



#### INHALT

- 01 - Einführung
- 02 - Das Verbrauchsmaterial
- 03 - Gefährdung der Prozess-Ausbeute
- 04 - Glaubensrichtungen der Anwender
- 05 - Wege der Kostensenkung
- 06 - Möglichkeiten der Materialauswahl
- 07 - Downgrading der Verbrauchsmaterial-Qualität
- 08 - Auswirkungen des downgrading
- 09 - Drei Thesen des Autors
- 10 - Die Qualitätsprüfung beim Anwender
- 11 - Fehlerhafte Prüfmethoden
- 12 - Unterschwellige Einflüsse auf ein Prüfergebnis
- 13 - Zusammenfassungen

# Reinraum - Verbrauchsmaterial

## Teil 1 Reinigungstücher und Papier

### Einflüsse der Qualität auf die Prozess-Ausbeute

#### • Qualitäts-Optimierung • Qualitäts-Prüfung

*Win Labuda*

Clear & Clean - Forschungslabor

#### Einführung

Die Gruppe *Reinraum-Verbrauchsmaterial* umfaßt Reinigungstücher, Papier, Handschuhe und Reinraum-Bekleidung. In diesem ersten Teil des Aufsatz sollen jedoch ausschließlich die *Reinraum-Reinigungstücher* und das *Reinraum-Papier* behandelt werden.

Das wischende Reinigen gehört seit Jahrtausenden zu den Grundlagen der menschlichen Zivilisation. Ein beachtlicher Teil der Arbeitszeit des Menschen betrifft das wischende Reinigen. Weltweit werden jährlich etwa 4 Milliarden Quadratmeter Vliesstoffe zu Reinigungstüchern verarbeitet, welche einen Marktwert von über 5,4 Milliarden DM haben. Da verwundert es ein wenig, daß sich weder die physikalischen, die chemischen noch die Arbeitswissenschaften mit dem Vorgang des *wischenden Reinigens* jemals ausreichend intensiv beschäftigt haben.

Auch in unserem HiTech-Zeitalter haben sich in einigen Spezialgebieten wischende Reinigungsverfahren auf höchstem technischen Niveau etabliert. Dazu gehört insbesondere die Sparte *Reinraum-Reinigungstücher*.

Das Aufzeichnen von Informationen, welche einen physikalischen oder technischen Prozess begleiten, ist so alt wie das Papier selbst. Denken Sie an Gallileis Aufzeichnungen über die Prozesse der Planeten-Mechanik. Es wird seit Jahren davon gesprochen, daß der Computer das Papier ersetzen wird. Bis heute jedoch ist der Bedarf an Reinraum-Papier jedes Jahr gestiegen und so bedarf auch dieses Material einer physikalischen und chemischen Einsicht, wenn man Fehler bei dessen Einsatz und Bewertung vermeiden will.

Reinraum-Betreiber finden sich zum größten Teil in der Halbleiter-, Computer-, Pharma- oder optischen Industrie. Die dort eingesetzten Materialien, sowie deren Fertigungs- und Prüfverfahren unterscheiden sich erheblich von denen in den Faserstoff-Industrien Textil und Papier. So kommt es oftmals zu Mißverständnissen hinsichtlich produktgemäßer Anwendung und im physikalischen Sinne sinnvoller Anwender-Prüfungen für das *Reinraum-Reinigungstuch* aber auch für das *Reinraum-Papier*. In diesem Aufsatz werden technische Zusammenhänge aufgezeigt und es werden dem Anwender des Verbrauchsmaterials praktikable Lösungen für die Auswahl desselben angeboten. Gleichzeitig werden auch unbedenkliche Methoden praxisnah simulierter Eignungsprüfungen aufgezeigt.

