

Kwalificeren van Operatiekamers

In de genoemde richtlijnen wordt voor het eerst de gehele OK als totaalconcept voor de beoordeling van de luchtkwaliteit binnen de ruimte genoemd. Als beoordelingsinstrument voor de beschermingsklasse van de OK wordt een gedefinieerde meetopstelling beschreven. Op grond van de variaties in de meetresultaten is het nu mogelijk om uitspraken te rechtvaardigen over verschillende uitvoeringsvormen en inrichtingen, en hun invloed op de laminaire luchtstroming binnen het operatiegebied. In dit artikel zullen enkele specifieke inrichtingen (parameters) nader worden besproken.

RANDAFSCHERMING

In een meerderheid van de operatiekamers worden pendels of zuilen gebruikt als plafondvoorziening voor medische gassen en elektra-aansluitingen, maar ook voor het plaatsen en ophangen van apparatuur. Meestal worden een anesthesiependel en een chirurgiependel geplaatst. Ten behoeve van persfusieaansluitingen bij cardiochirurgie en het ophangen van monitoren bij endoscopie kan het aantal plafondvoorzieningen met pendels en draagplateaus nog worden uitgebreid.

De pendels en draai-armen vormen in de dagelijkse praktijk echter een forse belemmering voor het gebruik van een randafscherming rondom het inblaasplafond, zoals aanbevolen in de Zwitserse richtlijn van de SWKI. De hoogte van de randafscherming is vanaf het plafond tot 2.10 m boven de vloer. In de Engelse norm (HTM 2025) wordt de randafscherming zelfs dwingend voorgeschreven bij het gebruik van een groot inblaasplafond (LAF, Laminar Air Flow) t.b.v. implantaatchirurgie.

Diverse praktijkonderzoeken en CFD berekeningen hebben aan-

Op basis van de sinds de laatste jaren ontwikkelde OK-concepten met grote inblaasplafonds en een afgebakend, gespecificeerd operatiegebied, zijn enige verbeteringen doorgevoerd op het terrein van luchtbeheersing en infectiepreventie. Deze nieuwe ontwikkeling biedt in de praktijk een nog betere bescherming aan het wondgebied, het steriel aangeklede operatieteam en vooral de steriele instrumententafels. Ten opzichte van de huidige stand van de techniek zijn deze concepten niet alleen energetisch verbeterd, maar is tevens het gehele luchtstromingsprofiel geoptimaliseerd.

Als aanzet tot deze verbetering diende de in 2003 nieuw gepubliceerde Zwitserse richtlijn voor de OK, de SR 99/3 [1].

Deze Zwitserse richtlijn is door de VDI in Duitsland als ontwerptekst vrijwel letterlijk overgenomen (Entwurf VDI 2167) en vormt tevens de basis voor het ontwerp van een Europese richtlijn [2].

- door ing. S. Schinkel
en ing. P. van den Wildenberg**



De verticaal ingeblazen lucht buigt vroegtijdig af naar opzij.

- FIGUUR 1 -

getoond dat bij het niet plaatsen van een randafscherming de verticaal ingeblazen lucht vroegtijdig (d.w.z. direct onder het plafond) naar opzij afbuigt (zie figuur 1).

De discussie over het wel of niet plaatsen van een randafscherming, en hoe lang deze moet zijn, wordt in alle OK bouw- en inrichtingsprojecten heftig gevoerd. Vooral in die projecten waar wordt besloten tot het installeren van plafondpendels met (al of niet hoog/laag verstelbare) draai-armen.

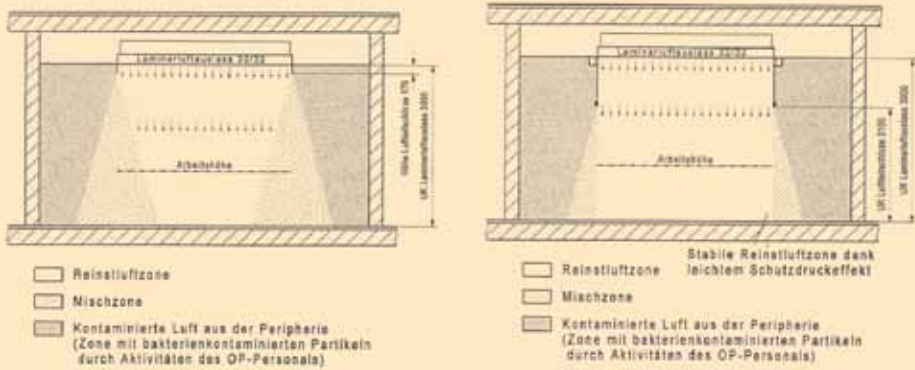
Reeds in 1990 werd door Fitzner in een artikel "Zuluftdecken für Operationsräume" gewezen op de functie en toegevoegde waarde van de randafscherming vanwege het gunstige effect op de luchtstroming binnen het operatiegebied [3]. De randafscherming verhindert de vroegtijdige instroming van partikel- en kiemdragende lucht uit de periferie naar het operatiegebied. Dit als gevolg van onbeheersbare luchtstromingen en turbulentie op het grensgebied van de periferie en de laminaire luchtstroom [5] (zie figuur 2).

