

Cleanrooms

Pieter Eelman Czn.

1.	Inleiding	L1020- 3
2.	Filters	L1020- 4
3.	Indeling in klassen	L1020- 7
4.	Kiemconcentraties	L1020- 9
5.	Laminaire luchtstromen (Laminar flows)	L1020- 9
6.	Wet van Bernoulli	L1020-10
7.	Soorten cleanrooms	L1020-11
8.	Soorten LAF-kasten	L1020-12a
9.	Drukken	L1020-15
10.	Sluizen	L1020-15
11.	Omkleed-discipline	L1020-16
12.	Discipline in cleanrooms	L1020-19
13.	Biohazard-kasten	L1020-20
14.	Schoonmaak en onderhoud	L1020-20
15.	Metingen	L1020-21
16.	Conclusie	L1020-22

1. Inleiding

Definitie:

Cleanrooms of stofarme ruimtes zijn ruimtes die opgebouwd zijn uit vlakke homogene materialen, waarin het deeltjesniveau door middel van filtratie beheerst wordt.

Er zijn diverse soorten cleanrooms, elk voor een eigen specifiek toepassingsgebied. Hoewel cleanrooms aan regels en normen gebonden zijn, staat het product dat in de cleanroom vervaardigd wordt centraal.

Cleanrooms worden vervaardigd sinds het einde van de Tweede Wereldoorlog. De *historie* van cleanrooms begint in de Eerste Wereldoorlog. In Duitsland werden gasmaskers ontwikkeld tegen chemische en bacteriologische oorlogsvoering. Deze gasmaskers bevatten een filtermateriaal dat onder andere bestond uit lange en korte asbestvezels die door een bindmiddel bij elkaar gehouden werden. Tijdens de Tweede Wereldoorlog werd er intensieve research gedaan naar filtermedia. Stoftechnische problemen tijdens de verdere ontwikkeling van de Amerikaanse militaire technologie (raketprogramma Koude Oorlog) gaf een extra impuls voor een verder onderzoek naar stoffilters. Eind jaren veertig werden de zogenaamde HEPA-filters ontwikkeld (High Efficiency Particulate Airfilters). De omschrijving van deze filters werd vastgelegd in een militaire standaard te weten: De „U.S. Federal Standard 209”. Deze federale standaard werd regelmatig aangepast. Begon men met de U.S. Fed. Standard 209a, tot voor kort spraken we over de U.S. Fed. Standard 209e. In de loop der jaren kwamen er steeds meer landen bij die hun eigen standaard gingen voeren. Dit gaf steeds meer verwarring. Het was de internationale cleanroomvereniging, de ICCCS, die het initiatief nam om de cleanroomregels onder te brengen in een ISO-norm. De ISO 14644. Het zal nog wel enkele jaren zal duren voor wij niet meer spreken over de „U.S. Federal Standard”. De classificaties klasse 10, klasse 100, klasse 1.000, klasse 10.000 en klasse 100.000 zal toch op termijn vervangen moeten worden door ISO-klasse 1 t/m 9. De ISO-klasse 14644 geeft de mogelijkheid de klasse van een cleanroom nog beter te differentiëren. Kenden we bij de U.S. Fed. Standard slechts zes klassen, bij de ISO-14644 classificatie onderscheiden we negen klassen. Hieronder de overeenkomsten per klasse.

L1020-4 Cleanrooms

<i>U.S. Federal Standard 209</i>	<i>ISO 14644</i>
Klasse 1	Klasse 3
Klasse 10	Klasse 4
Klasse 100	Klasse 5
Klasse 1.000	Klasse 6
Klasse 10.000	Klasse 7
Klasse 100.000	Klasse 8

Geconstateerd kan worden dat de ISO-klassen 1, 2 en 9 niet gedekt worden door de U.S. Federal Standard.

De HEPA-filters bevatten tot aan het einde van de jaren zestig nog asbest. Rond 1968 werd al het asbest in HEPA-filters vervangen door een combinatie van cellulose, een bindmiddel en glasfiber.

2. Filters

Zowel in cleanrooms als in LAF-kasten (Laminair Airflow kasten of Stofvrije Werkkasten) wordt de lucht gefilterd door HEPA-filters. Deze filters worden in Nederland ook wel Absoluutfilters genoemd. HEPA-filters hebben een moduulmaat van circa 30 centimeter, dat wil zeggen dat de afmeting van een filter kan zijn:

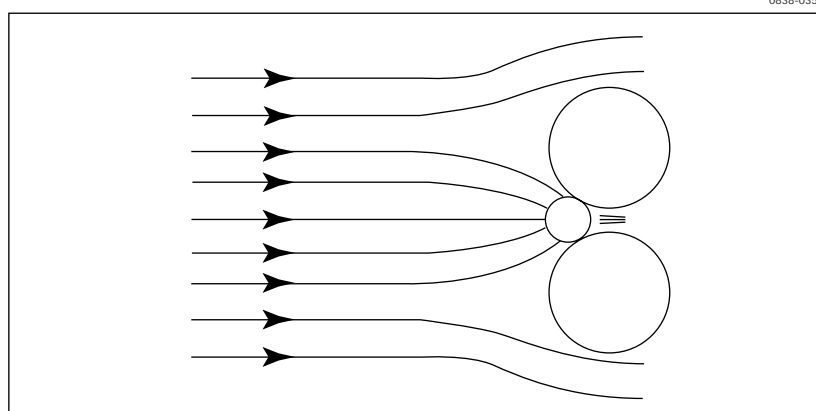
- 30,5 × 30,5 cm;
- 61,0 × 61,0 cm;
- 61,0 × 122 cm;
- 61,0 × 183 cm;
- en variaties op deze moduulmaten.

De omkasting van de HEPA-filters werd vroeger – tot ongeveer 1980 – vervaardigd uit hechthout. Dit materiaal kon een prima voedingsbodem voor micro-organismen zijn en was niet erg vormvast. Vanaf 1980 werden de omkastingen steeds vaker uit geanodiseerd aluminium vervaardigd. Nu is dit wereldwijd de standaard geworden.

