aangeboden en het 62 deeltjes  $> 10 \mu\text{m}(c)$  doorlaat:

$$\beta_{10} = \frac{N_{x,u}}{N_{x,d}} = \frac{12.468}{62} = 201$$

De Beta-Ratio van filters verwijst naar de ratio van de aantallen deeltjes aanwezig in upstream en downstream (afbeelding 8.3). Des te hoger de  $\beta$ -waarde voor  $x \mu\text{m}(c)$ , des te beter presteert het filter om deeltjes vanaf  $x \mu\text{m}(c)$  af te vangen.

### 8.1.9 Het rendement van een filterelement

Het rendement of de efficiency van het filter wordt uit de  $\beta$ -ratio berekend:

$$\eta_x = \frac{N_{x,u} - N_{x,d}}{N_{x,u}} \cdot 100\% = \frac{\beta_x - 1}{\beta_x} \cdot 100\%$$

$N_{x,u}$	=	aantal deeltjes > x $\mu\text{m(c)}$ voor het filter (= upstream)	$(\text{ml})^{-1}$
$N_{x,d}$	=	aantal deeltjes > x $\mu\text{m(c)}$ na het filter (= downstream)	$(\text{ml})^{-1}$
$\beta_x$	=	$\beta$ -ratio voor deeltjes > x $\mu\text{m(c)}$	-
$\eta_x$	=	Rendement voor deeltjes > x $\mu\text{m(c)}$	-

Voorbeeld met  $\beta_{10} = 201$ :

$$\eta_{10} = \frac{201-1}{200} \cdot 100\% = 99,5\%$$

Het filter heeft dus een rendement van 99,5 % voor deeltjes > 10  $\mu\text{m(c)}$ .

### 8.1.10 Multi-pass test

Deze teststand bepaalt drie filterkarakteristieken: het vuilvangvermogen, de  $\beta$ -ratio en het rendement.

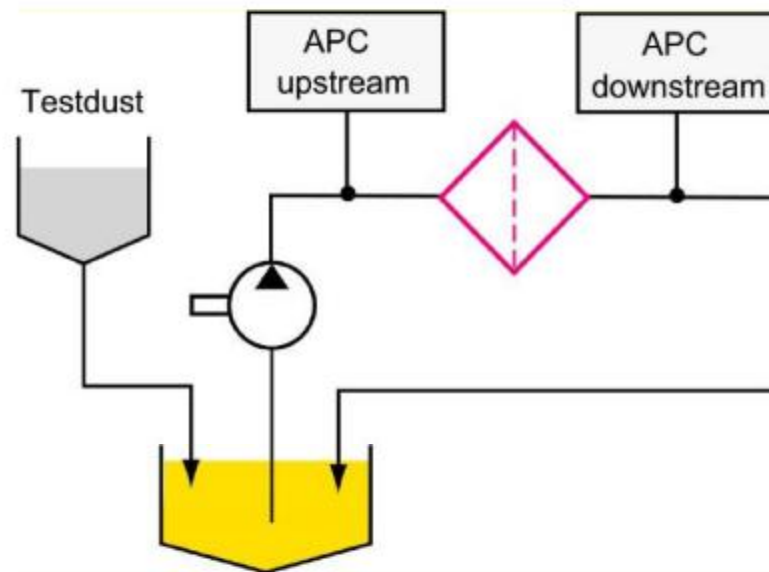
De  $\beta$ -ratio van een filter wordt bepaald door middel van de "Multi-pass Filter Test", gestandaardiseerd door ISO 16889:1999 en wordt door filterproducenten uitgevoerd door gebruik te maken van automatische deeltjestellers (**Automatic Partical Counter**).

Tijdens de Multi-pass test (ISO 16899) wordt olie met een uniforme constante vervuiling (bijvoorbeeld met de teststof ISO MTD, Medium Test Dust) continu door het geteste filter gepompt.

Automatische deeltjestellers<sup>1</sup> (APC's) worden gebruikt om de deeltjes simultaan voor en na het filter te tellen als functie van de deeltjesgrootte.

---

<sup>1</sup> In de filter teststanden voor hydraulische filters worden alleen deeltjestellers toegepast met sensoren van het volumetrische type. In Situ sensoren zijn hier niet geschikt voor (zie 'deeltjestellers').



**Afb.8.3 Filter op de teststand van de Multi-pass test**

In tegenstelling tot de Single Pass Filter Test circuleert de vloeistof continu door de teststand van de Multipass Filter Test. Een constant vuilvolume wordt permanent gevoed in het testcircuit (afbeelding 8.3). Dit vuilvolume wordt gedeeltelijk door de geteste filter tegen gehouden; de overgebleven hoeveelheid loopt opnieuw door het circuit en wordt bij de volgende circulatie aan het filter blootgesteld. De Multipass Filter Test wordt uitgevoerd tot een bepaalde verschildruk is bereikt.



