

# Der Einfluss von Bekleidung auf die Technische Sauberkeit



Alina Kopp



Carsten Moschner

## Die korrekte Wahl: Bekleidungssysteme in der Technischen Sauberkeit – erste Body-Box Studie mit Erfassung eines Partikelgrößenbereichs $\geq 0,5 \mu\text{m}$ bis $> 3.000 \mu\text{m}$

In den Reinraumbereichen spielt der Mensch als Kontaminationsquelle eine große Rolle [8]. Nicht zu unterschätzen ist dessen Gewicht ebenfalls in den Sauberkeitsbereichen der Automobilindustrien [11]: Das Personal kann nicht nur für die Fertigung, sondern auch für das Endprodukt kritische, teilweise funktions- oder sicherheitsrelevante Verunreinigungen einbringen. Sowohl in Reinraum- als auch in Sauberkeitsbereichen trägt ein korrekt ausgewähltes, auf den Prozess und dessen Spezifikationen abgestimmtes Bekleidungssystem zur Vermeidung derartiger Ver-

unreinigungen maßgeblich bei. Bislang gab es hierzu weder eine Messmethodik noch Daten. In der hauseigenen Forschungs- und Entwicklungsabteilung von Dastex werden seit 2004 Body-Box Studien durchgeführt [6]. Diese erfolgen zu internen Fragestellungen oder auf Anfragen von Kunden. Bisher zu Thematiken wie bspw. Einweg vs. Mehrweg [7], Zwischenbekleidung, über Keimmessungen [9] und Alterungsstudien [10]. Hierbei lag der Fokus bislang auf einem Partikelgrößenspektrum von  $\geq 0,5 \mu\text{m}$  bis  $\geq 10 \mu\text{m}$  (nach DIN EN ISO 14644) und bei einigen Studien auf der Erfassung der Keimzahl

mittels BioTrak und Keimzählern (nach GMP Leitfaden). Mit der nun in Kooperation mit der CleanControlling GmbH eingeführten Methode wird der Partikelgrößenbereich nach oben hin bis zu einer Partikelgröße von  $\geq 3.000 \mu\text{m}$  ausgeweitet und somit eine Forschungslücke geschlossen (siehe Abbildung 1). Die Body-Box Messmethode für den Bereich Technische Sauberkeit nach VDA Band 19 wurde in einer ersten Studie erfolgreich etabliert. Die Ergebnisse zeigen deutlich, welche Reinraumbekleidungssysteme im Bereich der technischen Sauberkeit eingesetzt werden sollten.



Abbildung 1: Praxisnahe Messmethodik in der Body-Box: Das auf die individuellen Anforderungen angepasste Bekleidungssystem kann ab sofort für alle Bereiche unter praxisnahen Bedingungen untersucht werden.

## Vorstellung der neuen Methode

Im Folgenden wird die neue Methode vorgestellt. Sie basiert auf der Body-Box-Messmethode, welche an die IEST-RP-CC003.4 angelehnt ist und bei Dastex 2004 implementiert wurde [6]. Diese Methode ist aktuell das einzige Messverfahren mittels welchem Reinraumbekleidungssysteme unter praxisnahen Bedingungen getestet werden können. In einem reinen Bereich mit den Maßen von ca. 1,20 x 1,20 x 2,40m führt ein Proband mit dem zu untersuchenden Bekleidungssystem definierte Bewegungsabläufe durch. Die dabei generierten Partikel werden mittels optischen Partikelzählern (OPZ) detektiert und entsprechend ausgewertet.

### Auswahl der geeigneten Partikelmessmethode:

Die Detektion von Partikeln mittels optischen Partikelzählern ist nur bis zu einer gewissen Partikelgröße zuverlässig und einsetzbar.

Gründe hierfür sind unter anderem:

- Diverse physikalische Eigenschaften. Schwerkrafteinflüsse bspw. können bei Partikeln  $\geq 5 \mu\text{m}$  zu Sedimentationen führen [3]. Dieser Effekt nimmt unter anderem bei zunehmender Leitungslänge oder zunehmenden Partikeldurchmesser merklich zu. Weiter kann es aufgrund von Trägheitskräften und Turbulenzen zu Partikelverlusten kommen [3]. Partikel  $> 100 \mu\text{m}$  würden auf dem Weg bis zum OPZ sedimentieren und gehen dort nicht in das Zählergebnis mit ein.
- Hinzu kommt, dass es mittels Streulichtmesstechnik nicht möglich ist derart große Partikel zu detektieren. Die am Markt verfügbaren Geräte sind maximal bis zu einer Partikelgröße  $500 \mu\text{m}$  (Luftpartikelzähler Abakus® mobil air LDS 2/2; 5 –  $500 \mu\text{m}$  der Markus Klotz GmbH [5]) einsetzbar, wenn die Partikel trotz der zuvor beschriebenen Einflüsse in der Messkammer ankommen. Bei den Geräten von Herrn Klotz

bspw. ist die Messkammer direkt nach der Probenahmesonde angeordnet. Somit müssen die Partikel nicht zuerst durch einen langen Probenahmeschlauch, sondern werden auf direktestem Weg in die Messkammer geleitet.