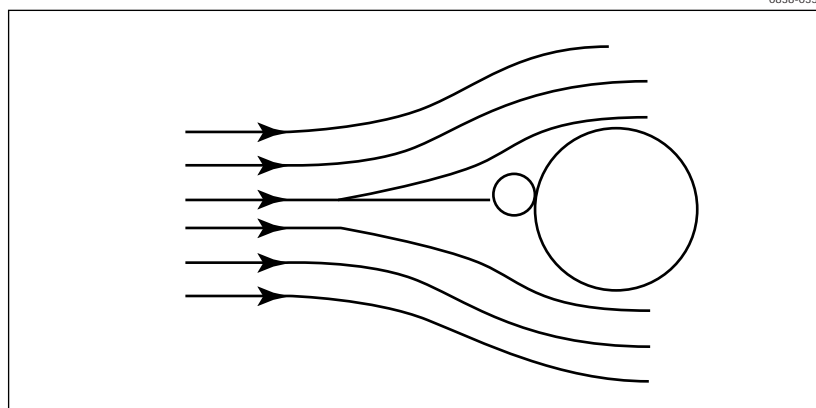
Het filtermedium wordt als in een harmonica in het frame gevouwen, waardoor het totale filteroppervlak vele malen groter is dan het doorstroomoppervlak.

De standaard uitstroomsnelheid van de gefilterde lucht bedraagt 0,45 m/seconde ($\pm 0,1$ m/sec)¹. Deze snelheid werd ook genoemd in de U.S. Federal Standard 209 en wordt ook nu nog gehanteerd omdat fysieke eigenschappen van de lucht niet veranderen als er andere normen worden gebruikt.

De werking van HEPA-filters is gebaseerd op vier manieren van filtratie. Deze vier manieren zijn in de figuren 1 tot en met 4 weergegeven.



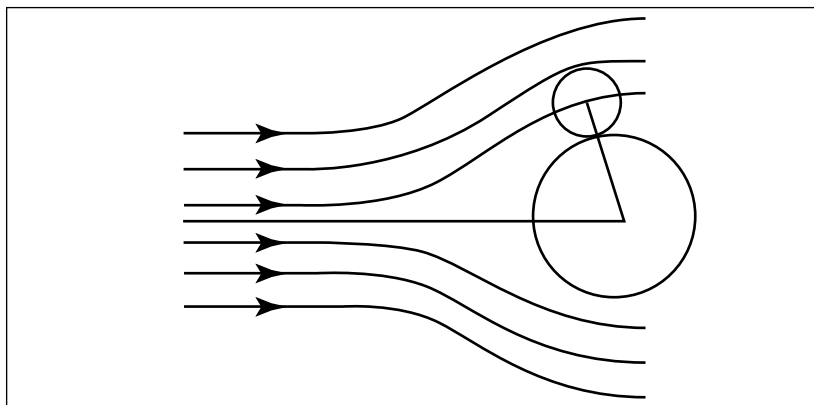
Figuur 1. Zeefwerking.



Figuur 2. Traagheidsprincipe.

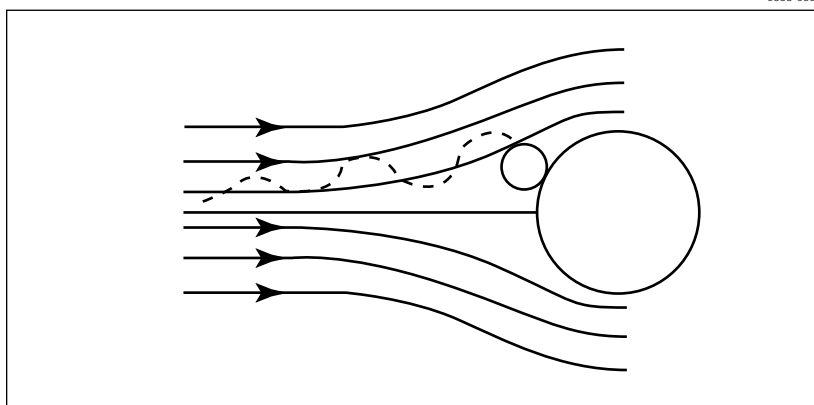
1 Marge is dus tussen: 0,35-0,55 m/sec.

0838-0353



Figuur 3. Interceptieprincipe.

0838-0354



Figuur 4. Brownse beweging.

De eerste manier is de *zeefwerking*. De afstand tussen de filterdelen is kleiner dan het af te vangen deeltje. Het deeltje zal tussen de filterdeeltjes blijven hangen.

De tweede manier is het *traagheidsprincipe*. De lucht stroomt tussen de filterdeeltjes door. Het af te vangen deeltje zal door zijn massa (traagheid) rechtdoor gaan en tegen een filterdeeltje botsen. Door de *adhesieve werking* (twee verschillende stoffen die elkaar aantrekken) blijft het af te vangen deeltje tegen het filterdeeltje kleven.

De derde manier van filtratie is het *interceptieprincipe*. Het af te vangen deeltje is zo klein dat het met de luchtstroom langs de filterdeeltjes gevoerd wordt. Indien een (stof)deeltje of micro-organisme

in de invloedssfeer van een filterdeeltje komt zal het door de eerder genoemde adhesieve werking naar het filterdeeltje getrokken worden en daaraan blijven kleven.

Bij de vierde manier wordt gebruik gemaakt van de *Brownse beweging* van deeltjes in de lucht. Zeer kleine deeltjes hebben een bepaalde trillingfrequentie waardoor ze ogenschijnlijk groter lijken dan ze in werkelijkheid zijn. Hierdoor wordt het voor zeer kleine deeltjes praktisch onmogelijk om „tussen de mazen van het net” te glippen. Door de trillingfrequentie zullen zeer kleine deeltjes toch in de invloedssfeer van een filterdeeltje trillen en hierdoor worden afgevangen.

Buiten de benaming HEPA, wordt ook de benaming ULPA gebruikt. Hier staat de „U” voor *Ultra* (Ultra Low Penetration Air-filter).

3. Indeling in klassen

De reeds eerder genoemde ISO 14644 gaat uit van negen klassen. Deze klassen hebben als basis de maximaal toelaatbare hoeveelheid deeltjes van 0,1 μ (micron) per kubieke meter lucht. Let op: niet alleen de hoeveelheid deeltjes van 0,1 μ is bepalend voor de klasse, ook deeltjes met een andere grootte bepalen mede de klasse. Zie hiervoor tabel 1.

<i>Cleanroom en clean area classificatie</i>						
<i>ISO-klasse</i>	<i>Maximum toegestaan aantal deeltjes</i>					
	0,1 μ m	0,2 μ m	0,3 μ m	0,5 μ m	1,0 μ m	5,0 μ m
1	10	2				
2	100	24	10	4		
3	1.000	237	102	35	8	
4	10.000	2.370	1.020	352	83	
5	100.000	23.700	10.200	3.520	832	29
6	1.000.000	237.000	102.000	35.200	8.320	293
7				352.000	83.200	2.930
8				3.520.000	832.000	29.300
9				35.200.000	8.320.000	293.000

Tabel 1. Klasse-indeling volgens de ISO-norm 14644.