VOORZIENINGENPENDELS OF VOORZIENINGENBRUGGEN

Pendels en randafscherming blijken tegenstrijdig in de praktijk. Een onder het inblaasplafond geplaatste draai-arm van de pendel verstoort de stabiliteit van de laminaire luchtstroming aanzienlijk. Niet alleen zal de turbulentie onder het plafond toenemen, ook partikeldragende lucht zal van uit de periferie over de draai-arm regelrecht het afgeschermd operatiegebied binnenvloeden [5] (figuur 3).

Om dit effect te vermijden is het noodzakelijk om het zwenk-

* ADMECO AG Zwitserland



Uitwerking van het luchtgeleidingschort op de laminaire luchtstroom.

- FIGUUR 2 -

bereik van de draai-armen te begrenzen naar het inblaasplafond toe. Op deze wijze kunnen armen en apparatuur niet binnen het operatiegebied komen. Probleem is dan wel dat de flexibiliteit van de pendels wordt beperkt. Daarom kan nog beter maar meteen worden gekozen voor een voorzieningenbrug in plaats van pendels. Bruggen zijn star aan het plafond bevestigd en bevinden zich buiten het operatiegebied. De brug kan daarnaast deel uitmaken van de randafscherming.

UITVOERING EN VORM VAN HET INBLAASPLAFOND
Uit onderzoeken naar de optimale vorm van het (LAF) inblaasplafond, kwam naar voren dat een achthoekige vorm met

een verhoogde kernsnelheid (differential luchtstroom) vermoedelijk is te realiseren [4].

Tijdens opleverings- en onderhoudsmetingen uitgevoerde rookproeven laten, vooral in de hoeken, vaak een zekere instabiliteit zien van het stromingspatroon binnen een groot vierkant inblaasplafond. Het is aannemelijk dat bij een geprojecteerde cirkelvorm de luchtstroming in de doorsnede stabiel zal zijn. In een achthoekige vorm zijn de hoeken t.o.v. een vierkant geminimaliseerd (figuur 4).

Het combineren van een achthoekig plafond met lage afzuiging in de hoeken van de OK zal er aldus vermoedelijk voor zorgen dat een verbeterde luchtstroming ontstaat in de gehele ruimte.

VERDELING VAN DE LUCHT INBLAASSNELHEID

Een zogenaamde "differential stroming" binnen het uitblaasoppervlak van het plafond garandeert een hogere luchtstroming in het middengebied. Door een geringe verhoging van de luchtsnelheid in het middengebied stabiliseert de gehele laminaire luchtstroming en verhindert daarmee het binnendringen van vuile lucht uit de periferie. Fitzner sprak reeds het volgende vermoeden uit: "De luchtstuwung boven de operatietafel door vermindering van de luchtstroming in het middengebied, bij uitvoeringen met een groot inblaasplafond, kan waarschijnlijk alleen worden opgeheven door het plaatselijk verhogen van de luchtsnelheid" [8] (figuur 5). Helaas is het nog niet mogelijk



Verstoring van de laminaire luchtstroom door de aanwezigheid van de verzorgingsarm.

