

# Verbrauchsmaterialien für den Reinraum

Dipl.-Ing. (FH) Frank Bürger, Dipl.-Ing. (FH) Mathias Brückner, Dr.-Ing. Udo Gommel  
Fraunhofer IPA, Abteilung Reinst- und Mikroproduktion  
Karlsruhe 06.02.2013



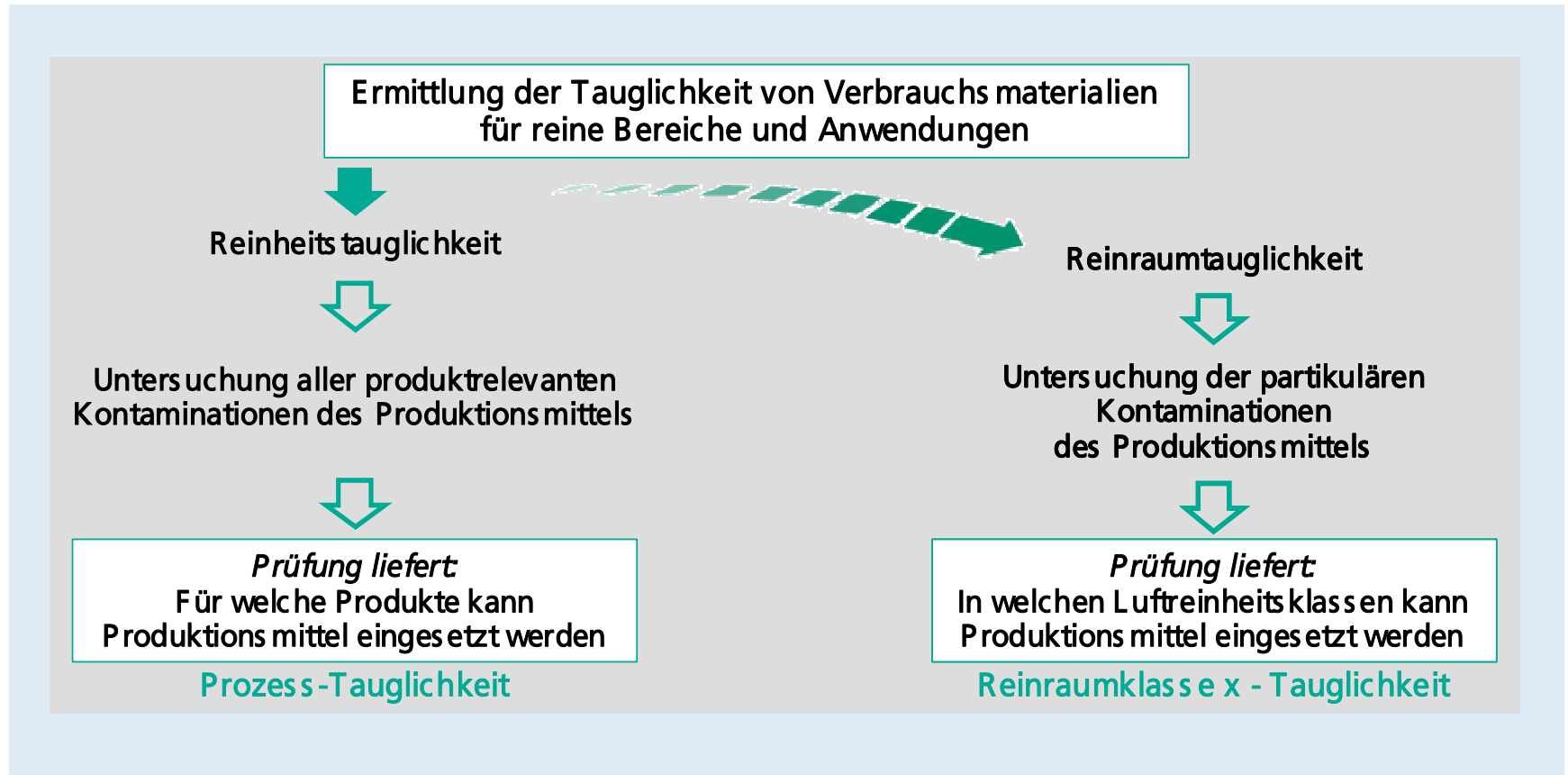
# Übersicht

- Begriffe
- Bedarf und Anforderungen an geeigneten Verbrauchsmaterialien
- Deklaration von Verbrauchsmaterialien im Feld
- Prüfverfahren, Klassifizierung, Beispielergebnisse für Stifte und Tücher
- Zusammenfassung

