

Energie efficiënt ontwerp en gebruik van cleanrooms:  
de winst is enorm!

Frans Saurwalt  
VCCN

Convener van ISO TC209 WG4  
ICCCS Technical Committee voorzitter



Technisch Manager **KROPMAN**  
CONTAMINATION CONTROL

WE SHARE THE KNOWLEDGE

## Take home message

- Weet wat voor Cleanroom je nodig hebt!
- Berekeningen:  
Oppervlakte reinheid → Luchtreinheid/schoonmaak+discipline  
Bronsterkte + luchtstroming → ~~'Circulatievoud'~~
- De Energiebesparing bij minder lucht is enorm! ( $\approx Q^3$ )

*Meer duurzaam: Ontwerpen, Bouwen, Opstarten → Gebruik*

# Classificatie op basis van deeltjesconcentratie in lucht

## ISO 14644-1

Table 1 — ISO Classes of air cleanliness by particle concentration

ISO Class number (N)	Maximum allowable concentrations (particles/m <sup>3</sup> ) for particles equal to and greater than the considered sizes, shown below <sup>a</sup>					
	0,1 µm	0,2 µm	0,3 µm	0,5 µm	1 µm	5 µm
1	10 <sup>b</sup>	d	d	d	d	e
2	100	24 <sup>b</sup>	10 <sup>b</sup>	d	d	e
3	1 000	237	102	35 <sup>b</sup>	d	e
4	10 000	2 370	1 020	352	83 <sup>b</sup>	e
5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	d, e, f
6	1 000 000	237 000	102 000	35 200	8 320	293
7	c	c	c	352 000	83 200	2 930
8	c	c	c	3 520 000	832 000	29 300
9g	c	c	c	35 200 000	8 320 000	293 000

Occupancy states

AS BUILT: Empty

AT REST: Equipment installed not operated

OPERATIONAL: In operation with  
equipment and operators

Volledige klasseaanduiding: ISO class number, particle size, occupancy state

**ISO 6,  $\geq 0,5\mu\text{m}$  and  $\geq 5\mu\text{m}$ , operational**

# Oud: benodigde luchthoeveelheid op basis van luchtwisselingen/uur bij een ISO klasse.

operational

ISO	ACR <sup>d</sup>
6	70-150
7	30-70
8	10 - 20

$$ACR = ACR^d / 3$$

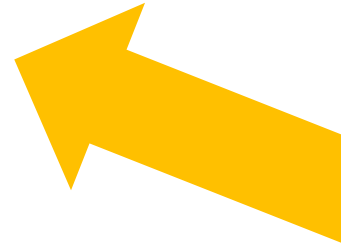


Table B.2 — Examples for microelectronic cleanrooms

Air cleanliness class <sup>a</sup> (ISO Class) in operation	Airflow type <sup>b</sup>	Average, airflow velocity <sup>c</sup> m/s	Air changes per hour <sup>d</sup> m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> · h	Examples of applications
2	U	0,3 to 0,5	na	Photolithography, semiconductor processing zone <sup>e</sup>
3	U	0,3 to 0,5	na	Work zones, semiconductor processing zone
4	U	0,3 to 0,5	na	Work zones, multilayer masks processing, fabrication of compact discs, semiconductor service zone, utility zones
5	U	0,2 to 0,5	na	Work zones, multilayer masks processing, fabrication of compact discs, semiconductor service zone, utility zones
6	N or M <sup>f</sup>	na	70 to 160	Utility zones, multilayer processing, semiconductor service zones
7	N or M	na	30 to 70	Service zones, surface treatment
8	N or M	na	10 to 20	Service zones

NOTE na = not applicable

<sup>a</sup> Occupancy states associated with the ISO Class should be defined and agreed in advance of establishing optimum design conditions.

<sup>b</sup> When airflow type is listed, it represents the airflow characteristics for cleanrooms of that class: U = unidirectional; N = non-unidirectional; M = mixed (combination of U and N).