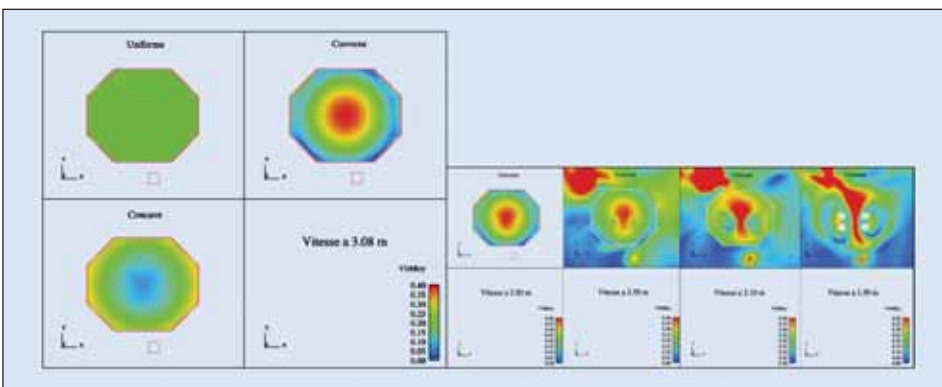
- FIGUUR 3 -

meerdere projecten toegepast. Als voorbeeld wordt onderstaand de OK voor gynaecologie en obstetrie in het Universiteitsziekenhuis van Zürich (Zwitserland) besproken. De besluitvorming over het type OK-lamp in de planningsfase, evenals de geringe afmetingen van de ruimte maakten het helaas moeilijker om een optimaal OK-concept te realiseren. Het laminair downflow inblaasplafond is een achthoekig plafondstelsel met rondom een randafscherming en voorzieningenbrug. Het ontwerp gaat verder uit van een zo optimaal mogelijke, lage afzuiging van met partikel en kiemen verontreinigde omgevingslucht in de vier hoeken van de ruimte. Voor de oplevering werden verschillende testmetingen conform de SWKI 99-3 verricht, om vermoedens betreffende de invloed van verschillende parameters, zoals eerder beschreven, te onderzoeken. Hiervoor werd niet alleen met twee verschillende combinaties OK-lampen gewerkt, maar werden ook metingen herhaald met gebruikmaking van gesimuleerde hoge afzuiging in de hoeken van de ruimte.

UITVOERING VAN DE HYGIËNETESTS

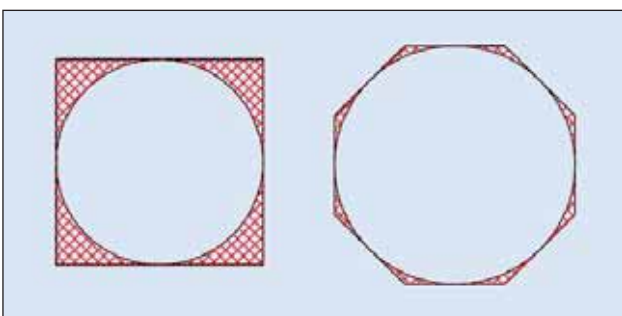
Met de hygiënetests conform SWKI 99-3 wordt de efficiëntie van de OK als geheel gemeten. Hiervoor wordt de meetopstelling gehanteerd, zoals de in de richtlijn staat beschreven. De opstelling van de apparatuur kan verschillen naar het type beschermingsonderzoek. Enerzijds wordt de invloed van buiten het operatiegebied gemeten, anderzijds de invloed binnen het operatiegebied. (figuren 6 en 7).

Bij de meetpunten 1 t/m 3 (MP1 – MP3) op de operatietafel



Gestreefd wordt naar octagonale uitlaatsystemen met verhoogde kernsnelheid.