# Begriffe

- Verbrauchsmaterialien
  - sind ein Teil der Betriebsmittel, meist nur einer einmaligen Anwendung, jedoch häufig größere Stückzahlen
  - Beispiele: Handschuhe, Personenoveralls, Klebematten, Wischtücher, Reinraumpapier, Verpackungsmaterialien (z. B. Folien, Blister)
- Reinheits-Tauglichkeit
  - Eignung von Betriebsmitteln/Werkstoffen hinsichtlich aller reinheitsrelevanten Eigenschaften
- Reinraum-Tauglichkeit
  - Unterpunkt der Reinheitstauglichkeit s. (VDI 2083, Blatt 9.1)
  - Betrachtet ausschließlich luftgetragene Partikelkonzentrationen,
  - Eignung für den Einsatz in spezifischen Luftreinheitsklassen

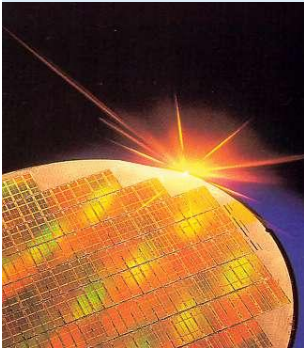
# Begriffe



# Bedarf an geeigneten Verbrauchsmaterialien

- Tendenziell steigende Reinheitsanforderungen in der Produktion
- Zunahme der Fertigungsmittel, die aus reinheitstechnischer und branchenspezifischer Sicht auf die umgebende Reinheitstechnik abgestimmt sind
- Trotz steigendem Automatisierungsgrad in der reinen Produktion Bedarf an geeigneten Verbrauchsmaterialien
  - Steigende Anforderungen etablierter Industriebereiche (Halbleiter u, Pharmazie)
  - „Neue Industrien“ mit Entwicklung zu reinen Produktion (Photovoltaik, Flachbildschirme, Hochleistungsbatterien org. LEDs)
- Wichtig: Verbrauchsmaterialien kommen temporär sehr nahe am reinheitskritischen Prozess/Produkt zum Einsatz!

# Anwendungsgebiete für reine Verbrauchsmaterialien



**Halbleiterindustrie**



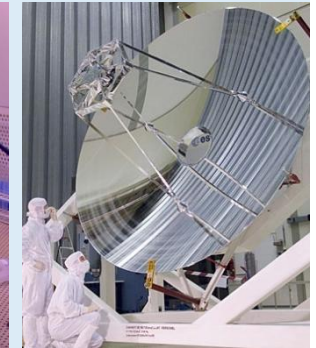
**Photovoltaik**



**Medizintechnik**



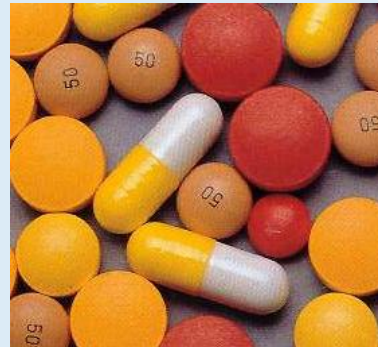
**Laboratorien**



**Luft- und Raumfahrtindustrie**



**Lebensmittelindustrie**



**Pharmaindustrie**



**Mikrosystemtechnik**



**Automobilindustrie**

# Industriebereiche und allgemeine Reinheitsanforderungen

	Partikel- emission	Ausgasungs- emission	ESD- Verhalten	Reinig- barkeit	Chemikalien- beständigkeit
Halbleiterindustrie	++	++	++	+	+
Mikrosystemtechnik	++	+	++	+	+
Pharmazie	++	0	+	++	++
Biotechnologie	+	+	0	++	++
Medizintechnik	+	0	+	++	++
Photovoltaik Dünnschicht	+	+	+	0	0
Nahrungsmittel	+	+	0	++	++

Legende: ++ zwingend notwendig; + empfohlen, aber nicht zwingend notwendig; 0 nicht allgemein erforderlich, Einzelfallprüfung empfohlen

