The background of the slide features a close-up of a petri dish containing various microbial colonies, some appearing as dark, fuzzy spots and others as lighter, more defined structures. To the right, a pair of hands wearing white nitrile gloves is visible, suggesting a laboratory or clinical setting. The overall color palette is dominated by blues, greens, and whites, creating a clean and scientific atmosphere.

# MONITOREN VAN MICROBIOLOGISCHE LUCHTKWALITEIT

Minisymposium VCCN Richtlijn 8 | Roberto Traversari

**TNO** innovation  
for life

# MONITOREN VAN MICROBIOLOGISCHE LUCHTKWALITEIT

- › Achtergrond en onderzoek op basis van KVE's
- › Ervaringen in Nederland
- › Methode voor microbiologische monitoring
- › Mogelijk richtwaarden

## DOELSTELLING VAN MONITORING TIJDENS HET PROCES

- › Aantonen dat men in control is
- › Afwijkingen van een baseline snel kunnen vaststellen
- › Optimale afstemming tussen techniek en proces

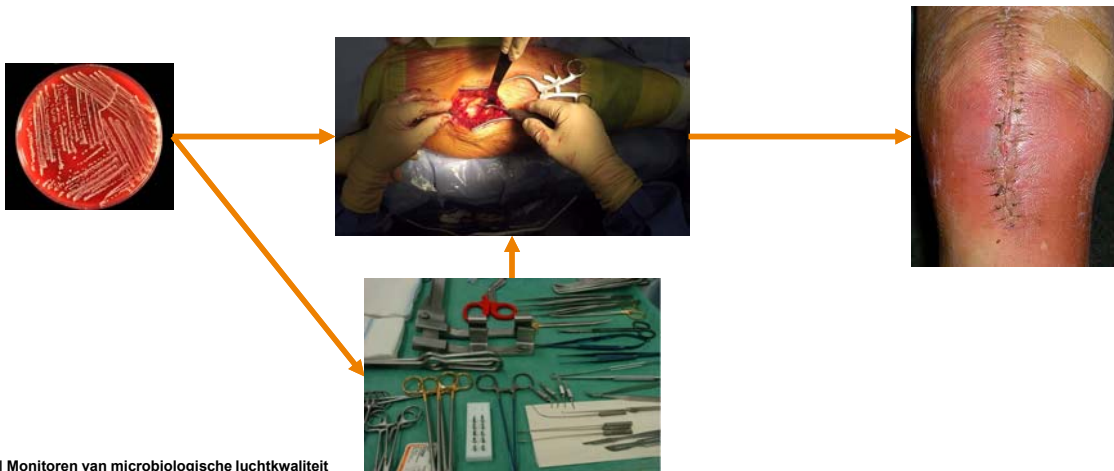


- › Kortom het zoveel mogelijk reduceren van vermijdbare risico's (= reduceren van de kans op optreden)



## HET REDUCEREN VAN DE KANS

- › Hoe minder micro-organismen in de omgeving van de wond en het instrumentarium hoe kleiner de KANS dat de operatiewond gecontamineerd raakt
- › Hoe kleiner de KANS dat een wond gecontamineerd raakt hoe kleiner de KANS dat er een (diepe) infectie ontstaat



# VOOR EN NADELEN MICROBIOLOGISCHE MONITORING

## › Voordelen:

- › Uitkomstmaat (KVE/m<sup>3</sup>) zo “dicht mogelijk” bij de klinische uitkomstmaat POWI
- › Uitkomstmaat resultaat van techniek **en** proces
- › Uitkomstmaat “zegt” meer over de kans op contaminatie van de wond dan deeltjestelling
- › Methode zou gebruikt kunnen worden om gelijkwaardigheid aan te tonen

## › Nadelen:

- › Resultaat niet direct beschikbaar
- › Methode vergt inspanningen m.b.t. de organisatie
- › Verschillende meetapparaten kunnen verschillende resultaten geven
- › Er is expertise nodig om goed te meten, moet goed geprotocolleerd zijn
- › Bewijslast voor de grenswaarden is beperkt (Hoffman (2002), Whyte (1983), Lidwell et al (1983))

## HEEFT HET MICROBIOLOGISCH METEN AT REST ZIN?

- › Als de technische metingen (integriteit filters, luchthoeveelheid, luchtstromingsrichting etc.) correct zijn en goede schoonmaak heeft plaatsgevonden mogen/kunnen er geen micro-organismen aanwezig zijn.
  
- › Worden er micro-organismen aangetroffen dan:
  - › Komen die mogelijk van de meettechnicus
  - › Is de schoonmaak wel heel erg slecht
  - › Is de OK zo lek als een mandje (lucht van buiten de OK komt binnen)
  - › Is er echt iets goed mis met het systeem
  
- › Maar het is wel een relatief eenvoudige meting

## KVE METING IS NIET NIEUW: BESCHIKBAAR ONDERZOEK OP BASIS VAN KVE/M<sup>3</sup> IN OK'S

- › Het effect van “verkeer” in de OK
- › Het effect van deuropeningen bij UDF systemen
- › Relatie tussen op wondcontaminatie en POWI's
- › KVE's en Environmental quality indicators op basis van KVE's

# HET EFFECT VAN "TRAFFIC FLOW" IN DE OK

Andersson et al 2012, Traffic flow in the operating room: An explorative and descriptive study on air quality during orthopedic trauma implant surgery. American Journal of Infection Control 40 (2012) 750-5

Er is een positieve correlatie tussen het totaal aantal gemeten KVE's en de duur van de ingreep ( $r = 0,62$ ;  $p = 0,01$ ;  $n = 23$ ).  
Er is een sterke correlatie tussen de totale "traffic flow" per operatie en de duur van de ingreep ( $r = 0,79$ ;  $p = 0,01$ ;  $n = 23$ ).