### Das Verbrauchsmaterial,

auf welches sich dieser Aufsatz bezieht, wird nachstehend genauer aufgelistet:

### Reinraum-Reinigungstücher

- *Standard-Reinigungstücher*  
Aufnahme von Flüssigkeiten, Entfernen von Partikeln, Schmierstoffen, Pasten und Lack, Reinigung von Arbeitsflächen, Glasflächen und Werkzeugen
- *Equipment-Reinigungstücher*  
Reinigung der Geräte, Apparate und des Maschineninnern (Equipment)

### Partikelquellen im Reinraum

- *eingebraachte Partikel*

Umgebungsluft des externen Raums  
Umgebungsluft der internen Räume  
Ablagerungen auf der Bekleidung  
Inertgas und Ätzgas-Partikel  
Partikel in den Prozess-Medien

- *erzeugte Partikel*

Atmung des Menschen  
Verbrauchsmaterial-Abrieb  
Migration durch die Bekleidung  
Reaktionsprodukte vom Prozess  
prozessbedingter Abrieb  
prozessbedingtes Wachstum feinstofflicher Substanz

**Tabelle 1** Partikelherkunft im Reinraum

- *Optik-Reinigungstücher*  
Reinigung von optischen Glasoberflächen und Spiegeln
- *Boden-Reinigungs-Tücher*  
Lösen und Aufnehmen der Verunreinigung von den Reinraum-Böden, welche oftmals eine scharfkantige Lochstruktur aufweisen

### Reinraum - Papiere

- *als produktbegleitende Laufprotokolle*  
in Formularform, welche zumeist aus mehreren DIN-A5 Blättern zu Heften zusammengebunden sind. Dort werden die technischen Daten der verschiedenen Fertigungschargen (lots) eingetragen.
- *als Informationsträger*  
innerhalb des Reinraums, wie z. B. Betriebsanleitungen von Maschinen und Anlagen
- *als Zwischenleger*  
zur oberflächenschonenden Trennung stapelbarer, flacher Produkte
- *als Notizbücher*  
mit Rückenbindung zum Festhalten und Nachschlagen von Aufzeichnungen und Notizen

### Die Funktion des Reinraums

Der Reinraum erfüllt die Aufgabe, die Stäube der Umgebungsluft während des Fertigungsprozesses vom gefertigten Produkt fernzuhalten. Die meisten industriellen Fertigungsprozesse finden deshalb in Reinräumen statt, weil bei normaler Fertigungsumgebung die prozentuale Fertigungsausbeute (Yield) dieser Prozesse erheblich geringer ausfallen würde. Solche Prozesse sind z. B. die Fertigung von optischen Komponenten, integrierten Halbleitern, Plattenspeichern, Hybrid-Schaltungen, Komponenten der Mikromechanik, Liquid Crystal Displays und Datenträgern.

Partikel in der Umgebungsluft sind nicht die einzigen Verunreiniger, welche die Fertigungsausbeute mindern können. Bei der Halbleiterfertigung z. B. sind es auch Partikel aus Inertgasen, Ätzgasen, den Prozessmedien wie DI-Wasser, Säuren und Laugen sowie Reaktionsprodukte, welche durch den Fertigungsprozess selbst entstehen, z. B. Ätzrückstände und Polymere aus der Lack-Entfernung und nicht zuletzt auch das Reinraum-Verbrauchsmaterial und der Mensch als atmendes Wesen mit seiner Bekleidung. „Reinraum“ sind in Wirklichkeit zwei oder mehr ineinander verschachtelte, reine Systeme (Abb. 1).

Im „externen“ Reinraum, in dem sich der Mensch bewegt, befinden sich Maschinen, Apparate und Geräte, die in ihrem Innern wiederum ein hohes Maß an Reinheit aufweisen. Sie bilden eine Vielzahl an internen Reinräumen. Auch Reinräume sind nur relativ rein. Ein gewisses Maß an Rest-Verunreinigung ist auch dort unvermeidbar. Die Verunreinigung des externen Reinraums dringt zu einem gewissen Teil in das freie Volumen der internen Reinräume (Equipment) ein. Wie viel eindringt, ist abhängig davon, wie sehr die internen Räume vom externen Reinraum gegen das Eindringen von solchen Verunreinigern geschützt ist. Dieser Schleusenfaktor ist von den Geräteherstellern in den vergangenen Jahren deutlich erhöht worden.