- Optische Partikelzähler werden im Allgemeinen mit monodispersen Polystyrol-Latex-Partikeln (PSL) kalibriert. PSL Partikel sind ideal rund. „D. h. alle Anzahlen und Partikelgrößen, die man mit einem derartig kalibrierten Gerät misst, beziehen sich alle auf den Durchmesser von PSL-Partikeln.“ [3]. Dies entspricht jedoch nicht der natürlichen Form und Vorkommen von Partikeln. Insbesondere ab einer gewissen Größe können Partikel deutlich unterschiedliche Längen- und Breitenausdehnungen aufweisen. Der optische Partikelzähler detektiert die Partikel dann je nach Ausrichtung und Lichteinfall und nicht nach deren tatsächliche Größe.

In der Automobilindustrie wird über die längste Ausdehnung ( $Feret_{max}$ ) eines Partikels auch das „Worst Case-Schädigungspotential“ definiert [12]. Daher ist die korrekte Vermessung der Partikel  $> 100 \mu\text{m}$  von großer Bedeutung.

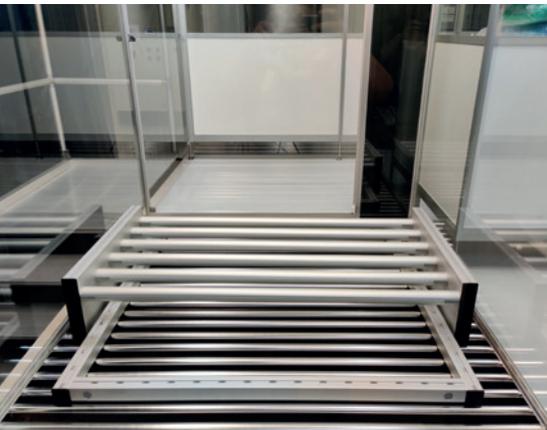


Abbildung 2a: Versuchsaufbau; Rahmen und Tritt in Body-Box



Abbildung 2b: Aufspannen Analysetuch



Abbildung 2c: Proband führt über dem Analysetuch den Bewegungsablauf durch

Eine Messung mittels optischen Partikelzählern ist somit für die Detektion von Partikeln bis zu  $\geq 3000 \mu\text{m}$  für den Messaufbau ungeeignet.

Bei den Messungen mittels optischen Partikelzähler in der Body-Box wurde die Luftführung „so gestaltet, dass eine repräsentative Probenahme sicher gestellt ist“ [6]. Dies ist jedoch nur für die Detektion der kleinen Partikel der Fall. Gründe hierzu (physikalische Eigenschaften) wurden bereits an anderer Stelle erläutert. Bei den Messungen der kleineren Partikel mittels OPZ genügt es daher nur einen Teilstrom zu vermessen und die Anzahl dann entsprechend auf das Gesamtvolumen hochgerechnet. Aufgrund der natürlichen Größenverteilung von Partikeln wird eine deutlich geringere Anzahl an großen Partikeln erwartet. Die großen Partikel werden zudem nicht homogen in der Luftströmung verteilt sein. Daher wird eine Untersuchung eines Teilstroms als nicht ausreichend eingestuft und die Gesamtmenge der Luftströmung gefiltert, aufgefangen und ausgewertet. Um einen Partikelverlust weitestgehend zu vermeiden, wird die Partikelfiltration nahe und direkt unter der Partikelentstehung angebracht. Um die Belange an die Technische Sauberkeit der Automobilindustrie zu berücksichtigen wird das Analyseverfahren bestehende aus Partikelextraktion vom Filtertuch sowie die Auswertung an den Standard der VDA19 Teil 1 angelehnt.

### Neues, in die Body-Box integriertes Prüfverfahren

Nach der sorgfältigen Betrachtung verschiedener Konzepte wurde schließlich ein Ansatz weiter verfeinert und umgesetzt. Wie in der Abbildung 2a zu sehen wurde ein Rahmen in die Body-Box integriert. In diesen wird unter höchsten Reinheitsanforderungen ein definiertes Analysetuch gespannt (Abbildung 2b). Dieses dient als Auffangfilter für die Partikel,

welche vom Proband/Bekleidungs-system abgegeben werden. Es ist so ausgelegt, dass die Luftströmung nur geringfügig beeinflusst wird und gleichzeitig Partikel  $\geq 15 \mu\text{m}$  zuverlässig zurückgehalten werden. Der Proband führt auf einem über dem Analysetuch angeordneten Tritt die erforderlichen Bewegungsabläufe durch (Abbildung 2c). Die Versuchsdurchführung erfolgt identisch zu allen anderen Studien. Der Proband betritt die Body-Box und steht zunächst fünf Minuten, im Anschluss geht er fünf Minuten auf der Stelle. Der Ablauf wird wiederholt und mit einer fünf minütigen Steh-Phase abgeschlossen. Eine differenzierte Betrachtung der Gehen- und Stehen-Phasen ist mit diesem Versuchsablauf nicht möglich. Hierzu könnte jedoch der Versuchsablauf angepasst werden. Um zu verhindern, dass Partikel bei dessen Entfernung aus dem Analysetuch, verloren gehen wird beim Ausspannen eine zuvor festgelegte Falttechnik angewendet. Es folgt die Verpackung in einen sauberen Beutel. Nach der eindeutigen Kennzeichnung wird die Probe an CleanControlling versandt.

