

U.D.C. 697.957 : 725.51

DE BEOORDELING VAN REINHEID EN COMFORT IN OPERATIEKAMERS

P.A. Bossers

I N H O U D

1 INLEIDING

2 HET THERMISCH COMFORT

3 VERMINDERING VAN HET AANTAL MICRO-ORGANISMEN IN DE LUCHT

3.1 Luchtkwaliteit in operatiekamers

3.2 De luchtstroming en bacterieconcentratie

3.2.1 Luchttoevoersystemen

3.3 Meetplaatsen en -methoden

3.3.1 Metingen met tracergas

3.3.2 Metingen met bacteriën

3.3.3 Metingen met stofdeeltjes

4 CONCLUSIES

5 APPENDIX

6 LITERATUUR

1 INLEIDING

Zowel bij de nieuwbouw als verbouwing van ziekenhuizen wordt veel aandacht besteed aan de inrichting van de operatiekamers. Bij de inrichting hoort ook het mechanische ventilatiesysteem of de luchtbehandelingsinstallatie, zonder welke praktisch geen operatiekamer meer wordt afgeleverd. Het doel van deze installaties is voor operatiekamers eigenlijk tweeledig:

- a) verbetering van de werkomstandigheden
- b) vermindering van het aantal micro-organismen in de lucht

De aard van het object (met name de kans op besmetting van de patiënt) en de hoge installatiekosten maken het, nog meer dan in andere gevallen, noodzakelijk eisen te stellen waaraan in de gebruikstoestand moet worden voldaan. Even noodzakelijk is het een controle op de verwezenlijking van de gestelde eisen uit te voeren. In het volgende zal worden getracht een overzicht te geven van de criteria die zouden moeten worden getoetst en welke mogelijkheden daartoe openstaan.

2 HET THERMISCH COMFORT

De problemen die zich ten aanzien van de werkomstandigheden in operatiekamers voordoen liggen niet zo zeer in het ontwerp van de installatie, doch veel meer in het programma van eisen, en wel voornamelijk t.o.v. de te kiezen luchttemperatuur. Het metabolisme, d.w.z. de menselijke warmte-ontwikkeling, vooral van de chirurgen tijdens hun werk, is vrij hoog. Wanneer dit leidt tot zweetafscheiding in grote druppels is dit bijzonder hinderlijk. Door Vincent [1] worden gemiddelde waarden gegeven van de warmte-ontwikkeling van chirurgen e.a. bij temperaturen van 22°C tot 24°C. Zo vermeldt hij b.v. voor een chirurg bij 22°C een hoeveelheid voelbare warmte van 100 W en een zweetproductie van 160 g/h.

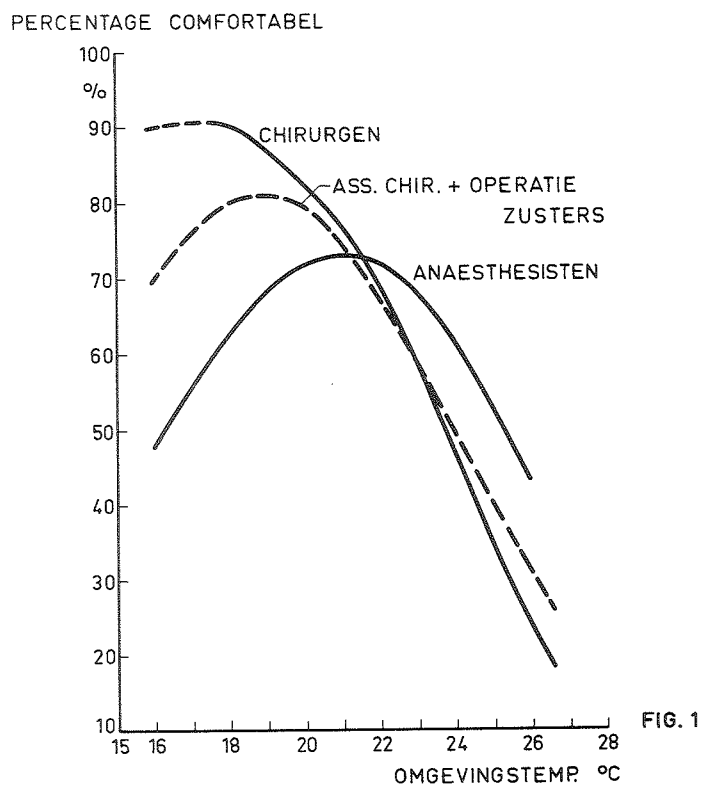
Door Wyon, Lidwell en Williams [2] werd een onderzoek uitgevoerd naar de gewenste temperaturen door verschillende groepen mensen, die tegelijkertijd in een operatiekamer werkzaam zijn. In fig. 1 wordt een ge-

deelte van hun onderzoek weergegeven in een grafiek, waarin is opgenomen het percentage van de verschillende groepen werkzaam in een operatiekamer, die temperaturen tussen 16°C en 20°C als comfortabel ervoeren. Duidelijk blijkt dat de meest gewaardeerde temperatuur voor chirurgen, anaesthetisten en verpleegsters per groep aanzienlijk verschilt. In de nederlandse omstandigheden zou een enquête met behulp van de technische diensten van ziekenhuizen waarschijnlijk een waardevolle aanvulling betekenen van dit cijfermateriaal.

Daar een ventilatie- of luchtbehandelingsinstallatie voor een operatiekamer in hoofdpziet niet afwijkt van voor andere objecten gebruikelijke systemen, biedt de contrôle of aan de gestelde eisen voldaan is in beginsel ook niet meer problemen dan in overeenkomstige installaties in kantoren e.d. Het bepalen van de capaciteit van de installatie of onderdelen daarvan en daarnaast het meten van luchttemperaturen en -snelheden benevens de relatieve vochtigheid zijn dan ook niet moeilijker.