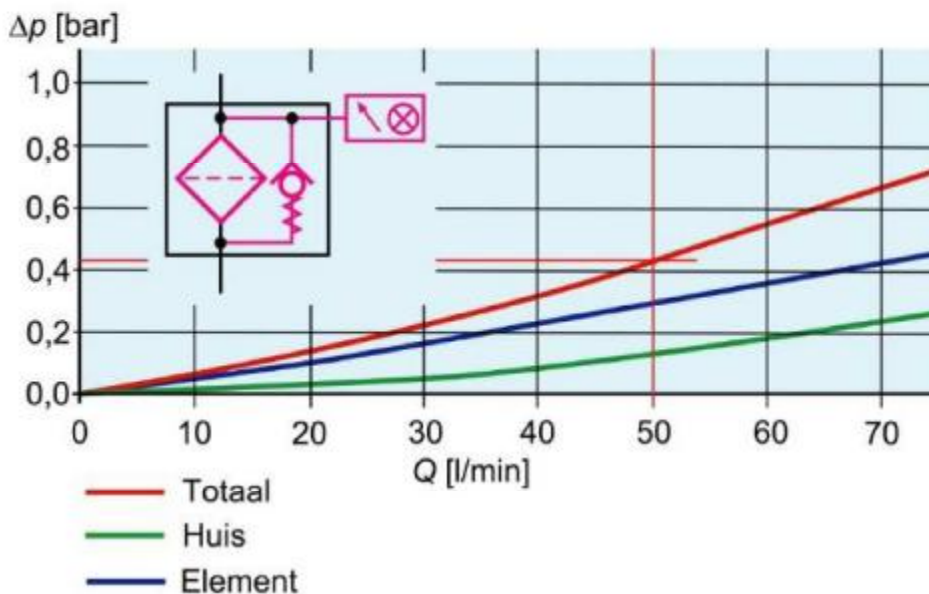
### 8.1.11 Drukval

Filterfabrikanten verschaffen vaak informatie met betrekking tot drukval van een bepaald type filter (afbeelding 8.4). Deze drukval kan worden opgesplitst in een drukval over de lege filterbehuizing en een drukval over het filterelement. Deze drukval geldt voor de gespecificeerde viscositeit (bijvoorbeeld 30 cSt), volumestroom en voor een **schoon** filter element.

Direct in relatie met de optredende drukval staat de bypass functie van het filter. Als het filterelement sterk vervuild raakt en hiermee de drukval over het filterelement toeneemt, wordt op een gegeven moment de bypass klep geactiveerd. Door het openen van de bypass klep wordt het filterelement beschermd tegen een te hoge drukval zodat het element niet scheurt of barst. Om voortijdig te waarschuwen dat de drukval over het filter toeneemt en daarmee bypass klep opengaat (immers er wordt dan geen olie gefilterd), wordt er op het filterhuis een indicator geplaatst. De indicator geeft ruim voor het bereiken van de maximale drukval een signaal zodat het element vervangen kan worden.

Direct in relatie met het openen van de bypass klep staat het opstarten van het hydraulische systeem bij lage temperaturen. Doordat de viscositeit van de olie bij lage temperaturen significant hoger kan zijn dan bij bedrijfstemperatuur, kan bij opstarten de bypass klep open gaan (= tijdelijk geen filtratie). Een juiste keuze van filtergrootte en/of bypass waarde kunnen dit voorkomen. Let er op dat de drukval vóór het filterhuis en ook vóór het beoogde filterelement wordt geanalyseerd.

Afbeelding 8.4 geeft als voorbeeld de drukval over een retour-filter voor een maximale volumestroom van 50 l/min bij een viscositeit van 30 cSt.



Afb.8.4 Drukval over een retour-filter

### 8.1.12 Vervuiling in hydraulisch systemen

De verhoudingen tussen vuil, slijtage en filtratie in het algemeen is zeer complex en nog niet geheel bekend, zodat optimaal filteren vaak alleen gebaseerd wordt op ervaring en afhankelijk is van een goede communicatie tussen de systeembouwer en de filterproducent.

De constructeur/leverancier geeft op hoeveel de maximale vervuilingsgraad van een systeem mag bedragen om een goede werking te garanderen. De maximale vervuilingsgraad wordt bepaald door de laagste toegestane waarde afkomstig van de zwakste schakel in het systeem.

De soorten en bronnen van vervuiling in hydraulische systemen kunnen zeer verschillend zijn.

Tabel 8.2 geeft een overzicht van de soorten verontreiniging en oorzaken die voorkomen in hydraulische vloeistoffen.

	Soort	Oorzaken
Deeltje	metaalsplinters, schilfers, stof, zand, abrasieve materialen	productie, montage opslag, montage, onderhoud slijtage
Vloeistof	water vreemde vloeistoffen	opslag, onderhoud systeem samenbouw, onderhoud
Moleculair	modder, verf, zuren metaalionen zuurstof	veroudering wrijving, slijtage opgeloste lucht

**Tabel 8.2 Verontreinigingen in hydraulische systemen: soorten en oorzaken**

De tabel vermeldt de vervuiling door vaste deeltjes. Een groot deel van deze vaste vervuiling wordt bereikt voor inbedrijfstelling en tijdens onderhoudswerkzaamheden.

Hoewel fabrikanten van hydraulische componenten soms erg veel energie investeren in het schoonmaken van hun componenten, is het nog steeds onvermijdelijk dat metaalsplinters, gieterijzand of andere deeltjes achterblijven in de gedeeltelijk zeer complexe binnen contouren van deze

componenten. Alleen tijdens de werking van het systeem zullen ze na verloop van tijd door de hydraulische vloeistof worden uitgespoeld. **Belangrijk** is dat deze deeltjes in staat zijn door slijtagewerking opnieuw vuildeeltjes aan te maken, welke op hun beurt de vloeistof verontreinigen. **Met het zondermeer (bij)vullen van een systeem met nieuw geleverde vloeistof wordt een substantiële vervuiling ingebracht. Nieuwe vloeistof moet voor het (bij)vullen van het systeem worden gefilterd!**

### **8.1.13 Deeltjestelling**

**Deeltjestelling** is het tellen van het individueel aantal deeltjes van een bepaalde grootte in die vloeistof. Het is een kwantitatieve analyse, namelijk een concentratiemeting, waarbij het resultaat in eerste instantie wordt weergegeven als het aantal deeltjes in relatie tot deeltjesgrootte, per volume eenheid.