Nach dem schonenden Kuriertransport des Filtertuches ins Technische Sauberkeitslabor zu CleanControlling wird der Prüfkörper über die Materialschleuse in den Reinraum ISO Klasse 6 eingeschleust und für die Extraktion vorbereitet.

Für die Partikelextraktion des entfalteten Tuchs wird eine entsprechend große Extraktionskammer verwendet, welche in der Automobilindustrie für LKW-Kurbelgehäuse eingesetzt wird. Die Extraktionskammer hat ein über die Blindwertmessung definierten und bekannten Sauberkeitsstatus. Die Bewertung des Blindwertes erfolgt nach VDA19 Teil 1 Vorgaben. Das Filtertuch wird quer in die Kammer eingehängt und beidseitig mit je 20 l Kaltreiniger und definiertem Volumenstrom abgespritzt. Die Prüflüssigkeit wird über einen Auffangtrichter zur Filterstelle geleitet, in der ein Maschenfilter mit der Maschenweite von  $1 \mu\text{m}$  eingelegt ist. Mittels Vakuum wird die Filtration unterstützt. Nach einer Nachspülprozedur der Kammer kann der Filter der mikroskopischen Auswertung übergeben werden.

	Anzahl der Durchläufe	Sonstige getragene Bekleidung
Straßenbekleidung (Baumwolle)	10	Haarhaube, Einwegreinraumsocken, Reinraumschuhe
Straßenbekleidung (Baumwolle) + Kittel (neu) ION-NOSTAT VI.2	10	
Straßenbekleidung (Baumwolle) + Kittel (60 x) ION-NOSTAT VI.2	10	
Zwischenbekleidung + Kittel (neu) ION-NOSTAT VI.2	5	
Straßenbekleidung (Baumwolle) + Overall (neu) ION-NOSTAT LS Light 125.2	10	
Straßenbekleidung (Baumwolle) + Overall (60 x) ION-NOSTAT LS Light 125.2	10	

Tabelle 1: Übersicht getestete Bekleidungs-systeme

Die mikroskopische Auswertung der Partikel auf dem Analysefilter wird an einem Stereo Lichtmikroskopsystem mit automatischem xy-Verfahrtisch und der Partikelzähl Software der Fa. JOMESA durchgeführt. Dieses System wurde so parametrisiert wie in der Standard Auswertung nach VDA19 Teil 1 vorgegeben. Dabei liegt der Fokus auf Partikeln  $> 50 \mu\text{m}$  und der Vermessung der Partikellänge nach  $Feret_{max}$  um die größte Ausdehnung der Partikel vermessen zu können. Es werden über einen Polarisationsfilter metallische und nicht-metallische Partikel gezählt und vermessen aber auch Fasern über einen längen/breiten Faktor mit einbezogen.

Bei einer Fokussierung auf die großen Partikel werden diese manuell über das Livebild mikroskopisch vom Bediener kontrolliert und bei Bedarf editiert. Im Anschluss werden die größten Partikel bildlich im Protokoll festgehalten. Das Protokoll mit allen Analyseergebnissen wird für die weitere Auswertung an die Dastex gesandt.

### Erste Studie mit der neu integrierten Messmethode:

Als erste Studie wurde eine vergleichende Studie verschiedener Bekleidungskonzepte durchgeführt. Hinzu kam bei zwei der Bekleidungs-systeme der Vergleich zwischen neuer Oberbekleidung und 60-fach dekontaminierter Oberbekleidung.

Wie der Tabelle 1 entnommen werden kann wurde beim Kittel das Textil ION-NOSTAT VI.2 eingesetzt. Dieses Reinraumgewebe ist „eines der ausgeglicheneren und hochwertigsten Reinraumtextilien, das zurzeit am Markt verfügbar ist. Neben einer sehr guten Filtrationseffizienz zeichnet sich ION-NOSTAT VI.2 insbesondere durch die außergewöhnlich guten Tragekomfort-eigenschaften aus. Hierzu zählen in erster Linie die Wasserdampfdurchlässigkeit (Atmungsaktivität) und die Haptik, also der Griff des Textils. Ergänzt werden diese Eigenschaften durch sehr gute antistatische Werte, sodass ION-NOSTAT VI.2 auch jederzeit in ESD-Bereichen einsetzbar ist. Hinzu kommt seine hohe Abriebfestigkeit bzw. geringe Aufrauneigung.“ [1]