3 VERMINDERING VAN HET AANTAL MICRO-ORGANISMEN IN DE LUCHT

Het toepassen van een ventilatiesysteem in operatiekamers is in de eerste plaats gericht op het beperken van besmetting door micro-organismen in de lucht. Voorlopig moet men wel aannemen dat hoe groter de concentratie daarvan is, des te groter de kans is op een besmetting die tot infectie kan leiden. De installatie moet dus in staat zijn een lagere concentratie van de micro-organismen te bewerkstelligen dan zonder de toepassing van een mechanisch ventilatiesysteem. De aan de ruimte toegevoerde gezuiverde ventilatielucht moet, ondanks een in de ruimte voortdurend vrijkomende stroom micro-organismen, het niveau van verontreiniging laag houden en voor een zo snel mogelijke afvoer van de verontreinigingen zorgdragen. Het zuiveren van de toe te voeren lucht, die in het algemeen rechtstreeks van buiten zal worden betrokken, wordt meestal gedaan door middel van filtratie. Of hier gebruik moet worden gemaakt van absoluutfilters met een rendement van 99,997% voor deeltjes groter dan 0,3 µm, of dat volstaan kan worden met minder



VOLGENS WYON, LIDWELL, WILLIAMS

kostbare filters die een rendement hebben van 99,9% voor deeltjes groter dan 5 μm , is nog in discussie. Bij sommigen gaat om praktische en financiële redenen de voorkeur uit naar de laatste soort [3] [4]. Blowers e.a. [] zijn echter van mening dat filters met een rendement van 99,9% bij 5 mikron afdoende geacht moet worden.

3.1 Luchtkwaliteit in operatiekamers

Bij het beoordelen van de installatie aan de hand van de luchtkwaliteit in de operatiekamer, wordt de kans op toetreden van lucht uit andere ruimten uitgesloten. Daarbij wordt er van uitgegaan dat de installatie zo is uitgevoerd, dat deze o.a. voldoet aan de eisen die in enkele van de heden gehouden voordrachten zijn gesteld. Onder luchtkwaliteit wordt hier verstaan, het aantal micro-organismen dat zich in 1 m³ lucht bevindt. Daar er tevens (zie inleiding van paragraaf 3) van is uitgegaan dat het ventilatiesysteem zelf geen verontreinigingen toevoert, wordt het niveau van verontreinigingen in de kamerlucht bepaald door het aantal micro-organismen dat afgegeven wordt door de personen in de kamer. De absolute hoeveelheid hiervan is verschillend per individu en voorts sterk afhankelijk van de mate van activiteit en volgens May en Pomeroy [5] van de sexe en de aard van de kleding. May en Pomeroy vonden bij een onderzoek van 17 mannelijke, geklede proefpersonen gemiddeld 1008 kolonievormende deeltjes per minuut en bij 11 overeenkomstig geklede vrouwelijke proefpersonen 753 deeltjes per minuut. De deeltjes met een zodanige valsnelheid dat ze kunnen worden geacht langere tijd te blijven zweven maakten resp. 55% en 72,5% uit van het totaal.

De volgende vraag die zich voordoet en die grote invloed kan hebben op het ontwerp van een ventilatiesysteem is waar de deeltjes vrijkomen. Blowers, Hill en Howell [6] voerden een onderzoek uit waarbij van een mannelijke proefpersoon steeds andere lichaamsdelen door een ondoorlaatbare stof werden afgedekt. Als maatstaf namen zij het aantal staphylococcus aureus per 100 ft³ (36 m³) lucht uit de testkamer. Uit deze proeven bleek praktisch 100% van deze deeltjes afkomstig te zijn van het lichaam onder het middel.

Deze gegevens zijn van belang bij het ontwerpen van het stromingspatroon, zij geven echter geen indicatie over de benodigde hoeveelheid ventilatielucht omdat over het aantal kiemen per m^3 lucht dat toelaatbaar is, geen overeenstemming heerst. Het gewenste niveau varieert van 0 kiemen/ m^3 tot dat, wat de betreffende onderzoeker van een bepaald systeem praktisch of uit het oogpunt van economie nog bereikbaar acht. De vraag doet zich voor waar de grens moet worden gelegd. Uiteraard zal bij het nul-niveau een aerogene besmetting niet kunnen optreden, doch dit wil niet zeggen dat daarmee geen post-operatieve infecties zullen voorkomen. Naast de besmetting via de lucht, die volgens Siebbeles [7] ongeveer 1/3 deel uitmaakt van de post-operatieve infecties bestaan immers nog andere wegen, zoals de contact- en de autogene besmetting. Voorts zal een besmetting nog niet altijd tot een infectie leiden. Of het streven naar het nul-niveau gerechtvaardigd is moet dan ook nog worden betwijfeld. Het antwoord hierop zal niet alleen berusten op medische, maar ook op economische en ethische overwegingen.

3.2 De luchtstroming en bacterieconcentratie

In een operatiekamer doet zich ten aanzien van het bacteriegehalte van de lucht de moeilijkheid voor dat bij de plaats, die moet worden beschermd, de wond, de meeste bronnen van verontreinigingen zijn opgesteld, nl. het operatieteam.