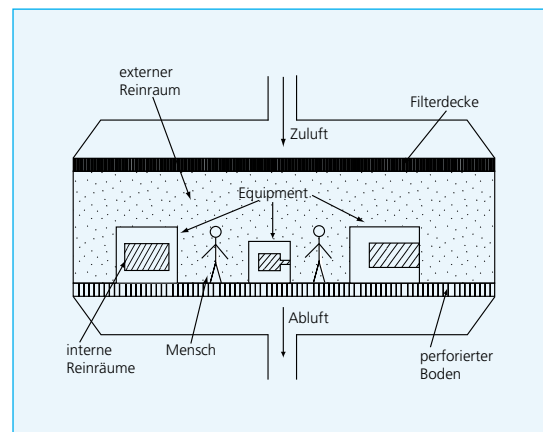
Die Verunreinigungen eines Reinraums teilen sich in zwei Gruppen:

- *Schwebstoffe* in der Reinraumluft
- *Partikel-Ablagerungen* auf den Oberflächen des Reinraums

Die *Schwebstoffe* werden maschinell (gefilterte Zuluft > verunreinigte Abluft) stets auf einem gleichen Niveau gehalten, welches permanent überwacht wird. Die *Ablagerungen* lassen sich in ihrer Menge nicht messen. Deren Menge ist jedoch ungleich größer als die der Schwebstoff-Partikel. Beide Verunreiniger - Schwebstoffe und Ablagerungen - verteilen sich nicht im Rahmen einer mathematisch nachvollziehbaren Funktion. Durch wechselnde Haftungs- oder Verankerungsbedingungen werden ständig Partikel von ihrem Ruheort an einer Oberfläche freigesetzt und werden dann luftgetragen. Gleichzeitig sedimentieren luftgetragene Partikel, um wieder auf einer Oberfläche einen Ruheort zu finden. Es werden auch Partikel und andere Verunreiniger durch Kontaktübertragung vom Menschen und seiner Kleidung auf die Reinraum-Oberflächen übertragen. Ein Teil der Verunreinigung im Reinraum wird im Reinraum selbst erzeugt. Daran ist auch und insbesondere das Verbrauchsmaterial beteiligt.

### Die Gefährdung der Prozess-Ausbeute

Wegen der erhöhten Reinheitsanforderungen im Reinraum unterscheidet sich das dort eingesetzte Verbrauchsmaterial deutlich von ähnlichen Materialien, die bei nicht reinen Arbeitsprozessen Einsatz finden. Die Verunreinigung welche beim Einsatz des Reinraum-Verbrauchsmaterials entsteht, ist im Wesentlichen Partikel- und Faserabrieb, welcher - als ein Teil reinraum-immanenter Partikelströme - im ungünstigen Falle auf die Produktoberfläche gelangt und das Produkt unbrauchbar macht. In



**Abb. 1** Verunreinigungen im Reinraum (schematische Darstellung)

anderen Fällen können sich z. B. insbesondere durch den Einsatz nicht optimal ausgewählter Reinigungstücher die Wartungs-Zeiten bis zur Wiederinbetriebnahme sehr teurer Anlagen erheblich verlängern und auf diese Weise die Prozesskosten erhöhen. Deshalb sollen die Oberflächen des Verbrauchsmaterials so beschaffen sein, daß die Freisetzung von Partikeln, Fasern, Faserfragmenten, chemischen Inhaltsstoffen und Oberflächen-Ablagerungen verhindert wird. Auch wenn dies nicht vollends erreichbar ist, so ist es doch wichtiger Teil einer vielfältig angelegten Vermeidens-Strategie mit dem Ziel, die Fertigungs-Ausbeute möglichst hoch zu halten. Ob und bis zu welchem Qualitätsniveau des Verbrauchs-Materials diese Vermeidensstrategie ihre Berechtigung hat, ist nach Wissen des Autors bisher nicht systematisch untersucht worden.

