



**Abb. 1** Stretchbond-Handschuh

*Der Begriff Arbeitshandschuh wird normalerweise mit dem Schutz der menschlichen Epidermis vor äußeren Einwirkungen in Verbindung gebracht. Im HiTech-Fertigungs-Umfeld gibt es jedoch auch den umgekehrten Fall: Das Produkt muss während seiner Herstellung vor den Abscheidungen der Haut geschützt werden. Hautabrieb, Fettabstriche, Bakterien oder Viren können die erforderliche Oberflächenreinheit des Fertigungsumfelds oder des Produktes selbst gefährden. Aus diesen Gründen wird in den meisten HiTech-Fabriken das Tragen von Schutzhandschuhen als unverzichtbar angesehen.*

## Schutzhandschuhe der Reintechnik

### Elastische Barriere zwischen Mensch und Produkt

Win Labuda  
Clear & Clean - Forschungslabor

#### Herstellungs-Verfahren und Basis-Materialien

Für die Herstellung von Schutzhandschuhen der Reintechnik werden verschiedene Herstellungs-Verfahren und Basis-Materialien eingesetzt, welche die Produkt-Bezeichnung solcher Handschuhe kennzeichnen:

- *im Formtauchverfahren gefertigte Folienhandschuhe:*

Bei diesem Verfahren durchwandern eine Anzahl von der menschlichen Hand nachgebildeten Keramik-Formen ein Bad aus dem flüssigen Basis-Material. Nachdem die Handformen mit dem flüssigen Basis-Material ein Mal oder mehrfach benetzt worden sind, durchlaufen sie einen Vulkanisiertunnel und befinden sich nun als elastische Folie auf der Handform. Dort werden sie manuell abgezogen und in großen Behältern gesammelt. Danach erfolgt eine Wäsche der gesamten Handschuh-Partie mit DI-Wasser in einer geeigneten Maschine sowie eine anschließende Trocknung und Verpackung.

- *Latex-Handschuhe:*

Sehr elastische Handschuhe aus Natur- oder Synthese-Kautschuk. Standard-Handschuh-Typ der HiTech-Industrien. Enthalten jedoch Proteine, welche eventuell Allergien hervorrufen können.

- *Nitril-Handschuhe:*

Elastische Handschuhe aus Nitril-Butadiene-Kautschuk. Enthalten normalerweise weniger Proteine als Latex-Handschuhe. Sie sind etwas teurer.

- *Vinyl-Handschuhe:*

Weniger elastische Handschuhe aus Polyvinylchlorid, die Weichmacher enthalten, welche mit der Zeit ausschwitzen können und bei Kontakt mit Oberflächen beobachtet man Schlierenbildung. Oftmals im Fingerkuppenbereich sehr dünn. Vinyl-Handschuhe liegen weniger gut an der Hand an als Latex- und Nitrilhandschuhe.

- *im Trenn-Schweißverfahren gefertigte Folienhandschuhe:*

Bei diesem Fertigungsverfahren werden die Handformen aus zwei übereinandergelegten Folien oder Vliesen mit stark erhitzten konturgefrästen Werkzeugen ausgestanzt und dabei gleichzeitig an den Formkanten miteinander verschweißt. Solche Handschuhe sind wegen ihrer Planlage sehr verpackungsfreundlich.

- *PE-Handschuhe:*

Geringelastische Folienhandschuhe mit sehr guter Hautverträglichkeit. Solche Handschuhe sind den Wölbungen der Hand nicht angepasst. Sie werden deshalb im Reinraum als Kurztrage-Handschuh eingesetzt (siehe Absatz: Handschuhlose Fertigung). PE-Handschuhe sind sehr preiswert.

- *PU-Handschuhe:*

Elastische Vlieshandschuhe mit sehr guter Hautverträglichkeit. Durch die Poren des elastischen Polyurethan-Vliesstoffs hindurch kann die Feuchte der Haut auf natürlichem Wege verdampfen und es entsteht kaum Schwitzgefühl. Diese Handschuhe sind relativ teuer, haben aber längere Tragezeiten und sind mehrfach waschbar. Ideal für Mitarbeiter mit Hautallergien.

Latex-Handschuh	Mio Part > 0,5 µm
1	0,185
2	0,391
3	0,481
<b>nackte Hand</b>	
1	2,223
2	1,58
3	1,15

**Abb. 2** Partikelfreisetzung im Vergleich Latex-Handschuh / nackte Hand. Prüfmethode: 3-faches Tauchen der Hand / der Handschuhe in ein DI-Wasser-Bad, nachfolgend mikroskopische Partikel auswertung des Filtrats.