Dit resultaat wordt vaak via een tabel omgezet in vervuilingssklassen (normafhankelijk).

Net zoals de samenstelling van het bloed bij een mens of dier een indicatie is voor de gezondheid, is de kwaliteit van de olie een graadmeter voor de conditie van een hydraulische installatie.

**Deeltjestelling** is hier vergelijkbaar met 'het meten van de lichaamstemperatuur' en geeft een eerste snelle indicatie over de 'gezondheid' van het systeem.

Als deeltjestelling aangeeft dat de vervuiling binnen de toegelaten limieten valt, dan is de installatie 'gezond'. Filters doen hun werk, de vloeistof voldoet aan de vereiste reinheidsklasse. Een 'zieke' installatie vertoont een verhoogde vervuilingsgraad (hogere vervuilingssklasse). Dit kan deels doordat er meer deeltjes werden geteld bijvoorbeeld afkomstig van een beschadigd component of doordat andere parameters het deeltjestellen beïnvloeden, bijvoorbeeld de aanwezigheid van vrij water.

Indien een stijging wordt waargenomen en toegestane waarden worden overschreden, neemt men een monster voor verdere kwalitatieve analyse in een daar op afgestemd olie analyse laboratorium.

Hier worden specifieke analyses uitgevoerd naar de kwaliteit van de olie, zoals:

- viscositeit;
- additieven;
- zuurgetal (TAN);
- watergehalte;
- aanwezigheid diverse metalen of kunststoffen (bijvoorbeeld membraanalyses);
- eventueel alsnog deeltjestelling.

Daarnaast geeft deeltjestelling informatie over de filterwerking, uitgevoerd onderhoud en systeem spoeling, bevestigt het materiaal slijtage, bepaalt het de werkingstijd van by-pass filtratie, reinheid van nieuw bij te vullen olie en geeft het inzicht in de conditie van lagers en/of problemen met cavitatie.

#### **8.1.14 Methoden van deeltjestelling**

Deeltjestellingen worden uitgevoerd door microscopie of via deeltjestellers, de zogenaamde APC's (Automatic Particle Counters)

##### Microscopie (ISO 4407)

Hierbij wordt een oliemonster van 100 ml met vacuüm door een membraan getrokken. De vuildeeltjes blijven achter op het membraan.

Met behulp van een microscoop wordt een bepaalde sectie van het membraan manueel geteld als functie van bepaalde deeltjesgrootte en het resultaat wordt vermenigvuldigd met een factor om het te herleiden naar het volledige membraanoppervlak, met andere woorden naar het aanvankelijke 100 ml monster.

##### Automatische deeltjesteller 'APC'

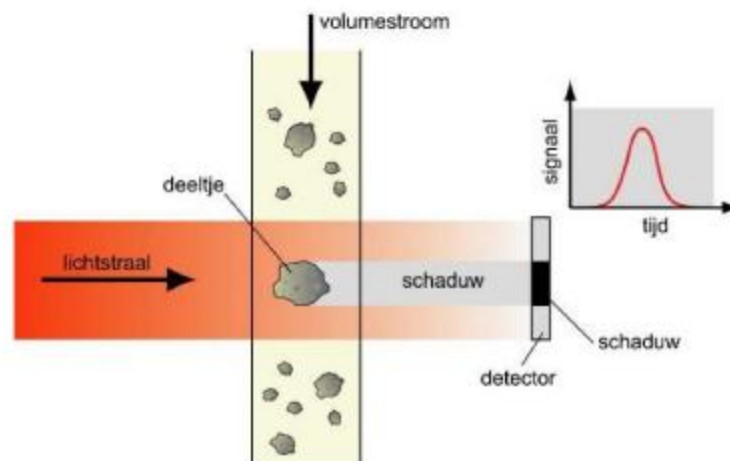
Automatische deeltjestellers (Automatic Particle Counter of APC) maken gebruik van de optische technologie 'lichtblokkade' ('light extinction' of light obscuration'), zoals beschreven in ISO 4406.

Hierbij wordt een laserstraal door de meetcel van de sensor gestuurd en geprojecteerd op een fotodiode (detector). Door de meetcel stroomt de te meten vloeistof haaks op de lichtstraal (afbeelding 8.5).

Indien er geen deeltjes zijn, zal de fotodiode een continu mV-sigitaal uitsturen.

Komt er een deeltje door de meetcel, dan zal dit een schaduw projecteren op de fotodetector wat een spanningswijziging veroorzaakt. Hoe groter het deeltje, hoe groter de schaduw, hoe hoger de mV-piek die de fotodetector verlaat. De grootte van deze spanningsverandering is een maat voor de grootte van het gedetecteerde deeltje.

Door gebruik te maken van een hoogwaardige deeltjesteller, kan het aantal getelde deeltjes per volume-eenheid worden uitgedrukt als functie van hun grootte.



**Afb.8.5 Het lichtblokkade principe (bron: PAMAS)**

Een deeltjesteller is dus samengesteld uit een sensor met een bepaald type meetcel, een counter die alle pulsen analyseert en vertaalt naar aantallen en groottes, eventueel een pomp, software en communicatie voor dataverwerking.