In der Literatur wurden keine Informationen gefunden, welche für bestimmte reinraumgebundene Fertigungsprozesse eine gesicherte Beziehung zwischen z. B. Reinraumentuch-Beschaffenheit und Prozess-Ergebnis nachweisen konnten (Abb. 2).

Es besteht unter Reinraum-Ingenieuren und Beauftragten jedoch erfahrungsgestützte Einigkeit darüber, daß dekontaminierte Gestricke aus Polyestergarnen (Equipment-Tücher) bei ihrem Einsatz weniger Partikel und Fasern freisetzen als z. B. Polyester-Zellstoff-Vliese (Standard-Tücher) und aus diesem Grunde für kritische Reinigungsvorgänge zu bevorzugen sind.

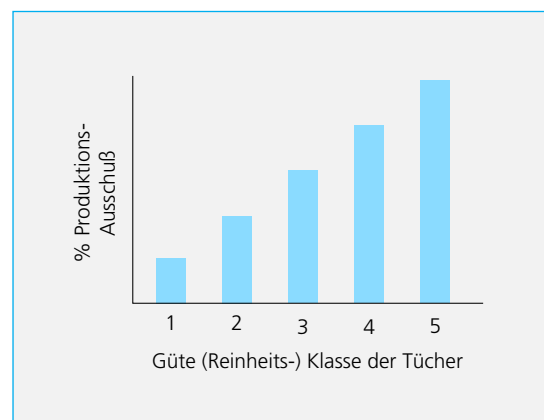
Die konstruktive und qualitative Beschaffenheit der Reinraumentücher läßt sich im Hinblick auf nachteilige Auswirkungen auf die Prozesskosten in zwei verschiedene Prozessgruppen unterscheiden. Das sind:

- *Prozessgruppe I* - Prozesse mit gesicherter Abhängigkeit zwischen Verbrauchsmaterial-Qualität und Prozesskosten
- *Prozessgruppe II* - Prozesse mit hypothetischer Abhängigkeit zwischen Verbrauchsmaterial-Qualität und Prozess-Kosten.

Auf beide Prozessgruppen soll nachstehend näher eingegangen werden.

**Prozessgruppe I** - Prozesse mit *gesicherter* Abhängigkeit zwischen Verbrauchsmaterial-Qualität und Prozesskosten:

Ein Beispiel für die *gesicherte* Abhängigkeit der Prozesskosten von der Verbrauchsmaterial-Qualität ist die vorbeugende Wartung von Plasma-Ätzmaschinen. Diese unterliegen während ihres Betriebs einer starken Verschmutzung. Sie werden deshalb turnusmäßig einer vorbeugenden Wartung unterzogen. Dazu werden sie demontiert und dann durch Abätzverfahren gereinigt und gespült. Die nicht demontierbaren Teile werden mit Hilfe von Equipment-Reinigungstüchern gereinigt. Nach der Montage werden diese Geräte nochmals mit Reinigungstüchern gereinigt. Anschließend erfolgt eine Konditionierung durch abwechselndes Vakuumpumpen und Belüften (pump down and vent). Danach werden Test-Wafer in das Gerät eingegeben und die Verunreinigung derselben wird gemessen. Beim Einsatz unzureichender Reinigungstücher kann man Faserfragmente derselben zum Beispiel auf der Oberfläche der Testwafer beobachten. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis die Partikel- und Fasermengemenge so gering ist, daß die Anlage wieder zum Einsatz freigegeben werden kann. Werden bei diesem Prozess Reinigungstücher eingesetzt, welche selbst keinen hohen Reinheitsgrad haben oder nicht abriebfest sind, so erhöht sich die Anzahl der