- FIGUUR 4 -



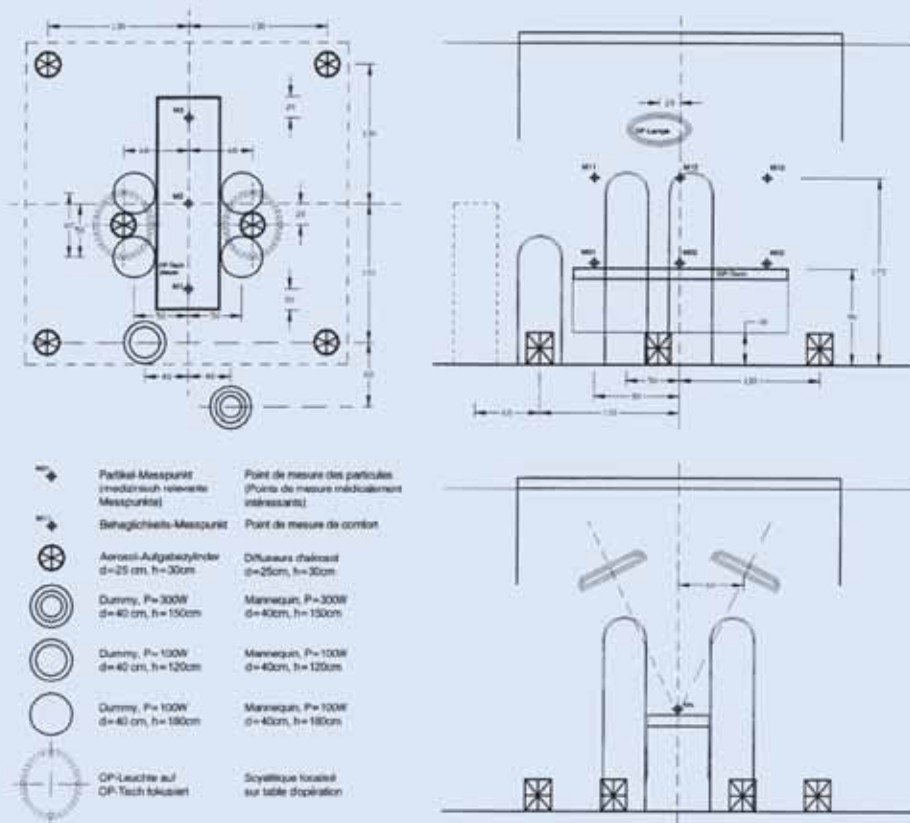
Ringvormige uitlaatsystemen blijken stromingsstabiel.

- FIGUUR 5 -

gebleken om binnen één project een directe vergelijking te maken tussen snelheden van een homogeen en een differentiaal inblaasstelsel. Er zijn echter voldoende positieve resultaten bekend van al eerder gemeten O.K.'s met een verhoogde kernsnelheid.

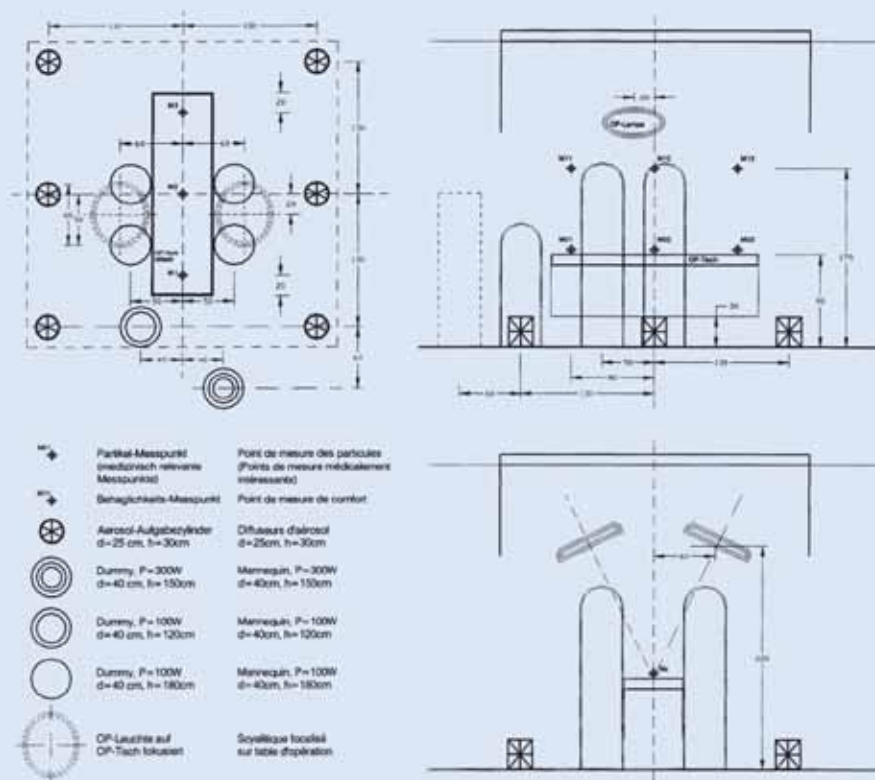
IMPLEMENTATIE BINNEN EEN SPECIFIEK PROJECT

De nieuwe inzichten zijn al in



Meetopstelling ter bepaling van het aantal binnen het operatiegebied ontstane partikels [1].

- FIGUUR 6 -



Meetopstelling ter bepaling van het aantal partikels van uit de periferie [1].

- FIGUUR 7 -

wordt gemeten hoeveel partikels in het operatiegebied, dan wel in het wondgebied, kunnen

binnendringen. In dit geval wordt gemeten met een vooraf gedefinieerde hoeveelheid gas

aërosol (DEHS) uit een testcilinder. Met het beschermings-effect wordt een oordeel gegeven

over het totale inblaassysteem voor het verdrings- en verdunnings-effect binnen de ruimte en de invloed van bijvoorbeeld operatielampen.