<sup>c</sup> Average airflow velocity is the way that unidirectional airflow in cleanrooms usually is specified. The requirement on unidirectional airflow velocity will depend on local parameters such as geometry and thermals. It is not necessarily the filter face velocity.

<sup>d</sup> Air changes per hour is the way that non-unidirectional and mixed airflow is specified. The suggested air changes are related to a room height of 3,0 meter.

<sup>e</sup> Impervious barrier techniques should be considered.

<sup>f</sup> With effective separation between contamination source and zones to be protected. Could be a physical or airflow barrier.

# Oud: benodigde luchthoeveelheid op basis van luchtwisselingen/uur bij een ISO klasse.

Oude 14644-4 (2001)

operational

ISO	ACR <sup>d</sup>	ACR n/h
6	70-150	23,3 - 53,3
7	30-70	10 - 23,3
8	10 - 20	3,3 - 6,6

$$ACR = ACR^d / 3$$

Table B.2 — Examples for microelectronic cleanrooms

Air cleanliness class <sup>a</sup> (ISO Class) in operation	Airflow type <sup>b</sup>	Average, airflow velocity <sup>c</sup> m/s	Air changes per hour <sup>d</sup> m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> · h	Examples of applications
2	U	0,3 to 0,5	na	Photolithography, semiconductor processing zone <sup>e</sup>
3	U	0,3 to 0,5	na	Work zones, semiconductor processing zone
4	U	0,3 to 0,5	na	Work zones, multilayer masks processing, fabrication of compact discs, semiconductor service zone, utility zones
5	U	0,2 to 0,5	na	Work zones, multilayer masks processing, fabrication of compact discs, semiconductor service zone, utility zones
6	N or M <sup>f</sup>	na	70 to 160	Utility zones, multilayer processing, semiconductor service zones
7	N or M	na	30 to 70	Service zones, surface treatment
8	N or M	na	10 to 20	Service zones

NOTE na = not applicable

<sup>a</sup> Occupancy states associated with the ISO Class should be defined and agreed in advance of establishing optimum design conditions.

<sup>b</sup> When airflow type is listed, it represents the airflow characteristics for cleanrooms of that class: U = unidirectional; N = non-unidirectional; M = mixed (combination of U and N).

<sup>c</sup> Average airflow velocity is the way that unidirectional airflow in cleanrooms usually is specified. The requirement on unidirectional airflow velocity will depend on local parameters such as geometry and thermals. It is not necessarily the filter face velocity.

<sup>d</sup> Air changes per hour is the way that non-unidirectional and mixed airflow is specified. The suggested air changes are related to a room height of 3,0 meter.

<sup>e</sup> Impervious barrier techniques should be considered.

<sup>f</sup> With effective separation between contamination source and zones to be protected. Could be a physical or airflow barrier.

# Bepaling luchthoeveelheid

Ruimte ISO 6 :  $35.000 \geq 0,5\mu\text{m}$ ,  $293 \geq 5\mu\text{m}$  operational  
Afmetingen  $6 \times 10 \times 3$  (b x l x h) [m],  $60$  [m<sup>2</sup>],  $180$  [m<sup>3</sup>]

Luchthoeveelheid: = ACR \* Ruimte-inhoud

ACR	m <sup>3</sup> /h	<sup>1)</sup> Relatief energieverbruik	<sup>1)</sup> Relatief energieverbruik
70	12.600	100%	2712%
150	27.000	984%	26681%
23,3	4.194	4%	100%
53,3	9.594	44%	1197%



ISO	ACR <sup>d</sup>	ACR n/h
6	<del>70-150</del>	23,3 - 53,3
7	<del>30-70</del>	10 - 23,3
8	<del>10 - 20</del>	3,3 - 6,6

**Aanpak zonder oog voor 'het proces'!**

**Heel andere benadering nodig!**

# Ontwerp (volgens ISO 14644-4 Design, Construction, Start-up)

Effective ***contamination control strategy***:

- a) engineering controls, i.e. the facility and environmental controls;
- b) personnel and material controls, i.e. gowning and behaviour as part of procedures and a quality management system;
- c) cleaning, including disinfection if required.

