

Het belang van oppervlaktereinhed in contaminatie beheersing

Koos Agricola

Brookhuis Applied Data Intelligence



WE SHARE THE KNOWLEDGE



Koos Agricola

Ir Technische Natuurkunde

In cleanroom technologie, reiniging en
contaminatie beheersing sinds 1986



Inhoud

- Product contaminatie
- Oppervlaktereinheid
- ISO 14644-9:2022
- Contaminatie beheersing
- Deeltjesdepositiesnelheid
- ISO 14644-17:2021
- Resuspensie snelheid
- Luchtreinheid
- ISO 14644-1,2:2015
- Monitoring



Product contaminatie

- Product- (en/of proces-) contaminatie is oppervlaktecontaminatie
- Een productanalyse helpt bij het bepalen van de impact van deeltjes (microbe dragende deeltjes) contaminatie op de functionaliteit ervan
- Het acceptabele aantal en de grootte van oppervlakte deeltjes kan worden gebruikt om het uiteindelijke oppervlaktereïningsniveau te bepalen
- Het reinigingsproces voorafgaand aan een assemblageproces bepaalt het initiële oppervlaktereïningsniveau
- Het verschil tussen de uiteindelijke en initiële oppervlaktereïningsniveau bepaalt de werkgebied voor deeltjesverontreiniging
- Met betrekking tot moleculair of chemische contaminatie kan een vergelijkbare aanpak gehanteerd worden

Oppervlaktereinheid

- Oppervlaktereinheid wordt uitgedrukt als een aantal deeltjes $\geq D$ μm per m^2 , dm^2 of cm^2
- Deeltjesgrootte D : equivalente diameter of diameter omtrek cirkel rond silhouet
- Meetresultaat N_D wordt uitgedrukt als cumulatief aantal deeltjes per m^2
- Deeltjesgrootteverdeling na blootstelling aan de omgeving: $N_D = \text{constant}/D$
- Oppervlaktereinheidsniveau: $\text{ORN} = N_1 = N_D \times D$
- Product contaminatie werkgebied is: $\text{ORN}_{\text{final}} - \text{ORN}_{\text{initial}}$



ISO 14544-9:2022

- Surface Cleanliness by Particle concentration: SCP
- ORN is het equivalente cumulatieve aantal deeltjes $\geq 1 \mu\text{m}$ per m^2
- In ISO 14644-9:2022 worden oppervlaktereinheden niveaus uitgedrukt als \log_{10} ORN

Selected SCP grading levels for cleanrooms and associated controlled environments

Units in particles per square metre

SCP level	Particle size								
	$\geq 0,05 \mu\text{m}$	$\geq 0,1 \mu\text{m}$	$\geq 0,5 \mu\text{m}$	$\geq 1 \mu\text{m}$	$\geq 5 \mu\text{m}$	$\geq 10 \mu\text{m}$	$\geq 50 \mu\text{m}$	$\geq 100 \mu\text{m}$	$\geq 500 \mu\text{m}$
SCP level 1	(200)	100	20	(10)					
SCP level 2	(2 000)	1 000	200	100	(20)	(10)			
SCP level 3	(20 000)	10 000	2 000	1 000	(200)	(100)			
SCP level 4	(200 000)	100 000	20 000	10 000	2 000	1 000	(200)	(100)	
SCP level 5		1 000 000	200 000	100 000	20 000	10 000	2 000	1 000	(200)
SCP level 6		(10 000 000)	2 000 000	1 000 000	200 000	100 000	20 000	10 000	2 000
SCP level 7				10 000 000	2 000 000	1 000 000	200 000	100 000	20 000
SCP level 8						10 000 000	2 000 000	1 000 000	200 000

Contaminatie beheersing

- Strategie voor productreinheid bepaalt wanneer het product schoon gemaakt en beschermd moet worden en wanneer en waar de reinheid van de omgeving beheerst moet worden.
- Maatregelen om deeltjesverontreiniging van kritieke productoppervlak(ken) tijdens blootstelling te voorkomen
 - Blootstelling van kritiek productoppervlak aan de omgeving beperken
 - Beperking van de deeltjesdepositiesnelheid door het niveau van luchtreinheid en verwijderingsefficiëntie
 - Naar binnen brengen van deeltjes beperken
 - Oppervlakte deeltjes beperken door te reinigen
 - Monitoren van luchtreinheid, oppervlaktereinheid en deeltjesdepositiesnelheid

