



Abb. 3: Probandin bei der Stehsimulation im Reinraumoverall und passendem Zubehör

Bei der Diskussion rund um das Thema „Kontaminationsquelle Mensch“ steht folgende Fragestellung grundsätzlich im Mittelpunkt: „Wie viele Partikel gibt durchschnittlich ein Mensch pro Minute ab?“ Ergänzt wird natürlich diese Fragestellung im Hinblick auf die jeweils interessanten Partikelgrößen. Ergänzt werden muss diese Fragestellung aber auch im Hinblick auf die Bewegungsintensität des Menschen, denn es ist leicht nachvollziehbar, dass ein Mensch, der ruhig dasteht, vermutlich wesentlich weniger Partikel abgibt als ein Mensch, der sich stark bewegt.

Kontaminationsquelle Mensch

Partikelemissionen durch den Menschen



Carsten Moschner,
Dastex Reinraumzubehör

Zum Thema „Keimbelastung ausgehend vom Menschen“, gibt es an verschiedenen Stellen recht genaue Angaben. Zum Thema „Wie viele Partikel generiert ein Mensch unter welchen Bedingungen?“ findet man in der Fachliteratur allerdings nur sehr wenige Aussagen und diese erscheinen bei genauerer Betrachtung als sehr ungenau. Oftmals werden in diesem Zusammenhang Angaben von Austin herangezogen, die um 1970 ermittelt wurden [1]. Neuere Studien zu

dem Thema gibt es leider nicht, auch nicht zu der sicherlich ebenfalls sehr interessanten Fragestellung „Wie verhalten sich denn die Partikelzahlen bei einem Mitarbeiter, wenn er beispielsweise einen Kittel trägt im Vergleich zu einem Overall?“ Dastex hat dies zum Anlass genommen, über einen längeren Zeitraum eine große Studie zu diesem Thema durchzuführen.

Messaufbau und Einflussgrößen

Die auf dem firmeneigenen Gelände eingerichtete Body-Box-Prüfkabine bildete hierbei die messtechnische Grundlage. Das Prinzip der Messung innerhalb einer Body-Box ist beispielsweise in einer IEST Empfehlung beschrieben [2]. Ein definierter Reinraum (mit der Grundfläche 1,20 m x 1,20 m) ist vollflächig mit einer FFU (H13 Filter) belegt und die Bodenkonstruktion ist so gewählt, dass die Luft möglichst turbulenzarm in den Rückluftschacht geführt werden kann. In der Body-Box selber herrschen konstante Bedingungen bezogen auf Temperatur und Luftfeuchte, auf die jeweils für die Messreihe eingestellte Luftgeschwindigkeit (Luftwechsel) und auf den Reinheitsgrad im Leerlauf (= ohne dass sich eine Person in der Body-Box befindet). Bei laufender Luftaufbereitung, kann in der Bo-

dy-Box im Leerlauf problemlos die Reinheitsklasse ISO 4 (gemäß ISO 14644-1) aufrechterhalten werden. Betritt nun eine Person die Body-Box, so sind folglich annähernd alle messtechnisch erfassten Partikel von dieser Person und deren Bekleidung. Gemessen wird in der Rückluft an definierten Messpunkten. Bei der Auswertung der erfassten Messdaten gilt es zu berücksichtigen, dass natürlich der Probevolumenstrom in das richtige Verhältnis zum Gesamtvolumenstrom gesetzt werden muss. Es wird viel mehr saubere Luft über die FFU der Prüfkabine zugeführt, als über die in der Rückluft platzierten Messsonden wieder abgesaugt werden kann. Somit ergibt sich ein Multiplikationsfaktor der Messwerte in Abhängigkeit zu der jeweils eingestellten Luftgeschwindigkeit.

Darüber hinaus gilt es eine Vielzahl weiterer Faktoren bei derartigen Messungen zu berücksichtigen. Leicht nachvollziehbar ist es, dass Personen nicht gleichmäßig viel Partikel über den Tageszeitraum abgeben. Auch die jeweils getragene, private „Straßenkleidung“ kann in ihrer Partikelabgabe sehr stark variieren. Die Bewegungsintensität während der Untersuchung hat ebenfalls einen entsprechenden Einfluss. Für vergleichende Studien ist es deshalb wichtig möglichst viele dieser Einflussfaktoren weitest-

gehend konstant zu halten, bzw. im Vorfeld entsprechend zu definieren. Auf Grund der mittlerweile mehrjährigen Erfahrung mit dieser Prüfkabine war es uns möglich, die wichtigsten dieser Einflussfaktoren entsprechend einzugrenzen. Im Folgenden werden nun die verschiedenen Messreihen detaillierter vorgestellt.