**Abb. 2** Beispiel hypothetischer Zuordnung von Verbrauchsmaterial-Qualität zu Veränderung der Fertigungsausbeute (1 - ultrafeines Gestricke, gewaschen, versiegelt; 2 - Gestricke, gewaschen, versiegelt; 3 - Gestricke, gewaschen, unversiegelt; 4 - Vliesstoff, versiegelt; 5 - Vliesstoff, unversiegelt)

pump-and-vent-Zyklen erheblich und die Ausfallzeit (down-time) der Plasma-Ätzmaschine verlängert sich. Solche Maschinen kosten etwa 2 Mio. DM und die Ausfallkosten pro Stunde sind entsprechend hoch.

Die *Reinigungstuch-Kosten* spielen bei diesem Prozess kaum eine Rolle, wenn nur die Wiederinbetriebnahme der Anlage durch ein *besseres Tuch* ein wenig früher erfolgen kann.

Ein weiteres Beispiel für die Prozessgruppe I ist die Reinigung von Druck-Sieben bei der Herstellung von Hybridschaltungen der Elektronik. Bei diesem Prozess werden elektrisch leitfähige Pasten im Siebdruck-Verfahren auf ein Keramik-Substrat aufgebracht und anschließend thermisch auf dem Substrat verfestigt. Beim Siebdruck-Verfahren kommt es immer wieder vor, daß die Pasten im Sieb trocken werden oder daß Partikel, welche auf das Sieb gelangt sind, die Präzision des Druckbildes beeinträchtigen. In diesen Fällen muß die Paste aus dem Sieb entfernt und das Sieb gereinigt werden. Beides geschieht oftmals mit Hilfe von Reinigungstüchern. Wenn diese Tücher nun beim Wischvorgang zum Abrieb von Faserfragmenten oder Meso-Partikeln neigen, dann macht sich dies sofort durch eine reduzierte Prozessausbeute bemerkbar. Auf diese Weise konnte ein großer deutscher Hersteller von Hybridschaltungen seine Prozessausbeute allein durch den Einsatz von besser geeigneten Reinigungstüchern um 35 % erhöhen. Auch hier spielt der Preis eines Tuchs keine Rolle, wenn die Einsparungen ein Vielfaches der erhöhten Reinigungstuch-Kosten betragen.

Weitere Beispiele ließen sich für die Reinigung von Laser-Spiegeln, von optischen Gläsern bei den Prozessen der Flachbildschirmfertigung nennen. Das gleiche gilt auch für die Fertigungsprozesse der Speicherplatten-Montage. In diesem Bereich werden zusätzlich oftmals *Reinigungsstäbchen* eingesetzt, wofür im wesentlichen das gleiche gilt. Es gibt viele Prozesse, bei denen durch den Einsatz verbesserter (und somit zumeist teurerer) Reinigungstücher erhebliche Einsparungen möglich sind.

**Prozessgruppe II** - Prozesse mit hypothetischer Abhängigkeit zwischen Verbrauchsmaterial-Qualität und Prozesskosten:

Zu dieser Prozessgruppe gehören generell alle Prozesse, welche durch luftgetragene Partikel oder Partikelwanderung auf Oberflächen beeinträchtigt werden, bei denen eine gesicherte Zuordnung der Prozesskosten : Verbrauchsmaterial-Qualität jedoch nicht möglich ist. Das in diesem Aufsatz beschriebene Reinraum-Verbrauchsmaterial besteht wesentlich aus Faserstoffen (Textil, Papier). Diese sind ihrer Natur nach von weicher, poröser Beschaffenheit und neigen beim Gebrauch oder beim Kontakt mit anderen Oberflächen zu Faser- und Partikelabrieb. Sie gehören also zu den Verunreinigern des Reinraums. Wieviele Partikel und chemische Inhaltsstoffe des Verbrauchsmaterials freigesetzt werden dürfen, so daß eine Beeinträchtigung der Fertigungsausbeute auch tatsächlich eintritt, ist die Kernfrage der Material- und Kostenoptimierung für diese Produktgruppe. Erwünscht wäre die Möglichkeit einer direkten Zuordnung von Verbrauchsmaterial-Qualität zur Veränderung der Fertigungsausbeute (Yield) (Abb. 2).