In het finale model was alleen de traffic flow significant als voorspeller ( $\beta = 0,95$ ;  $p = 0,001$ ) voor het aantal KVE's. Veel deurbewegingen worden veroorzaakt door consultatie (6%), **toevoer van materiaal** (26%), **aflossing** (20%), **in en uit lopend personeel** (14%) en  **sociaal overleg** (7%), en niet gedefinieerde zaken zijn verantwoordelijk voor 27% van de deuropeningen. Bij 14 van de 24 ingrepen gemiddeld  $> 10$  KVE/m<sup>3</sup>. Bij 5 operaties  $> 25$  KVE/m<sup>3</sup> de hoogste gemiddelde waarden 37,5 en 44,3 KVE/m<sup>3</sup> (zeer hoge traffic flow, niesend personeel, haar uit netje en veel mensen,  $> 5$ , in OK)

**Table 3**  
Reasons for traffic flow

Necessary door openings*	n	Semi-necessary door openings	n	Unnecessary door openings	n
Expert consultations (eg, help needed from senior surgeons, expert nurses, or anesthesiologists)	40	Surgical team members entering after incision or leaving before closure	76	Logistic reasons planning next or other operation	30
Instruments or other material needed	137	Lunch and coffee breaks	108	Social visits	45
				No detectable reasons	93
Total	177		184		168
					529

\*The need assessed in relation to patient safety and ongoing procedure.

**Table 2**  
Air quality and related variables

Variables	n (missing)	Mean (SD)	95% CI for mean	Median (range)
CFU/m <sup>3</sup>	91 (1)*	15.9 (13.4)	13.1-18.7	13 (0-55)
Total CFU/m <sup>3</sup> per operation	24 <sup>†</sup>	60.4 (55.9)	36.8-84	33.5 (7-187)
Number of people	111 (9) <sup>‡</sup>	5.4 (1)	5.2-5.6	5 (3-10)
Traffic flow rate	119 (1) <sup>‡</sup>	4.3 (2.9)	3.8-4.8	4 (0-14)
Traffic flow rate per operation	30 <sup>‡</sup>	17.4 (13.5)	12.4-22.4	14 (0-67)
Duration of surgery, minutes	29 (1) <sup>§</sup>	83.5 (39.7)	68.4-98.5	60 (20-200)

\*Number of air samples.

<sup>†</sup>Number of operations.

<sup>‡</sup>Measured in 20-minute intervals.

<sup>§</sup>From incision time to end of closure in minutes.



# EFFECT VAN DEURBEWEGINGEN

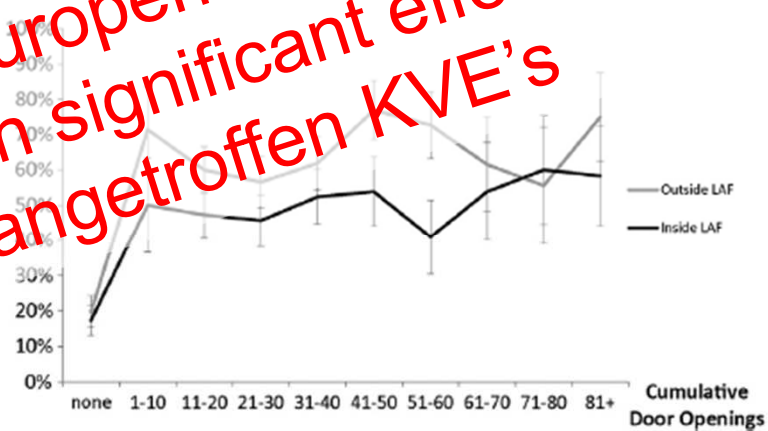
Smith et al 2013, The Effect of Laminar Air Flow and Door Openings on Operating Room Contamination. The Journal of Orthopaedry 28 (2013) 1482–1485

UDF systeem (Type USA) met HEPA (H13) eindfilter, gemeten met sedimentatie lijnen. Aantal personen op OR 14 (5-10). Binnen de UDF bevatte 82,5% van de monsters Staphylococcus en in de periferie 81,3%. Conclusie deuropeningen hebben een effect op het aantal KVE's in de periferie en onder het UDF systeem.

41% van deuropeningen uit dit onderzoek zijn eenvoudig vermijdbaar. Deuropeningen hebben bij dit UDF-systeem een significant effect op het aantal aangetroffen KVE's



Graph 2. Time vs. cumulative door openings, error bars ± 1 standard deviation.



Graph 3. Effect of cumulative door openings on contamination rate.

# EFFECT VAN DEURBEWEGINGEN

Mathijssen et al 2016, The Effect of Door Openings on Numbers of Colony Forming Units in the Operating Room during Hip Revision Surgery. SURGICAL INFECTIONS 17 (2016) 535-540, Inc. DOI: 10.1089/sur.2015.174

Mengende systemen met HEPA (H13) eindfilter. 70 heuprevisies in het Radboud UMC (59) en Reinier de Graaf Ziekenhuis (11) patiënt is geëxcludeerd. 4 samples per ingreep gemeten op ca 1,5 meter vanaf het operatiegebied. Aangehouden grenswaarde was 20 KVE/m<sup>3</sup>. Gemiddeld aantal deuropeningen 8 (0-72), tijdsduur gemiddeld 145 min (60-285) en gemiddeld personen (5-10) in de OR. Er is een significante relatie tussen het aantal deuropeningen en het onacceptabel niveau van >20 KVE/m<sup>3</sup> gevonden. Slechts 1 patiënt heeft een POWI ontwikkeld.