Partikelabgabe bei Bewegung in Straßenbekleidung

Die erste Messreihe beschäftigte sich mit der eingangs bereits gestellten Fragestellung: Wie viele Partikel gibt ein Mensch in Abhängigkeit zum Bewegungsgrad ab, ohne dass bei dieser Messreihe irgendein Bekleidungs-element fest vorgegeben wurde. Das heißt, die Testpersonen konnten für diese Messreihe ihre ganz normale Straßenbekleidung tragen. Für diese Untersuchungen stellten sich mehrere Probanden (>10) zur Verfügung. Es wurde bei den Auswertungen der Messreihe weder nach Geschlecht, noch nach Alter oder Körpergröße differenziert. Für die erste Untersuchungsreihe wurde die Messzeit auf 20 Minuten begrenzt. Während dieser Messzeit, gab es zwei unterschiedliche Bewegungszustände: zum einen eine Gehbewegung (auf der Stelle treten) und still stehen, jeweils in einem festgelegten zeitlichen Rhythmus. Auf Extrembewegungen oder schnelle Bewegungen wurde bewusst im Verlauf dieser Studie verzichtet, da derartige Bewegungen in der Regel „im täglichen Reinraumben“ so gut wie nie vorkommen, bzw. vorkommen sollten. Aus den gesammelten Messwerten wurden die Mittelwerte errechnet und mit dem entsprechenden Multiplikationsfaktor (Verhältnis zwischen Luftvolumen zugeführt über FFU zum Probenvolumen der Partikelzähler) hochgerechnet. Die Ergebnisse (in Abhängigkeit zur Partikelgröße) finden Sie in der Tabelle 1 aufgeführt.

Ein sehr interessanter Nebenaspekt bei diesen Untersuchungen waren einzelne Messwerte bestimmter Probanden. So konnten wir sehr gut nachweisen, dass die private Straßenbekleidung ein außerordentlicher Einflussfaktor bezüglich der Partikelabgabe einer Person sein kann (siehe Tabelle 2). In Abhängigkeit von dieser privaten Straßenbekleidung variierten die Messwerte bei ein und derselben Person um teilweise den Faktor 8 (und mehr). Diese Erkenntnis war ausschlaggebend für die Entscheidung, bei allen weiteren Messreihen (mit Reinraumkittel, Reinraumoverall usw.) die sogenannte Zwischenbekleidung fest zu definieren, um unter der Reinraumbekleidung möglichst einheitliche Bedingungen (in Bezug auf die unter der Reinraumbekleidung getragene Kleidung) vorzufinden.

Partikelabgabe in Reinraumbekleidung für Klassen ISO 7 bis 9

Als einheitliche Zwischenbekleidung wurden Jogginganzüge aus 100% Baumwolle (gleiche

Tabelle 1: Anzahl abgegebener Partikel pro Minute „Personen in Straßenbekleidung“

Testperson	♂/♀	Durchschnittliche Anzahl Partikel pro Minute pro Person stehen	Durchschnittliche Anzahl Partikel pro Minute pro Person gehen	Durchschnittliche Anzahl Partikel pro Minute pro Person stehen	Durchschnittliche Anzahl Partikel pro Minute pro Person gehen
		≥ 0,5 µm	≥ 0,5 µm	≥ 5 µm	≥ 5 µm
1	♂	268	4.650	3	61
2	♀	65	1.460	2	49
3	♂	184	4.398	5	100
4	♀	113	2.179	8	52
5	♀	182	2.287	18	67
6	♀	346	5.547	7	112
7	♂	404	13.367	10	316
8	♀	189	3.895	1	35
9	♂	154	2.626	5	76
10	♀	58	798	6	33
11	♀	53	657	6	30
12	♀	13	1.998	0	92
13	♂	337	4.784	32	209
Durchschnitt über aller Messungen		182	3.742	8	95
Tatsächliche Partikelanzahl (hochgerechnet)		86.007	1.768.346	3.781	44.785