Für den Overall wurde das Reinraumgewebe ION-NOSTAT LS Light 125.2 eingesetzt, welches „auf der einen Seite ein Kompromiss zwischen den typischen Anforderungen eines Reinraumgewebes in puncto Filtrations-

effizienz, Abriebfestigkeit und Eigenpartikel-abgabe sowie auf der anderen Seite möglichst hohem Tragekomfort, also Atmungsaktivität und angenehme Haptik (Griff). Die Werte im Bereich Leitfähigkeit sind zufriedenstellend. Die Filtrationseffizienz und die Abriebfestigkeit (Aufrauneigung) entsprechen den typischen Anforderungen des eigentlichen Einsatzgebietes, also den Anforderungen eines ISO 8/ISO 9 Bereichs (ISO 14644-1) bzw. Hygienezonen D und E.“ [2]

Es wurde für den Kittel bewusst ein Reinraumtextil ausgewählt, welches für den Einsatz in Luftreinheitsklassen EN ISO 14644-1 4 und schlechter empfohlen wird und für den Overall ein Reinraumgewebe für die Klassen 8+9. Hierdurch soll gezeigt werden, wie sich ein Overall mit einem höheren Tragekomfort im Vergleich zu einem Kittel mit einer höheren Filtrationseffizienz verhält. Ergo, welchen Einfluss der Schnitt auf die Sauberkeit haben kann. Ebenfalls soll in der Studie gezeigt werden wie sich Reinraumzwischenbekleidung, wenn diese anstelle von Straßenbekleidung unter einem Kittel getragen wird, auf das Kontaminationsrisiko auswirken kann.

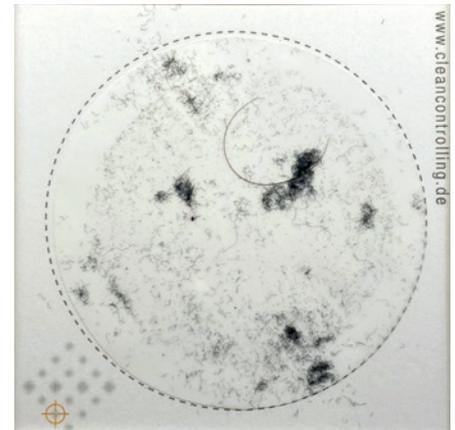
### Versuchsdurchführung:

#### Versuchsvorbereitung:

Wie bei allen Body-Box Studien wird im Vorfeld die Body-Box eingeschaltet und leer betrieben, sodass eine ISO Klasse 4 erreicht wird. Dies wird über die parallel laufenden optischen Partikelzähler überwacht. Vor der Versuchsdurchführung wird in Reinraumbekleidung die Body-Box, inkl. der Versuchseinrichtung mit 70/30 Isopropanol Reinraumreinigungstücher gereinigt. Im Anschluss erfolgt ein Hand-schuhwechsel bevor das Analysetuch kontaminationsarm aufgespannt wird (Abbildung 2b).

#### Nullmessungen:

Da eine Restkontamination auf dem Analysetuch nach der Dekontamination nicht auszuschließen ist und zudem davon ausgegangen werden muss, dass während der Ein- und Ausspannprozedur eine Verunreinigung erfolgt, werden pro Produktions- und Dekontaminationscharge drei Analysetücher eingespannt und nach fünf Minuten wieder ausgespannt. Dabei wird identisch vorgegangen wie bei allen anderen Messungen. Die Auswertung der Analysetücher wird als Nullwert der jeweiligen Messreihe betrachtet und von den Messwerten subtrahiert.



**Straßenbekleidung (Baumwolle)**

### Versuchsdurchführung:

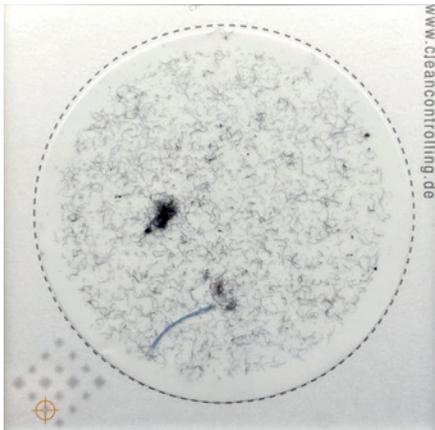
Der Proband bekleidet sich mit dem entsprechenden Bekleidungs-system und betritt danach die Body-Box. Dort führt er den vorgegebenen Bewegungsablauf durch: fünf Minuten stehen, fünf Minuten gehen, fünf Minuten stehen, fünf Minuten gehen und nochmals fünf Minuten stehen. Danach verlässt der Proband die Body-Box.