Deuropeningen hebben bij een mengend systeem een significant invloed op het ontstaan van een onacceptabel niveau KVE's (>20 KVE/m<sup>3</sup>).

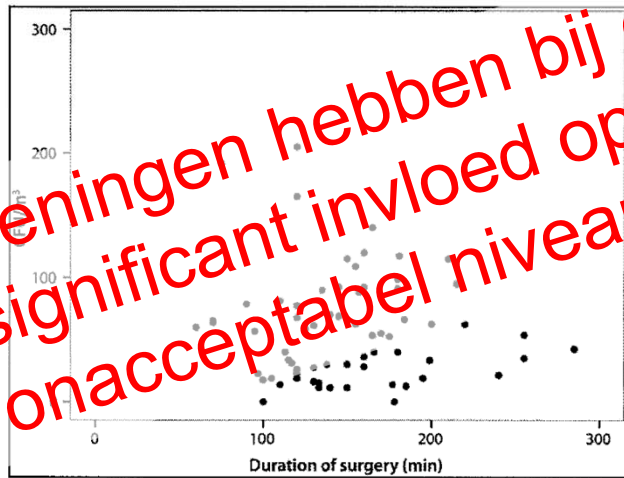


FIG. 1. Duration of surgery versus median number of colony forming units per cubic meter (CFU/m<sup>3</sup>).

TABLE I. SUMMARY OF ONSITE OBSERVATIONS AND AIR QUALITY MEASUREMENTS

Variable	Median (range) n (%)
Time point 1 (incision, n=65) CFU/m <sup>3</sup> ≤20 CFU/m <sup>3</sup>	40 (0-175) 23 (35.4%)
Time point 2 (opening bone graft container, n=63) CFU/m <sup>3</sup> ≤20 CFU/m <sup>3</sup>	55 (0-245) 14 (22.2%)
Time point 3 (use of bone graft, n=65) CFU/m <sup>3</sup> ≤20 CFU/m <sup>3</sup>	50 (0-245) 17 (26.2%)
Time point 4 (10 min after use of bone graft, n=65) CFU/m <sup>3</sup> ≤20 CFU/m <sup>3</sup>	45 (0-210) 19 (29.2%)
Door openings per operation (n=69)	8 (0-72)
Persons in the operating room per operation (n=69)	8 (5-10)
Duration of surgery (min) (n=69)	145 (60-285)

CFU/m<sup>3</sup> = colony forming units per cubic meter.

## RELATIE TUSSEN KVE/M<sup>3</sup>, DEELTJES EN WONDCONTAMINATIE

Birgand et al 2015, Air contamination for predicting wound contamination in clean surgery: A large multicenter study. American Journal of Infection Control 43 (2015) 516-251

13 OK's in 10 ziekenhuizen. 60 ingrepen zijn beschouwd (34 orthopedisch waarvan **er 21 in een UDF systeem** zijn uitgevoerd met een circulatievoud van 57-65 en 26 cardio waarvan er **22 in een mengend systeem** zijn uitgevoerd met een circulatievoud van 44-64). Bij een mengend systeem was er een correlatie tussen het aantal deeltjes en aantal KVE's in de lucht, bij een UDF systeem was dat niet het geval. **Een UDF leidt tot minder KVE's in de lucht, een mengend systeem geeft een hogere wondcontaminatie.** Er is echter geen significante relatie tussen het aantal KVE's in de lucht en de wondcontaminatie.

# RELATIE TUSSEN KVE/M<sup>3</sup>, DEELTJES EN WONDCONTAMINATIE

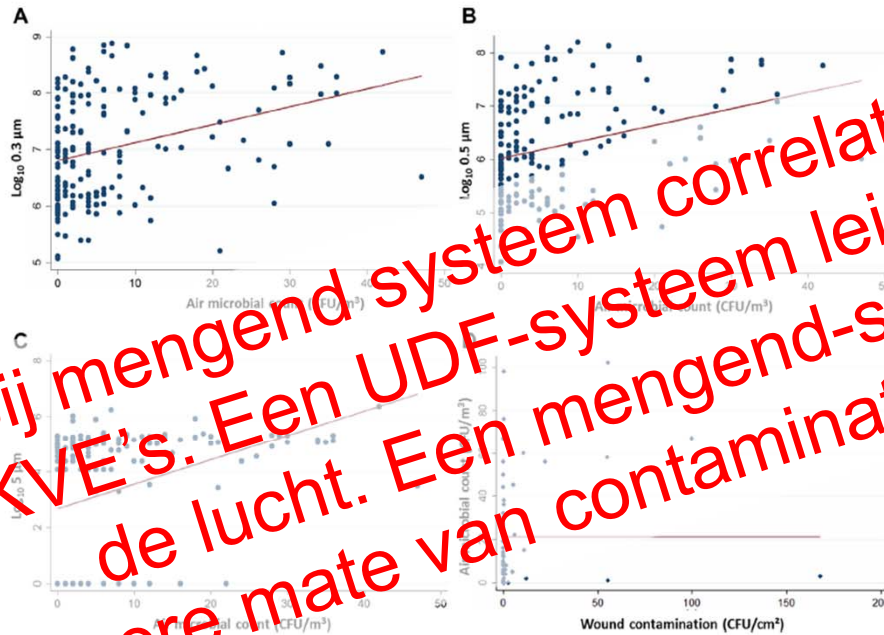


Fig 1. Distribution of air microbial counts according to air microbial counts [(A)–(C)] and air microbial counts according to wound contamination at closure (D). CFU, colony forming units.