Als referentiebron wordt uitgegaan van een hoeveelheid van $6,3 \cdot 10^9$ Partikels/min op basis van de volgende formule ter verkrijging van een referentiewaarde in een fictieve operatiekamer. De partikelconcentratie wordt als referentiewaarde vastgesteld op 106 P/ft^3 .

$$Q_{\text{Ref}} = C_{\text{Ref}} \cdot A_{\text{Ref}} \cdot v_{\text{Ref}}$$

$$= 10^6 \cdot 10 \cdot 0.3 \cdot 35.3 \cdot 60$$

$$= 6.3 \cdot 10^9$$

$$P/\text{min} = P/\text{ft}^3 \cdot m^2$$

$$\cdot m/s \cdot \text{ft}^3 / m^3 \cdot s/\text{min}$$

- Q_{Ref} - Referentie bronhoeveelheid
- C_{Ref} - Referentie partikelconcentratie
- A_{Ref} - Referentie oppervlakte
- v_{Ref} - Referentie snelheid

De uitkomsten van de partikelmetingen worden gebruikt om de mate van bescherming in een beschermingsgraad te kunnen uitrekenen. De beschermingsgraad wordt als volgt gedefinieerd:

$$SG_x = -\log(C_x / C_{\text{Ref}})$$

- C_x : Partikelconcentratie op het meetpunt X (P/ft^3)
- C_{Ref} : Referentie partikelconcentratie = 106 P/ft^3

Naast de in de SWKI 99-3 gedetailleerd beschreven goedkeuringmetingen werden verdere tests uitgevoerd. Hiertoe werden enkele parameters zodanig veranderd dat een nauwkeuriger antwoord kon worden verkregen op de eerder uitgesproken vermoedens.

Onderstaand worden deze parameters gedetailleerd weergegeven.

Parameters tijdens alle metingen Universiteitsziekenhuis Zürich (CH), gebouwdeel N1 etage D, OK 105, met ADMECO Octogonaal recirculatie differentiaal flow inblaasplafond SW 3,2 en een vaste randafscherming. Lage afzuiging van de recirculatielucht in vier vaste hoeken van de OK.

De overige vaste installatie bestaat uit een excentrische geplaatste operatietafel zuil en een centrale ophanging van het statief voor de operatielampen. De lampbehuizingen zelf hebben een grote diameter (= grote afscherming).

De totale lucht inblaashoeveelheid werd, op basis van de vereiste inblaassnelheid van 0,20 m/sec op ieder meetpunt, vastgesteld op 8.960 m³/h. Hiervan is 1.800 m³/h (gekoelde) buitenlucht.

Om 19.00 uur werd de temperatuurregeling van de toevoerlucht (waarschijnlijk automatisch) uitgeschakeld waarna de vervolgmetingen plaatsvonden met een negatief temperatuurverschil.

Commentaar op de beschermingsgraad

In de richtlijn van de SWKI worden vijf beschermingsklassen onderscheiden. Beschermingsklasse 5 geeft de hoogste beschermingsgraad weer, overeenkomend met het niveau van desinfectie.

Beschermingsklasse 1, of zelfs lager, geeft een matige tot slechte beschermingsgraad weer.

UITSLAGEN VAN DE HYGIËNISCHE GOEDKEURINGSTESTS

Lage afzuiging incl. recirculatie

Meting 1: Operatielampen met grote doorsnede

Meting 2: Zonder operatielampen

Meting 3: Operatielampen Admeco- Lux 5Si/5Si

(Figuur 8)