Deeltjesdepositiesnelheid

- Deeltjesdepositiesnelheid R_D wordt uitgedrukt door het aantal deeltjes $\geq D \mu\text{m}$ per m^2 per uur
- $R_D = \text{luchtreinheidsniveau } (N_D / \text{m}^3) \times \text{depositiesnelheid van deeltjes } \geq D \mu\text{m in m/h}$
- $R_D = \text{verandering oppervlaktereinheid in } N_D \div \text{blootstellingstijd in uren } T$
- Productverontreiniging N_D door deeltjes $\geq D \mu\text{m} = R_D \times A \times T$
- $A = \text{productoppervlak in } \text{m}^2$
- Toename van oppervlakteconcentratie tijdens bedrijf
- $\text{ORN}_T = \text{ORN}_{\text{initial}} + R_D \times D \times T$ $\text{ORN} = \text{SCL surface cleanliness level}$
- Een hoge oppervlakteconcentratie kan de deeltjesdepositiesnelheid verhogen door resuspensie

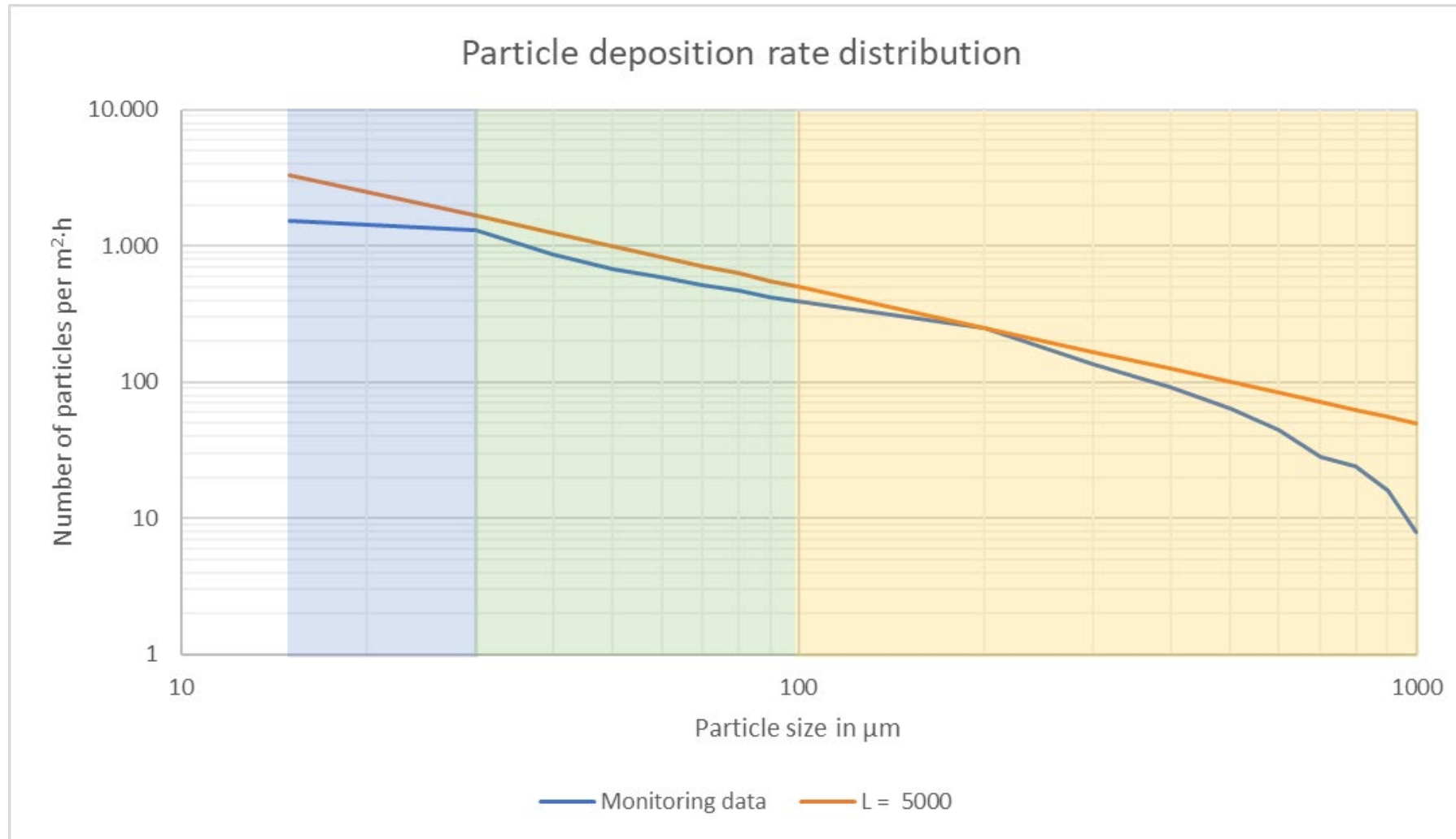
ISO 14644-17:2021

- Grenzen stellen, beheersing van de depositiesnelheid van macrodeeltjes per $\text{m}^2 \cdot \text{u}$ vaststellen en monitoren
- Deeltjesdepositiesnelheid niveau L is equivalent aantal deeltjes $\geq 10 \mu\text{m}$ per $\text{m}^2 \cdot \text{u}$
- $L = R_D \times D/10$

Particle deposition rate levels in orders of magnitude

Particle deposition rate level	Number of particles per m^2 per hour						
	$\geq 5 \mu\text{m}$	$\geq 10 \mu\text{m}$	$\geq 20 \mu\text{m}$	$\geq 50 \mu\text{m}$	$\geq 100 \mu\text{m}$	$\geq 200 \mu\text{m}$	$\geq 500 \mu\text{m}$