Het stromingspatroon, dat in de kamer ontstaat door het ventilatiesysteem en de convectie, opgewekt door de aanwezige personen en apparatuur, zou er voor moeten zorgen dat de concentratie van verontreinigingen bij de wond zo laag mogelijk blijft en bij voorkeur onder dat van het gemiddelde van de kamer blijft. Ter illustratie van de opgewekte snelheden rond personen t.g.v. de verwarming van de lucht door henzelf kan dienen het werk van Lewis e.a. [8]. Zij vonden in een vertrek zonder sterke ventilatie bij een temperatuurverschil van $18^{\circ}C$ tussen de huid en de omgeving een snelheid op hoofdhoogte van $0.50\ m/s$. De lucht in deze stroming bevatte bovendien 30-400% meer micro-organismen dan de omgevende lucht.

3.2.1 Luchttoevoersystemen

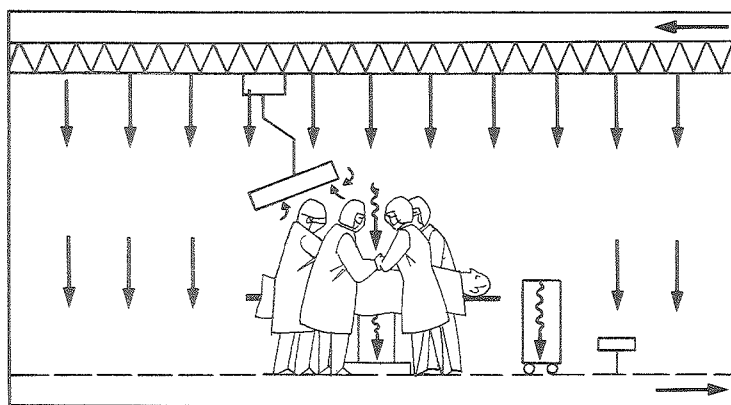
In feite kunnen twee manieren van toevoer van ventilatielucht worden onderscheiden, nl. de "unidirectional flow" en de overige toevoersystemen. De eerstgenoemde kan nog worden verdeeld in "down flow" (luchtbeweging van boven naar beneden) en "cross flow" (horizontale luchtbeweging). Mits de snelheid niet beneden een zeker minimum ligt en er wordt gezorgd voor een gelijkmatige verdeling van de lucht over het plafond resp. een wand, kan inderdaad van "éénrichtingsverkeer" worden gesproken (zie fig. 2). De minimum luchtsnelheid is nodig om te voorkomen dat convectie een kans krijgt het stromingspatroon ongunstig te beïnvloeden. Als luchtsnelheid wordt meestal gekozen 0,45 m/s, waarin een reserve is begrepen voor eventuele ongelijkmatigheden in de luchtverdeling. Bij deze snelheid blijkt de eerder genoemde convectiestroom van 0,50 m/s reeds in het geheel niet meer tot ontwikkeling te komen.

Bij alle andere luchttoevoersystemen moet rekening worden gehouden met de invloed van de inductie van de luchtstralen op het stromingspatroon en de convectie van het operatieteam en de opgestelde apparatuur (zie fig. 3). De toegevoerde lucht zal zich daardoor in meerdere of mindere mate mengen met de aanwezige lucht. Daar het tot nu toe onmogelijk is op theoretische wijze de luchtstromingen en daarmee het stoftransport te voorspellen moet een en ander worden vastgesteld door middel van metingen.

3.3 Meetplaatsen en -methoden

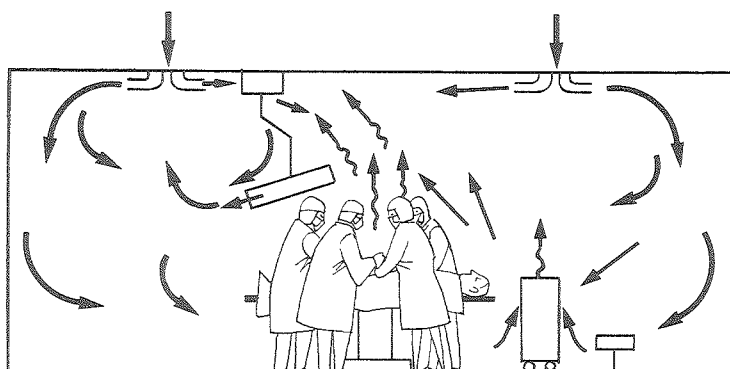
Het ligt voor de hand, dat de controle op de effectiviteit van een ventilatiesysteem zich zal concentreren op de meest bedreigde plaats, dus de wond. Onder effectiviteit van een ventilatiesysteem wordt verstaan de mogelijkheid om op een gekozen plaats de concentratie van verontreinigingen lager te doen blijven dan overeenkomt met volledige menging van de toegevoerde lucht en de aanwezige lucht. Hoe groter dus het quotiënt van de concentratie bij volledige menging en die op het beschouwde punt, des te effectiever is het systeem.

Zolang geen absolute waarde voor het toelaatbare kiemgehalte van de lucht kan worden opgegeven, geeft het meten op deze ene plaats niet



STROMINGSPATROON
 BIJ „DOWN-FLOW“ (SCHEMATISCH)

FIG. 2



STROMINGSPATROON
 BIJ EEN MENGEND SYSTEEM (SCHEMATISCH)

FIG. 3

voldoende informatie over de effectieve werking, in boven bedoelde zin, van het ventilatiesysteem. Er zal ook een vergelijking moeten worden gemaakt met het kiemgehalte op een aantal andere plaatsen in de kamer. Vaak wordt bij dit soort metingen gebruik gemaakt van een bacteriesoort, die op een of andere manier kunstmatig in de ruimte wordt gebracht. Naast deze methode kan het onderzoek naar de verspreiding van verontreinigingen nog op twee andere manieren plaatsvinden. Hieronder zullen de drie meetmethoden worden besproken met hun specifieke voor- en nadelen. Het onderscheid tussen de methoden bestaat uit het verschil in de aard van de toegepaste kunstmatige verontreiniging. Deze verontreinigingen zijn, in volgorde van afnemende mate waarin ze worden gebruikt:

- a) een tracergas,
- b) bacteriën,
- c) stofdeeltjes met een bepaalde grootte-verdeling.