# Ontwerp

Focus op:

- Procesactiviteiten en risico's
- Bronnen van contaminatie
- Kritische controle punten
- Limieten (chemisch, kve's, voor monitoring)
- Risico eliminatie/vermindering door:  
Isoleren, afschermen, inperken e.d.
- Inwendige bronnen beperken
- Contaminatie 'buiten houden'
- Doeltreffend ontwerp van luchtstroming
- Monitoring





# Reinheid begint bij het product (oppervlak)

Belang van oppervlaktereinheid bij de beheersing van contaminatie (eerder deze dag)

Ir. Koos Agricola, Trainer / Expert, VCCN / ICCCS

1. Benodigde oppervlakte reinheid ( $C_{SCP;D;t}$ )
2. Initiele oppervlakte reinheid ( $C_{SCP;D;i}$ )
3. Blootstellingstijd (t)

Deeltjesdepositiesnelheid  $R_D$

Deeltjesdepositiesnelheid niveau  $L = \frac{R_D \times D}{10}$

Particle deposition rate levels in orders of magnitude

Particle deposition rate level	Number of particles per m <sup>2</sup> per hour						
	≥5 μm	≥10 μm	≥20 μm	≥50 μm	≥100 μm	≥200 μm	≥500 μm
1	2,0	1,0	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02
10	20	10	5	2	1	0,5	0,2
100	200	100	50	20	10	5	2
1 000	2 000	1 000	500	200	100	50	20
10 000	20 000	10 000	5 000	2 000	1 000	500	200
100 000	200 000	100 000	50 000	20 000	10 000	5 000	2 000
1 000 000	2 000 000	1 000 000	500 000	200 000	100 000	50 000	20 000

# Welke maximale deeltjesconcentratie (ISO klasse) in lucht?

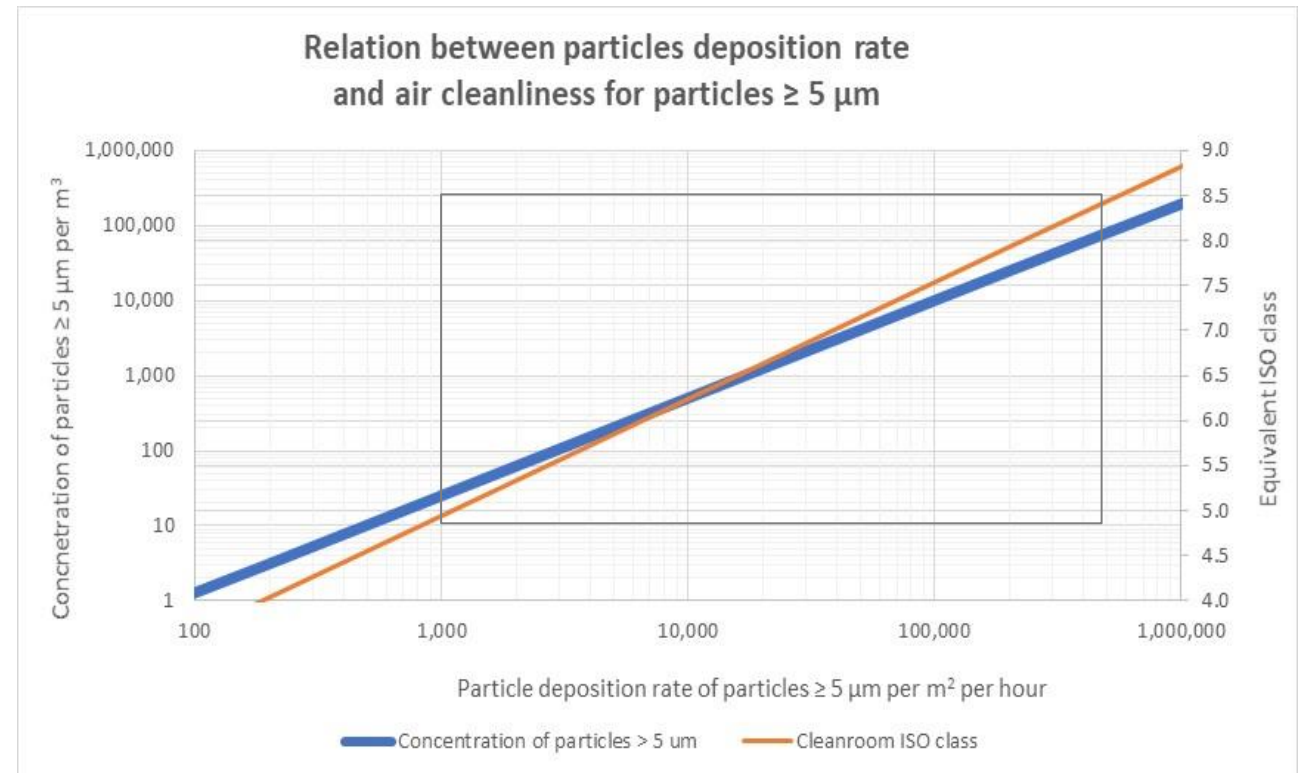
Belang van oppervlakte-eenheid bij de beheersing van contaminatie