Table 2  
Distribution of particle counts, airborne bacteria, and wound contamination

Variable	Overall (n = 34)	Overall (n = 34)	Open surgery (n = 26)	P value
Time 1: incision				
Air microbial count	12 (35.3)	2.5 (0-9)	1 (3.8)	
Log <sub>10</sub> of 0.3 μm	16 (26.7)	6.5 (3-8.1)	4 (15.4)	<.01
Log <sub>10</sub> of 0.5 μm	30 (48.3)	2 (6.1)	9 (34.6)	
Log <sub>10</sub> of 5 μm	1 (2.9)	1 (2.9)	13 (50)	
Time 2: after bone cut				
Air microbial count	4 (11.8)	4.8 (3.9-5.2)	5 (19.2)	.11
Log <sub>10</sub> of 0.3 μm	17 (28.3)	15 (44.1)	15 (57.7)	<.01
Log <sub>10</sub> of 0.5 μm	31 (51.7)	18 (52.9)	18 (69.2)	<.01
Log <sub>10</sub> of 5 μm	12 (20)	12 (35.3)	12 (46.2)	.54
Time 3: wound closure				
Air microbial count	4 (0-9)	2 (0-5)	9 (3-17)	<.01
Log <sub>10</sub> of 0.3 μm	17 (28.3)	12 (35.3)	5 (19.2)	<.01
Log <sub>10</sub> of 0.5 μm	29 (48.3)	20 (58.8)	9 (34.6)	<.01
Log <sub>10</sub> of 5 μm	14 (23.3)	2 (5.9)	12 (46.2)	.04
Wound culture, CFU/cm <sup>2</sup>	6.3 (6-7)	6.2 (5.9-6.5)	6.6 (6.1-7.1)	.06
Log <sub>10</sub> of 0.3 μm	5.5 (5.2-6.1)	5.4 (5.1-5.9)	6 (5.2-6.3)	.22
Log <sub>10</sub> of 0.5 μm	4.1 (0-5)	4.1 (0-4.9)	4.2 (0-5)	<.01
Log <sub>10</sub> of 5 μm	4 (0-9)	2 (0-5)	8.5 (2-20)	<.01
Total				
Air microbial count	4 (0-9)	2 (0-5)	8.5 (2-20)	<.01
Log <sub>10</sub> of 0.3 μm	50 (27.8)	39 (38.2)	11 (14.1)	<.01
Log <sub>10</sub> of 0.5 μm	90 (50)	59 (57.8)	31 (39.7)	<.01
Log <sub>10</sub> of 5 μm	40 (22.2)	4 (3.9)	36 (46.2)	.06
Wound culture, CFU/cm <sup>2</sup>	7 (6.2-7.9)	6.5 (6.1-7.3)	7.4 (6.8-8.1)	<.01
Log <sub>10</sub> of 0.3 μm	6.1 (5.4-7)	5.9 (5.2-6.7)	6.6 (6-7.3)	<.01
Log <sub>10</sub> of 0.5 μm	4.6 (0-5.2)	4.5 (0-5)	4.8 (0-5.2)	.06
Log <sub>10</sub> of 5 μm	0 (0-0.6)	0 (0-3)	0.3 (0-6.1)	<.01
Wound culture, CFU/cm <sup>2</sup>	33 (55)	24 (70.6)	9 (34.6)	<.01
Log <sub>10</sub> of 0.3 μm	21 (35)	10 (29.4)	11 (42.3)	<.01
Log <sub>10</sub> of 0.5 μm	6 (10)	0	6 (23.1)	

NOTE. Values are n (%), median (interquartile range), or as otherwise indicated. CFU, colony forming units.

dinsdag 16 januari 2018

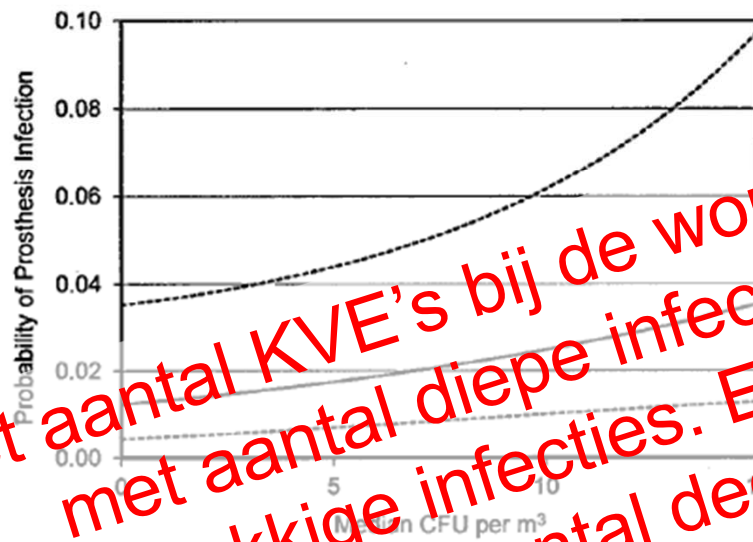
Bij mengend systeem correlatie tussen deeltjes en KVE's. Een UDF-systeem leidt tot minder KVE's in de lucht. Een mengend-systeem leidt tot een hogere mate van contaminatie van de operatie wond.