3.3.1 Metingen met tracergas

Het inbrengen van een tracergas is eenvoudig en daarmee kan zeer snel een indicatie worden verkregen van de verspreiding van het gas, omdat de concentratie van het gas kan worden omgezet in een elektrisch signaal dat zich leent voor aflezing en registratie. Met opzet is hier het woord indicatie gebruikt omdat mogelijk de moleculaire diffusie van de gebruikte gassen een rol speelt en de verspreiding van gas niet precies dezelfde wetten volgt als bij bacteriën of andere vaste deeltjes het geval is. Deze restrictie geldt alleen in die gevallen waarbij de luchtsnelheden extreem laag zijn en de diffusiesnelheid van het gas ten opzichte daarvan niet verwaarloosbaar is. De diffusiesnelheid leent zich voor berekening en deze is uitgevoerd voor het geval zich aan één zijde van een wand het tracergas (in dit geval is gekozen waterstof) bevindt en aan de andere zijde lucht. Op een bepaald moment wordt de wand verwijderd en nu is berekend hoe het concentratieverloop in een punt op een afstand van 0,5 m van de oorspronkelijke scheiding is. Dit verloop is weergegeven in fig. 4. Eerst na 365 s is de concentratie in het beschouwde punt tot 1% gestegen van de oorspronkelijke waarde aan de andere zijde van de denkbeeldige wand. In fig. 5 is nog