Ir. Koos Agricola, Trainer / Expert, VCCN / ICCCS

1. Benodigde oppervlakte reinheid ( $C_{SCP;D;t}$ )
  2. Initiele oppervlakte reinheid ( $C_{SCP;D;i}$ )
  3. Blootstellingstijd (t)
- Deeltjesdepositiesnelheid  $R_D \approx \Rightarrow$  Deeltjesconcentratie in lucht



For particles  $\geq 5 \mu\text{m}$  ( $D = d = 5 \mu\text{m}$ ) Hamberg and others found a relation between particle deposition rate  $PDR_5$  and air cleanliness  $C_5$



$$C_{5-40} \leq L^{1,294}/120$$

voor:  $5 \leq D \leq 40 \mu\text{m}$

# Ontwerp concepten

## Lucht stromings concepten

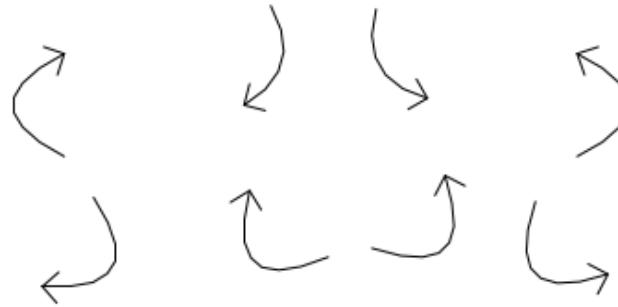
Unidirectional (UDAF)



Ventilatie mechanisme:  
Verdringing

$$\begin{aligned} &\text{UDAF-snelheid} \\ &\quad \times \\ &\text{UDAF oppervlak} \\ &= \\ &\text{Luchthoeveelheid} \end{aligned}$$

Non-unidirectional Non-UDAF



Ventilatie mechanisme:  
Verdunning

$$\begin{aligned} &\text{Ruimtevolume} \\ &\quad \times \\ &\text{Luchtwisselingen} \\ &= \\ &\text{Luchthoeveelheid} \end{aligned}$$

Niet meer zoals we  
'altijd' deden.