## RELATIE KVE'S <-> DEELTJES EN KVE -> SSI

Rabih et al 2017, Association of Airborne Microorganisms in the Operating Room With Implant Infections: A Randomized Controlled Trial. Infection Control & Hospital epidemiology 38 (2017) 4-10

RCT studie met 300 patiënten met implantaten in 1 ziekenhuis in 9 verschillende OK's. In de intervention groep is een aanvullend mobiel UDF systeem toegepast (Air barrier system (ABS)). Toepassing van het ABS systeem resulteert in een significant lager niveau KVE's. Het aantal KVE's bij de wond heeft een **significante relatie met het aantal diepe infecties**, niet met het aantal oppervlakkige infecties. Iedere 10 KVE/m<sup>3</sup> verhoging geeft een verdubbeling van het aantal diepe infecties. Er is geen relatie aangetoond tussen het aantal deeltjes en het aantal KVE's.

## RELATIE KVE'S <-> DEELTJES EN KVE -> SSI



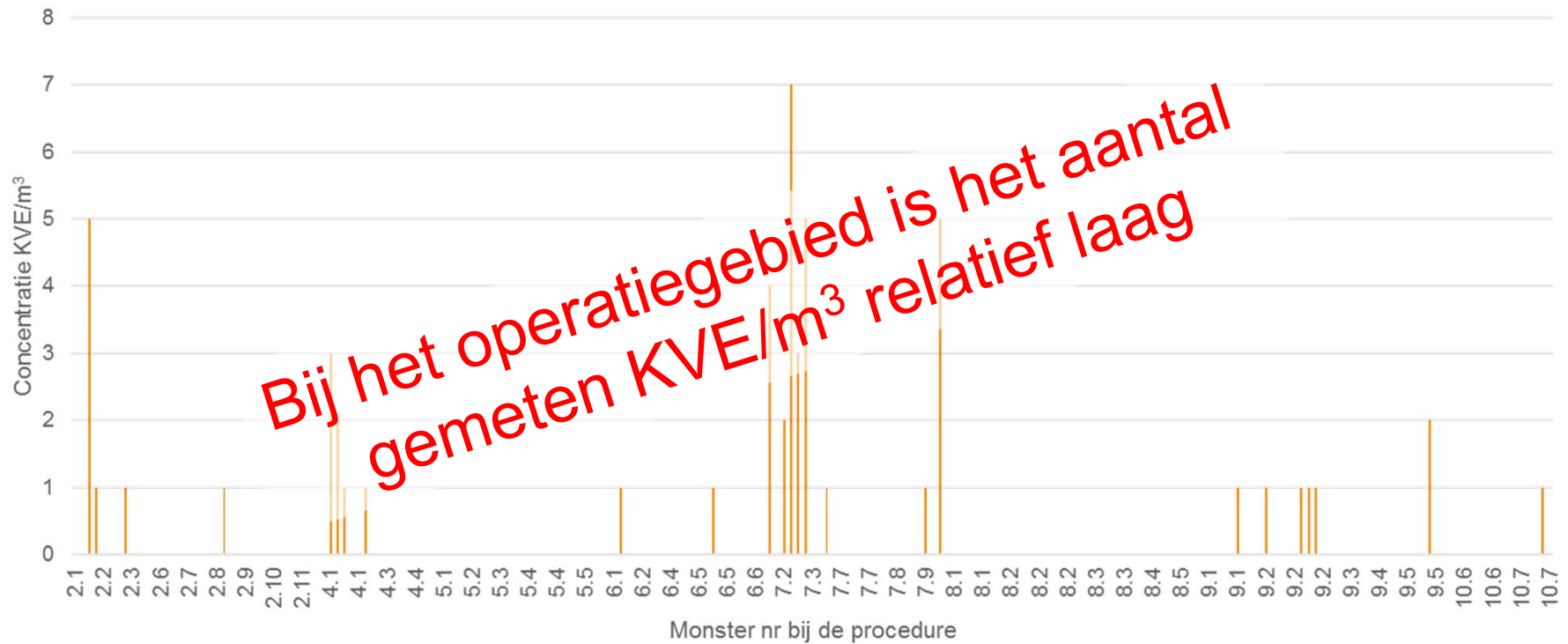
Het aantal KVE's bij de wond heeft significante relatie met aantal diepe infecties, niet met het aantal oppervlakkige infecties. Er is geen relatie aangetoond tussen het aantal deeltjes en het aantal KVE's.

FIGURE 4. Graph of density of colony-forming units (CFU) at division sites and probability of implant infection ( $P=.021$ ). Dashed lines represent 95% CIs.

FIGURE 5. Graph of particulate density and colony-forming units (CFU). Dotted lines represent 95% CIs. ABS, Air Barrier System.