Das Reinraum-Verbrauchsmaterial ist jedoch nur eine von mehreren Verunreinigungsquellen bei den Prozessen des reinen Arbeitens. Eine Zuordnung von Defekten des gefertigten Produkts zu verschiedenen Gruppen der Defektpartikel-Herkunft ist daher nur schwer möglich. Der Defektdichte-Ingenieur kann selten und nur bei sehr großen Partikeln sicher sein, ob ein Defekt-Partikel, welches den Formfaktor eines Faserfragments hat, z. B. von einem Reinraum-Reinigungstuch, von der Reinraum-Unterbekleidung, von der Reinraum-Oberbekleidung oder von reinraumfremden Produkten stammt.

Der 2. Hauptsatz der Thermodynamik besagt, daß die *Entropie* (Unordnung) eines isolierten Systems ohne die Einbringung von ordnungserhaltender Arbeit stets zunimmt. Betrachtet man den Reinraum als isoliertes System, so folgt daraus, daß zur Erhaltung von Reinheit (Ordnung) Arbeit aufzubringen ist.

In diesem Sinne bestehen im wesentlichen zwei Systeme, welche partikuläre aber auch flüssige und pastöse Verunreinigungen im Reinraum auf dem Weg vom Ort der Entstehung bis zum Ort der Gefährdung erheblich reduzieren:

*- Der laminare Luftstrom*

Der Transfer unerwünschter Materie vom Reinraum-Verbrauchsmaterial in den Reinraum hinein erfolgt annähernd kontinuierlich, aber der Reinraum selbst muß als ein Querstrom-Filter mit großer Abscheidekapazität betrachtet werden (siehe Abb. 1). Dies ist so, weil ein erheblicher Teil der luftgetragenen, partikulären Verunreinigung des Reinraums durch den dort vorhandenen laminaren Luftstrom in den Bodenbereich hinein abgeführt und vom Abluftstrom unterhalb des Bodens aufgenommen wird. Der Reinigungsfaktor dadurch beträgt etwa einen Klassensprung d. h. bei 10 Partikeln  $> 0,5 \mu\text{m}$  pro Kubikfuß nahe der Filterdecke werden im Bodenbereich bereits etwa 100 Partikel gemessen. Die Reinigungs-Effektivität der Laminarströmung beträgt also etwa 90 %.

*- Die turnusmäßige Reinigung*

Für die Oberflächen im Reinraum ist zumeist eine turnusmäßige, wischende Oberflächen-Reinigung vorgesehen, wodurch die bislang angewachsene Verunreinigung immer wieder reduziert wird. Durch dieses Verfahren wird einem unendlichen Zuwachs der Oberflächen-Verunreinigung vorgebeugt. Ein Teil der eingesetzten Reinraumtücher z. B. wird für diesen Zweck eingesetzt.

Zu unklar sind Entstehung, Herkunft, Wege, Verbleib und Beseitigung der partikulären Verunreinigung im Reinraum, um für jede einzelne Verunreiniger-Gruppe nachvollziehbar zu sein. So sind viele Annahmen zum Thema partikelgebundener Defektursachen des gefertigten Produktes hypothetisch und müssen im Rahmen der Organisation einer sinnvollen Produktauswahl des Verbrauchsmaterials auch so betrachtet werden.