### Reinraum-Spezialhandschuhe

Dazu gehören genähte Baumwoll- und Polyester-Handschuhe, Hochtemperatur- und kältefeste Handschuhe sowie Lösungsmittel-, säure- und laugenfeste Handschuhe. Einmal abgesehen von den genähten Polyester-Handschuhen, sind die reintechnischen Anforderungen an diese Spezialhandschuhe selten sehr hoch. Besonders bei den chemikalienbeständigen Typen ist jedoch die Barrierefestigkeit von besonderer Bedeutung. In den asiatischen Ländern werden in vielen Fällen genähte Polyesterhandschuhe eingesetzt, welche aus engmaschigen Gestriken oder Geweben bestehen und den Vorteil haben, dass sie waschbar sind. Sie sind außerdem wegen ihrer Porosität und der damit einhergehenden geringgradigen Dampfsperre sehr tragefreundlich. Ein japanisches Unternehmen hat eine Maschine entwickelt, mit deren Hilfe engmaschige, nahtlose Gestricke-Handschuhe aus Polyestergergarn gefertigt werden können, welche sich auf der Handinnenseite auch mit einem Polyurethanstrich versehen lassen.

### Die Qualitätsprüfung von Reinraum-Handschuhen

Ein großes Problem für die Reinraum-Anwender ist die reintechnische Qualitäts-Beurteilung der angelieferten Handschuhe. Ein großer Teil des Welt-Anbietermarktes ist in Asien konzentriert mit Malaysia als größtem Anbieter. Auch bekannte, nichtasiatische Marken mit z. T. eigener Fertigung, kaufen bei Bedarf größere Mengen aus Asien hinzu. Wenn eine Charge aus solchen Herstellerländern einmal nicht

spezifikationsgemäß geliefert wird, so ist ein Ersatz in Tagen meist nicht möglich und die Prüfung einer Reklamation kann in Asien einige Monate in Anspruch nehmen. Hinzu kommt ein reintechnisches Problem im Rahmen der Handschuhfertigung: Bei der Herstellung von Latex-, Nitril- oder Vinylhandschuhen werden die keramischen Handschuhformen normalerweise mit Maismehl gepudert, um die Haftung der Handschuhe an den Keramikformen zu verringern und ein leichteres Abziehen der vulkanisierten Handschuhe von der Form zu ermöglichen. Aus dieser Tatsache ergibt sich die generelle Verunreinigung der Fertigungs-Umgebung mit Maismehl-Staub in vielen Fertigungsbetrieben. Wohl werden in den Fertigungsstätten, welche hauptsächlich medizinische Untersuchungs-Handschuhe sowie auch Reinraum-Handschuhe herstellen, entsprechende Dekontaminierungsprozesse eingesetzt (mehrfaches Waschen der Reinraum-Handschuhe), aber weil der Anteil der Reinraum-Handschuhe oftmals < 5 % der gesamten Fertigungsmenge beträgt, ist für die Hersteller das Problem Maismehl-Staub nicht leicht lösbar. Die Anlieferungs-Qualität von Reinraum-Handschuhen ist daher sehr unterschiedlich (siehe Abb. 2).

So ist es verständlich, dass die Anwender eigene Prüfungen durchführen möchten, um ein Langzeit-Qualitäts-Profil für das Produkt ihrer Wahl aufzubauen. Zumeist fehlt es beim Anwender jedoch an Equipment und prüftechnischer Erfahrung. So geraten immer wieder ungeprüft große Mengen hochgradig kontaminierter Handschuhe in die HiTech-Fertigung. Hier bietet es sich aus Sicherheitsgründen an, ein Speziallabor zu beauftragen, welches turnusmäßig reintechnische Prüfungen an den gelieferten Handschuhen durchführt und über

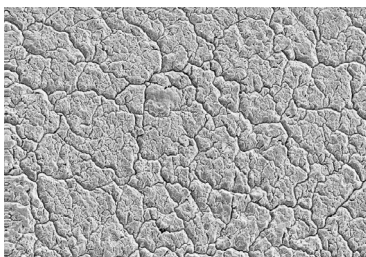
das entsprechende Equipment als auch über die speziellen Erfahrungen verfügt. [Lit. 1] Die REM-Aufnahmen von Yuko Labuda (Abb. 3 bis 7) zeigen deutlich die reintechnisch betrachtet kritischen Strukturen der Oberflächen verschiedener Typen von Reinraumhandschuhen.