### Versuchsnachbereitung:

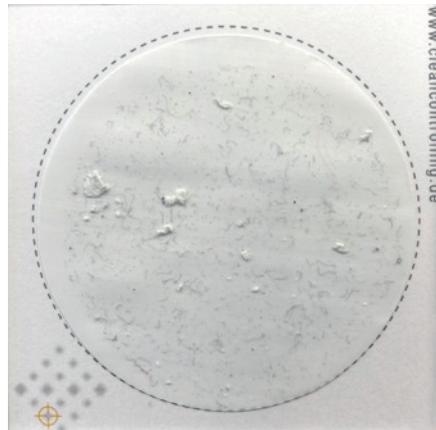
In vollständiger Reinraumbekleidung wird das Analysetuch nach einer zuvor definierten Prozedur ausgespannt und gefaltet um sicher zu stellen, dass keine Partikel verloren gehen. Das Tuch wird in einen reinen Reinraumbeutel verpackt, eindeutig gekennzeichnet und an CleanControlling zur Extraktion und Auswertung gesendet.

### Messmethodik und Auswertung:

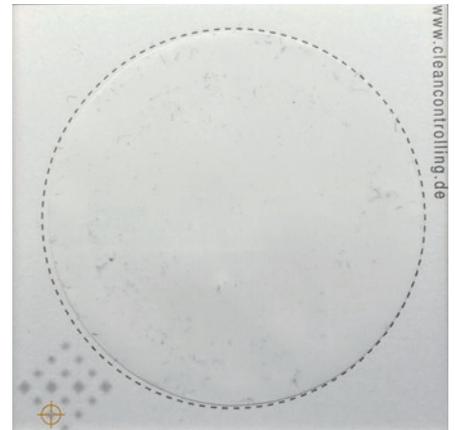
Das Filtertuch wird quer in die im Reinraum (ISO 6) befindliche Extraktionskammer eingehängt und beidseitig mit je 20 l Kaltreiniger und definiertem Volumenstrom abgespritzt. Die Prüflüssigkeit wird über einen Analysefilter (Maschenweite  $1 \mu\text{m}$ ) gefiltert. Nach einer Nachspülprozedur der Kammer wird der Analysefilter entnommen und mikroskopische ausgewertet. Die Auswertung erfolgt mit einem Stereo Lichtmikroskopsystem mit automatischem xy-Verfahrtisch und der Partikelzähl Software der Fa. JOMESA durchgeführt. Dieses System wurde so parametrisiert wie in der Standard Auswertung nach VDA19 Teil 1 vorgegeben. Dabei liegt der Fokus auf Partikeln  $> 50 \mu\text{m}$  und der Vermessung der Partikellänge nach  $Feret_{max}$  um die größte Ausdehnung der Partikel vermessen zu können. Es werden über einen Polarisationsfilter metallische und nicht-metallische Partikel gezählt und vermessen aber



**Straßenbekleidung + Kittel (neu) ION-NOSTAT VI.2**



**Straßenbekleidung + Overall (neu) ION-NOSTAT LS Light 125.2**



**Zwischenbekleidung + Kittel (neu) ION-NOSTAT VI.2**

auch Fasern über einen längen/breiten Faktor mit einbezogen. Bei einer Fokussierung auf die großen Partikel werden diese manuell über das Livebild mikroskopisch vom Bediener kontrolliert und bei Bedarf editiert. Im Anschluss werden die größten Partikel bildlich im Protokoll festgehalten. Das Protokoll mit allen Analyseergebnissen

wurde für die weitere Auswertung an die Dastex gesendet.

**Aufbereitung der Ergebnisse:**

Für die gesamte Studie wird vergleichbar mit allen anderen Studien parallel ein optischer Partikelzähler eingesetzt für die Detektion der

Partikel von  $\geq 0,5 - \geq 10 \mu\text{m}$ . Zur Auswertung und Darstellung der Ergebnisse werden die Partikelanzahlen aus dem Extraktionsverfahren und mikroskopischer Auswertung sowie den optischen Partikelzählern einheitlich auf Partikel pro Minute umgerechnet.

Eine detaillierte Darstellung der Partikelarten erfolgt in den Ergebnissen dieser Studie nicht, da bei diesem Versuchsaufbau nicht mit metallischen Partikeln zu rechnen ist. Bei künftigen Auftragsstudien ist dies jedoch sehr wohl denkbar, wenn bereits getragene Bekleidung getestet wird.