L1020-8 Cleanrooms

Het aantal (toegestane) deeltjes wordt berekend per kubieke meter lucht. De meeste particle counters (deeltjestellers) zuigen per minuut een deel van een kubieke meter aan, zodat zeer eenvoudig de klasse kan worden afgelezen. Wél dient rekening gehouden te worden met meerdere metingen ter bepaling van een klasse.

Deze klasse-indelingen worden gebruikt voor stof- en kiemarme ruimtes en voor de werkruimte van Laminar Airflow kasten (LAF-kasten).

Dat het een goede zaak is dat veel lokale normen niet meer gebruikt worden blijkt wel uit de hoeveelheid (oude) normen in tabel 2. En dan te bedenken dat dit nog maar een greep is uit de tientallen normeringen voor cleanrooms over de hele wereld!

Deeltjes per $\mu\text{ m}^3$ 0,5 $\mu\text{ m}$	France AFNOR 1981	US FS 209D 1988	Japan JACA 1989	GB GS 5295 1989	Germany VDI 2083 1990	Ned. VCCN nr. 1 1991	US FS 209E 1992	EU GMP 1992/6	ISO 14644-1 1996
1					0				
3,5			2			4			2
10					1		M 1		
35,3		1	3			40	M 1,5		3
100					2		M 2		
353		10	4			400	M 2,5		4
1.000				E of F	3		M 3		
3.530	4000	100	5			4.000	M 3,5	A + B	5
10.000				G of H	4		M 4		
35.300		1.000	6			40.000	M 4,5		6
100.000					5		M 5		
353.000	400.000	10.000	7	J		400.000	M 5,5	C	7
1.000.000					6		M 6		
3.530.000	4.000.000	100.000	8	K		4.000.000	M 6,5	D	8
10.000.000									
35.200.000								9	

Tabel 2. Overzicht van de verschillende classificatiesystemen.

De *klasse* kan worden opgemeten met behulp van een deeltjestelapparaat (particle-counter). Een meting voor een klassebepaling moet *in bedrijf* worden uitgevoerd, immers de *in-gebruik*-situatie is ook de situatie die het te vervaardigen product ondergaat. Een *in situ*-meting is dus een zeer reële vorm van klassebepaling.

Buiten het meten van *deeltjes* kan ook het meten van KVE's (Kolonie-Vormende Eenheden) een belangrijke indicatie zijn of de betreffende cleanroom voor een bepaald doel geschikt is.

KVE's kunnen in de lucht, of op oppervlakten gemeten worden. In de lucht kan men hierbij gebruik maken van een *Slit Sampler* (een

kleine ventilator in de vorm van een staafzaklantaarn). De aangezogen lucht wordt tegen een strip met voedingsbodems geslagen. Deze voedingsbodems worden gedurende 48 uur in een broedstoof geplaatst, waarna de gevormde kolonies kunnen worden geteld. Van oppervlakten in de cleanroom zoals vloer of wanden kunnen afdrucken met voedingsbodems worden gemaakt. Ook deze worden in een broedstoof geplaatst waarna de gevormde kolonies geteld kunnen worden.

4. Kiemconcentraties

In de lucht onderscheiden we twee soorten deeltjes: dode en levende deeltjes. Een voorbeeld van een dood deeltje in de lucht is een deeltje tabaksrook of een korreltje fijn zand. Levende deeltjes noemen we ook wel *micro-organismen*.

Hoe verhouden de dode deeltjes zich ten opzichte van de levende deeltjes? Elke situatie is weer anders. In een volle tram zullen in verhouding meer levende deeltjes voorkomen dan midden op het plateland. Een vuistregel is dat per duizend deeltjes er één levende aanwezig is.

5. Laminaire luchtstromen (Laminar flows)

De lucht die uit de HEPA-filters stroomt noemen we laminair (= als door lamellen). De snelheid van een laminar flow is circa 45 centimeter per seconde. De U.S. Federal Standard gaf aan 0,45 meter per seconde plus of min 0,1 meter per seconde.

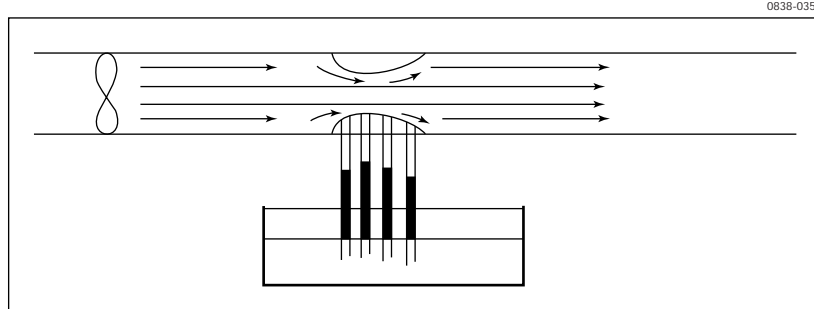
De minimale snelheid van een laminar flow mag dus 35 centimeter per minuut bedragen en de maximale snelheid 55 centimeter per minuut. Deze normering (de U.S. Federal Standard) is vervallen, maar fysieke eigenschappen van lucht trekken zich niets aan van normeringen, dus deze waarden zijn nog steeds geldig!

Een bijzondere eigenschap van een laminaire luchtstroom van deze snelheid is het *herstellend vermogen*.

Een rond object in een laminar flow zal een turbulentie veroorzaken. Deze turbulentie zal na een afstand die gelijk is aan driemaal de diameter van het object, weer hersteld zijn. Het moge duidelijk zijn dat voorwerpen met een andere vorm, bijvoorbeeld rechthoekige, een langere turbulentie creëren.

6. Wet van Bernoulli

Hoe turbulentie ontstaat, kan het best worden uitgelegd met behulp van de wet van Bernoulli. Deze wet luidt als volgt: „Een luchtversnelling geeft een drukverlaging”. De wet wordt in figuur 5 schematisch uitgebeeld.



Figuur 5. Schematische voorstelling Wet van Bernoulli.