Für Reinraum-Handschuhe gibt es z. Zt. drei wesentliche Prüfkriterien:

- die allergologische Unbedenklichkeit
- die Materialfestigkeit und
- die reintechnische Eignung

Allergologische Unbedenklichkeit basiert auf medizinisch bekannten Erfahrungswerten mit verschiedenen für die Handschuhfertigung verwendeten Rohmaterialien wie Latex, Polyvinylchlorid, Polyethylen oder Polyurethan. Sie ist mit technisch normalen Mitteln nicht prüfbar. Aussagefähig sind nur statistisch relevante Reihenuntersuchungen. Über einschlägige Erfahrungswerte verfügen hier einige Hautklinien der Bundesrepublik.

Die Materialfestigkeit von Schutzhandschuhen lässt sich mit Hilfe bekannter Prüfmethoden erfassen. Um Schutzhandschuhe jedoch auf ihre reintechnische Eignung hin zu prüfen, bedarf es gut durchdachter Methoden und auch eines speziellen Instrumentariums. Wie im Bereich HiTech-Reinigungstücher ist es nicht ausreichend, die Partikelanzahl auf der Oberfläche des Produktes zu analysieren und von dem so erhaltenen Ergebnis auf dessen Brauchbarkeit für den Einsatz im Reinraum zu schließen. Auch eine Reihe von Merkmalen der Materialbeschaffenheit sind für die reintechnische Eignung von Handschuhen nicht unbedeutend:



**Abb. 3** Struktur eines Latex-Handschuhs, Oberfläche 400fach, REM-Bild: Yuko Labuda



**Abb. 4** Struktur eines Vinyl-Handschuhs, Oberfläche 400fach, REM-Bild: Yuko Labuda

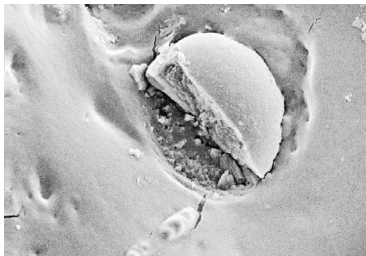


**Abb. 5** Struktur eines Nitril-Handschuhs, Oberfläche 400fach, REM-Bild: Yuko Labuda

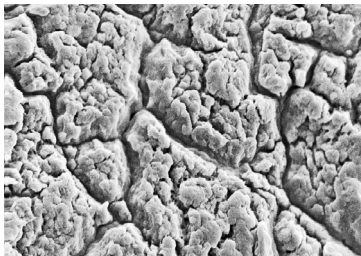
Beispielsweise sind die Anzahl der sog. *pinholes* (Mini-Löcher) und deren Durchmesser für eine reintechnische Materialprüfung wichtig, weil sich nach einer bestimmten Tragezeit im Handschuh-Innern Handschweiß ansammelt, welcher durch solche Pinholes nach außen dringen kann. Handschweiß enthält große Mengen von Natrium-Ionen, welche z. B. in einer Halbleiterfertigung unerwünscht sind. Hinzu kommen Perforationen des Handschuhmaterials durch die mechanische Belastung während der Arbeit. Roger Welker [Lit. 3, 4, 5] berichtet, dass bei zwei Untersuchungen der Barrierefestigkeit - leider ohne statistische Angaben - bei der ersten Untersuchung nach zwei Stunden 70 % der Handschuhe ein Leck aufwiesen und beim zweiten Versuch 57 %.

Das Gleiche gilt für die Schneidfestigkeit des Handschuh-Materials. Gerade der Fingerguppen-Bereich ist bei dünnwandigen Schutzhandschuhen kritisch, weil hier oftmals scharfkantige Fingernägel bei druckvoller und/oder ziehender Berührung mit Oberflächen durch den Handschuh hindurch wie Messer wirken und das dünnwandige Handschuh-Material mit einer Dicke zwischen 25 und 50 µm sehr schnell zerstören können. Andererseits ist gerade in diesem Bereich Dünnwandigkeit des Handschuhs gefordert, um das Tastgefühl zu erhalten.