	Straßenbekleidung (Baumwolle)	Straßenbekleidung + Kittel (neu) ION-NOSTAT VI.2	Straßenbekleidung + Overall (neu) ION-NOSTAT LS Light 125.2	Zwischenbekleidung + Kittel (neu) ION-NOSTAT VI.2
<b>Filterbelegung</b>				
<b>Partikelgröße [µm]</b>	<b>[Partikel/Minute]</b>	<b>[Partikel/Minute]</b>	<b>[Partikel/Minute]</b>	<b>[Partikel/Minute]</b>
$\geq 0,5 - < 1$	6.224.516	2.766.404	787.075	1.034.514
$\geq 1 - < 5$	3.317.365	765.072	265.946	146.072
$\geq 5 - < 10$	114.665	20.065	5.125	951
$\geq 10$	23.826	3.998	1.325	102
$\geq 15 - < 100$	152	286	87	39
$\geq 100 - < 400$	139	108	40	6
$\geq 400 - < 1.500$	54	49	8	0
$\geq 1.500$	5	8	1	0
<b>Summe <math>\geq 0,5 - &gt; 3.000</math></b>	<b>9.680.723</b>	<b>3.555.990</b>	<b>1.059.605</b>	<b>1.181.685</b>
<b>Partikelreduktion durch jeweiliges Bekleidungssystem im Vergleich zur Straßenbekleidung <math>\geq 0,5 - &gt; 3.000</math></b>		63 %	89 %	88 %
<b>Summe <math>\geq 100 - &gt; 1.500</math></b>	198	165	48	6
<b>Partikelreduktion durch jeweiliges Bekleidungssystem im Vergleich zur Straßenbekleidung <math>\geq 100 - &gt; 1.500</math></b>		17 %	71 %	88 %
<b>Summe <math>\geq 400 - &gt; 1.500</math></b>	59	57	9	0
<b>Partikelreduktion durch jeweiliges Bekleidungssystem im Vergleich zur Straßenbekleidung <math>\geq 400 - &gt; 1.500</math></b>		4 %	85 %	99 %

**Tabelle 2: Ergebnisse als vergleichende Darstellung der unterschiedlichen Bekleidungssysteme**

**Ergebnisse und Diskussion:**

Die Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der detektierten Partikelanzahlen. Die Partikelgrößenkanäle  $\geq 0,5 - \geq 10 \mu\text{m}$  wurden mit dem optischen Partikelzähler detektiert. Die Bereiche  $15 - > 1.500 \mu\text{m}$  wurden mittels Extraktion und lichtoptischem Verfahren ausgewertet.

Allein ein Blick auf die Analysefilterbelegung zeigt schon sehr deutlich das Ergebnis, welches sich mit Zahlen belegen lässt: Das bloße Tragen eines Kittels über der Straßenbekleidung reicht nicht aus. Hierdurch wird bei Betrachtung des gesamten Partikelgrößenbereichs zwar eine Reduktion um 63 % erreicht, die großen Partikel fallen jedoch weiterhin einfach unten aus dem Kittel heraus. Dies erklärt die Verbesserung um gerade mal 4 – 17 % bei den Partikelgrößenbereichen  $> 100 \mu\text{m}$  bzw.  $> 400 \mu\text{m}$ .

Wird die Straßenbekleidung durch eine Reinraumzwischenbekleidung ersetzt wird eine deutlich höhere Reduktion von bis zu 99 % erreicht. Eine ähnlich gute Reduzierung der Partikelwerte wird erzielt, wenn ein Overall aus ION-NOSTAT LS Light 125.2 über der

## Der Einfluss von Bekleidung im Bereich Technische Sauberkeit

	Straßenbekleidung + Kittel (neu) ION-NOSTAT VI.2	Straßenbekleidung + Kittel (60x) ION-NOSTAT VI.2	Straßenbekleidung + Overall (neu) ION-NOSTAT LS Light 125.2	Straßenbekleidung + Overall (60x) ION-NOSTAT LS Light 125.2
Partikelgröße [µm]	[Partikel/Minute]	[Partikel/Minute]	[Partikel/Minute]	[Partikel/Minute]
≥ 0,5 – < 1	2.766.404	2.151.290	787.075	611.744
≥ 1 – < 5	765.072	708.827	265.946	72.113
≥ 5 – < 10	20.065	19.530	5.125	404
≥ 10	3.998	3.771	1.325	98
≥ 15 – < 100	286	199	87	26
≥ 100 – < 400	108	74	40	11
≥ 400 – < 1.500	49	28	8	4
≥ 1.500	8	4	1	1
Summe ≥ 0,5 – > 3.000	3.555.990	2.883.724	1.059.605	684.402

Tabelle 3: Ergebnisse mit Fokus auf Alterungsunterschiede

Straßenbekleidung getragen wird. Bei dieser sehr geringen Anzahl von Partikeln kann keine Aussage darüber getroffen werden welches der beiden Bekleidungssysteme „besser“ ist. Sie zeigen beide sehr gute Ergebnisse, welches der beiden in der jeweiligen Produktion eingesetzt werden sollte hängt von weiteren Faktoren ab, auf welche an dieser Stelle nicht näher eingegangen wird.

Anhand der Aufnahmen der Filterbelegung ist zudem zu erkennen, dass bei der mikroskopischen Analyse und Nachkontrolle die besondere Herausforderung darin lag die vielen faserförmigen Partikel, die teilweise ineinander verschlungen waren so zu editieren, dass das Zählergebnis in der Studie zu belastbaren Sauberkeitsvergleichen herangezogen werden konnte.