De buis vertoont in het midden een vernauwing. In deze vernauwing zijn gaatjes geboord waarin rietjes gestoken zijn. Deze rietjes komen uit in een open bak met vloeistof. Indien er geen lucht door de buis stroomt, zal het niveau in de rietjes (de capillaire werking even vergetend) even hoog zijn als het vloeistofniveau in de bak.

Indien er lucht door de buis geblazen wordt, zal het vloeistofniveau in het rietje dat in het smalste deel is gestoken, het hoogst stijgen. In het smalste deel van de buis zal de lichtsnelheid het hoogst zijn. Hieruit kan worden afgeleid dat daar waar de snelheid het hoogst is, de (tegen)druk het laagst is.

Op dit principe is onder andere het draagvermogen van een vliegtuigvleugel gebaseerd. De lucht over de (bolle) bovenkant van de vleugel moet een langere weg afleggen – dus sneller stromen – dan de lucht die langs de vlakke onderzijde van de vleugel stroomt. Hierdoor ontstaat er aan de bovenzijde een *lagere* druk waardoor de vleugel naar boven wordt gezogen.

Er bestaat een regel in cleanrooms die luidt: „Men mag niet (te) snel in een cleanroom lopen.” Nu de werking van de wet van Bernoulli bekend is, weet u ook wáárom. Indien we snel lopen, zal de lucht langs ons lichaam versneld gaan stromen. Deze luchtversnelling, zo hebben we geleerd, geeft een drukverlaging. Zoals we ook vanuit de meteorologie weten stroomt lucht van een hogedrukgebied naar een lagedrukgebied. Hoe sneller we in een cleanroom lopen, hoe lager de

statische druk rond ons lichaam wordt. Hoe lager de druk, hoe sneller de suppletie (aanvulling) van elders zal plaatsvinden. Deze suppletie gaat gepaard met luchtwervelingen, ook wel turbulenties genoemd.

7. Soorten cleanrooms

We onderscheiden in de cleanroomtechniek twee hoofdgroepen cleanrooms: de *laminaire* cleanrooms en de *turbulente* cleanrooms.

Laminaire cleanrooms zijn cleanrooms waar de lucht over één gesloten vlak in de ruimte geblazen wordt. Meestal is dit vlak het plafond, maar het kan ook een wand zijn die geheel uit HEPA-filters bestaat. De lucht stroomt laminair uit de filters met een snelheid van circa 45 centimeter per seconde. Bij een plafondhoogte van 3 meter wil dit zeggen dat de ruimte 540 maal per uur (540 luchtwisselingen per uur) belucht wordt. Omdat de lucht niet alleen gefilterd wordt, maar vaak ook verwarmd, bevochtigd of gekoeld, is het economisch als deze „dure” lucht wordt hergebruikt. De lucht wordt gerecirculeerd. Niet alle lucht, want voor elk aanwezig persoon in de cleanroom zal circa 60 kubieke voet (cf) buitenlucht per uur worden ingeblazen, dus ruim 1700 liter lucht per uur.

De ingeblazen lucht wordt via een geperforeerde vloer of geperforeerde tegenoverliggende wand weer afgezogen.

Bij laminaire cleanrooms bestaat het plafond volledig uit filters met daartussen aërodynamische lichtarmaturen die het stromingspatroon niet beïnvloeden.

Turbulente cleanrooms zijn cleanrooms waar het plafond niet geheel uit HEPA-filters bestaat. Het aantal filters wordt bepaald door een combinatie van de gewenste stofklasse en het gewenste recirculatievoud.

Bij turbulente cleanrooms wordt de lucht door afzuigroosters in de wand afgezogen. Ook deze lucht zal zoveel mogelijk gerecirculeerd worden met inachtneming van de vers toe te voeren lucht per aanwezig persoon.

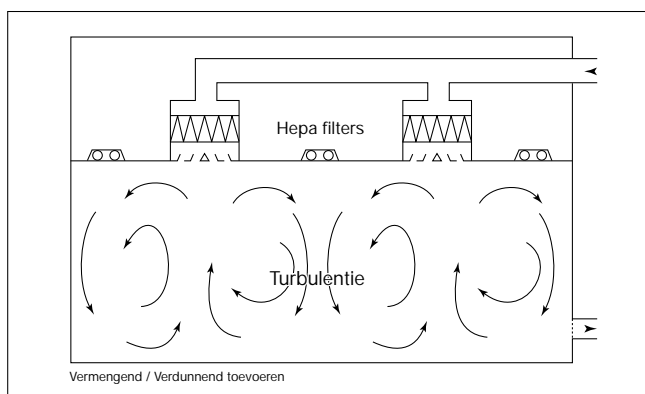
De klassen 1 tot en met 5 (ISO-14644) zijn altijd laminair, klasse 6 is soms laminair en soms turbulent en de overige klassen (7 t/m 9) zijn altijd turbulent. Zie tabel 3.

L1020-12 Cleanrooms

<i>Altijd laminair</i>	<i>Soms laminair Soms turbulent</i>	<i>Altijd turbulent</i>
1 2 3 4 5	6	7 8 9

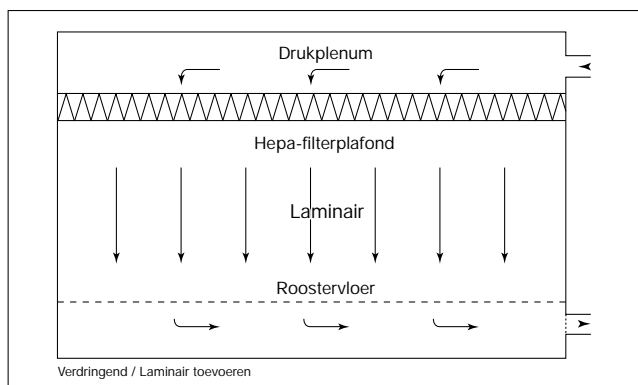
Tabel 3. Klasse-indeling laminaire en turbulente cleanrooms.

In Amerika is een stroming die stelt dat bij klasse 6 en klasse 5 het plafond door lichtarmaturen mag worden onderbroken.



0838-0356

Figuur 6. Turbulente cleanroom.