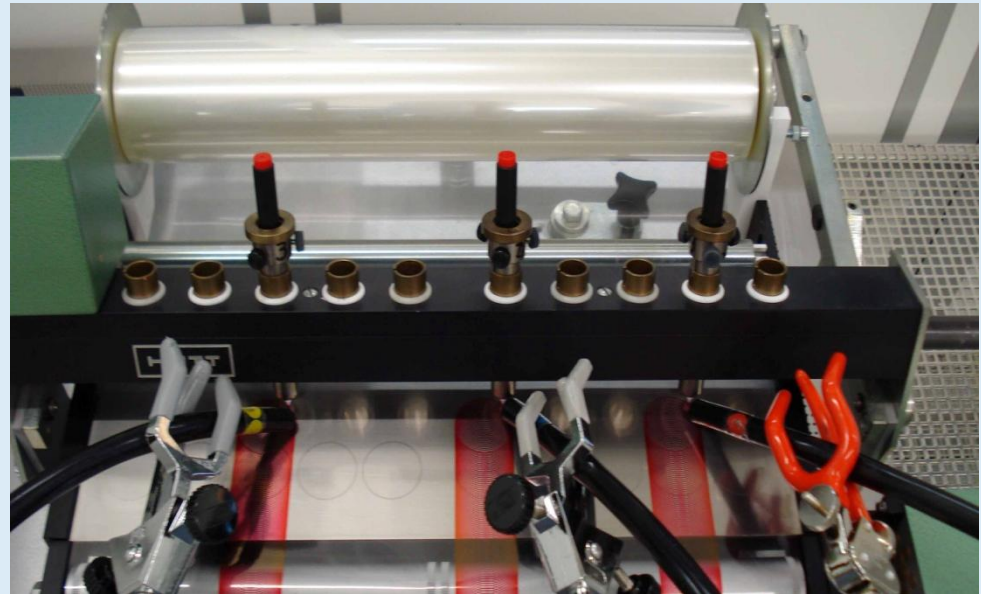
# Deklaration von Verbrauchsmaterialien im Feld

- Häufige Aussagen von Lieferanten:
  - Das Tuch XYZ hat die Reinraumklasse 5 nach ISO 14644-1
  - Der Handschuh ZYX hat Klasse 100 nach US FED 209E (zurückgezogen)
  - Diese Aussagen sind falsch - kein Verbrauchsmaterial hat eine Reinraumklasse
- Bestimmung der **Eignung** von Verbrauchsmaterial für spezifische Luftreinheitsklassen
  - Eignung kann festgestellt werden:
    - => Bestimmung des Partikelemissionsverhaltens
    - => Statistische Analyse + Vergleich mit Grenzwerten nach ISO 14644-1
  - Nachweis muss messtechnisch und unter reproduzierbaren Bedingungen erfolgen

# Bestimmung Reinraum-/Reinheitstauglichkeit an Stiften

## Reinraumtauglichkeit – Stift: Partikelemission bei Schreibvorgang

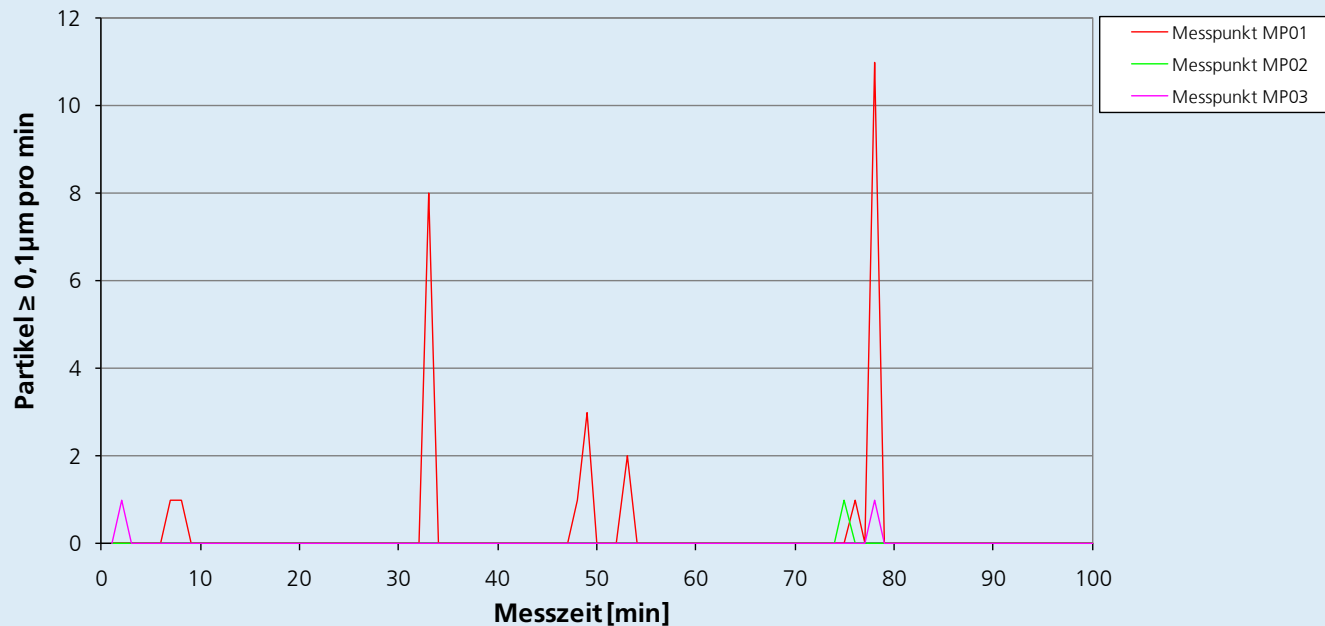
- Abreinigung Stifte mit Isopropanol-Reinstwasser-Gemisch, Einschleusen in Prüfreinraum mit vertikaler laminarer Strömung
- Prüfaufbau: Schreibautomat in Klasse 1 nach ISO 14644-1
  - Schreibwinkel:  $70^\circ$
  - Anpresskraft: 0,7 N
  - Schreibgeschwindigkeit: 6,6 m/min
  - „Papier“: PP-Folie
  - Vorschub PP-Folie: 75 mm/min