Auch die Chemikalienbeständigkeit des Handschuhmaterials hat reintechnische Bedeutung: Bereits kurzzeitiger Kontakt mit einigen Lösungsmitteln, Säuren oder Laugen verändern die Oberflächen-Struktur des Handschuhs im Sinne einer Erweichung, so dass es bei nachfolgender Berührung von Material-Oberflächen zu Abschmiereffekten kommen kann.



**Abb. 6** Oberfläche eines Nitril-Handschuhs, 3.800fach, Partikelbildung im Vulkanisierungsprozess, REM-Bild: Yuko Labuda



**Abb. 7** Oberfläche eines Latex-Handschuhs, 3.800fach, deutliche Furchenbildung, REM-Bild: Yuko Labuda

Eine sinnvolle Prüfung der reintechnischen Qualität von Schutzhandschuhen muss sich an in der Praxis auftretenden Spitzen-Belastungen im Rahmen wichtiger Parameter orientieren. Diese praxisnahen Spitzen-Belastungen müssen für die Erarbeitung einer sinnvollen Prüfmethode zunächst erfasst werden. Sie dürfen im Rahmen der Prüftechnik um nicht mehr als z. B. 25 % überschritten werden.

Es existiert eine Handschuh-Prüfmethode des IES (Institute of Environmental Sciences), USA (IES-RP-CC-005-87-T), welche die Prüfung einer Vielzahl von Merkmalen beschreibt. Nach dieser Methode wird der Handschuh zur reintechnischen Prüfung seiner Partikelbelastung in DI-Wasser getaucht und 10 Minuten lang geschüttelt. Die solchermaßen von der Handschuh-Oberfläche in die Flüssigkeit hinein freigesetzten Partikel werden gezählt. Dieser Vorgang ist prinzipiell für die Prüfmethode der Reintechnik bekannt. Ob er für Schutzhandschuhe auch wirklich sinnvoll ist, müsste eine spezielle Untersuchung der Korrelation zwischen einerseits abgewaschener und andererseits im praktischen Einsatz durch Kontaktübertragung auf andere Oberflächen verbrauchte Partikelmenge zeigen. Bei der Messung der Verunreinigung von Handschuhoberflächen durch Tauchen des Prüflings ins DI-Wasser ist es wichtig zu bedenken, dass die *abgespülte Handschuhoberfläche* wesentlich größer ist als die *effektive Oberfläche* beim Kontakttransfer. Der Kontakttransfer findet stets nur im Bereich der Innenhandflächen, und dort insbesondere im Bereich der Fingerguppen und der Handballen, statt. Dies ergibt sich näherungsweise aus den anatomisch vorgegebenen Handstellungen beim wischenden Reinigen [Lit. 2].

Eine sinnvolle Prüfmethode muss also die folgenden Parameter einschließen:

- die effektive Kontaktübertragung von Partikeln > 0,5 µm im Rahmen normalerweise ausgeübter Tätigkeiten
- die Kontakt-Übertragung von Organika aus dem Handschuhmaterial im Rahmen normalerweise ausgeübter Tätigkeiten



Diese angeführten Prüfungen sollen auch nach Kontakt der Handschuh-Außenfläche mit solchen Medien durchgeführt werden, welche erfahrungsgemäß die Oberflächenstruktur des Polymers verändern und möglicherweise bei Fortsetzung der Handhabung des Handschuhs zu veränderten Partikeltransfers oder Organika-Abschmierungen führen würden.

Roger Welker beschreibt in seiner interessanten dreiteiligen Aufsatzreihe über Reinraum-Handschuhe in der amerikanischen Zeitschrift MIKRO-Magazine verschiedene Ansätze für Prüfmethoden: Er erwähnt in seinen Aufsätzen die belegungsdichte-orientierten Prüfmethoden, aber er beschreibt auch transferorientierte Methoden und er ist der einzige Autor, welcher sich mit dem Problem der Kontaminierung, Dekontaminierung und Rekontamination während der Tragezeit von Reinraum-Handschuhen sachlich auseinandersetzt. Durch seine Beiträge erfahren wir viele interessante Einzelheiten über das Produkt Reinraum-Handschuh, welche uns bisher nicht bekannt waren.