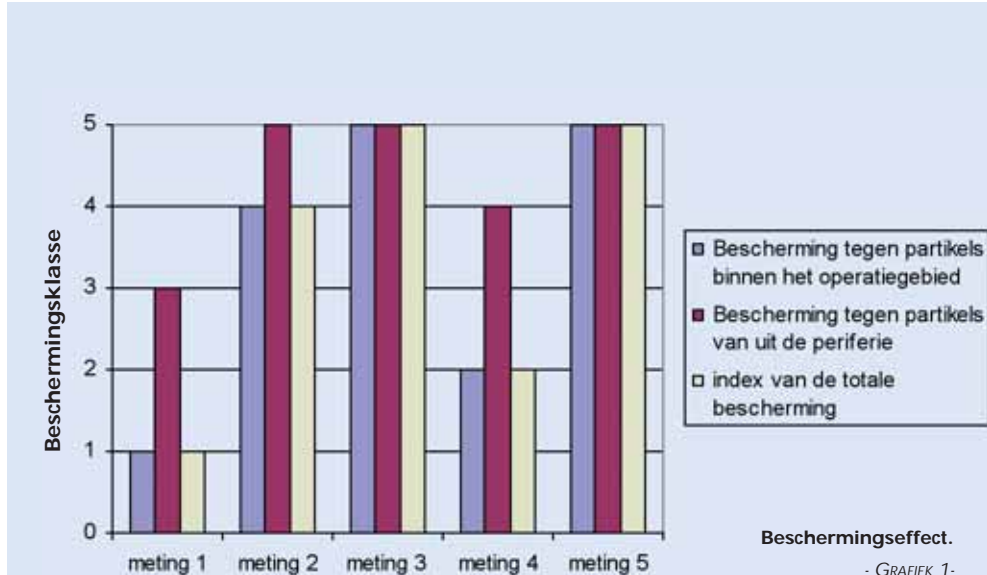
Hoge afzuiging incl. recirculatie

Meting 4: Operatielampen met grote doorsnede

Meting 5: Operatielampen Admeco- Lux 5Si/5Si

Tijdens de eerste drie metingen werd alleen de invloed van verschillende uitvoeringen van operatielampen onderzocht.

Meting 1 is een weergave van de huidige lay-out en inrichting van de OK "in gebruik". In relatie tot meting 2 is de negatieve invloed van de grote ronde operatielampen duidelijk aantoonbaar. Hoewel de bescherming tegen invloeden vanuit de periferie van de OK nog een relatief goede waarde oplevert, is de bescherming binnen het operatiegebied duidelijk minder. Dit patroon werd herhaaldelijk waargenomen tijdens overige metingen. Meting 2 geeft een antwoord op de mogelijkheden waartoe de installatie normaal gesproken in staat is. Operatielampen kunnen worden gezien als de meest versto-



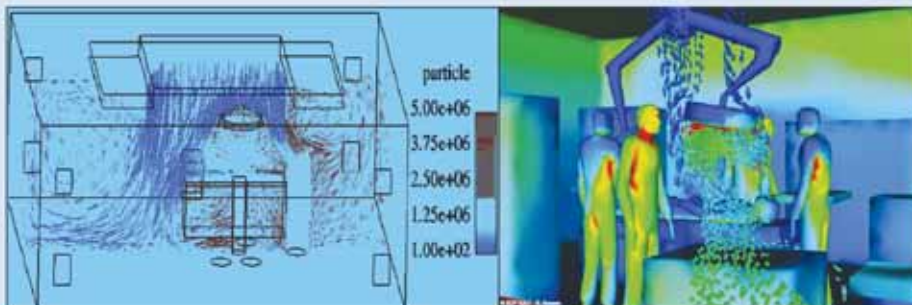
Beschermingseffect.

- GRAFIEK 1-



Meting 1 links en meting 3 rechts [4].

- FIGUUR 8-



Stroming rondom standaard operatielampen [4 en 8].

- FIGUUR 9-

rende factor binnen het operatiegebied onder een laminaire downflow plafond. Stromingsanalyses en simulaties (o.a. CFD) laten meestal dit effect zien.

Operatielampen met een gesloten behuizing en/of een groot oppervlak verstoren de neerwaartse stroming van gefilterde schone lucht dusdanig sterk dat onder de lamp wervelingen en een opwaartse stroming van gecontamineerde lucht ontstaan. De partikelconcentratie boven de operatietafel wordt hierdoor aanzienlijk verhoogd (Figuur 9). Natuurlijk worden door ieder verstorend object onder een laminaire luchtstroming min of