# Bestimmung Reinraum-/Reinheitstauglichkeit an Stiften

## Partikelemission während Schreibvorgang

- Bestimmung der Partikelemission über 100 min entsprechend VDI 2083 Blatt 9.1 an drei (3) identischen Stiften (gleiche Tinte)



# Bestimmung Reinraum-/Reinheitstauglichkeit an Stiften

## Statistische Auswertung und Klassifizierung

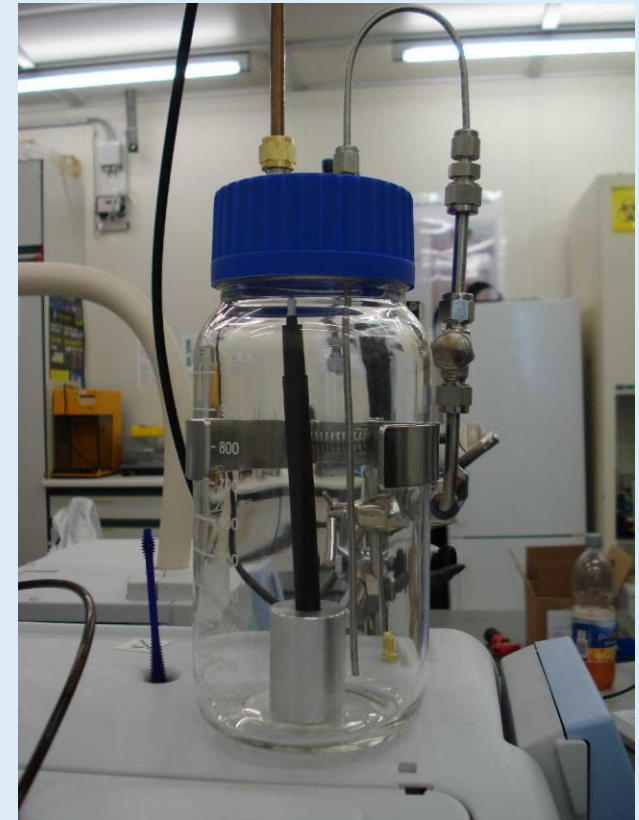
- Mittelwerte, Standardabweichung, Grenzwertüberschreitungswahrscheinlichkeit, Klassifizierung nach VDI 2083 Blatt 9.1
- Bestimmung der Tauglichkeit für Luftreinheitsklassen nach ISO 14644-1

Statistische Kenngrößen		Messpunkt			Luftreinheitsklasse [ISO 14644-1]	2	1	3	
		MP01	MP02	MP03					
Mittelwerte für die Detektionsgröße [Partikel / cft]	0,1 µm	0.5	0.0	0.2	Grenzwerte der Partikelzahlen der betreffenden Luftreinheitsklasse für die Detektionsgröße [Part. / cft]	0,1 µm	3	0	28
	0,2 µm	0.2	0.0	0.1		0,2 µm	1	0	7
	0,3 µm	0.0	0.0	0.1		0,3 µm	0	0	3
	0,5 µm	0.0	0.0	0.1		0,5 µm	0	0	1
	1,0 µm	0.0	0.0	0.1		1,0 µm	0	0	0
	5,0 µm	0.0	0.0	0.0		5,0 µm	0	0	0
Standardabweichung für die Detektionsgrößen [Partikel / cft]	0,1 µm	3.4	0.3	1.1	Grenzwertüberschreitungswahrscheinlichkeit für die Detektionsgröße [%]	0,1 µm	0.2	3.9	<0,1
	0,2 µm	1.9	0.3	0.7		0,2 µm	1.9	3.0	<0,1
	0,3 µm	0.3	0.3	0.7		0,3 µm	3.9	3.0	<0,1
	0,5 µm	0.3	0.3	0.7		0,5 µm	3.9	3.0	0.2
	1,0 µm	0.2	0.2	0.5		1,0 µm	2.0	2.0	4.9
	5,0 µm	0.0	0.0	0.0		5,0 µm	<0,1	<0,1	<0,1
					Statistische Sicherheit für die Einhaltung des geforderten Grenzwerts der angegebenen Luftreinheitsklasse [%]	96.1	96.1	95.1	