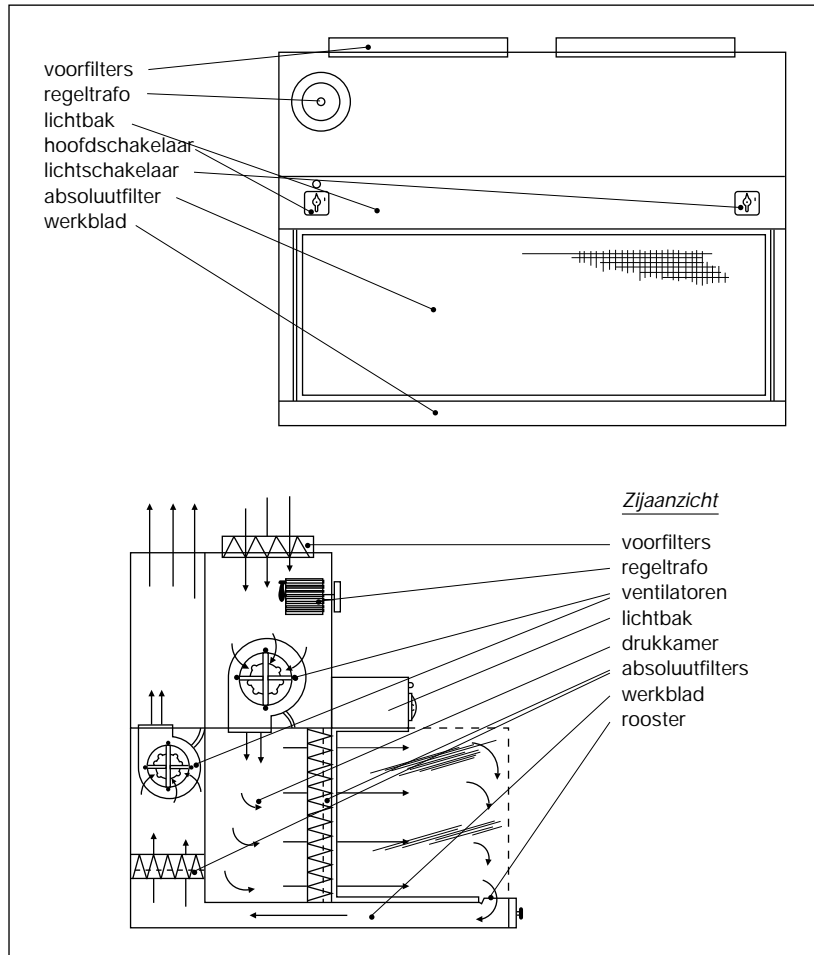


0838-0357

Figuur 7. Laminaire cleanroom.

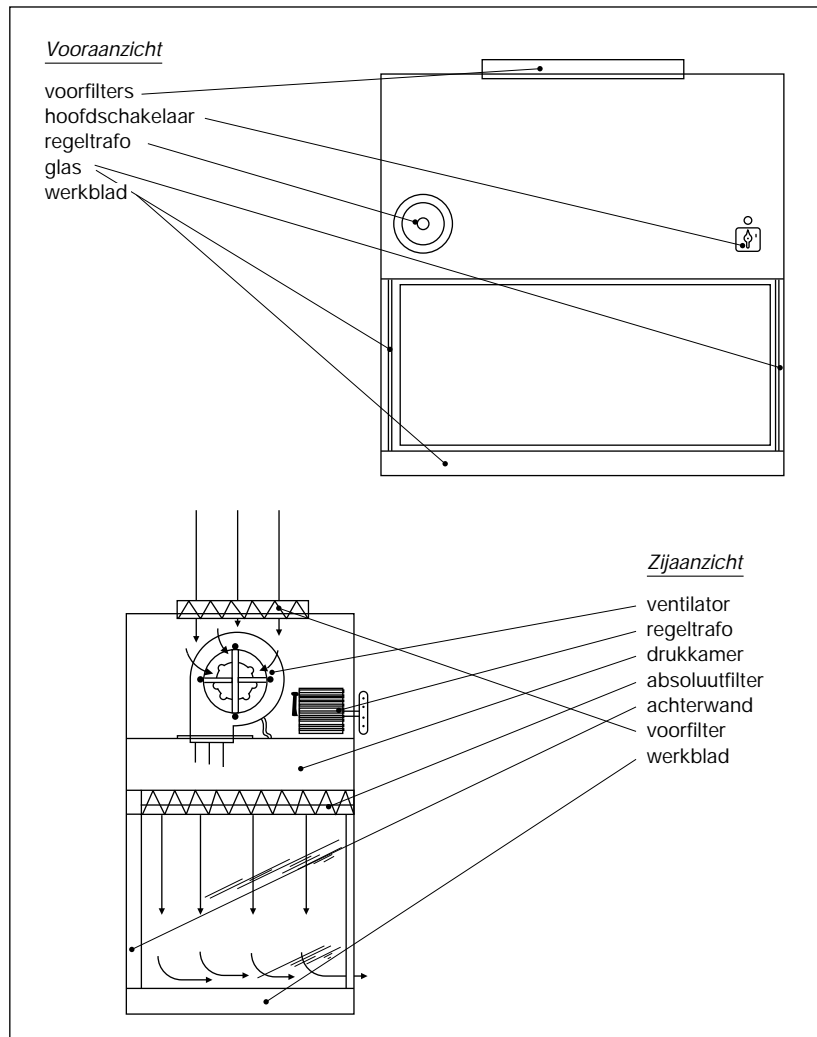
8. Soorten LAF-kasten

LAF-kasten of *Laminar Air Flow* kasten zijn vrijstaande apparaten die door middel van een filter-ventilator combinatie een laminaire luchtstroom over een werkblad geven.



Figuur 8. „Cross flow” clean bench.

De luchtstroom uit het HEPA-filter kan horizontaal of verticaal zijn. Een andere term voor LAF-kasten is clean bench. We onderscheiden cross flow (horizontale) clean benches of down flow (verticale) clean benches. Indien er handmatig in een LAF-kast gewerkt wordt, zal over het algemeen in een kast met een horizontale luchtstroom worden gewerkt. Dit omdat dan voor, boven, en aan de zij-kanten van het product kan worden gewerkt zonder dat het product gecontamineerd wordt. Bij een LAF-kast met een verticale luchtstroom mag men wel rondom het product werken, maar niet erbo-



Figuur 9. „Down flow” clean bench.

ven. Bij deze vorm van te betrachten discipline is de kans op contaminatie groter dan bij de te betrachten discipline in een LAF-kast met een horizontale luchtstroom.

Een bijzondere LAF-kast met een verticale luchtstroom, „biohazard bench” genoemd, wordt hierna besproken.