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

Cumulative deeltjesgrootteverdeling van R_D



Resuspensie snelheid

- Onder invloed van mechanische krachten en turbulente luchtstromen kunnen deeltjes van een oppervlak in de grenslaag worden getild en vervolgens weer in de lucht gebracht worden
- De resuspensie snelheid verschilt sterk door de toestand van het oppervlak, vochtigheid en verwijderingskrachten
- De resuspensie snelheid r is een fractie van de oppervlakteconcentratie

$$r = S_{rD} / N_D$$

- S_{rD} is het aantal uitgestoten deeltjes/uur en N_D is het aantal deeltjes $\geq D \mu\text{m}/\text{m}^2$
- Voor analyse in cleanrooms wordt $r = 10^{-4}$ per $\text{m}^2 \cdot \text{h}$ geschat
- Een deeltjes resuspensie snelheidsniveau S_{rL} kan worden geïntroduceerd
 - $S_{rL} = S_{rD} \times D = r \times \text{ORN}$
- S_{rL} is afhankelijk van L en operationele tijd na reiniging

ISO 14644-1:2015 Luchtreinheid klasse

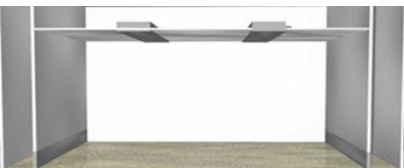
- De deeltjesconcentratie in de lucht wordt bepaald door verdunning van de deeltjesbronsterkte

$$C = \frac{S}{\varepsilon \cdot Q}$$

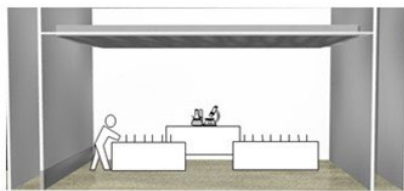
- S is bronsterkte (aantal deeltjes/s), Q is luchttoevoer (m³/s) en ε is ventilatie-efficiëntie
- C_{0,1} is de cumulatieve concentratie van deeltjes ≥ 0,1 μm per m³ gemeten met LSAPC
- ISO-klasse is log₁₀ C_{0,1}