# Bestimmung Reinraum-/Reinheitstauglichkeit an Stiften

## Ausgasungsverhalten – Stifte:

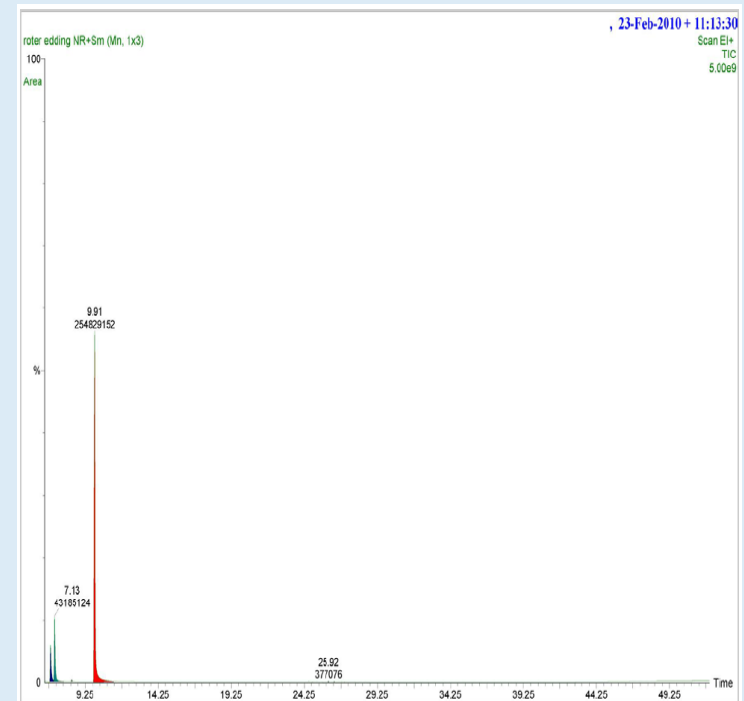
- Nahezu AMC-freier Behälter  
– Blindwertbestimmung
- Stifte gereinigt ohne Kappe (offen)
- Thermische Belastung 23°C
- Spülung mit Reinstluft
- Probenahme: Adsorber-Röhrchen
  - Vorspülung: 15 min
  - Probenahmedauer: 1 min



# Bestimmung Reinraum-/Reinheitstauglichkeit an Stiften

## Analyse der Proben und Ergebnisse

- Analytik: Gaschromatograph und Massenspektrometer (TD-GC/MS)
- Geeignet für flüchtiger organische Verbindungen (VOC)
- Ausgasung Stift wird auf die Emission pro Stück bezogen
- Spezifische Emissionsrate [g/unit s] bei 23 °C:  $2,6E-8$
- VDI 2083 Blatt 17



Chromatogramm

# Bestimmung Reinraum-/Reinheitstauglichkeit an Stiften

## Untersuchung der Abreinigbarkeit von Partikeln an Stiften

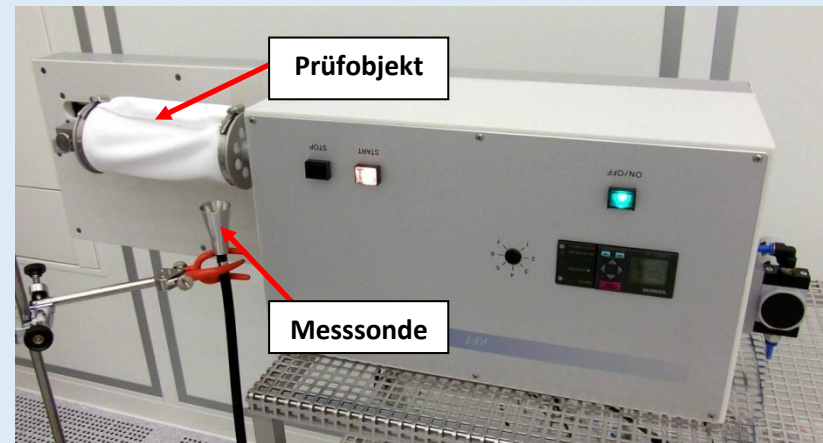
- Aufbringen fluoreszierende Prüfverschmutzung auf das Prüfobjekt  
Partikel in Flüssigkeit mit einem Durchmesser von 1 bis 20  $\mu\text{m}$
- Eintrocknen der Flüssigkeit
- Reproduzierbares Reinigungsverfahren
- Analyse mit Mikroskop
- Reinigbarkeit wird qualitativ bewertet