#### Pore blockage (ISO 21018-3)

Volledigheidshalve moeten deze systemen hierbij vermeld worden omdat ze vaak ten onrechte als "particle counter" worden voorgesteld.

Bij de "pore blockage" methode passeert een volume olie een zeefje van vaak 10  $\mu\text{m}$ . Twee types zijn te onderscheiden:

Een eerste type meet bij constant gehouden drukverschil de afname in volumestroom door het membraan als gevolg van eerst grote en later kleine deeltjes, die het membraan geleidelijk verstoppen.

Een tweede type meet de toename van het drukverschil over de zeef bij constante volumestroom.

Beide systemen gebruiken software algoritmes om tot vervuilingklassen te komen.

#### Wat te gebruiken?

Bij pore blockage systemen wordt het meetsignaal gevormd door de gehele deeltjespopulatie en niet door hun individuele deeltjes. Ook al hebben ze meer dan één zeef aan boord, ze zijn per definitie geen deeltjestellers.

Ze kunnen in extreme omstandigheden (water-olie emulsies, donkere olie) de gebruiker een indicatie geven van de reinheid die door andere technieken dan soms wat moeilijker te meten is.

Microscopie is de oudste methodiek. Naast het feit dat hier veel ervaring voor nodig is, blijft het opletten voor de invloed van de menselijke factor op

het eindresultaat, zowel wat betreft het manueel tellen als het interpreteren van deeltjesaantallen en -groottes. Er bestaat ook computergestuurde microscopie, waarbij het succes deels afhangt van de kwaliteit van de software.

Ook tijdens de productie en gebruik van het membraan, kan het monster gecontamineerd worden ('cross contamination'). Microscopie is alleen offline in te zetten.

Automatische deeltjestellers komen daarentegen snel tot reproduceerbare resultaten, zowel offline als online.

### **8.1.15 Offline of online deeltjestelling**

In de brede waaier van bestaande deeltjestellers maakt men het volgende onderscheid:

- mobiele deeltjesteller: ontwikkeld voor metingen 'te velde'; kunnen vaak gebruikt worden voor metingen uit een monsterflesje alsook voor online;
- laboratorium deeltjestellers: zijn de ideale instrumenten voor metingen uit monsterflesjes. Een monster van de hydraulische vloeistof wordt volgens voorschrift afgenomen in daarvoor bestemde monsterflesjes (ISO 3722, ISO 4021) en naar het lab gebracht voor analyse. Online metingen zijn niet mogelijk met behulp van labo deeltjestellers;
- online deeltjestellers, zijn toestellen die gefixeerd zitten op een meetpunt voor continue online conditie bewaking van hydraulische systemen. De vloeistof wordt niet meer in een flesje bemonsterd, maar onmiddellijk tijdens de werking van het hydraulisch systeem gemeten op locatie. De vloeistof blijft dus in het systeem en vaak staat de APC in bypass.

Het belangrijkste kenmerk van laboratorium deeltjestellers is hun flexibiliteit: een groot aantal parameters kan geprogrammeerd en gevarieerd worden door de operator (volumestroom, meetduur, meetvolume, gebruikte druk). Het monster kan tevens voorbereid worden alvorens het gemeten wordt. Een gestandaardiseerde monstervoorbereiding is noodzakelijk, daar deze van invloed kan zijn op het meetresultaat.

Een voorbeeld hiervan is het ontluchten (het verwijderen van luchtbelletjes uit het monster). Lucht- en gasbelletjes in het monster, worden door de APC gezien als vaste deeltjes en geven op die manier onjuiste resultaten.

Vergeleken met online meting heeft het meten vanuit een monsterflesje enkele nadelen:

- Het analyseert een momentopname van de vervuiling door deeltjes; online meting daarentegen biedt een continue conditiebewaking en

alarmeert onmiddellijk in geval van een verandering als bijvoorbeeld een bepaalde limiet werd overschreden.

- Indien het monster niet werd genomen, noch werd voorbereid volgens een gestandaardiseerde methode, kan vervuiling uit de omgeving makkelijk in het monster terechtkomen. De monstervoorbereiding beïnvloedt rechtstreeks de resultaten van het lab: afhankelijk van de gebruikte procedure kunnen de resultaten verschillen. Voor online metingen wordt het monster niet in een flesje afgevuld, waardoor een voorafgaande monstervervuiling van buitenaf niet waarschijnlijk is.
- Online deeltjes tellen loopt automatisch en onbeheerd. Vergeleken met labmetingen zijn de verwerkingskosten minimaal.

#### **8.1.16 Normen voor APC'S**

Omdat het classificeren (codificeren) van de resultaten van zowel microscopie als APC's deeltjestellingen en het kalibreren van APC's in normen zijn vervat, is het raadzaam volgend overzicht door te nemen.