In der Tabelle 3 werden die Partikelanzahlen des jeweiligen Neuzustandes (neu) und alterungs-simulierten Zustand (60x) gegenübergestellt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Textilien nach den 60 Dekontaminationszyklen genauso wie im Neuzustand den Großteil der Partikel zurückhalten, teilweise sogar noch mehr.

Wie das Bekleidungssystem-Ranking (Abb. 3) veranschaulicht, wurden mit 0 – 6 Partikel/Minute (je nach Partikelgrößenbereich) beim Einsatz eines Kittels aus ION-NOSTAT VI.2 in Kombination mit einer Reinraumzwischenbekleidung am wenigsten Partikel detektiert. Dicht gefolgt von den Werten des ION-NOSTAT LS Light 125.2 Overall mit 5 – 48 Partikel/Minute

(je nach Partikelgrößenbereich). Gleichzeitig bietet das Textil einen sehr hohen Tragekomfort. Die Straßenbekleidung gibt wie zu erwarten mit 59 bzw. 198 Partikel/Minute am meisten Partikel ab. Wobei an dieser Stelle ergänzend zu erwähnen ist, dass es sich um einen frisch gewaschenen Baumwoll-Jogginganzug handelt, welcher nur in der Body-Box getragen wurde. Bei normaler Straßenbekleidung ist mit einer deutlich höheren partikulären Kontamination zu rechnen. Hier kommen Straßenverschmutzungen, Kontaminationen von bspw. Haustieren und viele andere mehr hinzu. All diese Partikel fallen unten aus dem Kittel heraus, weshalb die Partikelwerte der Straßenbekleidung +

Kittel mit ca. 32 – 165 Partikel/Minute trotz des hochwertigen Reinraumtextils ION-NOSTAT VI.2 hoch sind. Kontaminationen, welche nach unten fallen sedimentieren nicht automatisch auf den Boden und bleiben erst recht nicht unbeweglich dort liegen. Je nach Partikelart schweben Partikel lange in der Luft. Durch Bewegungen (Gehbewegungen von Personal, Luftströmungen usw.) werden die Partikel mit den Luftströmungen aufgewirbelt und können sich auf den Arbeitsbereichen und somit auf den Produkten ablagern. Von einem Einsatz einer Straßenbekleidung + Kittel Variante ist daher ab einer gewissen geforderten Sauberkeit unbedingt abzuraten.

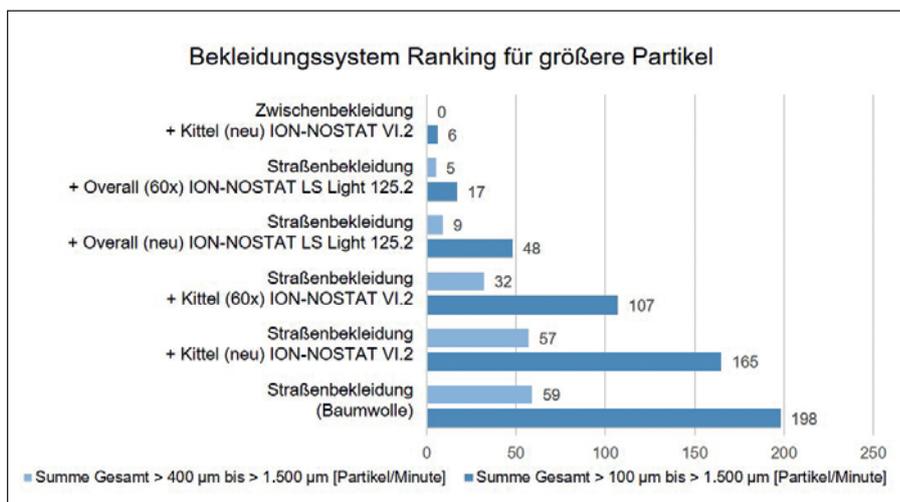


Abbildung 3: Bekleidungs-Ranking

## Fazit und Ausblick

Die vorliegenden Ergebnisse aus der ersten Studie zeigen deutlich, welche Bekleidungssysteme für welche Bereiche gewählt werden sollten. Zudem zeigt sich, welchen Einfluss das Textil und welchen Einfluss der Schnitt auf die Reinheit haben. Je nachdem wie die individuellen Anforderungen spezifiziert wurden können verschiedene Bekleidungssysteme die Kontaminationsquelle Mensch im Sauber- und Reinraum eindämmen.

Die eingeführte Messmethode schließt die bisherige Lücke und ermöglicht somit die praxisnahe Ermittlung von Partikelwerten bis zu einer Größe von  $\geq 3.000 \mu\text{m}$ . Aus der eingesetzten Messmethodik resultiert nicht nur eine quanti-

tative Auswertung, sondern es kann bei Bedarf und Sinnhaftigkeit ebenfalls eine Aufteilung in die einzelnen Partikelarten erfolgen. Sollte sich ein Anwender dazu entschließen eine Studie mit bereits in der Produktion getragener Bekleidung durchzuführen könnten ggf. Rückschlüsse auf die Entfernung von metallischen Partikeln durch die Dekontamination gezogen werden. Es ist durchaus denkbar, dass metallische Partikel in den Fasern haften und erst durch die Bewegung des Mitarbeiters herausgelöst werden. Über eine solche Studie könnten bspw. maximale Tragezyklen definiert werden oder ggf. das Bekleidungssystem an den beanspruchteren Stellen optimiert werden.