DIFFUSIE VAN WATERSTOF IN LUCHT

PERCENTAGE VAN C_0
OP 0,5 m VAN DOSEERVLAKE

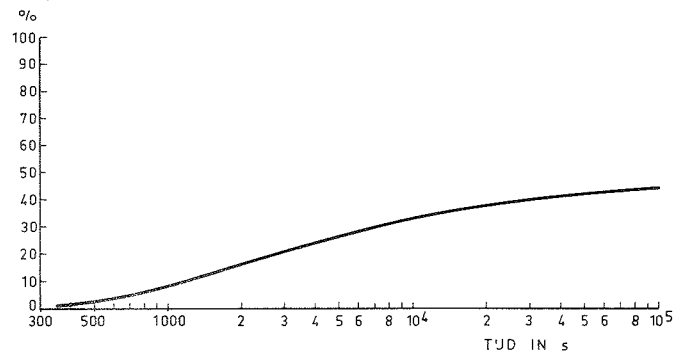


FIG. 4

TUD VOOR HET BEREIKEN VAN 1% WAARDE OP
VERSCHILLENDE AFSTANDEN VAN HET DOSEERVLAKE

AFSTAND VAN
DOSEERVLAKE IN m

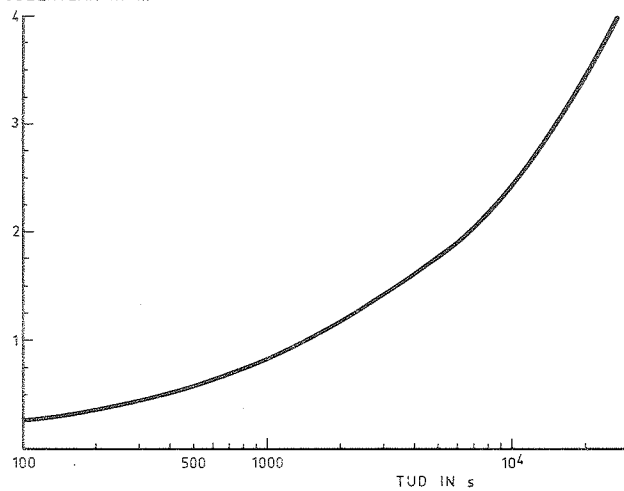


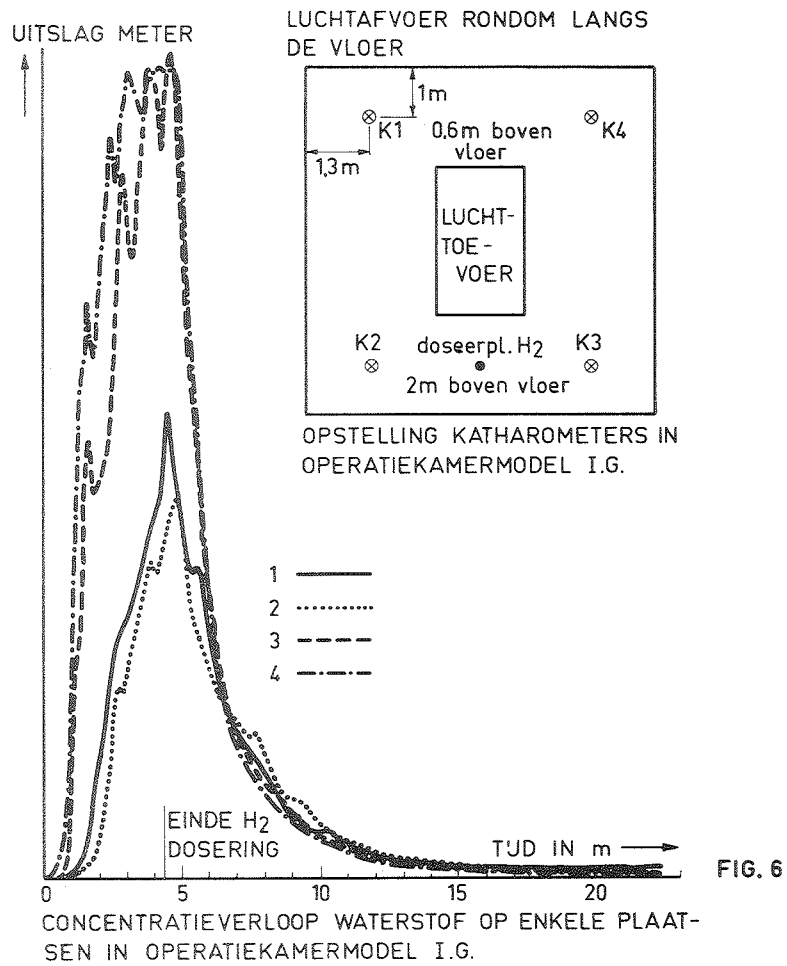
FIG. 5

aangegeven op welk tijdstip de 1% grens bereikt wordt op verschillende afstanden van de wand. De wijze van berekening is opgenomen in een appendix.

De toepassing van tracergas vereist enig inzicht omdat het mogelijk is dat de toevoer van het tracergas op een zodanige plaats geschiedt, dat het gas niet, of in een naar verhouding geringe mate, in het luchtstromingspatroon kan worden opgenomen. Daardoor kunnen dan conclusies over bescherming door het ventilatiesysteem worden getrokken, die geen relatie hebben met de werkelijkheid. Het meest extreme voorbeeld is dat het tracergas wordt gedoseerd vlakbij de afvoeropening van de lucht en dat daar ook de gasconcentratie wordt gemeten, terwijl ter vergelijking de gasconcentratie wordt bepaald op de operatietafel. De effectiviteit zou dan oneindig groot zijn! Zo extreem zal echter wel niemand zijn proeven uitvoeren.

Een onderzoek in het model van de operatiekamer van het Instituut voor Gezondheidstechniek [9] leerde ons, dat vergelijking van concentraties op verschillende, overigens met overleg gekozen punten, niet zonder meer geoorloofd is. In de plattegrond van fig. 6 is aangegeven waar vier katharometers (opnemers voor de concentratiemeting van het tracergas) waren opgesteld op 0,60 m boven de vloer. In het midden van de korte zijde, tussen de wand en de bak werd op 2 m boven de vloer waterstof toegevoerd. Het ventilatievoud over de gehele kamer, berekend uit gemeten luchthoeveelheden was ca 60 h^{-1} . Uit het verloop van de concentraties (zie fig. 6) zou kunnen worden afgeleid, dat de zijde van de kamer waar de katharometers 1 en 2 zijn opgesteld beter beschermd is dan de andere zijde. Wordt uit het afnemen van de concentratie, direct na het einde van de waterstoftoevoer de ventilatievouden op de vier punten berekend, dan blijken deze vrij ver uiteen te liggen n.l. in punt 1: 31/h, in punt 2: 23/h, in punt 3: 45/h en in punt 4: 68/h.

Enige tijd na het beëindigen van de waterstoftoevoer, d.w.z. in het laatste deel van de kromme, blijken zowel het niveau als het verloop van de concentratie op de verschillende punten nauwelijks meer te verschillen. Wordt het ventilatievoud op basis van dit laatste gedeelte van de krommen berekend, dan blijkt dit voor de beschouwde punten ca

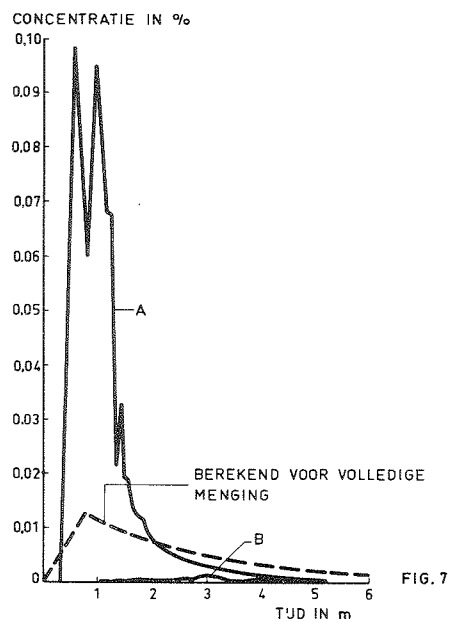


25 te zijn met zeer geringe onderlinge verschillen. Hieruit kan worden geconcludeerd, dat niet verschillen in ventilatievoud worden gemeten, maar dat de systematiek van de proef de oorzaak is van de verschillen. Met een stootsgewijze toevoer van het tracergas worden de gemeten verschillen in concentratie op de verschillende punten hoofdzakelijk veroorzaakt door het nog niet voltooide mengproces.

Toch vindt men in de literatuur soortgelijke proeven waaraan onjuiste conclusies worden verbonden t.a.v. bescherming. In fig. 7 wordt zo'n grafiek getoond waaruit een bescherming wordt berekend als quotiënt van de oppervlakken omschreven door de lijnen A en B. De lijnen geven het concentratieverloop van een tracergas op twee punten in een kamer aan t.g.v. een puntvormige dosering aan een zijde van de kamer. Wordt het concentratieverloop berekend voor het geval onmiddellijke, volledige menging zou optreden, dan zou de curve C ontstaan, die dan in het laatste deel weinig blijkt af te wijken van B.

Hoewel het nog niet op bruikbaarheid onderzocht is, lijkt een "omgekeerde bewijsvoering" d.w.z. het inbrengen in de luchtstraal van het tracergas en de bepaling van de concentratie op de meest bedreigde plaats mogelijkheden te bieden. Op deze plaats zou dan de maximum concentratie moeten optreden als de bescherming maximaal is.