ISO Classes of air cleanliness by particle concentration

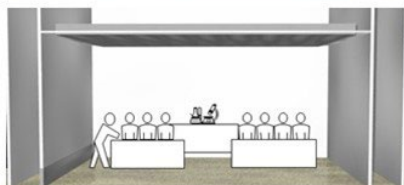
ISO Class number (N)	Maximum allowable concentrations (particles/m ³) for particles equal to and greater than the considered sizes, shown below ^a					
	0,1 μm	0,2 μm	0,3 μm	0,5 μm	1 μm	5 μm
1	10					
2	100	24	10			
3	1 000	237	102	35		
4	10 000	2 370	1 020	352	83	
5	100 000	23 700	10 200	3 520	832	
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



As-Built
Cleanroom



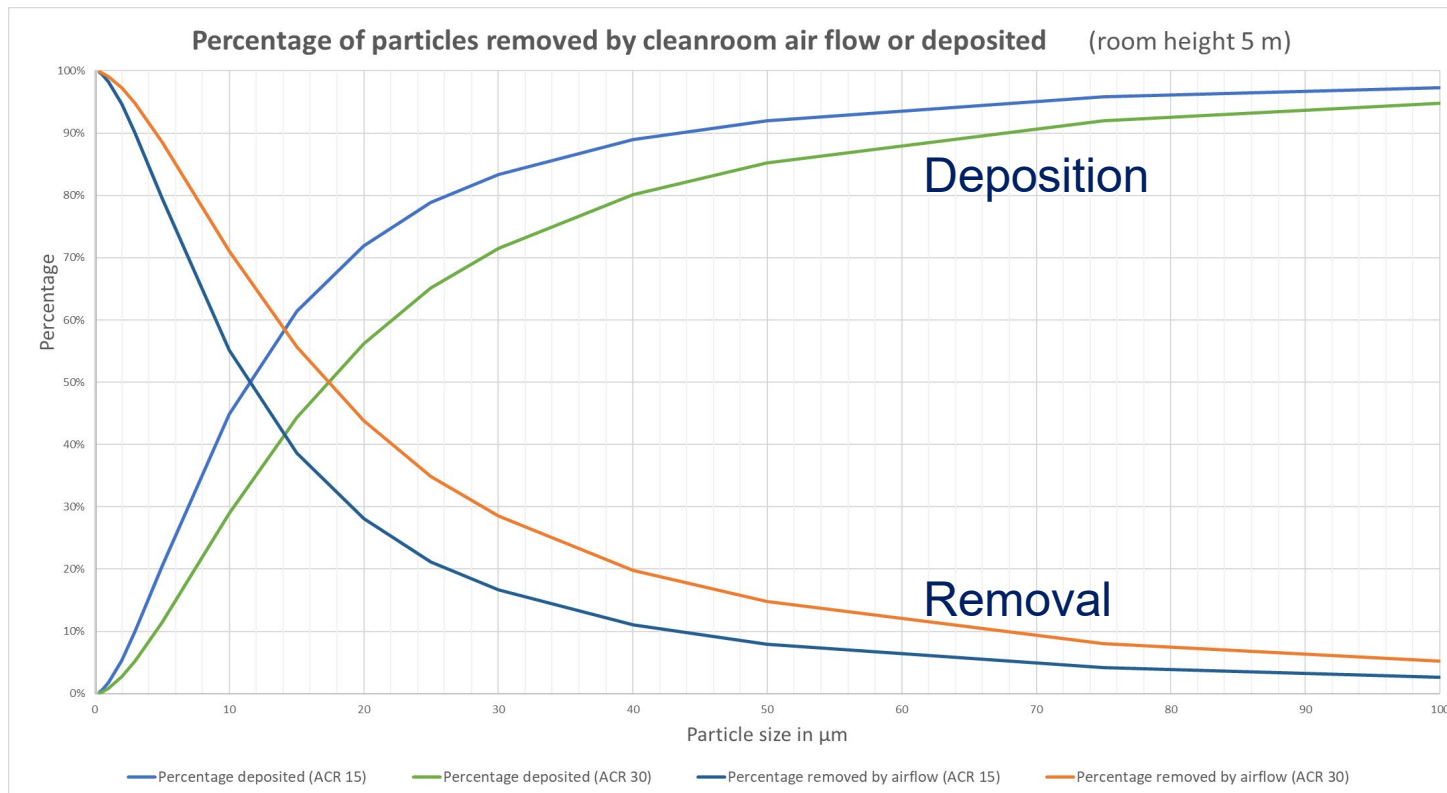
At Rest
Cleanroom



Operational
Cleanroom

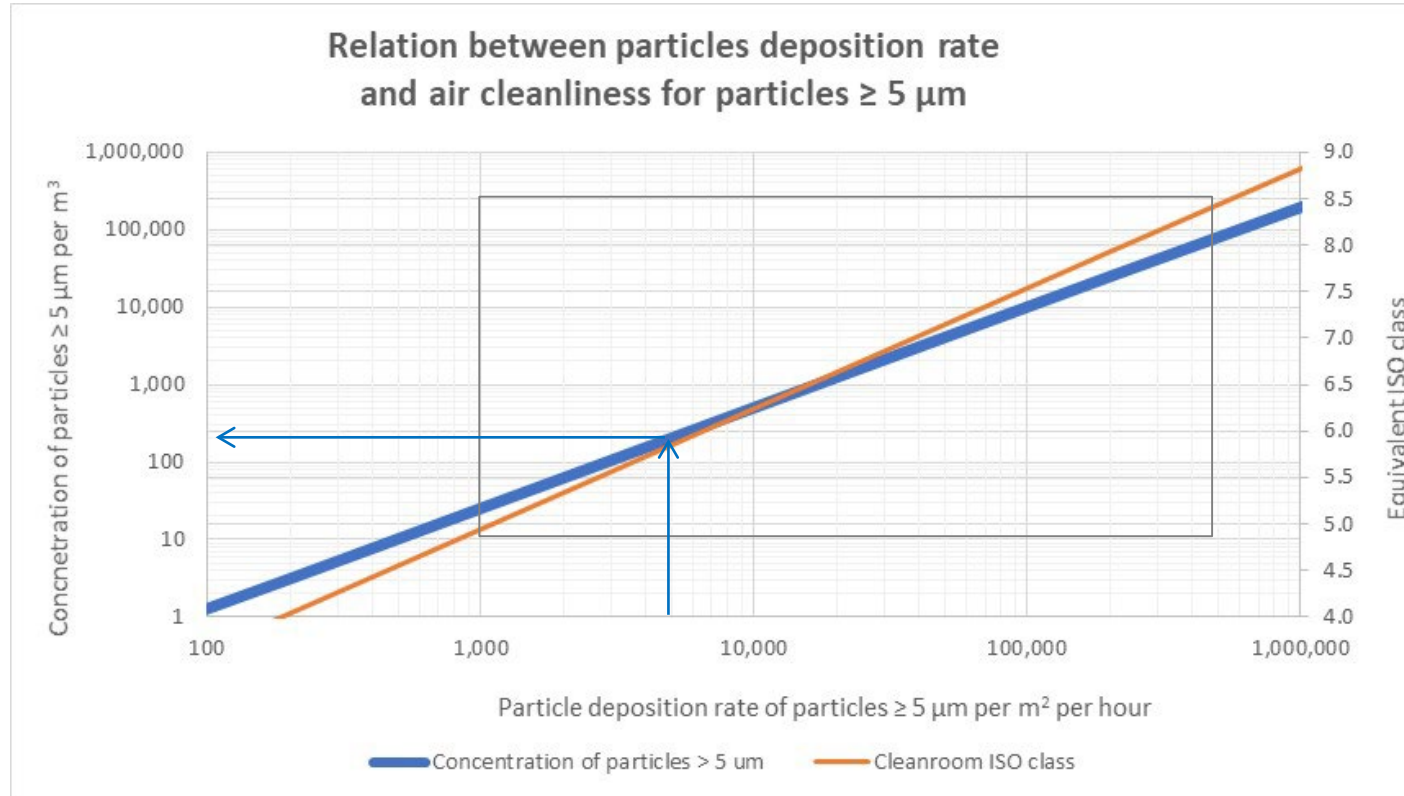
Verwijdering van deeltjes door ventilatie met schone lucht

