

Kontaminationsquelle Mensch



Partikelemissionen durch den Menschen



Carsten Moschner

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. Außerdem muss die Fragestellung auch im Hinblick auf die Bewegungsintensität des Menschen ergänzt werden, denn es ist leicht nachvollziehbar, dass ein Mensch, der ruhig dasteht, vermutlich wesentlich weniger Partikel abgibt als ein Mensch, der sich stark bewegt.

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 P. R. Austin herangezogen, die um 1970 ermittelt wurden [1]. Neuere Studien zu dem Thema gab es leider nicht. Auch nicht zu der sicherlich ebenfalls sehr

interessanten Fragestellung „Wie verhalten sich die Partikelzahlen bei einem Mitarbeiter, wenn er beispielsweise nur einen Kittel trägt im Vergleich zu einem Overall?“

Dastex hat dies zum Anlass genommen, über einen längeren Zeitraum eine große Studie zu dem 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 der IEST Empfehlung beschrieben [2]. Ein definierter Reinraum (mit der Grundfläche 1,20 m x 1,20 m) ist vollflächig mit einer FFU (H14 Filter) belegt und die Bodenkonstruktion ist so gewählt, dass die Luft möglichst turbulenzarm in den Rückführungsschacht geführt werden kann. In der Body-Box selber herrschen konstante Bedingungen bezogen auf Temperatur und Luftfeuchte sowie auf die jeweils für die Messreihe eingestellte Luftgeschwindigkeit (Luftwechsel) und auf den Reinheitsgrad im Leerlauf (= ohne das sich eine Person in der



Abb. 1: Probandin bei der Gehsimulation in Straßenkleidung in der Body-Box



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



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

Body-Box befindet). Bei laufender Luftaufbereitung, kann in der Body-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 im Rückluftkanal 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 Filter Fan Unit der Prüfkabine zugeführt als über die im Rückluftkanal platzierten Messsonden wieder abgesaugt werden kann. Somit ergibt sich ein Multiplikationsfaktor der Messwerte in Abhängigkeit von der jeweils eingestellten Luftgeschwindigkeit.

Darüber hinaus ist eine Vielzahl weiterer Faktoren bei derartigen Messungen mit zu berücksichtigen. Leicht nachvollziehbar ist es, dass Personen nicht gleichmäßig viele Partikel über den Tageszeitraum abgeben. Auch die jeweils getragene, private „Straßenkleidung“ kann in ihrer Partikelabgabe sehr stark variieren. Die Bewegungsintensität während der Untersuchung hat einen entsprechenden Einfluss usw. Für vergleichende Studien ist es somit unabdingbar möglichst viele dieser Einflussfaktoren weitestgehend konstant zu halten, bzw. im Vorfeld entsprechend zu definieren. Aufgrund 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 Straßenkleidung

Die erste Messreihe beschäftigte sich mit der eingangs bereits gestellten Fragestellung: Wie viele Partikel gibt ein Mensch in Abhängigkeit vom Bewegungsgrad ab, ohne dass bei dieser Messreihe irgendein Bekleidungs-element fest vorgegeben wurde. Das heißt, die Probanden konnten für diese Messreihe ihre ganz normale Straßenkleidung 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 (20 Minuten), gab es zwei unterschiedliche Bewegungszustände: zum einen eine Gehbewegung (auf der Stelle treten) und zum anderen 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 Reinraumalltag“ so gut wie nie vorkommen, bzw. vorkommen sollten. Aus den gesammelten Messwerten wurden die entsprechenden Mittelwerte ermittelt und mit dem errechneten 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 Straßenkleidung ein außerordentlicher Einflussfaktor bezüglich der Partikelabgabe einer Person sein kann (siehe Tabelle 2). In Abhängigkeit von dieser privaten Straßenkleidung variierten die Messwerte bei ein und derselben Person

Testperson	♂ / ♀	Durchschnittliche Anzahl Partikel pro Minute pro Person			
		stehen	gehen	stehen	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 aller Messungen		182	3.742	8	95
Tatsächliche Partikelanzahl (hochgerechnet)		86.007	1.768.346	3.781	44.785

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

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

Tab. 2: Anzahl abgegebener Partikel ≥ 0,5 µm pro Minute „einer Person in unterschiedlicher Straßenbekleidung“

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 Reinraumoberbekleidung 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 (gleicher Schnitt, gleiches Alter und alle bereits mehrfach gereinigt) ausgewählt. In dem Fall wurde bewusst eine Baumwollkleidung gewählt, zum einen da oftmals noch derartige Kleidung unter der Reinraumoberbekleidung getragen wird, zum anderen um auch eine ausreichende Anzahl an Partikeln vorzufinden, die messtechnisch erfasst werden können. 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 Probanden 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-Jogginganzug. Daraufhin wurde der Ablauf der Phase zwei abgeändert. Die Probanden betreten zunächst mit den Baumwoll-Jogginganzügen 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 2 Minuten wurde die Testkabine wieder betreten und die Probanden durften sich 3 Minuten 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: 2 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 Probanden 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 100 % synthetische Fasern), so erhält man die typische 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].