Schnitte, gleiches Alter und alle bereits mehrfach gereinigt) ausgewählt. Es zeigte sich schnell, dass die Probanden mit dem Jogginganzug deutlich mehr Partikel abgaben als mit ihrer persönlichen Straßenbekleidung. Ein Erklärungsansatz ist, dass mittlerweile auch in der persönlichen Straßenbekleidung ein sehr hoher Anteil synthetischer Fasern zum Einsatz kommt und somit weniger Abrieb erzeugt wird. Die zweite Testphase musste somit leicht modifiziert werden. In der zweiten Phase trugen die Testpersonen den definierten Jogginganzug, definierte Reinraumschuhe, eine Vlieseinweghaube als Kopfbedeckung und einen jeweils neu dekontaminierten (ASTM-A) Reinraumkittel (gefertigt aus einem hochwertigen Reinraumgewebe), wie er üblicherweise in Reinraumklassen ISO 7 bis 9

(gem. ISO 14644-1) zum Einsatz kommt. Es sollte ursprünglich das gleiche „Bewegungsprogramm“ durchgeführt werden wie bei der normalen Straßenbekleidung auch. Da aber durchweg alle Probanden mit Reinraumkitteln mehr Partikel abgaben als in gewöhnlicher Straßenbekleidung, war die Ursache hierfür schnell lokalisiert – der Baumwoll-Jogger. Darauf hin wurde der Ablauf der Phase zwei abgeändert. Die Probanden betraten zunächst mit den Baumwolljoggern und den Reinraumschuhen die Body-Box und wiederholten das definierte Bewegungsprogramm über 10 Minuten. Danach verließen sie die Body-Box und legten den Reinraumkittel sowie die Vlieseinweghaube an. Nach zwei Minuten wurde die Testkabine wieder betreten und die Probanden durften sich drei Mi-

Tabelle 2: Anzahl abgegebener Partikel ≥0,5 µm pro Minute „einer Personen in unterschiedlicher Straßenbekleidung“

Testperson	♂/♀	Durchschnittliche Anzahl Partikel pro Minute pro Person stehen	Durchschnittliche Anzahl Partikel pro Minute pro Person gehen	Einzelmessungen stehen	Einzelmessungen gehen
		≥ 0,5 µm	≥ 0,5 µm	≥ 5 µm	≥ 5 µm
1	♂	268	4.650	219	2.615
				518	10.133
				67	1.202
Tatsächliche Partikelanzahl (hochgerechnet)		126.648	2.197.437	103.492	1.235.763
				244.790	4.788.521
				31.662	568.026

Tabelle 3: Anzahl abgegebener Partikel pro Minute „Personen in Baumwoll-Jogginganzug“ und „Personen mit Baumwoll-Jogginganzug und Reinraumkittel darüber“

Testperson	♂/♀	Baumwoll Jogging				Kittel darüber			
		Durchschnittliche Anzahl Partikel pro Person		Durchschnittliche Anzahl Partikel pro Person		Durchschnittliche Anzahl Partikel pro Person		Durchschnittliche Anzahl Partikel pro Person	
		stehen	gehen	stehen	gehen	stehen	gehen	stehen	gehen
		≥ 0,5 µm	≥ 0,5 µm	≥ 5 µm	≥ 5 µm	≥ 0,5 µm	≥ 0,5 µm	≥ 5 µm	≥ 5 µm
1	♂	764	36.986	17	711	203	4.883	4	83
2	♀	nicht erfasst		1	519	592	14.903	9	220
3	♂	nicht erfasst		26	450	473	7.291	6	108
4	♀	487	88.590	41	1.170	447	8.439	8	145
5	♀	1.230	46.257	30	535	166	4.938	4	78
6	♂	1.836	111.500	45	38	1.558	36.286	38	551
7	♂	2.972	27.836	60	554	318	4.673	78	3
8	♀	1.322	109.177	24	1.704	1.835	20.662	41	419
9	♀	8.388	126.366	146	1.780	1.019	12.172	20	196
10	♀	nicht erfasst		25	23	582	15.914	8	252
11	♂	1.016	74.983	28	1.511	529	16.600	12	300
Durchschnitt über aller Messungen		2.252	77.712	40	818	702	13.342	21	214
Tatsächliche Partikelanzahl (hochgerechnet)		1.064.162	36.724.068	19.032	386.430	331.742	6.304.946	9.795	101.172
						ca. 31,2 % vom Ausgangsniveau	ca. 17,2 % vom Ausgangsniveau	ca. 51,2 % vom Ausgangsniveau	ca. 26,2 % vom Ausgangsniveau