- Deeltjesafvoer hangt af van de effectief aantal luchtwisselingen per uur en de hoogte van de cleanroom
- Effectief aantal luchtwisselingen per uur: Air Change Rate $ACR = \frac{\varepsilon \cdot Q}{V}$ per uur
 - V is ruimte volume in m^3



Relatie luchtreinheid en oppervlaktereinheid

- Monitoring deeltjes $\geq 5 \mu\text{m}$ in de lucht C_5 op kritiek locatie volgens ISO 14644-2:2015 bepaalt mogelijke minimale deeltjesdepositiesnelheid R_5 .
- Oppervlaktereinheid verandert door deeltjesdepositiesnelheid -> luchtreinheidseis:
 - $C_5 < R_5^{1.294}/295$ voor $5 \leq D < 40 \mu\text{m}$; $D \geq 40 \mu\text{m}$ operationele procedures bepalend



Monitoren oppervlaktereinheid

- Meet de oppervlaktereinheid van verschillende omgevingsoppervlakken
- Trending, reinigingsefficiëntie en deeltjesdepositiesnelheid
- Deeltjesgrootteverdeling
- Naast het meten van de concentratie van deeltjes in de lucht
- Deeltjesdepositiesnelheidsniveau op kritieke locaties
- Plattegrond van cleanroom met oppervlaktemeetlocaties op de vloer, tafels en apparatuur.

Nieuw oppervlaktereinheid monitoring instrument

- SUMON is bedoeld voor het monitoren van cleanroom oppervlakken
 - Telt en meet fluorescerende deeltjes $> 20 \mu\text{m}$
 - meetoppervlak 10 cm^2
 - kan 100 monsters verzamelen
 - Geeft trending data
 - Berekent reiniging efficiëntie en
 - deeltjesdepositiesnelheid



Nieuw deeltjesdepositiemonitoring instrument

- Real time deeltjesdepositie monitor APMON II
 - Bemonsteringstijd 4 minuten
 - Meetoppervlak 50 cm²
 - Deeltjes > 15 µm
 - Data toegang via AWS
 - INSIGHTS (inzichten)



Conclusie

- Cleanrooms traditioneel gericht op luchtreinheid voor deeltjes $\geq 0,5 \mu\text{m}$
- In cleanrooms met personeel is de beheersing van macrodeeltjes belangrijk
- Hun verwijdering door luchtstroom neemt af met de deeltjesgrootte
- Depositie en contactoverdracht nemen in de loop van de tijd toe door resuspensie
- Monitoring van de deeltjesdepositiesnelheid op kritieke locaties toont het niveau van contaminatie beheersing aan:
 - Het toont de impact van discipline en oppervlaktereinheid
- Het monitoren van oppervlaktereinheid geeft informatie over de operationele kwaliteit en effectiviteit van het reinigingsprogramma.

Overzicht ISO 14644 cleanroom normen

14 644-1	Classification of air cleanliness by particle concentration	2015
14 644-2	Monitoring to provide evidence of cleanroom performance related to air cleanliness by particle concentration	2015
14 644-3	Test methods	2019
14 644-4	Design, construction and start-up	2022
14 644-5	Cleanroom operations	2024 (in revision)
14 644-7	Separative devices (clean air hoods, glove boxes, isolators and minienvironments)	2024 (in revision)
14 644-8	Classification of air cleanliness by chemical concentration (ACC)	2022
14 644-9	Classification of surface cleanliness by particle concentration	2022
14 644-10	Classification of surface cleanliness by chemicals concentration	2022
14 644-12	Specifications for monitoring air cleanliness by nanoscale particle concentration	2018
14 644-13	Cleaning of surfaces to achieve defined levels of cleanliness by particle and chemical concentrations	2017
14 644-14	Assessment of suitability for use of equipment by airborne particle concentration	2016
14 644-15	Assessment of suitability for use of equipment and materials by airborne chemical concentration	2017



Thank you
for
your
attention

**HAVE YOU PUT
YOUR DATA
TO WORK?**



www.brookhuis.com/cleanroo