Im Rahmen der Erfassung der Oberflächenreinheit von Handschuhen denkt man zunächst einmal an das ultraschallgestützte Abwaschen der Partikel im DI-Wasserbad. Dies funktioniert jedoch nicht bei der Prüfung von natürlichem Latex, weil der Latex durch die Ultraschall-Schwingungen schnell angelöst wird. Für die Partikelzählung scheinen zunächst Flüssigkeits-Partikelzähler am besten geeignet, weil diese am schnellsten arbeiten. Bei dem Versuch, die Partikelzählung mit Hilfe von Flüssigkeits-Partikelzählern durchzuführen, ergaben sich erhebliche Messwertfehler, vermutlich durch Blasenbildung in der Messkammer. Dies war selbst dann der Fall, wenn eine Vakuum- oder Ultraschall-Entgasung stattgefunden hatte. Außerdem funktionieren solche Zähler im allgemeinen nicht im Zusammenhang mit Flüssigkeiten, in denen sich Tensidanteile befinden.

In mehreren Versuchsreihen haben wir herausgefunden, dass dreimaliges Tauchen des Handschuhs in 18,2 M-Ohm DI-Wasser bei Zugabe von 0,03 Gew. % eines Tensids reproduzierbare Partikel-Freisetzungen liefert. Dabei muss jedoch beachtet werden, dass die in das DI-Wasser freigesetzten Partikel über ein Mikroporenfilter extrahiert werden müssen.

Die Filterauswertung kann mikroskopisch-visuell oder mit Hilfe elektronischer Bildanalyse erfolgen.

Welker berichtet auch von einer Prüfung der Freisetzung von Ionen aus Schutzhandschuhen. Dabei wurde ein Handschuh mit 18 M-Ohm DI-Wasser gefüllt und an der Einschlüpföffnung verschlossen. Danach wurde er eine Stunde lang einer Temperatur von + 60 bis 80° C ausgesetzt. Nach Abkühlung wurde das DI-Wasser mit Hilfe der Ionenchromatographie auf Anionen-Rückstände hin untersucht. Im Ergebnis dominierten Chloride und Sulfate. Außerdem wurden Partikelmengen von > 8.000 Partikel/cm<sup>2</sup> bei Partikelgrößen > 0,8 µm Feret-Durchmesser gezählt. Eine solche Extraktionsmethode scheint dem Autor jedoch von stark überhöhtem Simulationsgrad, weil in der Praxis kein Handschuh bei diesen Temperaturen und gleichzeitig liquidem Umfeld mit Extraktionscharakter eingesetzt wird.

Eine interessante Prüfmethode der ionischen Barrierefunktion von Reinraum-Handschuhen wurde dem Autor gesprächsweise im Jahre 1986 von Herrn Wolfgang Kraft, damals Intermetall in Freiburg, nahegebracht: Nachdem ein Reinraum-Handschuh eine Minute lang getragen wurde, erfolgte ein Tauchbad in DI-Wasser der Qualität 18,2 M-Ohm. Anschließend wird das Wasser konduktometrisch, ionenchromatographisch oder mit AAS auf Metallen hin untersucht. Die gleiche Prüfung findet nach einer Tragezeit von 30 min statt. Deutliche Unterschiede weisen auf eine starke Ionenmigration hin. Diese wirkt sich unausweichlich auf den Kontakttransfer ionischer Kontamination aus.

Die Erfassung von transferierten Organika-Mikroschichten ist qualitativ mit Standard-

	Partikel
Anlieferungsreinheit	175
nach erster Handwäsche	3
nach 5 Min. Reinraum-Gebrauch	50
nach 20 Min. Reinraum-Gebrauch	90
nach erneuter Handwäsche	3

**Abb. 8** Reinigung von Handschuhen im Tragezustand (Partikel > 5 µm Durchmesser pro cm<sup>2</sup>)

Meßmethoden nicht beherrschbar. Quantitativ jedoch ist es möglich, mit Hilfe der *Analysenplatte nach Labuda* [Lit. 6] Kontaktübertragungen bis zur Größenordnung von 1 nm Schichtdicke hinunter sichtbar zu machen. Dies scheint ausreichend, um praxisrelevante Aussagen machen zu können.

### Reinraum-Handschuhe und Elektrostatik

Wie vom Autor bereits für das Produkt Reinraum-Reinigungstücher eingehend beschrieben, so zählen auch Schutzhandschuhe zu dem ESD-kritischen Verbrauchsmaterial, welches in Reinräumen Einsatz findet - bestehen sie doch aus Kunststoffen und kommen ständig mit anderen Oberflächen in Berührung. Außerdem bilden Handschuhe oftmals den Berührungspunkt, über welchen der elektrische Ladungsausgleich einer Person erfolgt. Zu den HiTech-Produkten, welche im Fertigungsprozess besonders durch Ladungen von Schutzhandschuhen gefährdet sind, gehören u.a. Wafer, Magnetköpfe und Festkörper-Laser.