Tabelle 4: Anzahl abgegebener Partikel pro Minute „Personen in Baumwoll-Jogginganzug“ und „Personen mit Baumwoll-Jogginganzug und Reinraumoverall + Vollschutzhülle und kniehohe Überziehtiefel darüber“

Testperson	♂/♀	Baumwoll Jogging				Overall + Hülle + Stiefel (darüber)			
		Durchschnittliche Anzahl Partikel pro Person		Durchschnittliche Anzahl Partikel pro Person		Durchschnittliche Anzahl Partikel pro Person		Durchschnittliche Anzahl Partikel pro Person	
		stehen	gehen	stehen	gehen	stehen	gehen	stehen	gehen
		≥ 0,5 µm	≥ 0,5 µm	≥ 5 µm	≥ 5 µm	≥ 0,5 µm	≥ 0,5 µm	≥ 5 µm	≥ 5 µm
1	♂	1.472	9.080	29	144	56	72	0,3	0,4
2	♀	144	165.050	1	2.114	120	376	1,2	3,1
3	♂	414	25.460	8	654	32	142	0,2	0,5
4	♀	75	115.690	8	1.405	58	256	1,0	2,8
5	♀	78	51.470	1	661	45	199	0,2	1,3
6	♂	2.810	82.940	41	1.182	67	352	0,7	0,4
7	♂	3.470	39.262	77	619	20	116	0,5	0,7
8	♀	755	145.310	14	1.729	37	118	0,6	1,6
9	♀	3.740	47.390	119	1.259	112	477	1,5	6,6
10	♀	893	68.920	24	1.043	59	140	0,4	0,7
Durchschnitt über aller Messungen		1.385	75.057	32	1.081	61	225	0,7	1,8
Tatsächliche Partikelanzahl (hochgerechnet)		654.505	35.469.460	15.122	510.845	28.827	106.328	331,0	851,0
						ca. 4,4 % vom Ausgangsniveau	ca. 0,3 % vom Ausgangsniveau	ca. 2,2 % vom Ausgangsniveau	ca. 0,2 % vom Ausgangsniveau

Bekleidung	stehen	gehen	stehen	gehen	stehen	gehen
	≥ 0,5 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1 µm	≥ 1 µm	≥ 5 µm	≥ 5 µm
Baumwoll Jogging	873.304	34.955.780	657.312	25.114.780	17.077	448.638
Kittel	331.742	6.304.946	130.901	2.506.495	9.795	101.172
Overall	28.827	106.328	10.396	32.135	331	851

◀ Tabelle 5: Anzahl abgegebener Partikel pro Minute „Personen in unterschiedlichen Bekleidungssystemen“ in Abhängigkeit zur Bewegung

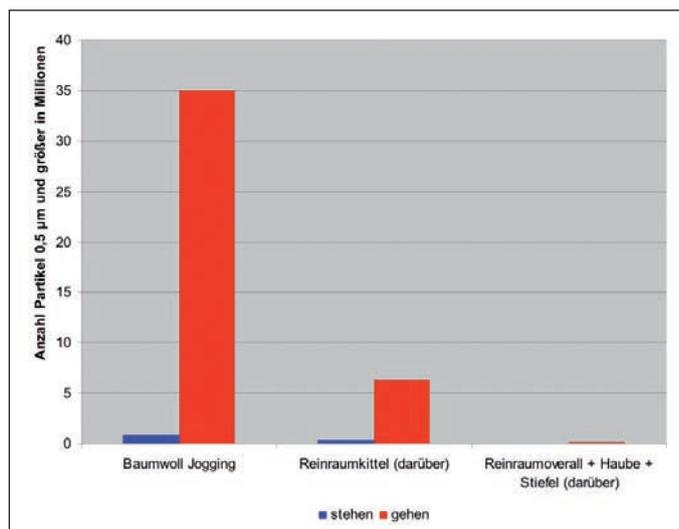
nuten lang „frei bewegen“ (= Akklimatisierungsphase mit Reinraumbekleidung). Im Anschluss daran startete wieder das gleiche Bewegungsprogramm (gleiche Abfolge) wie in der ersten Versuchsphase (Stehen und Gehsimulation). Die Ergebnisse der Phase 2 finden Sie in Tabelle 3 zusammengefasst (Anmerkung: zwei Probanden haben für die zweite Phase nicht mehr zur Verfügung gestanden).