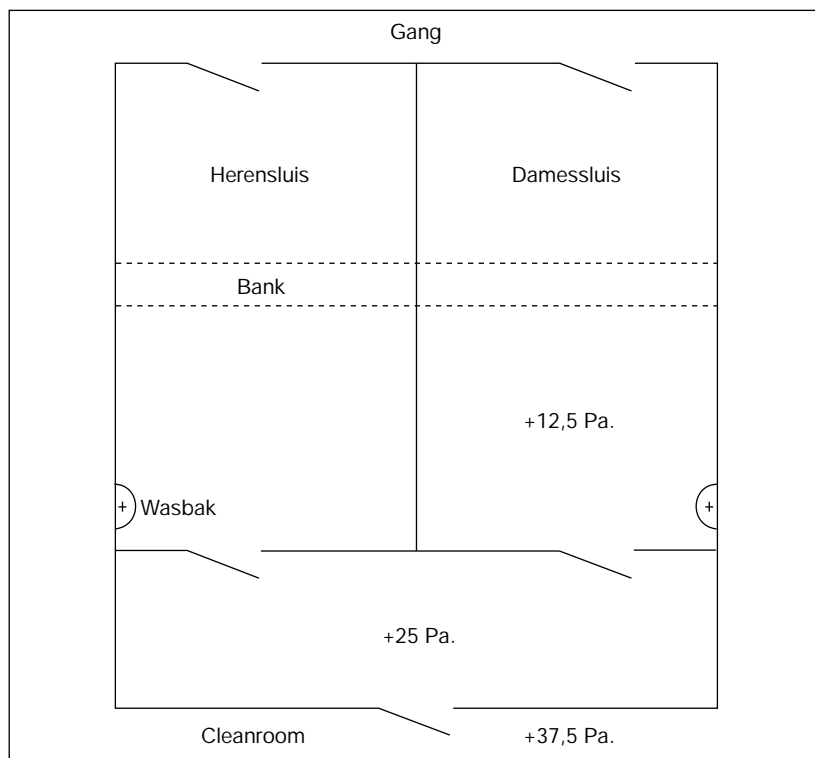
9. Drukken

In cleanrooms heersen overdrukken ten opzichte van een belendende niet-geconditioneerde ruimte (bijv. de gang).

De overdruk wordt uitgedrukt in Pascals (Pa). Een handige vuistregel voor het bepalen van de noodzakelijke overdruk is het tellen van het aantal te passeren deuren van de gang tot in de cleanroom. Over het algemeen zullen dat drie deuren zijn. Het aantal deuren dient vermenigvuldigd te worden met 12,5 Pa. In ons voorbeeld van drie te passeren deuren, zal de overdruk in de cleanroom dus ($3 \times 12,5 \text{ Pa} =$) 37,5 Pascal bedragen.

10. Sluizen

0838-0360



Figuur 10. Schema van kleedsluis met dames- en herencompartiment. De beide sluisen komen uit in een gemeenschappelijke tussenruimte die naar de cleanroom leidt. De overdruk in de cleanroom ten opzichte van de gang behoort circa 37,5 Pascal te zijn (12,5 Pascal per te passeren deur vanuit de gang gerekend).

Om een cleanroom te mogen betreden, moet eerst een (kleed)sluis worden gepasseerd. Deze kleedsluis wordt gedeeld door een overstapbank of omkleedpodium. De kleedsluis (vaak zijn er twee: een heren- en een dameskleedsluis) komt over het algemeen in een tussenruimte uit die naar de feitelijke cleanroom leidt (zie fig. 10).

De wasbak bevindt zich over de overstapbank (de „schone” zijde), de haken om de „vuile” dagelijkse kleding op te hangen bevinden zich vòòr de overstapbank. Het is aan te raden om bij de kledinghaken ook afsluitbare kastjes te plaatsen voor het opbergen van persoonlijke bezittingen.

In de „schone” zijde van de sluis – dus over de overstapbank – staat ook een afvalbak die door middel van een voetpedaal te bedienen is. In dit deel van de sluis bevindt zich tot slot ook een persoonslange spiegel.

De sluis wordt òf belucht door een rooster vanuit de cleanroom òf door één of meerdere HEPA-filters. Het is hierbij belangrijk de hiërarchische drukafbouw (12,5 Pa per deur) in de gaten te houden.

11. Omkleed-discipline

Hoe sneller men beweegt, hoe meer deeltjes een mens afgeeft. Staat men stil dan geeft men al tot 100.000 deeltjes per minuut af. De tekeningen in figuur 11 geven een beeld van de toename van deeltjesafgifte bij meer bewegen.

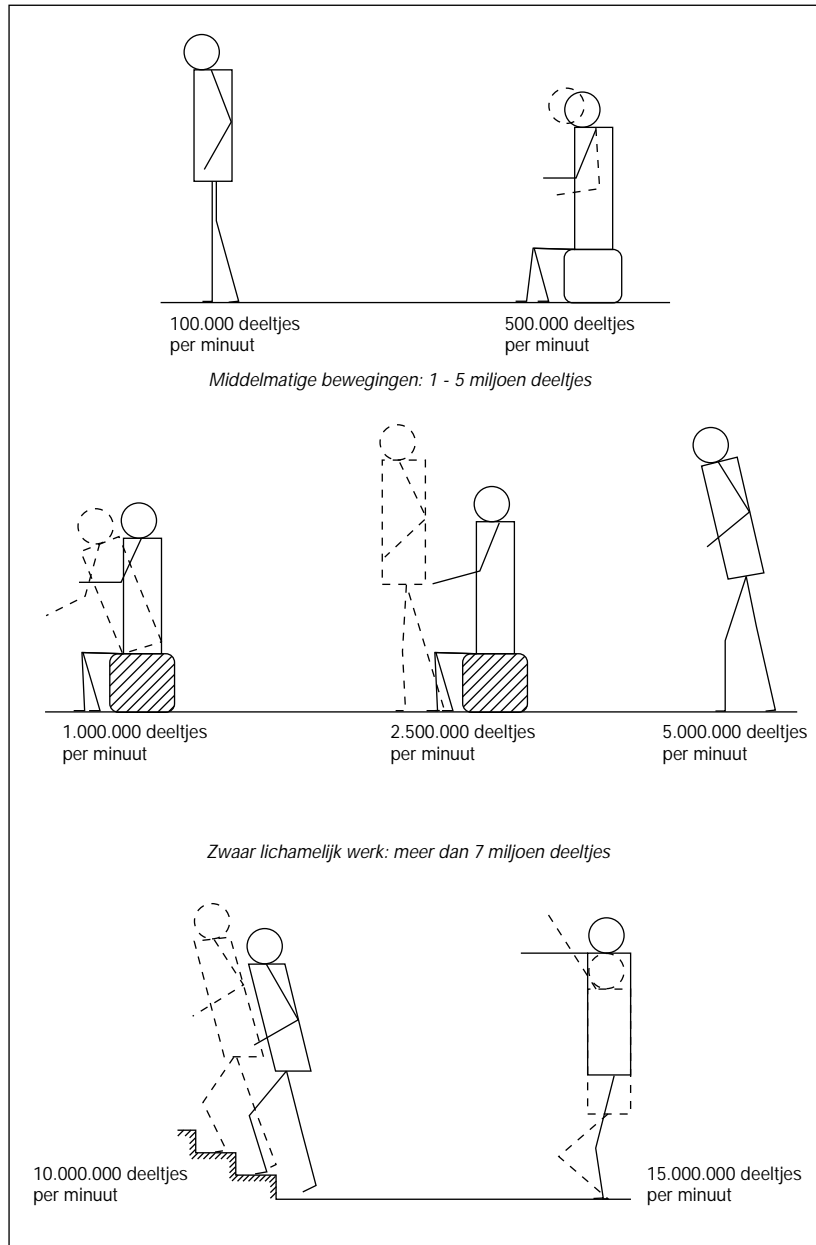
Het moge duidelijk zijn dat deeltjesafgifte door de mens in cleanrooms zoveel mogelijk vermeden moet worden. Omdat er nu eenmaal in een cleanroom gewerkt moet worden – en dus moet worden bewogen – zullen er maatregelen tegen de daardoor ontstane deeltjesafgifte genomen moeten worden.