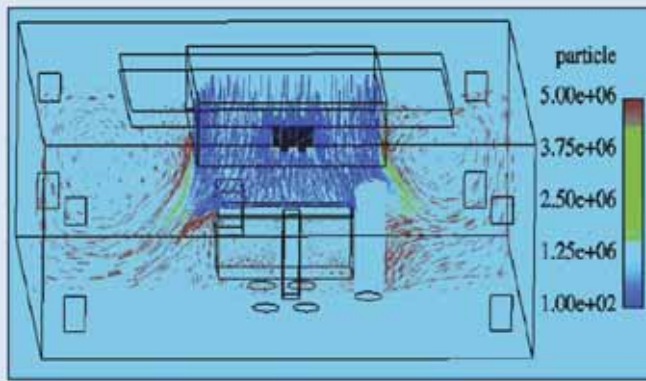
meer turbulenties veroorzaakt, maar dit effect kan niet als op zichzelf staand worden gezien. Zoals ook in de SWKI/VDI beschreven, zijn twee effecten van belang ter vermijding van partikel- en kiembelasting binnen het operatiegebied: verdringing en verdunning. Verdringing op zich voltrekt zich uit puur fysieke gronden al eenvoudiger onder een open structuur van de operatielampen (Figuur 10). Vergelijking van de beide gemeenten partikelconcentraties van meting 1 en meting 3 onder verschillende lampentypen, toont een overduidelijk betere werking van de lamp ten opzichte van de overige lampvorm met een ge-

sloten behuizing en grote diameter. (Figuur 11).

In de verdere metingen werd de invloed van lage en hoge afzuiging van (recirculatie)lucht getest en beoordeeld.

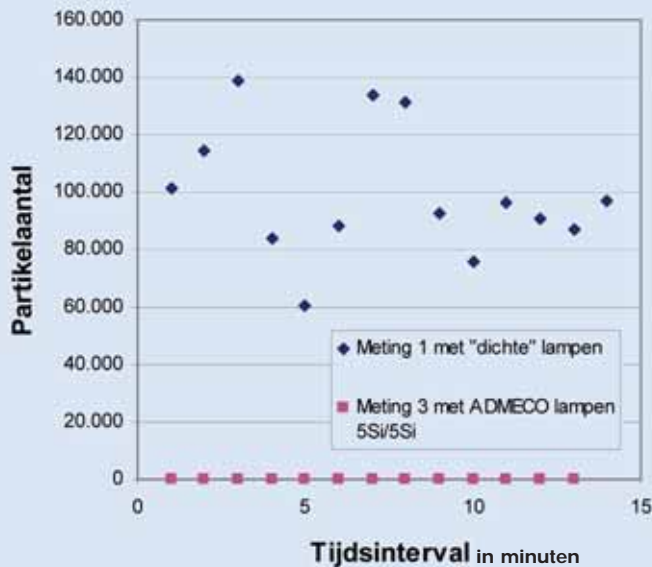
Tijdens experimenten met stromingspatronen kon het volgende worden waargenomen.

Bij lage afzuiging in de hoeken werd de neerwaartse laminaire luchtstroming pas vlak boven de vloer horizontaal afgebogen. Na het wisselen van lage naar hoge afzuiging was deze horizontale afbuiging al voortijdig, namelijk direct onder de randafscherming zichtbaar. Het gevolg



Stroming onder een ADMECO operatielamp [8].

- FIGUUR 10 -



Verloop van de partikelconcentraties bij meting 1 en 3 (meetpunt 1).

- FIGUUR 11 -

hiervan is dat onder de lampen aanwezige partikels eerder naar opzij, in de periferie, worden "gedreven" dan naar de vloer. Door de differentiaalflow uitvoering van het inblaasplafond, met een hogere inblaassnelheid in het middengebied, is het aldus mogelijk om het gebied direct boven de operatietafel sneller te "reinigen".

Hiermee kan tevens een verklaring worden gevonden van het betere beschermingseffect van meting 4 boven meting 1. Verschillen in de uitkomsten van de metingen 3 en 5, beide met lux operatielampen kon niet worden waargenomen. De lux lampen vormen door hun open structuur een veel geringere belemmering voor de neerwaartse luchtstroming, waardoor het praktisch uitgesloten is dat er, door turbulentie, een opwaartse vuile luchtstroming ontstaat. Een voortijdige horizontale afbuiging van de neerwaarts gerichte luchtstroming was ook bij deze metingen

zichtbaar. Het beschermingseffect werd hierdoor echter niet negatief beïnvloed. De hoge afzuiging is weliswaar verantwoordelijk voor een verbeterde afvoer van partikels rondom de bovenste helft van de dummypoppen, maar door een geringe positieverandering van de operatielampen met grote diameter ontstond een versterking van de opwaarts gerichte vervuilende luchtstroming vanaf de vloer (onder de operatietafel). Op basis van deze enkele metingen is het helaas niet mogelijk een eensluidend antwoord te geven of lage dan wel hoge afzuiging de voorkeur geniet of dat het een beter of slechter is dan het ander. Dit is een onderwerp dat tijdens toekomstige experimenten nog uitvoeriger dient te worden onderzocht.