# Bestimmung Reinraum-/Reinheitstauglichkeit an Tüchern

## Reinraumtauglichkeit – Tuch: Partikelemission

- Einschleusen in Prüfreinraum der Klasse 1 nach ISO 14644-1  
(Reinigung der Umverpackung, Entnahme der Tücher aus Verpackung)
- Prüfaufbau: basierend auf den Vorgaben der ISO 9073-10  
*„Analyse von Faserfragmenten und anderen Partikeln im trockenen Zustand“*
  - Probengeometrie: zylindrisch
    - Durchmesser 83 mm
    - Länge 210 mm
  - Bewegungszyklus:
    - lineare Stauchung 120 mm
    - Torsion 180°
  - Zykluszeit: 1 s

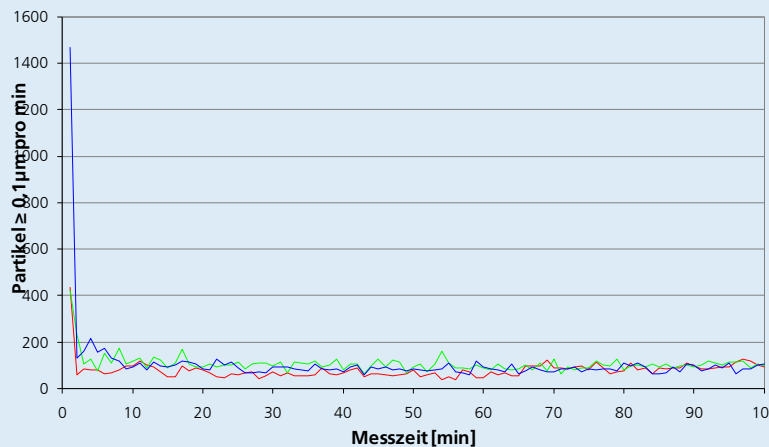


# Bestimmung Reinraum-/Reinheitstauglichkeit an Tüchern

## Partikelemission von Tüchern gleichen Typs über 100 min

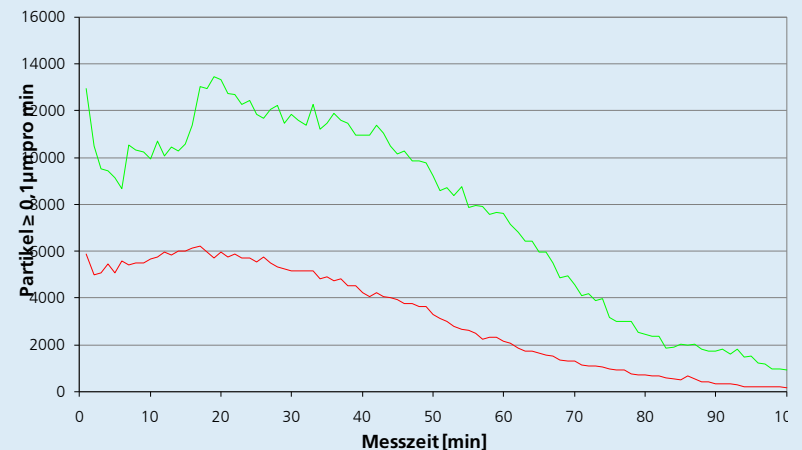
### ■ Im trockenen Zustand

- Beginn: hohe partikuläre Anfangsbeladung
- Dann: Eigenemission



### ■ Im befeuchteten Zustand

- Deutliche höhere Konzentration an Partikeln  
-> Feinste Wassertropfen
- Trocknung - Eigenemission



# Bestimmung Reinraum-/Reinheitstauglichkeit an Tüchern

## Klassifizierung der Partikelemission von Tüchern, Statistische Bewertung nach VDI 2083-9.1

### ■ Im trockenem Zustand

Luftreinheitsklasse [ISO 14644-1]		6	6	6
Grenzwerte der Partikelzahlen der betreffenden Luftreinheitsklasse für die Detektionsgröße [Part. / cft]	0,1 µm	28321	28321	28321
	0,2 µm	6712	6712	6712
	0,3 µm	2889	2889	2889
	0,5 µm	997	997	997
	1,0 µm	236	236	236
	5,0 µm	8	8	8
Grenzwertüberschreitungswahrscheinlichkeit für die Detektionsgröße [%]	0,1 µm	<0,1	<0,1	<0,1
	0,2 µm	<0,1	<0,1	<0,1
	0,3 µm	<0,1	<0,1	<0,1
	0,5 µm	<0,1	<0,1	<0,1
	1,0 µm	<0,1	<0,1	<0,1
	5,0 µm	<0,1	<0,1	<0,1
Statistische Sicherheit für die Einhaltung des geforderten Grenzwerts der angegebenen Luftreinheitsklasse [%]	>99,9	>99,9	>99,9	