# ERVARINGEN (N=209 WAARNEMINGEN)

Concentratie verloop tijdens de procedure (operatiegebied)





# ERVARINGEN (N= 291 WAARNEMINGEN)

Concentratie verloop tijdens de procedure (instrumenttafel)

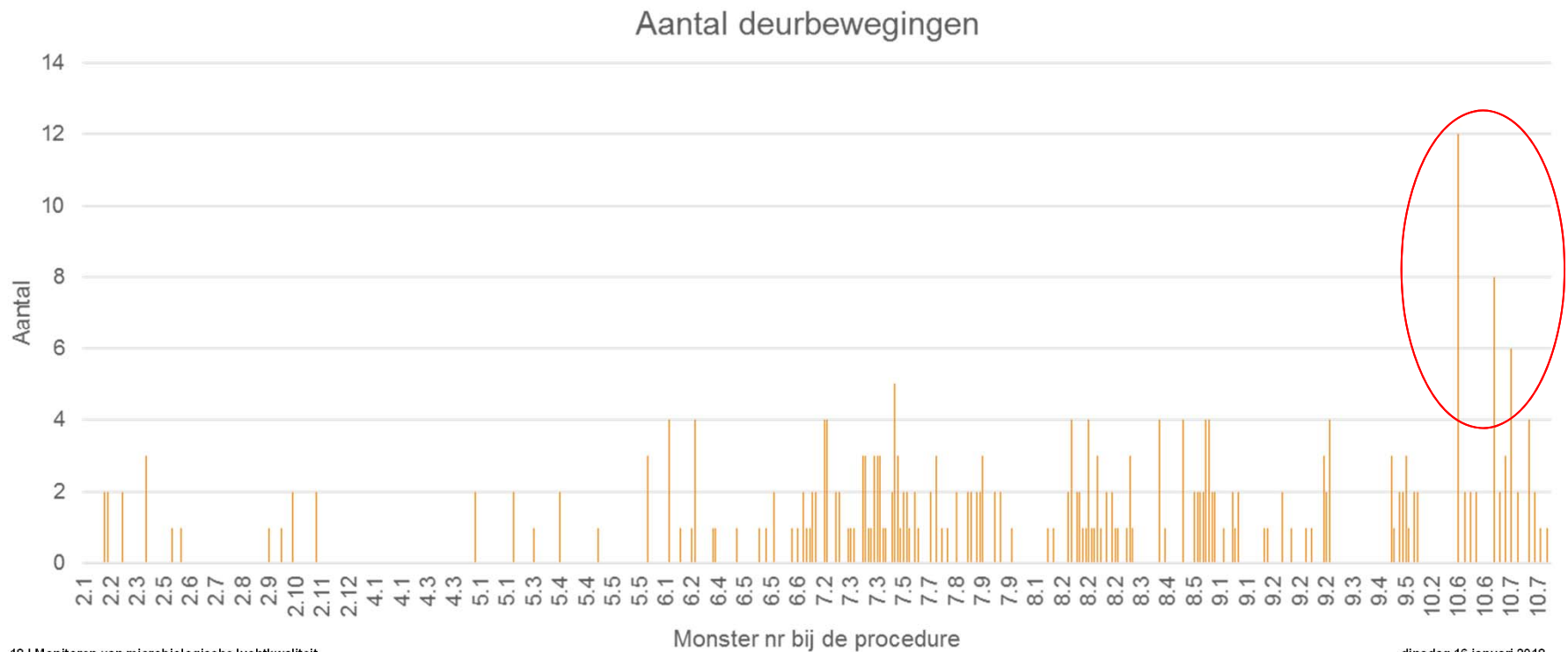




# ERVARINGEN (N= 147 WAARNEMINGEN)

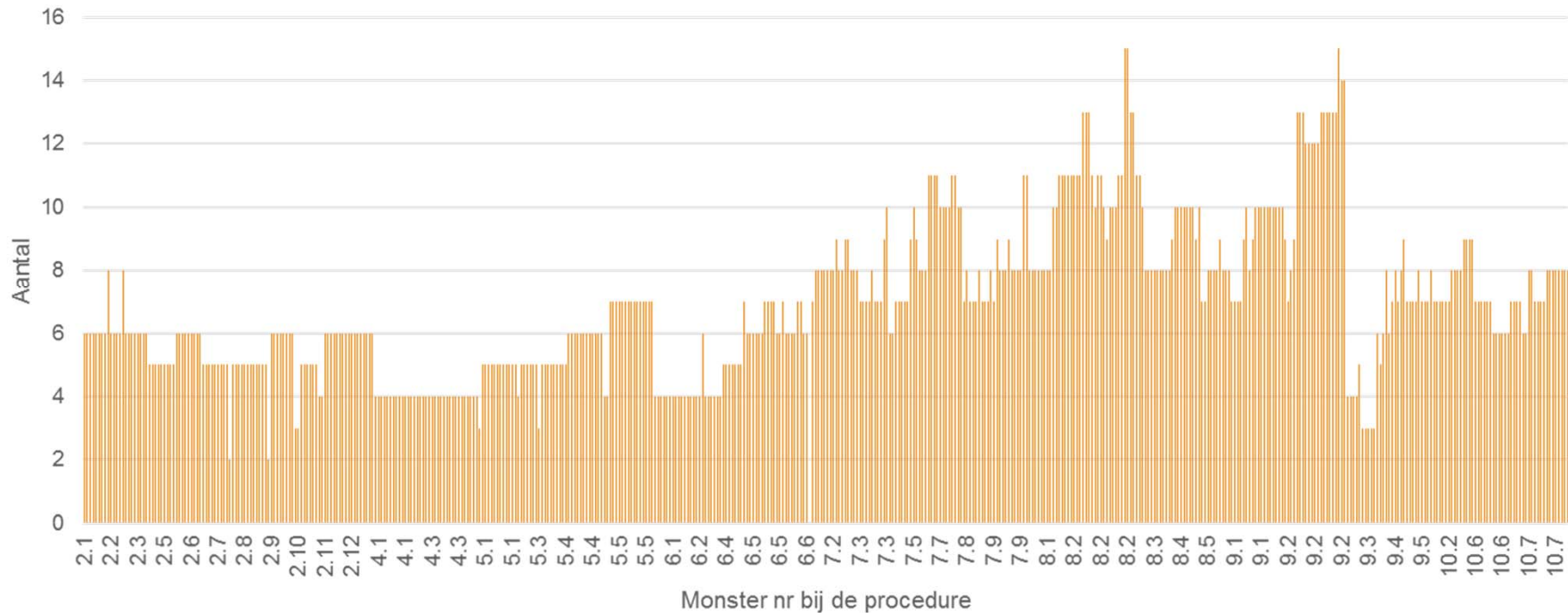


# ERVARINGEN (N=501 WAARNEMINGEN)



# ERVARINGEN (N=501 WAARNEMINGEN)

Aantal personen in OK



## NADERE ANALYSE (VOORBEELD)

Instrumenttafel					
OK.ingreep	Gemiddelde van CFU/m <sup>3</sup>	Max van CFU/m <sup>3</sup>	Gemiddelde van Number of people	Max van Number of people	Som van Doorslagopening
2	4,1	24	5,5	8	47
4	3,5	18	4,0	7	20
5	0,6	9	5,6	7	29
6	1,5	26	5,8	7	29
7	2,7	40	7,2	11	70
8	8,5	71	9,7	15	47
9	1,0	15	8,4	15	37
10	16,2	84	7,7	9	29
10.1	26,0	44	7,5	8	1
10.2	27,0	55	7,0	7	4
10.3	27,8	54	8,0	8	2
10.4	24,0	39	8,0	8	2
10.5	31,0	84	9,0	9	4
10.6	11,4	50	6,6	7	9
10.7	8,2	28	7,7	8	7

Kortom het meten van KVE's geeft veel inzicht

## RL-8 VERSUS SIS-TS39:2015

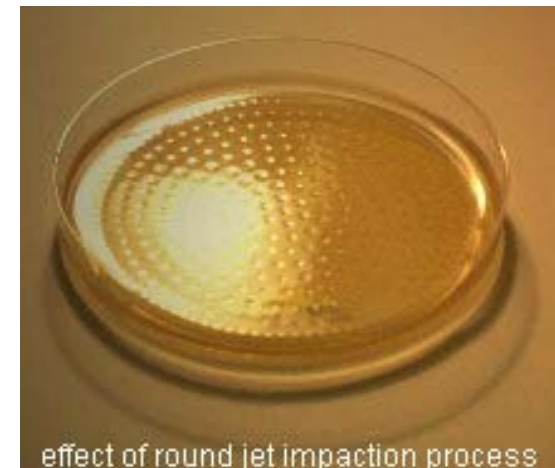
Aspect	RL-8	SIS-TS39:2015
Volumestroom monstername	voorkeur 50 - 100 dm <sup>3</sup> /min	100 dm <sup>3</sup> /min (aanbevolen)
Volume monster	0,5 - 1 m <sup>3</sup> (10 min)	1 m <sup>3</sup> (10 min)