Welke methode ook gevolgd moge worden, duidelijk is het dat niet een vergelijking van de concentratie op twee punten gebruikt mag worden om conclusies te trekken. Op zijn minst zou bij discontinue toevoer van tracergas over een langere tijd moeten worden gemeten totdat zeker is dat een stationaire toestand is verkregen. Daarna kan de concentratie op de plaats van de operatietafel met b.v. de concentratie in de afgevoerde lucht worden vergeleken. De plaats van het doseerpunt heeft een belangrijke invloed op de verkregen resultaten. Beter zou zijn een continue toevoer van tracergas toe te passen waardoor in de stationaire toestand nog meetbare hoeveelheden gas aanwezig zijn. Bij de stootsgewijze toevoer kan de concentratie in de stationaire toestand al zo laag geworden zijn dat de metingen tot onjuiste, hetzij te gunstige, hetzij te ongunstige conclusies zouden kunnen leiden.



CONCENTRATIEVERLOOP OP 2 PUNTEN
IN EEN KAMER

3.3.2 Metingen met bacteriën

Het inbrengen van bacteriën lijkt het meest overeen te komen met de werkelijke situatie. Door de keuze van de soort bacteriën en een voedingsbodem, waarop alleen of hoofdzakelijk deze bacterie kolonies vormt, kan een bepaling worden uitgevoerd die nagenoeg onafhankelijk is van de "achtergrond-vervuiling". De voedingsbodem wordt aangebracht op Petrischalen met een diameter van 9 cm die op een aantal plaatsen worden neergezet. Bacteriën die op de schaaltes terecht komen (sedermenteren) vormen na een kweekperiode van b.v. 24 uur kolonies, die eenvoudig en met het blote oog kunnen worden geteld.

Om het kiem-gehalte per m³ lucht te bepalen worden z.g. slitsamplers gebruikt. Een nauwkeurig bekende hoeveelheid lucht wordt door een nauwe spleet gezogen, die zich dicht boven een Petrischaal bevindt waarin een voedingsbodem is aangebracht. Door de hoge luchtsnelheid in de spleet, waardoor een straal gevormd wordt loodrecht op de voedingsbodem, worden de bacteriën uitgeslingerd en komen op de voedingsbodem terecht en vormen daar na een kweekperiode de gebruikelijke kolonies. Het Petrischaaltje wordt door een elektromotortje in het rond gedraaid, b.v. 1 omwenteling per 6 min., waardoor steeds een nieuw gedeelte van de voedingsbodem onder de spleet komt. Zo kan het verloop van de concentratie in de tijd worden gemeten.

Bij eerste beschouwing lijkt dit een ideale methode te zijn, afgezien van het feit, dat de resultaten van de metingen niet direct beschikbaar zijn i.v.m. de kweekperiode. Er blijken echter een aantal onduidelijkheden bij deze methode te bestaan, zoals de sterfte van de toegepaste bacteriën, de afhankelijkheid van de uitkomsten van de metingen van de concentratie aan bacteriën, de monstername en de deeltjesgrootte van de verstoven bacterienevel.

Om te voorkomen dat na iedere proef de proefopstelling of het te controleren object gesteriliseerd moet worden, gebruikt men bacteriën met een korte levensduur. Dit houdt echter in, dat de concentratiemetingen over enig tijdsverloop, bedoeld om een indruk te krijgen van de z.g. verdwijningstijd (de tijd nodig om door ventilatie de concen-

tratie tot nul te reduceren), versluierd worden door de bacteriesterfte. Ter illustratie kan dienen het resultaat van een aantal bacterieproeven die door Dr. v.d. Waaij en zijn medewerkers van het Radiobiologisch Instituut TNO in ons operatiekamermodel zijn uitgevoerd. Bij een aantal verschillende ventilatievouden werd steeds 9 ml van een suspensie met 10^5 E. coli 5165/ml boven de tafel verstoven in 12-15 s. Als voedingsbodem werd gebruikt Endo-agar (DIFCO). Op de operatietafel waren twee slitsamplers geplaatst en in de buitenzone één. De resultaten zijn weergegeven in onderstaande tabel.

ventilatie- voud h ⁻¹	kolonies in slitsampler		
	op de opera- tietafel		in de buiten- zône
	1	2	
62	46	62	6
42	44	46	10
28	35	42	1
15	34	12	0
vent. af	13	0	0

Een andere proef, met constant ventilatievoud en een oplopende concentratie van bacteriën in de nevel die boven de tafel werd geproduceerd bood ook weinig houvast. Er werd steeds 9 ml suspensie verstoven; er werd een monster genomen door een slitsampler in de buitenzone. Ondanks de verschillen in bacterieconcentratie werd een praktisch gelijk aantal kolonies gevonden bij de verschillende proeven.

Deze metingen geven een duidelijke indicatie, dat ook deze methode met de nodige voorzichtigheid moet worden toegepast! Bij de metingen in de tabel vermeld, veranderde met het ventilatievoud o.a. het stromingspatroon door de toenemende invloed van de convectie van de aanwezige dummies, waardoor de bacteriën een andere, langere weg moesten volgen om bij de monsternamen-apparaten te komen. Voorts is evenals bij de metingen met tracergas de toevoer van bacteriën stootsgewijs, zodat ook hier het mengproces invloed heeft op de waarnemingen. Dit zou

mede de oorzaak kunnen zijn van deze resultaten.

Volgens een onderzoek van Schiff en Fonrobert [10] kan ook het gebruik van verschillende monstername-apparaten tot verschillende uitkomsten leiden. Zelfs bij het toepassen van één type monstername-apparaat kunnen aanzienlijke verschillen in uitkomsten optreden, waarbij de oorzaak van de verschillen niet direct is aan te wijzen. Daar het "aanslaan" van bacteriën op de voedingsbodem ook een kwestie van kansen is, kunnen bij eenzelfde bacterieconcentratie wisselende aantallen kolonies worden verwacht.