# Bepalen benodigde luchthoeveelheid

$$Q = S / \varepsilon \cdot C \quad (\text{Voor mengende systemen!})$$

(voor HEPA gefilterde toevoerlucht)

Q = totale toevoerluchthoeveelheid (m<sup>3</sup>/s)

S = totale contaminatie belasting n/s (bron (source))

$\varepsilon$  = luchtwisseling efficiëntie index (richtwaarde 0,7) [kan variëren tussen ca. 0,5 – 1,5]

C = beoogde concentratie (n/m<sup>3</sup>)

Personeel is belangrijkste bron, ordegrrootte emissies per minuut ( $\pm 50\%$ ) Bron: K. Agricola

Persoon	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$	$\geq 50 \mu\text{m}$
In burgerkleding	10.000.000	1.000.000	100.000
Cleanroom jas, muts en schoenhoezen	2.000.000	100.000	2.000
Coverall	200.000	10.000	20
Cleanroom onderkleding + coverall etc.	100.000	5.000	5

# Rekenen aan cleanrooms

Ruimte ISO 6 ,**operational**,  $35.200 \geq 0,5\mu\text{m}$ ,  
 $293 \geq 5\mu\text{m}$

bronsterkte:  $100.000 \geq 0,5\mu\text{m}/\text{Pers}\cdot\text{min}$   
 $5.000 \geq 5\mu\text{m}/\text{Pers}\cdot\text{min}$

Afmetingen 6 x 10 x 3 (b x l x h) [m], 60 [m<sup>2</sup>], 180 [m<sup>3</sup>]

ACR	m <sup>3</sup> /h	Personen	ε	Concentratie [≥0,5μm/m <sup>3</sup> ]	Concentratie [≥0,5μm/m <sup>3</sup> ]	ISO klasse	Hersteltijd 100:1 [min]	Relatief energieverbruik <sup>1)</sup>
70	12.600	4	0,7	2721	136	ISO 6	5,6	2.123%
150	27.000	4	0,7	1273	63	ISO6	2,6	20.887%
23,3	4.194	4	0,7	8175	409	ISO7	16,9	78%
53,3	9.594	4	0,7	3574	179	ISO6	7,4	937%
32,5	5851	4	0,7	5860	293	ISO6	12,1	213%
25,3	4550	4	0,9	5860	293	ISO6	15,6	100%
8,8	1593	4 <sup>2)</sup>	0,9	5860	293	ISO6	44,6	4%

<sup>2)</sup> Bij ca. 0,35 x bronsterkte

<sup>1)</sup> Betrokken op ventilator energie  $\propto Q^3$

# Duurzaamheid

## Nadruk op Passende Eisen

*(zie presentatie Koos Agricola over Belang van oppervlaktereinheid bij de beheersing van contaminatie)*

- Niet over specificeren
- Ontwerpen wat er wordt gevraagd, zonder grote extra marge
- Gebruik geldende EU 'energy directive' eisen
- Pas, zo mogelijk, energie besparingsmaatregelen toe: (ISO-14644-16)
  - 'verlaagd werkpunt' buiten werksituatie
  - 'instelbaarheid'
  - dynamisch regelen op werkelijke 'contaminatie niveaus'
- Hergebruik / recycling

'In een keer goed' door project fasering, toetsen en goedkeuren (ISO 14644-4)

# De winst van optimaal ontwerpen en gebruiken

HVAC installatie kleiner → Minder CAPEX (-/- 15-30%) en Minder energieverbruik (-/- 60-80%)

HVAC optimaal beheer (dynamisch) → Nog minder energieverbruik (-/- 50-70%)

**ca 70% ←winst→ 90% besparing 'normaal energieverbruik'**

## Take home message

- Weet wat voor Cleanroom je nodig hebt!
- Berekeningen:  
Oppervlakte reinheid → Luchtreinheid/schoonmaak+discipline  
Bronsterkte + luchtstroming → ~~'Circulatievoud'~~
- De Energiebesparing bij minder lucht is enorm! ( $\approx Q^3$ )

*Meer duurzaam: Ontwerpen, Bouwen, Opstarten → Gebruik*



Bedankt voor uw aandacht.



WE SHARE THE KNOWLEDGE