Partikelabgabe in Reinraumbekleidung für Klassen ISO 5 bis 6

In der dritten Phase trugen die Testpersonen wieder den Baumwoll-Jogginganzug als Zwischenbekleidung. Darüber wurden Reinraumoverall, Reinraumvollschutzhaube, kniehohere Reinraumüberziehtiefel, Nitrilhandschuhe und ein 3-lagiger Einwegmundschutz getragen. Diese Bekleidungsanordnung kommt oftmals in den Reinraumklassen ISO 5 und 6 (gem. ISO 14644-1) zum Einsatz. Der Untersuchungsablauf, also in erster Linie das Bewegungsprogramm, blieben unverändert (im Vergleich zu den ersten beiden Phasen). Vorsichtshalber wurden während dieser Untersuchungsphase ebenfalls Kontrollmessungen „nur mit Baumwoll-Jogginganzügen“ durchgeführt. Zum Umziehen hatten die Probanden allerdings 8 Minuten Zeit. Die Ergebnisse dieser Messreihe sind in der Tabelle 4 zusammengefasst (Anmerkung: Für die dritte Phase standen noch 10 Probanden zur Verfügung).

Ersetzt man nun den Baumwoll-Jogginganzug (unter dem Reinraumoverall) durch eine reinraumtaugliche Zwischenbekleidung (Basis

Abb. 1: Probandin bei der Gehsimulation in der Bodybox in Straßenkleidung



◀ Graphik 1: Anzahl abgegebener Partikel $\geq 0,5 \mu\text{m}$ pro Minute „Personen in unterschiedlichen Bekleidungs-systemen“ in Abhängigkeit zur Bewegung

100 % synthetische Fasern), so erhält man die typischen Reinraumbekleidung für den Einsatz in den Klassen ISO 4 und 5 (gem. ISO 14644-1), bzw. für den Einsatz in aseptischen Bereichen. Über die Effizienz einer definierten reinraumtauglichen Zwischenbekleidung gab es schon einige Untersuchungen mit einem ähnlichen Aufbau. An der Stelle sei nur exemplarisch auf eine Studie am ITV-Denkendorf hingewiesen, die u. a. belegt hat, dass mittels einer reinraumtauglichen Zwischenbekleidung die Anzahl der nachgewiesenen Partikel und Keime um 50 % und mehr reduziert werden konnten – ebenfalls im direkten Vergleich zu einer Zwischenbekleidung bestehend aus einem Baumwoll-Jogginganzug [3].

Abb. 2: Probandin bei der Stehsimulation im Reinraumkittel und passendem Zubehör



Fazit

Die Studie hat eindrucksvoll bewiesen, mit welcher Bandbreite an Kontaminationen, ausgehend vom Menschen (bei nicht definierter Bekleidung), die Betreiber von Reinräumen zu rechnen haben. Zum anderen zeigten diese umfangreichen Untersuchungen auch, dass mittels eines (an den jeweils geforderten Reinheitsprozess) angepassten Reinraumbekleidungs-systems dieses Kontaminationsrisiko minimiert werden kann (Tabelle 5 sowie Graphik 1).

Literatur

- [1] P. R. Austin: Design and Operation of Clean Rooms, Troy, Michigan, Business News Publishing Company, 1970
- [2] IEST-RP-CC003.3: Garment System Considerations for Cleanrooms and Other Controlled Environments. Institute of Environmental Sciences, USA, Recommended Practice
- [3] C. Moschner: Reinraumzwischenbekleidung – Übertriebener Aufwand oder eine effektive Kontaminationsreduktion? Reinraumtechnik 2/2002

KONTAKT

Carsten Moschner
Dastex Reinraumzubehör GmbH & Co. KG,
Muggensturm
Tel.: 07222/969660 · Fax: 07222/969688
c.moschner@dastex.com · www.dastex.com