##### **Kalibratienormen**

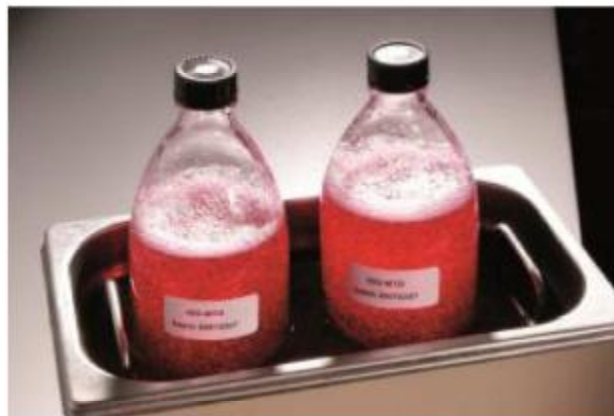
Deeltjestellers werken op basis van een referentietaal die ze meekrijgen door kalibratie. Deze wordt door de producent uitgevoerd en afgeleverd met een kalibratie certificaat, waarop alle referenties staan die nodig zijn om deze kalibratie aan derden aan te tonen. Gedurende de kalibratie worden opgemeten mV-pieken gerelateerd aan de deeltjesgroottes van een standaard. De resulterende kalibratiegrafiek geeft het verband weer tussen de bekende deeltjesgrootte ( $\mu\text{m}$  of  $\mu\text{m}(c)$ ) en de pulshoogte (mV) bij een bepaalde volumestroom.

##### **ISO 4402**

Is de verouderde kalibratienorm (laatste revisie in '91), die gebruik maakte van het teststof ACFTD (Air Cleaner Fine Test Dust) in olie (MIL-H 5606). Alhoewel soms nog in gebruik, is het ACFTD nooit gecertificeerd. De productie van ACFTD is al enige tijd stopgezet (1992) hetgeen de schaarste in de hand werkt.

### ISO 11171

Deeltjestellers voor olietoepassingen worden in het algemeen gekalibreerd met door NIST<sup>2</sup> gecertificeerd ISO MTD (ISO Medium Test Dust) in olie (MIL-H 5606) volgens de gestandaardiseerde kalibratieprocedure ISO 11171 (afbeelding 8.6). ISO 11171 vervangt sinds 1999 de oude ISO 4402. Nieuw is dat de  $\mu\text{m(c)}$  deeltjesgrootte definitie werd ingevoerd en dat ze naast de kalibratieprocedure ("Clause 6") tevens de mogelijkheden bevat om een APC te valideren op een correcte functionaliteit volgens de Annexen A – E.



**Afb.8.6 Kalibratie vloeistof: ISO MTD in MIL-H-5606 in ultrasoonbad  
(bron: PAMAS)**

### ISO 21501-3

Kalibratie van deeltjestellers voor watertoepassingen volgens ISO 21501-3 (latex deeltjes gecertificeerd volgens NIST).

---

<sup>2</sup> NIST = National Institute of Standards and Technology, vergelijkbaar met ISO.



## Classificatienormen

### NAS 1638

- Geschiedenis: NAS 1638 is de oudste norm (1964) welke door de meeste industriële gebruikers werd gebruikt. Is nu vervangbaar door SAE AS4059E.
- Deeltjesgroottes: NAS 1638 classificeert deeltjesaantallen in 5 grootteklassen namelijk van 5 tot 15  $\mu\text{m}$ , van 15 tot 25  $\mu\text{m}$ , van 25 tot 50  $\mu\text{m}$ , van 50 tot 100  $\mu\text{m}$  en  $> 100 \mu\text{m}$ .
- Kalibratie: toen NAS 1638 in 1964 werd geformuleerd, waren er nog geen APC's ontwikkeld: de norm was gebaseerd op microscopie. De eerste kalibratie procedures werden daardoor aangepast aan NAS 1638. Dit behelst het gebruik van ACFTD (test stof) en in sommige toepassingen latex deeltjes.

### ISO 4406:1987

- Geschiedenis: deze voorganger van de ISO 4406:1999 is reeds ingetrokken. Wordt soms nog aangehaald om historische redenen of dient als referentiewaarde.
- Deeltjesgroottes: ISO 4406:1987 classificeert deeltjesaantallen naar  $> 5$  en  $> 15 \mu\text{m}$  (onofficieel werd soms ook  $> 2 \mu\text{m}$  gebruikt).
- Kalibratie: ISO 4406:1987 is gebaseerd op de kalibratie norm ISO 4402, o.b.v. ACFTD.

### ISO 4406:1999

- Geschiedenis: in 1999 vervangt ISO 4406:1999 zijn voorganger ISO 4406:1987. Deze norm wordt gebruikt in de "fluid power" industrie. Ook producenten van petroleum, diesel, kerosine, de automotive industrie en filterproducenten gebruiken deze norm voor productiecontrole.
- Deeltjesgroottes: tijdens de ISO standaardisatie van 1999 werd de meeteenheid van deeltjesgrootte opnieuw gedefinieerd. De afkorting ' $\mu\text{m}(c)$ ' markeert de nieuwe gestandaardiseerde deeltjesgroottes, waarbij (c) staat voor de 'calibration' volgens ISO 11171. Dit maakt het onderscheid mogelijk tussen de oude en de nieuwe deeltjesgrootte definitie. De 1  $\mu\text{m}$  deeltjesgrootte correspondeert +/- met 4  $\mu\text{m}(c)$ , 5  $\mu\text{m}$  +/- met 6  $\mu\text{m}(c)$  en 15  $\mu\text{m}$  +/- met 14  $\mu\text{m}(c)$ .
- Oliereinheidsnorm ISO 4406:1999 classificeert op basis van deeltjes  $> 4 \mu\text{m}(c)$ ,  $> 6 \mu\text{m}(c)$  en  $> 14 \mu\text{m}(c)$ .
- Kalibratie: volgens ISO 11171 op basis van ISO MTD dat het eerdere ACFTD vervangen heeft.