De symmetrische opstelling van de (hoge en lage) lucht afzuigroosters (zowel afvoer als recirculatie) heeft zeer waarschijnlijk wel een gunstige invloed op de

totale luchtbalans van de ruimte. De tijdens voorgaande experimenten in andere operatiekamers veelvuldig geconstateerde luchtcirculaties in de periferie werden tijdens deze metingen niet waargenomen. Het fenomeen van deze luchtcirculaties buiten het operatiegebied ontstaat hoogstwaarschijnlijk door de asymmetrische plaatsing van afvoer-, recirculatie- en overstromroosters. Dit uit zich in een bepaalde instabiliteit van de luchtstromingen in de periferie van de OK, met als gevolg een verhoogde kans op een intermitterende partikeltoevoer naar het operatiegebied.

De criteria waarop zou moeten worden gekozen voor de vorm van het inblaasplafond, zouden zich meer dienen te richten op praktisch/ergonomische aspecten in plaats van op hogere efficiëntie van het inblaasplafond en een betere beschermingsklasse voor de gehele ruimte. Het eerder uitgesproken vermoeden van een grotere efficiëntie van het octogonale (achthoekige) inblaasplafond ten opzichte van het vierkante plafond kon, door ervaringen met andere projecten, niet worden bevestigd. De mogelijke standaardoplossing voor de plafondkeuze komt dan neer op een vierkant laminair downflow inblaasplafond van 3,2 x 3,2 meter met een verhoogde snelheid in het middengebied en randafscherming. Aangenomen kan worden dat hoge afzuiging van recirculatielucht in alle hoeken van de OK niet alleen een gunstige uitwerking heeft op de stabiliteit van de laminair downflow, maar ook op de gehele luchtstroming en luchtbalans in de ruimte.

De uitslagen van de metingen 2, 3 en 5 tonen een zeer hoge beschermingsgraad bij een klein en deels zelfs negatief temperatuurverschil tussen de ingeblazen

lucht en de ruimtelucht. Het onderzoek binnen dit project heeft niet aangetoond dat het tot nu toe gehanteerde temperatuurverschil (1 – 2 °C) noodzakelijk is om een neerwaartse luchtstroming te ondersteunen en een juiste luchtbalans te garanderen. De uitkomsten van deze test maken het waarschijnlijk tevens onnodig om extra koeling toe te passen (naast de reeds bestaande en vereiste) en vervolgens verwarmen van de lucht ter zekerstelling van een goede beschermingsgraad binnen het operatiegebied. Het gevolg daarvan zal een extra energiebesparing zijn.

REFERENTIES

1. SWKI 99-3: *Heizung-, Lüftungs- und Klimaanlagen in Spitalbauten* (05.2003)
2. VDI 2167: *Technische Gebäudeausrüstung von Krankenhäusern, Heizungs- und Raumlufttechnik* (Entwurf, 12.2004)
3. Fitzner K.: *"Zuluftdecken für Operationsräume"* Sonderdruck aus HLH Bd.41 (1990) Nr.4 Seiten 319/13
4. Vortragsunterlagen Mr. Beauchêne (EDF – Energy de France)
5. VDI 2083 T3 *Reinraumtechnik, Messtechnik in der Reinraumluft* (Juli, 2005)
6. Messprotokolle der Fa. AYSID zur Abnahmemessung
7. Detzer R.: *Partikelausbreitung in Reinräumen*. VDI Berichte Nr.783, 1989
8. Degenhart E.: *Auslegung reinraumtauglicher Fertigungseinrichtungen unter Berücksichtigung strömungstechnischer Gesichtspunkte*. VDI Berichte Nr.919, 1991
9. Masuch J.: *Turbulenzuntersuchungen in reinen Räumen mit turbulenzarmer Verdrängungsströmung zur bewertung des Einflusses verschiedener Störungen auf das Strömungsfeld*. VDI Berichte Nr.654, 1987
10. Fitzner K.: *Vorteile der laminaren Strömung in Reinräumen: Produkte durch Reine Luft abschirmen*. Die Kälte- und Klimatechnik, Nr.9, 1989
11. Sodex F.: *Laboruntersuchungen über die Luftströmung in reinen Räumen*. TAB – Sonderheft zur AGI-Tagung REINRAUMTECHNIK, 10.1987