*Der Zwang zu einer Hypothese über ein physikalisches Geschehen zeigt stets ein vorhandenes Wissensdefizit, aber die Tatsache des physikalischen Geschehens und seiner Auswirkungen auf den Prozess bleibt dennoch bestehen.*

Das Gefährdungspotential für die reinen Produktions-Prozesse durch partikuläre Verunreinigungen der Oberflächen und der Luft ist in der Literatur vielfach erwähnt worden. In den vergangenen Jahren wurde dieses Potential

durch konstruktive Veränderungen im Bereich des Equipment erheblich reduziert. Das Produkt ist zumindest in der Halbleiterfertigung während der einzelnen Prozess-Schritte immer weiter von einer natürlichen Fertigungs-Umgebung abgeschirmt worden. Bei der SMIF-Technologie zum Beispiel kommt das Produkt während der Prozess-Schritte der Halbleiter-Fertigung mit der Normalatmosphäre kaum noch in Berührung.

**Glaubensrichtungen der Anwender**

Die Reduzierung des Gefährdungspotentials durch apparativen Aufwand und der Kostendruck in der Halbleiterindustrie haben eine Diskussion über den Einsatz von Reinraum-Verbrauchsmaterial *von reduzierter Qualität bei reduziertem Preis* zur Folge gehabt.

Dabei haben sich zu diesem Thema bei den Reinraum-Betreibern vier Meinungsgruppen gebildet, welche im Wesentlichen unterschiedliche Minimalgrenzen für die Qualität des Reinraum-Verbrauchsmaterials als akzeptabel betrachten.

*Meinungsgruppe 1 -*

*Die absolute Vermeidensstrategie:* Bei dem verschwindend geringen Anteil der Kosten des Reinraum Verbrauchsmaterials von  $< 1$  Promille relativ zu den Fertigungs-Gesamtkosten und bei der hohen Expositionszeit dieses Materials beim Mitarbeiter ist es sinnvoll, das beste und reinste Material einzusetzen, welches verfügbar ist (bei Reinigungstüchern z. B. der ausschließliche Einsatz hochwertiger, gewaschener Gestricke in der gesamten Fertigung). Die ständige intensive Auseinandersetzung mit dem Einsatz von Reinraum-Verbrauchsmaterial geringerer Qualität ist teurer als der dadurch entstehende mögliche Nutzen.

*Meinungsgruppe 2 -*

*Der statistisch orientierte Mittelweg:* Solange eine direkte Zuordnung zwischen *dynamischem Reinheitsgrad* des Verbrauchsmaterials und Fertigungsausbeute mit vertretbarem Aufwand nicht möglich ist, wird Reinraum-Verbrauchsmaterial mittlerer Qualität eingesetzt, welches sich möglichst schon über lange Zeiträume bewährt hat. Der Einsatz von Verbrauchsmaterial der unteren Kategorie wird aufgrund des möglicherweise erhöhten

Gefährdungspotentials für die Prozessausbeute abgelehnt. Dabei ist der Grundgedanke nicht der tatsächlich eintretende Gefährdungsfall sondern die Erhöhung des *statistisch basierten* Gefährdungs-Risikos. Hier wird die Erfahrung zum Ausdruck gebracht, daß auch kleinere Verbrauchsmaterial-Probleme Kosten nach sich ziehen, welche die Ersparnisse im Vergleich zum Material der geringsten Qualität schnell übersteigen.