### SAE AS4059E [14]

- Geschiedenis: de norm SAE AS4059E werd ontwikkeld in 2001 met herziening in 2005, als opvolger van de NAS 1638 als verbetering van de methode en de kalibratieprocedure.
- Deeltjesgroottes: SAE AS4059E classificeert deeltjesaantallen in 6 kanalen, namelijk > 4, > 6, > 14, > 21, > 38 en > 70  $\mu\text{m(c)}$ .
- Kalibratie: volgens ISO 11171 o.b.v. ISO MTD.

### Overzicht

Classificatie Norm	Kalibratie procedure	Deeltjesgroottes ( $\mu\text{m}$ )
NAS 1638	Normaal ISO 4402 (ACFTD)	5-15, 15-25, 25-50, 50-100 en > 100 $\mu\text{m}$
ISO 4406:1987	ISO 4402 (ACFTD)	> 5 en > 15 $\mu\text{m}$ > 2 $\mu\text{m}$ is niet officieel
ISO 4406:1999	ISO 11171 (ISO MTD)	> 4, > 6 en > 14 $\mu\text{m(c)}$
SAE AS4059E	ISO 11171 (ISO MTD)	> 4, > 6, > 14, > 21, > 38 en > 70 $\mu\text{m(c)}$

**Tabel 8.3 Overzicht normen**

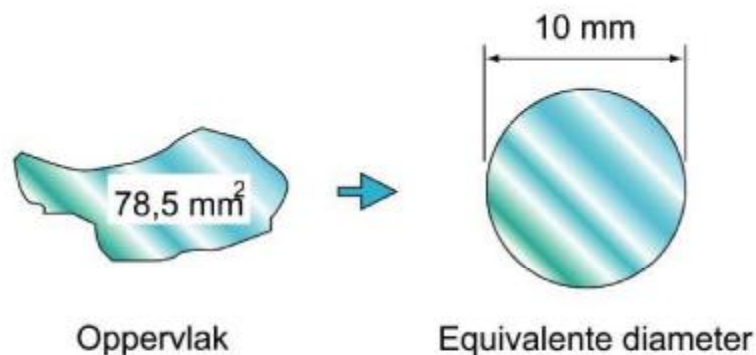
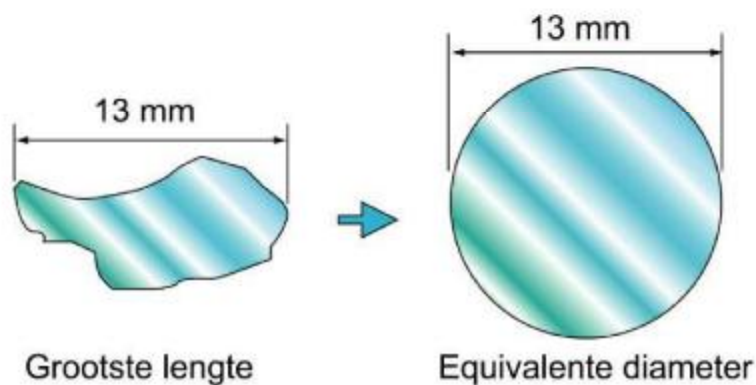
Uit tabel 8.3 volgt:

Op basis van ISO 4402 kalibratie kan men alleen classificeren volgens de oude ISO 4406 en eventueel NAS 1638.

Op basis van ISO 11171 kalibratie kan men alleen classificeren volgens de nieuwe ISO 4406 (c) of SAE AS4059 E.

Kalibratienormen kunnen niet onderling worden uitgewisseld. Zo kan bijvoorbeeld de SAE classificatie nooit gemeten worden op basis van een ISO 4402 kalibratie.

Let op: in ISO 4402 werd als deeltjesgrootte definitie de "longest chord dimension" gebruikt ( $\mu\text{m}$ ), terwijl ISO 11171 gebruik maakt van de "projected area equivalent diameter" ( $\mu\text{m(c)}$ ). Zie afbeelding 8.7.



**Afb.8.7 Het verschil tussen deeltjesgrootte definities**

Bovenaan in afbeelding 8.7 de omzetting volgens de grootste gemeten lengte (ISO 4402), onderaan de "projected area equivalent diameter" (ISO 11171)

### 8.1.17 ISO-code reinheid hydraulische vloeistof

De meetresultaten van deeltjespopulaties, gemeten volgens ISO 4406:1999, worden gerapporteerd in zowel absolute deeltjesaantallen als in de ISO 4406 triple code. Dat betekent dat de gemeten hoeveelheid deeltjes wordt vertaald in een triple code zoals voorgeschreven in ISO 4406:1999, gebaseerd op het aantal deeltjes per milliliter (ml) groter dan 4, 6 en 14  $\mu\text{m(c)}$ .

Om er zeker van te zijn dat wereldwijd dezelfde taal gesproken wordt en om op een makkelijke manier de resultaten tussen elke test te vergelijken (zonder de lange getallen van de deeltjesaantallen voor elke deeltjesgrootte te moeten opsommen), werd bijbehorende tabel opgesteld met het minimale en maximale aantal vuildeeltjes per ml vloeistof dat bij een bepaalde klasse hoort (tabel 8.4).

ISO Code	Aantal deeltjes per ml vloeistof		ISO Code	Aantal deeltjes per ml vloeistof	
	meer dan	tot en met		meer dan	tot en met
24	80.000	160.000	15	160	320
23	40.000	80.000	14	80	160
22	20.000	40.000	13	40	80
21	10.000	20.000	12	20	40
20	5.000	10.000	11	10	20
19	2.500	5.000	10	5	10
18	1.300	2.500	9	2,5	5
17	640	1.300	8	1,3	2,5
16	320	640	7	0,64	1,3

**Tabel 8.4 ISO-code voor aantallen vuildeeltjes per milliliter (bron: ISO 4406:1999)**

De triple-code volgens ISO 4406:1999 vervangt niet alleen lange getallen maar kan tevens gebruikt worden als aantoonbare feit bij garantie: een constructeur kan een bepaalde code opgeven voor de maximale toegelaten vervuiling, gekoppeld aan de garantievoorwaarden.