Bei Herausgabe dieser Arbeit (6-2000) können nach unserer Erfahrung lediglich die Parameter *triboelektrische Aufladung* in kV, (z. B. erzeugt mit einem Fallschlitten nach Ehrler) und die Entladungszeit als sinnvolle Parameter genutzt werden. Eine ausführliche Beschreibung der Methode findet sich in der Literatur [Lit 7]. Der Parameter *Oberflächenwiderstand* wurde von uns als nicht zuverlässig erkannt und scheidet daher für unsere Beurteilung der ESD-Eignung von Reinraum-Produkten aus. Es scheint unumgänglich, dass alle mit ESD im Zusammenhang stehenden Prüfungen stets in einer Klimakammer und immer bei zum Beispiel 40 % relH und + 20 Grad Celsius und alternativ bei 25 % relH und + 20 Grad Celsius stattfinden. Im Zusammenhang Reinraum-Handschuhe und ESD-Verhalten haben Hartkopf, Heymann, Lehmann, Newberg und Welker einen interessanten Beitrag geleistet, welcher ebenfalls die Entladungszeit als wesentliches Prüfmerkmal anführt [Lit 5].

Es wurden Versuche mit den Entladungszeiten von Nitril-, Latex- und PVC- Handschuhen unter verschiedenen Tragebedingungen gemacht. Dabei wurde auch das Tragen von Unterzieh-Handschuhen berücksichtigt. Die Ergebnisse sind nachstehend zusammengefasst:

- Die Entladungszeiten nahmen ganz erheblich zu, wenn die Versuchsperson kein geerdetes Ableitband trug. Kein Prüfling konnte die in den HiTech-Industrien geforderten Entladungszeiten ohne Ableitband (wrist-strap) erreichen.
- Die Entladungszeiten nehmen ab, wenn Nitril-Handschuhe fertigungsgemäß chloriert wurden.
- Die Entladungszeiten von PC-Handschuhen veränderten sich nicht in Abhängigkeit vom Umgebungsklima (12 % : 50 % relH). Bei den Nitrilhandschuhen war die Änderung der Entladungszeiten deutlich erkennbar. Am stärksten war der Unterschied bei nicht chlorierten Nitrilhandschuhen und am wenigsten bei inwendig und außen chlorierten Nitrilhandschuhen messbar. Alle 4 getesteten Typen hatten Entladungszeiten von < 500 ms für einen Spannungsabfall von 1000V auf < 10 V.
- Das Tragen von Unterhandschuhen verlängert generell die Entladungszeit. Auch dabei bleibt diese jedoch im Rahmen von < 500 ms für eine Reduzierung von 1000 V auf < 10 V.
- Die Entladungszeiten verringern sich beim Tragen von Unterzieh-Handschuhen und stabilisieren sich nach etwa 5 min Tragezeit.
- Bereits kontaminierte Handschuhe haben erheblich höhere Entladungszeiten als Handschuhe im Anlieferungszustand.
- In DI-Wasser gewaschene Handschuhe haben geringfügig bessere (geringere) Entladungszeiten als nicht gewaschene.

### Reinigung von Handschuhen im Tragezustand

Welker berichtet in seinem Aufsatz auch über die Möglichkeit, Schutzhandschuhe während der Arbeitszeit sporadisch zu reinigen und somit die Partikelbelastung der Oberfläche erheblich zu reduzieren. Bei einer einfachen DI-Wasser-Wäsche durch Händereiben wurde mit Hilfe eines Hamamatsu-Wafer-Inspektionssystems eine Abnahme der übertragenen Partikel von 175 Partikeln pro cm<sup>2</sup> auf 3 Partikel pro

$\text{cm}^2 > 5 \mu\text{m}$  Durchmesser erreicht. Um Erfahrungen über die Rekontamination der gereinigten Handschuhe zu gewinnen, wurde nach 20 Minuten Reinraumarbeit erneut eine Messung der Oberflächenreinheit durchgeführt. Dabei stellte sich heraus, dass bereits zu diesem frühen Zeitpunkt etwa die Hälfte der Partikelbelastung des Anlieferungszustands erreicht war. Daraus ergibt sich die Tabelle in Abb.8. Versuche, die Reinraum-Operators zu bewegen, nach gewissen Zeitabständen des Arbeitens eine Handschuhwäsche vorzunehmen, schlugen in den USA jedoch fehl, weil die Bereitschaft der Operators, sich in dieser Weise zu organisieren, sehr gering war. Drei Arten der sporadischen Handschuh-Reinigung wurden versucht:

- gelegentliches Waschen
- gelegentliche Berührung einer Klebmatte mit dem Handschuh (Partikelreduzierung von etwa 40 %)
- Reinigen des Handschuhs mit einem HiTech-Reinigungstuch

Während die Option 2 wiederum am Widerstand der Operators scheiterte, war es für die Option 3 nicht möglich, auf dem Markt ausreichend kostengünstige getränkte Einwegtücher zu finden, welche den gewünschten Reinigungseffekt sichern konnten.

### Hypoallergene Schutzhandschuhe

Solche Handschuhe unterscheiden sich von Latex-, Nitril- oder Vinyl- oder Polyethylenhandschuhen wie folgt:

- Sie sind dampfdurchlässig, es entsteht kaum Schweißbildung und der bekannte Wärmestau beim Handschuhtragen wird stark verringert.
- Sie sind sehr elastisch und passen sich daher der Handform gut an.
- Sie sind hypoallergen, d. h. sie verursachen extrem selten Allergien.
- Sie sind mehrfach waschbar, wobei durch die Porenstruktur des Vlies-Materials beim Waschvorgang automatisch auch die Handschuh-Innenseiten gewaschen werden.

Diese Handschuhe sind aufgrund ihrer Porosität durchlässig für Flüssigkeiten. Sie eignen sich also nicht für Arbeiten im Nass- und Chemikalienbereich. Der im ersten Moment scheinbare Nachteil eines hohen Preises wird durch die allgemein längere Tragedauer und die mehrfache Waschbarkeit dieser Handschuhe nahezu aufgewogen. Er wird jedoch mehr als aufgewogen, wenn man den wesentlich höheren Tragekomfort der PU-Vlies-Handschuhe für die Mitarbeiter betrachtet.

Es gibt diese Handschuhe auch aus einer innenhandseitigen 25  $\mu\text{m}$  dicken PU-Folie kombiniert mit einem außenhandseitigem PU-Vlies. Diese Kombination eignet sich besser für Arbeiten mit feuchten Werkstücken und/oder beispielsweise Reinigungstüchern.

Eine statistisch fundierte Untersuchung soll in Zukunft darüber Aufschluss geben, ob diese Art der Handschuhe während der Arbeit vergleichsweise größere Mengen an Partikeln und/oder Ionen und Organika an die Oberflächen der Umgebung abgibt oder nicht. Dazu muss zunächst einmal bekannt sein, welches Maß an Transfer bei den anderen Handschuharten stattfindet.

### Tragekomfort und Handschuhkosten

Es besteht ein natürlicher Interessengegensatz zwischen dem Wunsch der Reinraum-Betreiber nach Kostenbegrenzung und dem Wunsch des Mitarbeiters nach Tragekomfort der Schutzkleidung allgemein. Nur wer selbst einmal 7 Stunden lang mit enganliegenden Overalls oder Schutzhandschuhen aus PVC oder Latex gearbeitet hat, kann beurteilen, welche Belastungen des Arbeitskomforts dies mit sich bringt. In dem Zusammenhang ist es interessant festzustellen, dass sich die Betriebsräte dieses brisanten Themas bisher wenig angenommen haben. Das Thema liegt oftmals in der Hand der Betriebsärzte. Damit ist es auf einen Bereich der Anomalität und der Krankheit festgelegt. Ist das Thema betriebsintern nicht bei den Betriebsärzten angesiedelt, so liegt es bei den Sicherheits-Ingenieuren. Auch diese Gruppe ist jedoch nicht den nicht-numerischen Kenngrößen Tragekomfort und Behaglichkeit verpflichtet. Diese Anomalitäts- oder Sicherheits-Festlegung behindert allgemein die Produktentwicklung in Richtung Schutzkleidung mit einem höheren Arbeitskomfort. Genau genommen gehört dieses Thema be-

trieblich in eine Arbeitsgruppe Schutzkleidung, welche sich hauptsächlich aus Mitarbeitern zusammensetzen sollte, welche mit der Schutzkleidung auch ganztägig arbeiten müssen.