Kontaminationsquelle Mensch

Testperson ♂ / ♀	Baumwoll-Jogginganzug				Kittel (darüber)			
	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	nicht erfasst	1	519	592	14.903	9	220
3 ♂	nicht erfasst	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	nicht erfasst	25	23	582	15.914	8	252
11 ♂	1.016	74.983	28	1.511	529	16.600	12	300
Ø 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 ca. 31,2 % des Ausgangsniveaus	6.304.946 ca. 17,2 % des Ausgangsniveaus	9.795 ca. 51,2 % des Ausgangsniveaus	101.172 ca. 26,2 % des Ausgangsniveaus

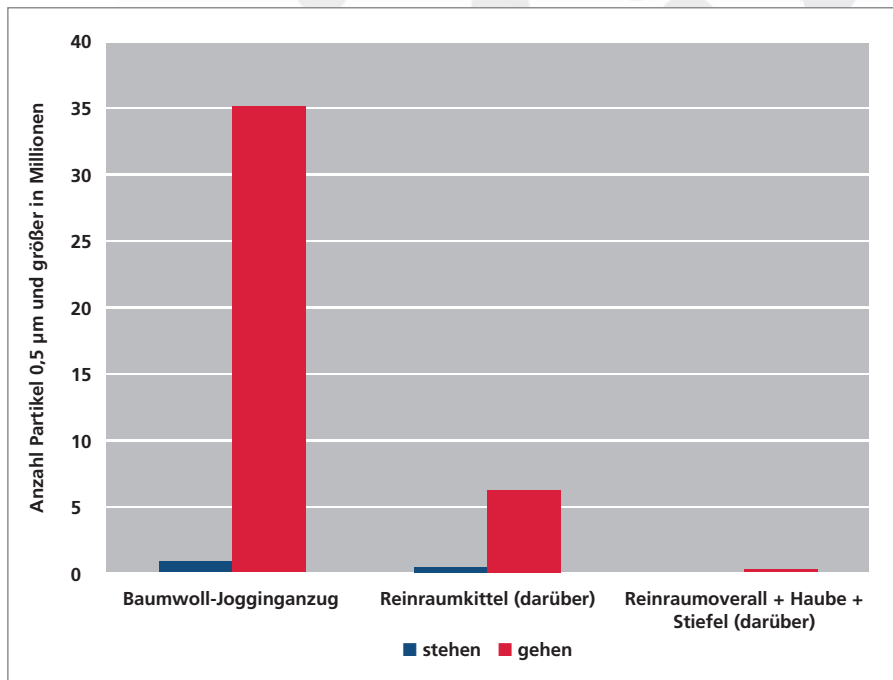
Tab. 3: Anzahl abgegebener Partikel pro Minute „Personen in Baumwoll-Jogginganzug“ und „Personen mit Baumwoll-Jogginganzug und Reinraumkittel darüber“

Testperson ♂ / ♀	Baumwoll-Jogginganzug				Overall + Vollschutzhaube + Überziehstiefel (darüber)			
	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
Ø 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 ca. 4,4 % des Ausgangsniveaus	106.328 ca. 0,3 % des Ausgangsniveaus	331,0 ca. 2,2 % des Ausgangsniveaus	851,0 ca. 0,2 % des Ausgangsniveaus

Tab. 4: Anzahl abgegebener Partikel pro Minute „Personen in Baumwoll-Jogginganzug“ und „Personen mit Baumwoll-Jogginganzug und Reinraumoverall + Vollschutzhaube und kniehohe Überziehstiefel darüber“

Bekleidung	Durchschnittliche Anzahl Partikel pro Person					
	stehen	gehen	stehen	gehen	stehen	gehen
	≥ 0,5 µm	≥ 0,5 µm	≥ 1 µm	≥ 1 µm	≥ 5 µm	≥ 5 µm
Baumwoll-Jogginganzug	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

Tab. 5: Anzahl abgegebener Partikel pro Minute „Personen in unterschiedlichen Bekleidungs-systemen“ abhängig vom Bewegungs-grad



Grafik 1: Anzahl abgegebener Partikel $\geq 0,5 \mu\text{m}$ pro Minute „Personen in unterschiedlichen Bekleidungs-systemen“ abhängig vom Bewegungs-grad

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.

Des Weiteren zeigten diese umfangreichen Untersuchungen auch, dass mittels eines (an den jeweils geforderten Reinheitsprozess) angepassten Reinraumbekleidungs-system dieses Kontaminationsrisiko minimiert werden kann (Tabelle 5 sowie Grafik 1).

Literaturverzeichnis

- [1] P. R. Austin: Design and Operation of Clean Rooms, Troy, Michigan, Business News Publishing Company, 1970
- [2] Institute of Environmental Sciences and Technology Recommended Practice IEST-RP-CC003.3: Garment System Considerations for Cleanrooms and Other Controlled Environments USA, 2003
- [3] C. Moschner: Reinraumzwischenbekleidung – Übertriebener Aufwand oder eine effektive Kontaminationsreduktion? ReinRaumTechnik 2/2002

Autor

Carsten Moschner

Artikel veröffentlicht in
ReinRaumTechnik 1/2010,
Überarbeitete Fassung 6/2020



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