Voorbeeld van het omzetten van een meetresultaat naar een ISO-code:

Deeltjes-grootte	Aantal deeltjes per ml vloeistof	Valt in interval in ISO tabel	Bijbehorende ISO-code
> 4 $\mu\text{m(c)}$	1.978	1.300 – 2.500	18
> 6 $\mu\text{m(c)}$	587	320 – 640	16
> 14 $\mu\text{m(c)}$	56	40 – 80	13

**Tabel 8.5 Meetresultaten omzetten naar ISO-code**

De eerste 2 kolommen van tabel 8.5 tonen het resultaat van een deeltjestelling. De aantallen vallen binnen een bepaald interval in de tabel 8.4. en worden zo gekoppeld aan de ISO-code volgens ISO 4406 (c), in dit geval dus 18/16/13.

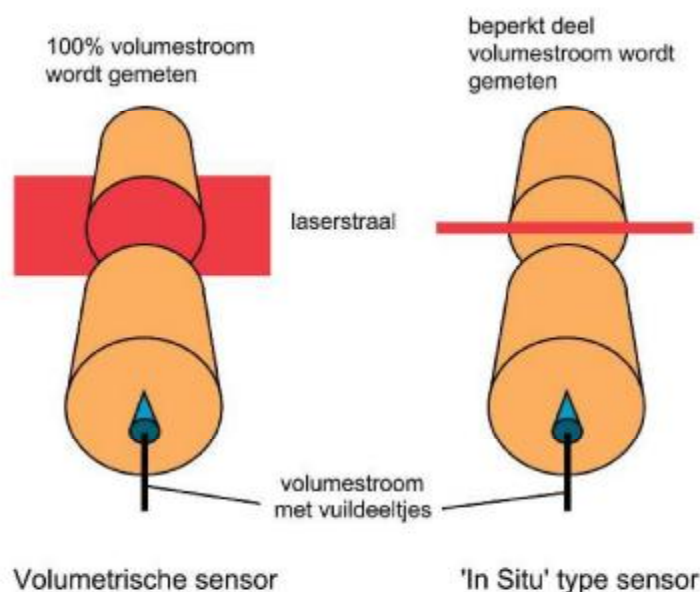
Het versleutelen om tot een vervuilingssklasse te komen volgens SAE AS4059E en NAS 1638 gebeurt op vergelijkbare wijze, elk volgens eigen tabel.

### 8.1.18 Deeltjestellers en 'deeltjestellers'

Sinds 1999, toen ISO 4402 vervangen werd door ISO 11171, werd er niet alleen gebruik gemaakt van gecertificeerd teststof, tevens werden essentiële parameters benoemd en in methodes opgenomen om deeltjestellers te kunnen valideren.

Tot op heden draagt dit behoorlijk bij tot het creëren van een platform waar binnen de gebruiker in staat wordt gesteld op een universele manier reproduceerbare meetresultaten te (re)produceren.

Er is echter nog steeds een dualiteit. Er bestaan 2 typen meetcellen waarmee de sensor van een deeltjesteller kan worden uitgerust: Volumetrische of In Situ sensor meetcellen. Beide cellen verschillen belangrijk in constructie en functie. Volumetrische cellen analyseren 100 % van het gehele meetvolume door de sensor. In Situ sensor cellen beschikken maar over een kleine lichtbrondiameter; deze lichtbron belicht het meetvolume slechts voor een klein deel (afbeelding 8.8).

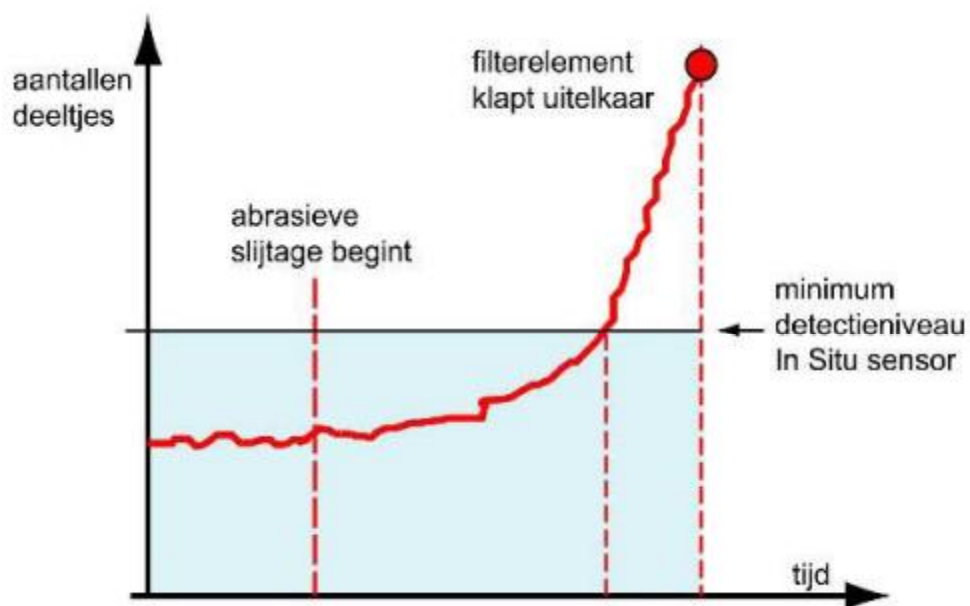


**Afb.8.8 Verschil tussen sensoren van het Volumetrische en In Situ type (bron: PAMAS)**

Heel wat producenten van deeltjestellers opteren voor In Situ meetcellen, omdat ze niet zo complex zijn als volumetrische. Een In Situ cel kan eenvoudig gemaakt worden en vereist geen specifieke kennis.