### ■ Im befeuchteten Zustand

Luftreinheitsklasse [ISO 14644-1]		6	6	0
Grenzwerte der Partikelzahlen der betreffenden Luftreinheitsklasse für die Detektionsgröße [Part. / cft]	0,1 µm	28321	28321	0
	0,2 µm	6712	6712	0
	0,3 µm	2889	2889	0
	0,5 µm	997	997	0
	1,0 µm	236	236	0
	5,0 µm	8	8	0
Grenzwertüberschreitungswahrscheinlichkeit für die Detektionsgröße [%]	0,1 µm	<0,1	<0,1	<0,1
	0,2 µm	<0,1	<0,1	<0,1
	0,3 µm	<0,1	<0,1	<0,1
	0,5 µm	<0,1	<0,1	<0,1
	1,0 µm	<0,1	<0,1	<0,1
	5,0 µm	<0,1	<0,1	<0,1
Statistische Sicherheit für die Einhaltung des geforderten Grenzwerts der angegebenen Luftreinheitsklasse [%]	>99,9	>99,9	>99,9	

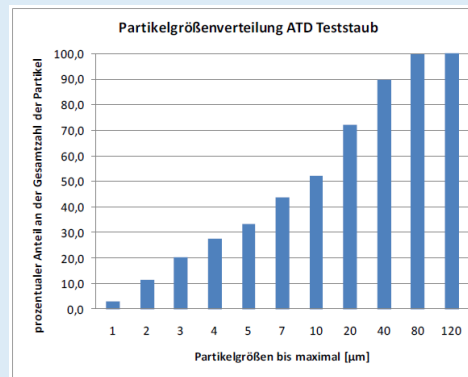
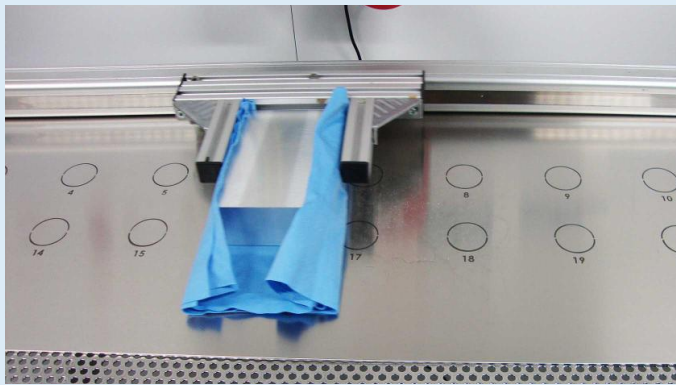
# Reinigungsleistung von Tüchern (partikuläre Kontaminationen)

- Anforderungen
  - Angestrebte Oberflächenreinheit der Produktionsumgebung
  - Partikuläre Verunreinigungen: ISO 14644-9
  - Beispiele: Wischtücher + Wischmops in Verbindung mit Fußböden, Verpackungsfolien ...
- Test
  - Abreinigbarkeit - Eigenschaft der Werkstoffe / Oberflächenqualität
  - Vorgehensweise: VDI 2083 Blatt 17
  - Vergleich der Oberflächenreinheit vor und nach einem Reinigungsschritt
  - Ergebnis: Reinigungseffizienz von Reinigungsverfahren

# Reinigungsleistung von Tüchern (partikuläre Kontaminationen)

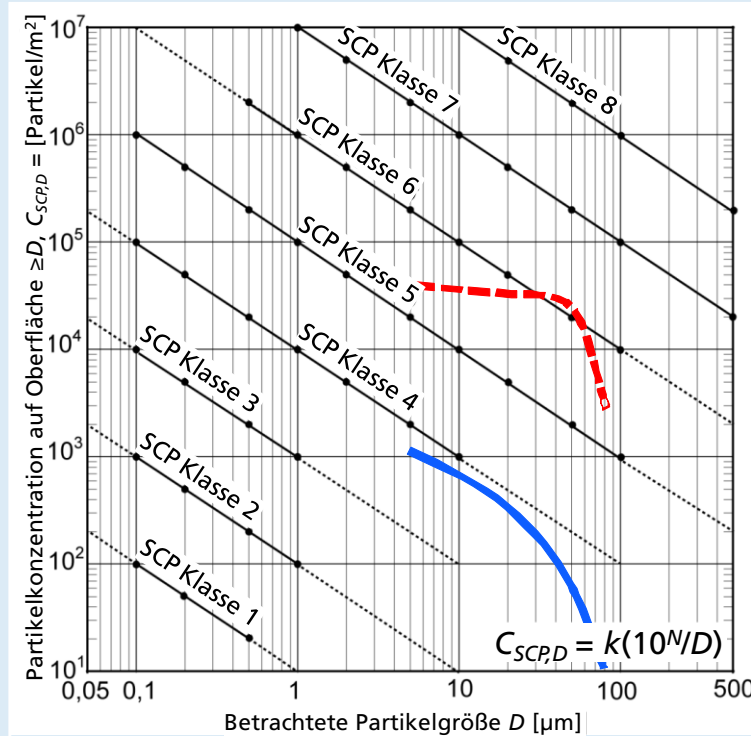
## ■ Prüftechnik

- Wischsimulator für Linearbewegung mit definierter Pressung
- Spektrum Teststaub für die definierte Kontamination von Oberflächen
- Messkopf zur Bestimmung der Oberflächenpartikel an markierten Messpunkten