## Quellen

- [1] Dastex Reinraumzubehör GmbH & Co. KG (2019). ION-NOSTAT VI.2. <https://www.dastex.com/produktportfolio/oberbekleidung/gewebe-der-oberbekleidung-auf-einen-blick/ion-nostat-vi2/> [Abgerufen: 11.01.2021]
- [2] Dastex Reinraumzubehör GmbH & Co. KG. (2019). ION-NOSTAT LS Light 125.2 <https://www.dastex.com/produktportfolio/oberbekleidung/gewebe-der-oberbekleidung-auf-einen-blick/ion-nostat-ls-light-1252/> [Abgerufen: 11.01.2021]
- [3] Hauptmann & Hohmann (1999). Handbuch der Reinraumpraxis III – 2 Prozessüberwachung in Reinräumen; Reinraumtechnologie S.18ff
- [4] Jost, J. (2020). Implementierung und Überprüfung einer Bodybox-Prüfmethode zur Detektion von Partikeln im Größenbereich von  $\geq 15$  bis  $\geq 3.000 \mu\text{m}$ . Bachelor Thesis, Hochschule Albstadt-Sigmaringen, Fakultät Life Sciences.
- [5] Markus Klotz GmbH. Technisches Datenblatt Luftpartikelzähler Abakus® mobil air. <https://www.fa-klotz.de/partikelzaehler-wAssets/docs/abakus-mobil-air-de.pdf> [Abgerufen:11.01.2021]
- [6] Moschner, C. & von Kahlden, T. (2004). Body-Box-Test: Eine Testmethode auf dem Prüfstand. ReinRaumTechnik, 02, 38-39
- [7] Moschner, C. (2006). Einwegbekleidung – Wirklich eine Alternative zur waschbaren textilen Reinraumbekleidung? ReinRaumTechnik 3, 28-31
- [8] Moschner, C. (2010). Kontaminationsquelle Mensch – Partikelemissionen durch den Menschen. ReinRaumTechnik, 01, 30-33
- [9] Moschner, C. (2015). Keimmessungen in der Body-Box. reinraum online, 04, 4-6
- [10] Moschner, C. & Gaza, S. (2017). Alterungserscheinungen steriler Reinraumbekleidung. ReinRaumTechnik, 1, 52-54
- [11] Verband der Automobilindustrie e. V. (2010). Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie – Band 19 Teil 2 Technische Sauberkeit in der Montage
- [12] Verband der Automobilindustrie e. V. (2015). Qualitätsmanagement in der Automobilindustrie – Band 19 Teil 1 Prüfung der Technischen Sauberkeit – Partikelverunreinigung funktionsrelevanter Automobilteile



## Technische Sauberkeit – Produkte für den Einsatz



Passende Produkte für den jeweiligen  
Anwendungsprozess



## Bekleidung und Verbrauchsgüter für fast jede Anwendung



- ▶ Mehrwegbekleidung
- ▶ Einwegbekleidung
- ▶ Handschuhe
- ▶ Reinigungstücher
- ▶ Staubbindematten
- ▶ Reinigungs- & Entsorgungssysteme

## Produkte auf höchstem Qualitätsniveau

**Dastex Reinraumzubehör  
GmbH & Co. KG**  
Draisstr. 23 · 76461 Muggensturm  
DEUTSCHLAND  
Telefon +49 7222 969660  
E-Mail [info@dastex.com](mailto:info@dastex.com)

[www.dastex.com](http://www.dastex.com)



## Autoren

**Alina Kopp, Carsten Moschner**  
Dastex Reinraumzubehör

**Yasemin Müller, Volker Burger**  
CleanControlling GmbH  
Emmingen-Liptingen  
Tel.: +49 7465 929 678 0  
info@cleancontrolling.de  
www.cleancontrolling.de

Artikel veröffentlicht in  
**ReinRaumTechnik 5/2022**  
**reinraum online 10/2022**



**Dastex Reinraumzubehör  
GmbH & Co. KG**

Draisstraße 23  
76461 Muggensturm  
DEUTSCHLAND  
Telefon +49 7222 9696-60  
Telefax +49 7222 9696-88  
E-Mail info@dastex.com

[www.dastex.com](http://www.dastex.com)

Wir danken Herrn Jost für die Durchführung der Messungen im Rahmen seiner Bachelor Thesis.

Weitere Informationen zur F&E, sowie unsere Veröffentlichungen finden Sie unter  
<https://www.dastex.com/unternehmen/forschung-entwicklung/>