Es gibt jedoch inzwischen eine ganze Reihe von großen Reinraum-Betreibern, welche das Thema Schutzhandschuhe als zentrales Anliegen betrachten und PU-Vlies-Handschuhe in der gesamten Fertigung einsetzen. Dazu gehören in Deutschland ein großer süddeutscher HiTech-Betrieb und ein Chip-Hersteller, welcher die Handschuhe im backend-Bereich einsetzt. In England gibt es bereits seit langem einen namhaften Hersteller, welcher PU-Vlies-Handschuhe in der gesamten Fertigung einsetzt.

### **Das Konzept der „handschuhlosen“ Fertigung in Reinräumen der Halbleitertechnik**

Bei der Infineon AG (früher Siemens AG) wurde ab 1992 bis 2003 eine „handschuhlose“ Fertigung betrieben. Prinzipiell ist es in der Reinraumproduktion von Halbleiter-Wafern erforderlich, die Waferoberfläche von den Abscheidungen der menschlichen Hand fern zu halten. Dies geschieht im allgemeinen durch das Tragen von Handschuhen. Man kann aber auch einen anderen Weg gehen, so dass der Operator z. B. beim Transportieren den Wafer-Carrier durch einen Carriergriff in ausreichendem Abstand vom Körper entfernt hält.

„Handschuhlose“ Fertigung bedeutet nun nicht, dass in dieser Fertigung kein einziger Handschuh mehr eingesetzt wird. Bei solchen Arbeiten, wo Carrier-Griffe nicht einsetzbar sind, trug der Operator einen Polyäthylen-Handschuh, welcher nur für die Dauer der betreffenden Verrichtung auf der Hand belassen und danach abgestreift und entsorgt wurde. Dieser hautfreundliche Polyäthylen-Handschuh liegt preislich etwa bei einem Viertel eines Nitril-Handschuhs. Möglicherweise ergibt sich aus diesem mitarbeiterfreundlichen Arbeitsvorbild eine Grundlage für einen branchenweiten Verzicht auf das Tragen von Schutzhandschuhen im Rahmen vieler Arbeiten der Reintechnik. Dies scheint insbesondere dort möglich zu sein, wo die Reinräume mit einem SMIF-System ausgestattet sind. Außerdem reduziert sich der Handschuh-Bedarf etwa geldwert-mäßig auf die Hälfte, was auch von der Betriebskostenseite her interessant ist.

Es wurde in der Vergangenheit oftmals bezweifelt, dass das Infineon-Konzept eine echte Alternative zum Handschuh-Konzept ist, ohne dass eine damit einhergehende Defektdichte-Erhöhung den Vorteil wieder mindert. Eine Prüfung des Fraunhofer Instituts Integrierte Schaltungen in Erlangen hat die langjährigen Infineon- (Siemens-) Erfahrungen jedoch bestätigt. Auskunft zu diesem Thema siehe [Lit. 8].

### **Literatur**

1. Labuda, Win – Reinraum-Verbrauchsmaterial – Einflüsse der Qualität auf die Prozess-Ausbeute, Qualitäts-Optimierung, Qualitätsprüfung, Clear & Clean-Publikation, Lübeck, 1998
2. Siegmann, Sven - Die Effizienz wischender Reinigungsprozeduren in Abhängigkeit von drei anatomisch bedingten Handstellungen, Clear & Clean-Publikation, Lübeck, 2000
3. Welker, Roger W. et al. - Using contamination and ESD tests to qualify and certify cleanroom gloves, Micro Magazine, May 1999
4. Welker, Roger W. - Controlling particle transfer caused by cleanroom gloves, Micro Magazine, September 1999
5. Welker, Roger W. et al. - Evaluating the ESD performance of gloves under realistic cleanroom conditions, Micro Magazine, May 2000
6. Labuda, Win - Ein Mehrschicht-System zur Sichtbarmachung schichtförmiger Verunreinigungen im Nanometer-Bereich, Clear & Clean-Publikation, Lübeck, 8-2000
7. Labuda, Win - Triboelektrische Effekte beim Einsatz von Reinraumbüchern und Papier, VDI-Berichte 1342, Tagungsband der reinraumtechnischen Fachtagung des Vereins Deutscher Ingenieure in Fulda 1997
8. Kontaktadresse bei Fragen zum Infineon-Konzept:  
Herr Dipl.-Phys. Lodevicus Hermans,  
Infineon AG Regensburg  
(Tel. +49-941-280-2820)