Twee nadelen van In Situ cellen die kunnen leiden tot valse meetresultaten:

- In Situ meetcellen analyseren slechts een fractie van het meetvolume. De meetcel is slechts voor een bepaald deel belicht (exacte waarde vaak niet bekend). Dit heeft een invloed op de statistische relevantie van de meetresultaten. In relatief "lage" concentraties (vervuiling in hydraulische vloeistoffen!) kunnen 'In Situ cellen' de deeltjesaantallen niet tellen. Afbeelding 8.9 laat zien dat In Situ cellen alleen bij hogere deeltjesaantallen werken en ze geen deeltjesconcentraties kunnen detecteren onder een bepaalde detectiegrens. Een volumetrische sensor detecteert dus eerder optredende slijtage waardoor eerder kan worden ingegrepen. Deze tijds winst vertegenwoordigt een belangrijke besparing.



**Afb.8.9 Minimale deeltjesconcentratie die nodig is om door In Situ meetcel te worden waargenomen (bron: PAMAS)**

- Het tweede nadeel van In Situ sensor meetcellen is dat de smalle lichtstraal van enkele micrometers, de deeltjes niet in hun geheel belicht, maar soms slechts de helft of een fractie er van. Omdat de lichtstraal vaak gelijk is of kleiner dan de diameter van het gemeten deeltje, worden bijna alle deeltjes kleiner gemeten dan ze werkelijk zijn.

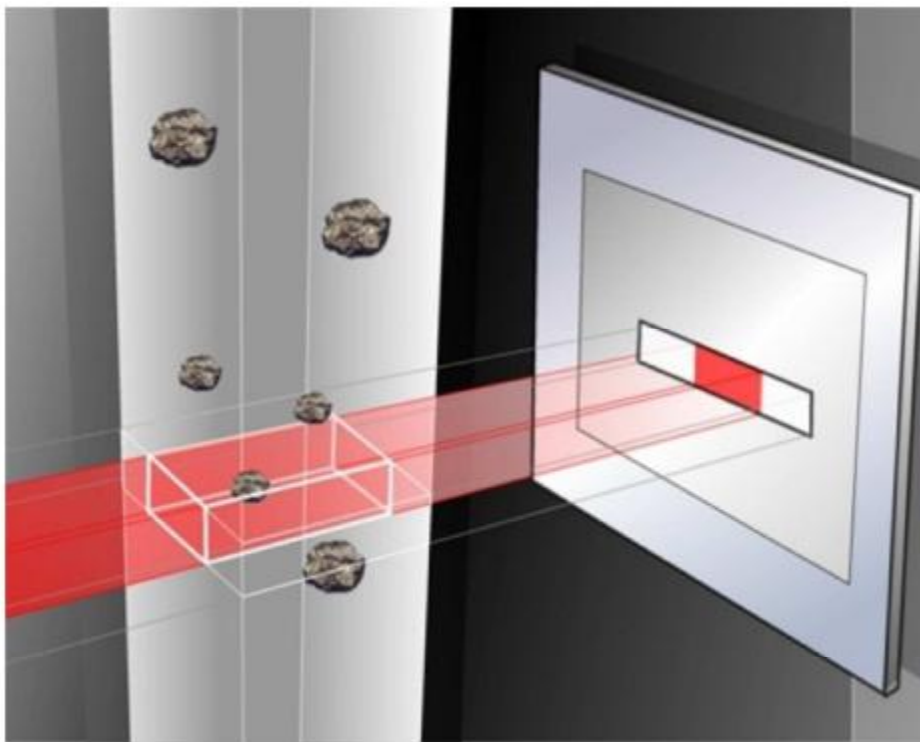
In tegenstelling tot Volumetrische meetcellen, zijn In Situ cellen niet in staat deeltjesgroottes te identificeren die groter zijn dan de diameter van de lichtstraal.

De ongeschiktheid van In Situ cellen kan aangetoond worden in een kalibratietest met latex deeltjes: ondanks dat deze van eenzelfde grootte zijn,

zal een In Situ deeltjesteller ze telkens in verschillende deeltjesgrootteklassen indelen.

Deze twee statistische fouten worden niet gemaakt door volumetrische sensoren omdat deze 100 % van het meetvolume analyseren. Elk deeltje dat de meetcel in komt wordt geteld en qua grootte juist gemeten.

Een betere benaming voor een deeltjesteller met In Situ meetcel is 'deeltjesmonitor'. Zij stellen namelijk wel een stijging of daling vast maar de gemeten klasse is vaak dubieus. Overleg met de leverancier of de meetapparatuur 100% valideerbaar is volgens Annex A - E van ISO 11171.



**Afb.8.10 Een In Situ meetcel detecteert slechts een deel van de vloeistofstroom. Als gevolg hiervan worden veel deeltjes niet of slechts gedeeltelijk waargenomen (bron: PAMAS)**