Bij het vernevelen van de suspensie komt voorts als onbekende factor de grootte van de druppels en de daarmee samenhangende snelheid van de verdamping naar voren, waardoor de druppelgrootte snel verandert. De rondzwevende deeltjes komen daardoor in de grootte-orde van maximaal enkele duizendsten mm (μm), terwijl in de praktijk blijkt dat de deeltjes waaraan of waarop zich bacteriën bevinden 2-15 μm zijn.

Omdat het inbrengen van de bacteriën meestal geschiedt door het met lucht verstuiven van een vloeistof waarin bacteriën zijn gesuspenderd, kan de luchtstraal van het verstuivingstoestel een niet te verwaarlozen invloed uitoefenen op het luchtstromingspatroon, afhankelijk van de kracht van de verstuivingsstraal.

3.3.3 Metingen met stofdeeltjes

Bij gebruik van stof, d.w.z. deeltjes van een vaste of vloeibare materie, ontbreekt het nadeel van de diffusie. Door de keuze van de deeltjesgrootte kan vermoedelijk een goede overeenkomst met de werkelijkheid worden verkregen. In de literatuur wordt voor de deeltjesgrootte van bacteriën, eventueel gehecht aan stof e.d., opgegeven 2-15 μm .

Tot voor kort stuitte deze methode echter af op de moeilijke detectie. Vooral de telling van het aantal deeltjes was een zeer inspannend en tijdrovend werk. Op het ogenblik echter bestaat een methode om via foto's van de genomen monsters de telling te automatiseren. Ook met de Royco Particle Counter kan zo'n concentratiemeting worden uitgevoerd. Bij beide methoden bestaat echter het probleem dat zij voor deeltjes groter dan 7 μm nagenoeg ongevoelig zijn.

De conclusie lijkt gerechtvaardigd dat een nader onderzoek naar de bo-

vengenoemde methoden zal moeten worden uitgevoerd, waarbij de methode met stofdeeltjes en om meettechnische redenen en omdat hij geen bacteriologische vervuiling veroorzaakt wel eens de beste methode zou kunnen blijken.

4 CONCLUSIES

Samenvattend komt men tot vier punten waaraan het onderzoek van een uitgevoerd ventilatiesysteem voor operatiekamers moet voldoen. De gewenste mate van effectiviteit moet in het programma van eisen duidelijk worden omschreven, zoals de vereiste hoeveelheid lucht, het temperatuurniveau en de relatieve vochtigheid in de kamer, en tenslotte bij verspreiding van een bepaalde hoeveelheid micro-organismen per tijdseenheid op bepaalde plaatsen het niveau van deze verontreiniging op de daartoe aangewezen andere plaatsen.

Achtereenvolgens zouden moeten worden gemeten:

- a) De hoeveelheid lucht die wordt toegevoerd en afgevoerd, eventueel gecombineerd met drukverschillen tussen de operatiekamer en aangrenzende ruimten.
- b) Het temperatuurniveau en de relatieve vochtigheid bij deze temperatuur, uiteraard bij de maximaal te verwachten bezetting waarop de installatie is berekend.

Dit onderzoek kan worden uitgevoerd door gebruik te maken van verwarmde dummies van personen en de te gebruiken apparatuur.

- c) Het bepalen van het stromingspatroon van de lucht in de kamer bij de volle warmtebelasting waarmee een kwalitatieve indruk kan worden verkregen over het transport van micro-organismen en een kwantitatieve meting van de temperatuurverdeling.
- d) Kwantitatieve bepaling van de hoeveelheid van verontreiniging op arbitraire plaatsen in de kamer bij een bekende en continue dosering van verontreiniging op andere arbitraire plaatsen in de kamer. Bij deze bepaling zal nauwlettend moeten worden toegezien op de juiste uitvoering ervan.

De onder a) en b) genoemde metingen behoeven geen nadere uiteenzetting; zij kunnen worden geacht min of meer tot de routine van de oplevering te behoren. Dit in tegenstelling tot c) en d) waarvoor het o.i. nodig is dat vastgesteld, d.w.z. gestandaardiseerd of genormaliseerd, worden, de plaats en het aantal doorsneden van de kamer waarin metingen aan luchtsnelheid en -richting zullen worden gedaan en de methode inclusief de wijze van uitvoering van de meting van de verontreinigingen.

Eerst dan zal duidelijk kunnen worden vastgesteld of een bepaalde wijze van luchttoevoer aan operatiekamers voldoet aan de eisen die uit het oogpunt van comfort en reinheid zijn gesteld. Ook het vergelijken van de effectiviteit van verschillende systemen kan pas dan op enigszins betrouwbare wijze worden vergeleken.

Een samenspraak tussen technici en medici om de genoemde resp. geëiste grenzen aan te geven en samenwerking bij het onderzoek van de mogelijkheden van ventilatie zal noodzakelijk zijn.

5 APPENDIX

Door Ir. R.D. Crommelin

Uitgegaan wordt van een scheidingsvlak bij $x = 0$. In het gebied, waarvoor geldt $x > 0$, bevindt zich zuivere lucht; in het gebied, waarvoor geldt $x < 0$, bevindt zich lucht met waterstof. De concentratie van waterstof in dit laatste gebied is C_0 . Figuur 8 geeft de situatie schematisch weer.