Zoals een monteur in een garage een overall draagt om zijn onderkleding tegen vuil en smeer te beschermen, zo zal men in een cleanroom beschermende kleding moeten dragen om de *omgeving* te beschermen tegen de deeltjesafgifte van het lichaam.

Bij de overall van de monteur mag de buitenkant dus vuil worden, maar moet de binnenkant schoon blijven; bij een cleanroom-pak moet de buitenkant schoon blijven en mag de binnenkant „vuil” worden.

Hoe luidt de feitelijke omkleedprocedure?

Als we vanuit de gang de kleedsluis binnenkomen zullen we in veel bedrijven reeds *bedrijfskleding* aan hebben. Met deze bedrijfskleding



Figuur 11. Toename van deeltjesafgifte bij meer bewegen.

mogen we overal in het gebouw komen behalve in de cleanroom. Ook mogen we met deze bedrijfskleding het gebouw niet verlaten. De omkleedprocedure is echter met of zonder bedrijfskleding gelijk. De eerste stap is het uittrekken van de kleding die men in de gang droeg tot aan het ondergoed. Kousen, panties of sokken mogen worden aangehouden, tenzij de bedrijfsregels anders voorschrijven. Als we onze bovenkleding hebben uitgetrokken, gaan we op de bank zitten (als er nummers op staan, gaan we zitten op het nummer dat correspondeert met onze schoenmaat) en draaien op onze billen over de bank heen. Het is nu de bedoeling dat direct – zonder de vloer aan te raken – de voeten in de gereedstaande cleanroomschoenen gestoken worden. Dit zijn meestal zogenaamde „Zweedse mullen”, autoclaveerbare schoenen zonder veters.

De volgende stap is het wassen van onze handen. Dit dient zorgvuldig te gebeuren, waarbij we er vanuit gaan dat onze handen ver boven onze polsen beginnen. Natuurlijk hebben we onze sieraden en horloges al voor de overstapbank afgedaan.

Het wassen van de handen moet minimaal 20 seconden duren. Het is hierbij de bedoeling dat met zeep uit een dispenser de huid van de ene hand alle huid van de andere hand stevig raakt met de bedoeling alle huidschilfers los te maken en het aanwezige vuil te verwijderen. Hierna nemen we een cleanroom-muts en trekken deze als eerste aan. Nu zijn alle micro-organismen en stofdeeltjes in ons haar opgesloten en kunnen later niet op de cleanroom-overall neerdrwarren.

Hierna selecteren we een cleanroom-overall van onze maat. We controleren eerst goed de verpakking op scheuren, immers, als er een scheur in de verpakking zit, is de kans groot dat er tijdens het transport deeltjes op de overall gekomen zijn.

De overall trekken we aan op een wijze die er zorg voor draagt dat deze de vloer niet raakt. In de praktijk zal ieder hier zijn eigen „foefje” voor ontwikkelen.

Hierna worden de overschoenen aangetrokken. Deze „overschoenen” zijn gemaakt van hetzelfde materiaal waarvan de overall gemaakt is en heeft een rubber zool. Aan de bovenzijde zit een veter. Bij het aantrekken van deze „boots” houdt u uw cleanroom-klompen aan. Een van de redenen van het dragen van deze „boots” is de volgende: door bewegingen van het been zal de binnenkant van de knie als een soort blaasbalgje kunnen fungeren. Hierdoor zouden micro-organismen vanuit de knieholte bij de enkels naar buiten kunnen komen. Door het dragen van „boots” wordt de af te leggen weg van deze micro-organismen veel langer, waardoor de kans op contaminatie aanzienlijk wordt verkleind.

Als laatste stap worden de handschoenen aangetrokken. Ook hier is een bepaalde handigheid noodzakelijk. De vuistregel is: pak met de blote hand nooit de buitenkant van de handschoen vast!

Ieder bedrijf kent verder haar aanvullende eigen regels. Eén regel echter geldt voor alle cleanroomsluizen: kijk voor u de cleanroom binnengaat goed in de spiegel! Zit m'n kap goed, heb ik m'n monddoekje wel voor, zitten m'n boots goed aangesnoerd etc. Pas als alles in orde is, mag de cleanroom worden betreden.

Eén cleanroomregel moeten we nog met z'n allen afspreken: In een cleanroom is het niet „gek” elkaar te corrigeren. Discipline in een cleanroom is uiterst belangrijk. Indien van bijvoorbeeld vijf aanwezige personen in de cleanroom er één is die de juiste discipline niet betracht, wordt hierdoor de discipline van de andere vier personen te niet gedaan. Wijs elkaar dus op fouten en vindt dit niet „gek” of „raar”!