Locatie	< 50 cm vanaf het operatiegebied bij voorkeur 10-15 cm en 10 – 15 cm boven blad instrumenttafels	< 50 cm vanaf het operatiegebied, bij de instrumenttafels
Maximale lengte monsterslang	3 m*	-
Samples	Minimaal 5 ingrepen bemonsteren per OK, per ingreep (> 45 min), min 3 maal (bij incisie, midden ingreep en net voor sluiten)	Minimaal 5 ingrepen bemonsteren per OK, per ingreep (> 45 min), min 3 maal (bij incisie, midden ingreep en net voor sluiten)
Voedingsbodem	TSA/Blood agar** (2 dagen aeroob op 35 °C ±2 °C)	TSA/Blood agar (2 dagen aeroob op 35 °C ±2 °C)
Eis air sampler of filtratie	Conform NEN-EN-ISO 14698 (D <sub>50</sub> voor de ≥ 1,0 μm deeltjes)	D <sub>50</sub> voor de 2,0 μm deeltjes volgens de NEN-EN-ISO 14698 (50% counting efficiency voor de ≥ 2,0 μm deeltjes)

\* effect slang < 20% Whyte et al. Suggested bacteriological standards for air in ultraclean operating rooms. *Journal of Hospital Infection* (1983) 4, 133-139

\*\*de werkgroep beveelt bloed agar niet aan omdat dit een (te) rijke voedingsbodem is die voornamelijk bedoeld is voor klinische kweken

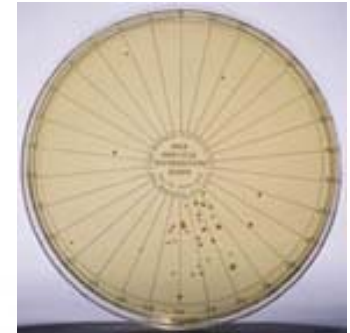
## SAMPLER MET IMPACTOR PRINCIPE

- › Impactor principe
- › Eenvoudige in gebruik (geen losse pomp of voeding nodig)
- › Sommige modellen kunnen via een adapter met een monsterslang werken