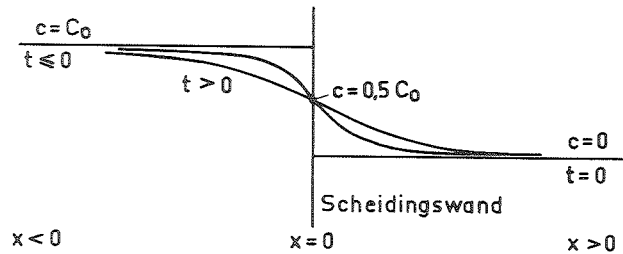


Fig. 8. Concentraties aan weerszijde van de scheidingswand.

Op het tijdstip $t = 0$ wordt de scheidingswand verwijderd waarna de waterstof in de lucht in het gebied $x < 0$ door diffusie in het gebied $x > 0$ zal dringen. De vergelijking voor de waterstof, welke dit diffusieproces beschrijft, en de randvoorwaarden voor dit probleem luiden:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = D \frac{\partial^2 c}{\partial x^2}$$

$$t \leq 0, x < 0 : c = C_0$$

$$t \leq 0, x > 0 : c = 0$$

$$t > 0, x \rightarrow -\infty : c \rightarrow C_0$$

$$t > 0, x \rightarrow +\infty : c \rightarrow 0$$

De oplossing van de vergelijking, welke aan de gegeven randvoorwaarden

voldoet, luidt:

$$c = \frac{1}{2} C_0 \left\{ 1 - \operatorname{erf} \frac{x}{\sqrt{4Dt}} \right\}$$

Hierin is: c = concentratie

D = diffusie-coëfficiënt (m^2/s)

x = afstand tot de plaats van het scheidingsvlak

t = tijd

Verder is erf een afkorting van error function en gedefiniëerd als volgt:

$$\operatorname{erf} p \equiv \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^p e^{-n^2} dn$$

Deze functie is dus een geïntegreerde Gauss-verdelingscurve gevormd op 1 voor $p \rightarrow \infty$ door de factor $\frac{2}{\sqrt{\pi}}$. Enkele eigenschappen van de erf-functie:

$$\operatorname{erf} 0 = 0$$

$$\operatorname{erf} \infty = 1$$

$$\operatorname{erf} (-p) = -\operatorname{erf} p$$

Numerieke waarden van de erf kunnen worden gevonden in tabellen, bijv. in Jahnke-Ende, Tafeln höherer Funktionen.

In tabel 2 is de tijd berekend, waarin de concentratie in een punt, waarvoor geldt $x = 0,5$ m, toeneemt van 0 tot verschillende percentages van C_0 .

De diffusiecoëfficiënt van waterstof in lucht is $6,34 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$. Uit de formule voor c blijkt dat bij $x = 0$ voor $t > 0$ de concentratie c de helft is van C_0 , bij $t = 0$ is echter in $x = 0$ de concentratie niet eenduidig bepaald. In ieder punt, zowel $x > 0$ als $x < 0$, nadert c naar $\frac{1}{2}C_0$ als $t \rightarrow \infty$. Dit alles is ook fysisch gemakkelijk in te zien. In andere punten is de concentratie m.b.v. tabel 2 wel te berekenen. In een punt $x = x_1$ wordt de tijd, nodig om een bepaalde waarde $\frac{c}{C_0}$ te bereiken, een factor $\left(\frac{x_1}{0,5}\right)^2$ groter (x_1 in m). Verder is deze tijd in een bepaald

punt omgekeerd evenredig met de diffusie-coëfficiënt indien een ander gas dan waterstof wordt gebruikt.

$\frac{C}{C_0}$ in %	t in s
1	365
2	466
5	723
10	1188
20	2770
30	7200
40	30800
45	124000

Tabel 2. Concentratieverloop van waterstof in een punt
waarvoor geldt: $x = 0,5$ m.

6 LITERATUUR

- [1] Vincent, M.
Le Conditionnement d'air dans les blocs operatoires (1968)
Chauff. Vent. et Cond. 44e jaarg. no. 7, p. 19-26, 40-46
- [2] Wyon, D.P., Lidwell, O.M., Williams, R.E.O.
Thermal Comfort during surgical operations (1969)
J.I.H.V.E. Vol. 37, p. 150-158, 168
- [3] Cole, W.R., Bernard, H.R., Gravens, D.L.
Control of airborne bacteria in operating rooms (1965)
Hospitals J.A.H.A. Vol. 39, p. 79-84
- [4] Van der Waaij, D.
Bacteriologische aspecten van ventilatiesystemen van

operatiekamers (1972)

Het Ziekenhuis Vol. 6, p. 82-87

- [5] May, K.R., Pomeroy, N.P.
Bacterial dispersion from the body surface
IVth Int. Symp. on Aerobiology (1972)
- [6] Blowers, R., Hill, J., Howell, A.
Shedding of Staphylococcus aureus by human carriers
IVth Int. Symp. on Aerobiology (1972)
- [7] Siebbeles, H.W.R.
Sources of post-operative wound infections with
staphylococcus aureus (1971)
Arch. Chir. Neerlandicum Vol. XXIII, p. 35-53
- [8] Lewis, H.E., Foster, A.R., Mullan, B.J.,
Cox, R.N., Clark, R.P.
Aerodynamics of the human micro-environment
The Lancet, 28 June 1969, p. 1273-1277
- [9] Bossers, P.A.
Luchtverdeling in operatiekamers (1971)
Publ. no. 398 Instituut voor Gezondheidstechniek TNO
- [10] Schiff, W., Fonrobert, R.
Zur Problematik quantitativer Luftkeimhaushalts-
bestimmungen
- [11] Blowers, R., Crew, B.
Ventilating of operating theatres
J. Hyg., Camb. (1960), 58, p. 427-447