12. Discipline in de cleanroom

Er zijn een paar uiterst belangrijke gedragsregels in een cleanroom. Ze luiden als volgt:

- a. Beweeg altijd rustig in een cleanroom. Bij te snelle bewegingen zal de lucht te hard gaan stromen waardoor turbulenties ontstaan. Denk hierbij ook aan de wet van Bernoulli.
- b. Blijf altijd aan de „lij-zijde”, dat wil zeggen *achter* het product en nooit tussen het HEPA-filter en het product.
- c. Kom alleen in de voorgeschreven kleding in de cleanroom.
- d. Bij persoonlijke verzorging – bijvoorbeeld toiletbezoek – eerst weer helemaal omkleden.
- e. Nooit eten of drinken in de cleanroom.
- f. Nooit met potlood schrijven in een cleanroom.
- g. Papier nooit scheuren, maar knippen.
- h. Zo weinig mogelijke water in een cleanroom gebruiken (micro-organismen).
- i. Controleer voor het binnengaan van de cleanroom zoveel mogelijk de heersende druk.
- j. Maak eerst alles wat de cleanroom binnengebracht wordt goed schoon.
- k. Rook een half uur voor het betreden van de cleanroom niet.
- l. Indien u (erg) verkouden bent of een andere infectieziekte heeft is het verboden de cleanroom te betreden.

- m. Eerbiedig alle voor de betreffende cleanroom geldende regels (en maak geen eigen interpretaties!).

13. Biohazard-kasten

Een bijzonder soort laminar-flow (LAF-) kast is de *biohazard-kast*. Deze LAF-kast heeft een verticale luchtstroom.

Een bijzonderheid aan deze kast is dat er aan de frontopening een naar binnen toe gerichte luchtstroom heerst. Deze luchtstroom wordt door een rooster aan de voorkant van het werkblad afgezogen. De (mogelijk gecontamineerde) lucht van buiten de laf-kast komt dus niet op het werkblad en dus ook niet op een eventueel product in de kast. Wél zorgt het luchtgordijn ervoor dat er geen (gecontamineerde) lucht naar buiten komt. Deze biohazard kast *isoleert* het product ten opzichte van de ruimte buiten de LAF-kast. Hij wordt dan ook wel down flow isolator genoemd. De kast is meestal uitgevoerd met het beeldmerk zoals afgedrukt in figuur 12.

0838-0362



Figuur 12. Beeldmerk biohazard-kast.

14. Schoonmaak en onderhoud

Omdat er in een cleanroom gewerkt wordt, zal de cleanroom vuil worden. Niet zoals bij een kantoor waar na verloop van tijd een laagje stof geconstateerd kan worden, maar vaak *onzichtbaar* vuil dat bestaat uit micro-organismen en onzichtbare stofdeeltjes met een doorsnede van minder dan 30 micron.

De schoonmaakprocedure zal in een schoonmaakprotocol worden vastgelegd. De schoon te maken onderdelen van de cleanroom en de in de cleanroom aanwezige voorwerpen krijgen een getal toebedeeld. Dit getal geeft de schoonmaakfrequentie aan. Zo betekent het getal 52 dat éénmaal per week het betreffende onderdeel dient te worden gereinigd.

De wanden worden zo veel mogelijk horizontaal afgenomen. Vlakken maakt men in één richting schoon door parallelle, overlappende bewegingen te maken.

Gebruik alleen de voorgeschreven desinfectanten.

Indien de ruimte moet worden gestofzuigd, begin dan bij de sluisdeur. Dit in verband met de geringe valsnelheid van kleine deeltjes. Zou men eerst naar het einde van de cleanroom lopen met een stofzuiger, dan veroorzaakt men onnodig veel turbulentie die kleine deeltjes doet opdwarrelen. Deze deeltjes hebben soms meerdere minuten nodig (of veel langer) om weer op de vloer terug te vallen. Het moge duidelijk zijn dat het daarom beter is zo weinig mogelijk turbulenties te maken door direct bij de deur met stofzuigen te beginnen. Gebruik ook altijd stofzuigers met micro-filters.

Gebruik zo weinig mogelijk water en gebruik alleen de voorgeschreven hulpmiddelen als „cleanroom-wipes”.

Een algemene regel is: een schoonmaak protocol wordt niet voor niets gemaakt; volg dit protocol nauwgezet en eerbiedig de geldende cleanroomregels.

15. Metingen

Het resultaat van onze schoonmaakactiviteiten kan zichtbaar worden gemaakt door metingen.

We onderscheiden drie hoofdgroepen, te weten:

- a. metingen van deeltjes in de ruimte (stoftechnische metingen);
- b. metingen van KVE's (kolonievormende eenheden);
- c. metingen aan filters op lektheid.

Verder worden in cleanrooms metingen verricht die de luchtvochtigheid meten, de temperatuur meten en die de luchtsnelheid meten.

Al deze metingen toetsen de cleanroom aan de gestelde criteria.

De metingen van de ruimte wordt met een particle counter (deeltjesteller) verricht. Vroeger gebruikte men alleen een lichtverstrooi-

L1020-22 Cleanrooms

ings particle counter, tegenwoordig werkt men in het algemeen met een laser particle counter. Deze laatste particle counters kunnen deeltjes van circa 0,1 micron en groter meten.

Aan de hand van de metingen met een particle counter kan bepaald worden aan welke classificatie volgens de U.S.Federal Standard 209e de cleanroom voldoet. (Zie hiervoor tabel 1.)

De meeste meetapparaten meten gelijktijdig deeltjes van verschillende grootte. De aangezogen hoeveelheid lucht is over het algemeen één kubieke voet, zodat eenvoudig direct de klasse kan worden bepaald.

Micro-organismen kan men meten met een *slit-sampler* – reeds genoemd in het hoofdstuk „indeling in klassen” – of door middel van *afdrukplaatjes* die na in een broedstoof te zijn geplaatst een zichtbare hoeveelheid kolonies tonen.

Eventuele gaatjes (pin-holes) in filters kan men constateren met behulp van de D.O.P.-test methode (Diocetyl Phthalate Penetration test). Hierbij wordt rook met een gecalibreerde concentratie en deeltjesgrootte in de kanalen vóór het filter gebracht. De lucht na het filter zal, bij aanwezigheid van pin-holes D.O.P.-deeltjes bevatten. Dit kan door een particle counter worden geconstateerd.

16. Conclusie

Het schoonmaken van cleanrooms vereist vakbekwaamheid en discipline. Deze twee vereisten staan onlosmakelijk naast elkaar. Men zou kunnen zeggen dat het betrachten van de noodzakelijke discipline een onderdeel uitmaakt van het benodigde vakmanschap.

„Het schoonmaken van cleanrooms is een vak apart.”