## SLIT SAMPLERS

- › Impactor principe
- › Eenvoudige in gebruik (geen losse pomp of voeding nodig)
- › Door de langzaam draaiende voedingsbodem is de tijd van impact van het micro-organisme te achterhalen
- › Vooral geschikt voor onderzoeksdoeleinden
- › Kan soms ook gebruikt worden met een gelatine membraan filter



## GELATINE MEMBRAAN FILTER

- › Sartorius MD8 gelatine membraan filter met poriën van 3 µm of kleiner
- › Micro-organismen worden op het filteroppervlak opgevangen
- › Er kan ook met een slang worden gewerkt
- › Gelatinefilter wordt op voedingsbodem geplaatst en lost op, voedingsbodem wordt normaal opgekweekt
- › Handeling moet erg voorzichtig plaatsvinden, kans op ongewenste contaminatie is groot





## PROCEDURE

- › Metingen in de nabijheid van het wondgebied:
  - › Nadat de patiënt is afgedekt wordt de steriele monster slang, door de instrumenterende, met een van de uiteinde op een afstand van maximaal 50 cm, liefst minder, van de wond aan het afdeklaken bevestigd
  - › Daarna wordt het andere uiteinde van de monster slang door de instrumenterende aan de omloop/meettechnicus gegeven en gekoppeld aan de air sampler
  - › De air sampler wordt geactiveerd op moment van de incisie, halve wegen de ingreep of op een kritisch moment m.b.t. de luchtkwaliteit tijdens de procedure en net voor sluiting van de operatiewond

## VASTLEGGEN OMSTANDIGHEDEN

<b>Datum:</b>			<b>Type meetapparaat:</b>					
<b>Type procedure:</b>			Type voedingsbodem:					
<b>Meettechnicus:</b>			Monster nummer/code:					
<b>Start incisie:</b>		Closure:			Kledingsysteem:			
<b>Nr.</b>	<b>Start tijd</b>	<b>Eind tijd</b>	<b>Aantal deur bewegingen</b>	<b>Aantal aanwezigen</b>	<b>Opmerking monstername</b>	<b>Opmerking tellen</b>	<b>Aantal KVE/plaat</b>	<b>Datum tellen</b>
Referentie plaat								
Monster 1								
.....								
Gemiddelde waarde								
Hoogste waarde								
Opmerkingen:								

## GEGEVENS VERWERKING

- › De resultaten bieden gegevens voor de eigen locatie, waardoor de eigen 'baseline' bepaald kan worden.
- › Hogere/ afwijkende resultaten zijn reden tot verder onderzoek naar mogelijke oorzaken van deze afwijking/toename. Afwijkende resultaten kunnen zijn:
  - › toename van het aantal micro-organismen en/of het aantonen van pathogenen.
- › Bij toename van het aantal infecties kan de gegevensbank worden geraadpleegd om een mogelijke oorzaak te achterhalen.
- › Noteer bij gelijktijdige metingen van deeltjes en KVE in hetzelfde gebied de start en stop tijdstippen om achteraf de resultaten van de microbiologische metingen en de deeltjesmeting te vergelijken.

## MOGELIJKE RICHTWAARDEN

- › Hoffman et al. Microbiological commissioning and monitoring of operating theatre suites. Journal of Hospital Infection (2002) 52: 1-28. doi:10.1053/jhin.2002.1237
  - › Tot 30 cm vanaf de wond < 10 KVE/m<sup>3</sup>
  - › Aan de rand van het beschermde gebied < 20 KVE/m<sup>3</sup>
  
- › Whyte et al. Suggested bacteriological standards for air in ultraclean operating rooms. Journal of Hospital Infection (1983) 4, 133-139
  - › < 10 KVE/m<sup>3</sup> met een samplevolume van 20 m<sup>3</sup>
  
- › Lidwell et al. Airborne contamination of wounds in joint replacement operations: the relationship to sepsis rates. J Hosp Infect 1983; 111-131.
  - › < 10 KVE/m<sup>3</sup>

## MICROBIOLOGISCHE METING SIS-TS39:2015

### › Eisen:

- › Schone ingrepen: gemiddelde waarde ( $10 \text{ KVE/m}^3$ ) en maximale waarde ( $30 \text{ KVE/m}^3$ ) mogen niet worden overschreden
- › Niet schone ingrepen: gemiddelde waarde ( $100 \text{ KVE/m}^3$ ) en maximale waarde ( $200 \text{ KVE/m}^3$ ) mogen niet worden overschreden

## TOEPASSING

- › Vindt plaats na oplevering (prestatie verificatie) is dus geen methode voor acceptatie van het systeem
- › Training (effecten van aanpassing in proces en techniek inzichtelijk maken)
- › Kan bij een verhoogd infectie niveau worden ingezet om oorzaak te achterhalen
- › Uitstekende methode om aan te tonen dat men in control is en te optimaliseren (techniek en proces!)
- › Methode om onder randvoorwaarden gelijkwaardigheid aan te tonen -> meten van de luchtkwaliteit (microbiologisch) tijdens het proces\*

\* Traversari at al., *Nederlands Tijdschrift voor Medische Microbiologie*, 2017

› BEDANKT VOOR UW AANDACHT

Roberto Traversari  
E. [roberto.traversari@tno.nl](mailto:roberto.traversari@tno.nl)  
M. +31 0653 194 752

Voor meer inspiratie:  
[TIME.TNO.NL](http://TIME.TNO.NL)

**TNO** innovation  
for life