# Reinigungsleistung von Tüchern (partikuläre Kontaminationen)

## ■ Klassifizierung: ISO 14644-9



Detektionsgröße [µm]	Mittl. Partikelkonzentration vor Reinigung [Partikel / cm²]	Mittl. Partikelkonzentration nach Reinigung [Partikel / cm²]	Reinigungseffizienz in Abh. der Detektionsgröße
≥ 5	41677	1142	97,26%
≥ 20	39639	384	99,03%
≥ 50	23042	65	99,72%
≥ 80	4417	11	99,75%
<b>Mittlere Reinigungseffizienz</b>			<b>98,94%</b>

Detektionsgröße [µm]	SCP-Klasse vor der Reinigung	SCP-Klasse nach der Reinigung	SCP-Reinigungseffizienz
≥ 5	6	4	<b>2</b>
≥ 20	6	4	<b>2</b>
≥ 50	7	4	<b>3</b>
≥ 80	6	3	<b>3</b>

# Zusammenfassung

- Häufig sind die Aussagen zur Eignung von Verbrauchsmaterialien nicht eindeutig
- Aus den Prozessanforderungen leiten sich die Anforderungen an Verbrauchsmaterialien ab
- Die einzelnen verschiedenen Kriterien lassen sich nicht als ein Maß darstellen – Bewertungsmatrix notwendig
- Die Reinraum- und Reinheitstauglichkeit von Verbrauchsmaterialien können messtechnisch verifiziert werden und ermöglichen damit die Vergleichbarkeit sowie Auswahl

## Ausblick

- Arbeitsgruppe VDI 2083 Blatt 9.2 Reinheits- und Reinraumtauglichkeit

# Kontakt

## Fraunhofer Institute for Manufacturing Engineering and Automation IPA Ultraclean Technology and Micromanufacturing

### Key Account Manager Certification

Dipl.-Ing. (FH) Frank Bürger | Phone +49 711 970-1148 | [frank.buerger@ipa.fraunhofer.de](mailto:frank.buerger@ipa.fraunhofer.de)

**ADDRESS:**

Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart  
Germany

**INTERNET:**

[www.ipa.fraunhofer.de/cleanroom](http://www.ipa.fraunhofer.de/cleanroom)  
[www.ipa-qualification.com](http://www.ipa-qualification.com)  
[www.tested-device.de](http://www.tested-device.de)

# 7 Partikelemissionsverhalten = Reinraumtauglichkeit

## ■ Klassifizierung (Eignung für spezifische Luftreinheitsklassen)

Nomenklatur				Maximal zulässige Partikelzahl gem. DIN EN ISO 14644-1 entsprechend verschiedener Partikelgrößen													
DIN EN ISO 14644-1	EG-GMP "at rest"	EG-GMP "in operation"	US Fed. Standard 209E*	0,1 µm		0,2 µm		0,3 µm		0,5 µm		1,0 µm		5,0 µm			
				pro m³	pro cbf	pro m³	pro cbf	pro m³	pro cbf	pro m³	pro cbf	pro m³	pro cbf	pro m³	pro cbf		
1				10	0,3	2	0,1										
2				100	3	24	1	10	0,3	4	0,1						
3			1	1.000	30	237	7	102	3	35	1	8	0,2				
				1.240	35	265	8	106	3	35	1						
4			10	10.000	300	2.370	67	1.020	29	352	9,9	83	2				
				12.000	340	2.650	75	1.060	29	353	10						
5	A B	A	100	100.000	2.833	23.700	671	10.200	289	3.520	100	832	24	29	0,8		
										3.520	100			20	0,6		
										3.520	100			29	0,8		
						26.500	750	10.600	300	3.530	100						
6			1.000	1.000.000	28.329	237.000	6.710	102.000	2.890	35.200	997	8.320	235	293	8		
										35.300	1.000			247	7		
7	C	B	10.000							352.000	9.972	83.200	2.357	2.930	83		
										352.000	9.972			2.900	82		
										352.000	9.972			2.900	82		
										353.000	10.000			2.470	70		
8	D	C	100.000							3.520.000	99.716	832.000	23.569	29.300	830		
										3.520.000	99.716			29.000	821		
										3.520.000	99.716			29.000	821		
										3.530.000	100.000			24.700	700		
9									35.200.000	997.167	8.320.000	235.694	293.000	8.300			