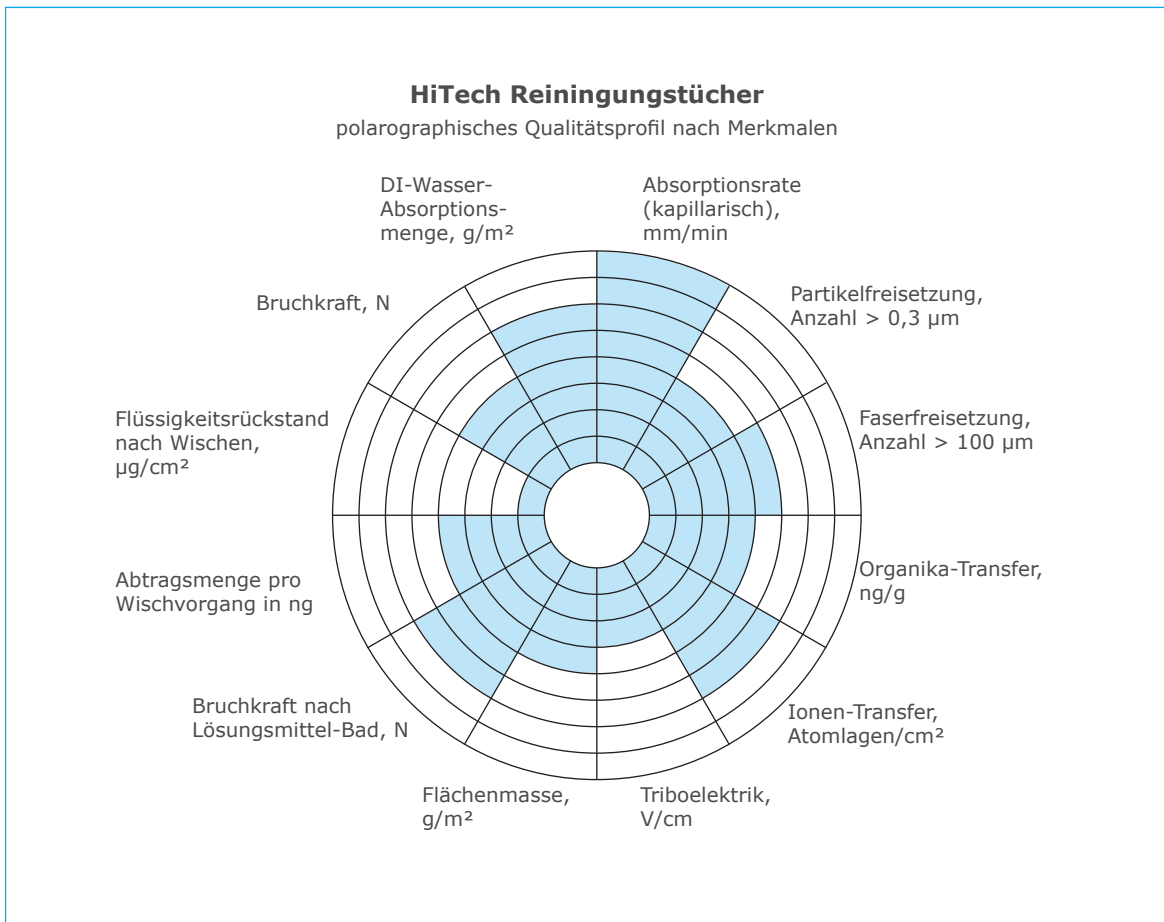
*Meinungsgruppe 3 -*

*Der Weg der abgestimmten Verhältnisse:* Diese Gruppe meint: Es ist sinnlos, Verbrauchsmaterial von hohem dynamischen Reinheitsgrad einzusetzen, wenn z. B. der Mitarbeiter im Bereich seiner Kleidung selbst nicht den gleichen dynamischen Reinheitsgrad aufweist.

Oder beispielsweise ist es nicht sinnvoll, in einer Fertigung, in der keine Handschuhe getragen werden, ionenarme Papiere einzusetzen. Die Abstimmung der Qualität des Reinraum-Verbrauchsmaterials soll sich am bestehenden Oberflächen-Reinheitsgrad der Fertigungs-Umgebung orientieren, wobei der Maßstab die Prozesskomponente mit der *geringsten* Oberflächenreinheit ist.

*Meinungsgruppe 4 -*

*SMIF - Die getrennte Einheit von Produkt und Umgebung:* Wo das Produkt nicht mehr mit der natürlichen Umgebung in Berührung kommt, sondern in abgeschlossenen Mini-environments gefertigt wird, besteht eigentlich kaum noch ein Gefährdungs-Potential. Preis-günstiges Verbrauchsmaterial soll ein Teil der



**Abb. 3** Das Kreisprofil erlaubt eine schnelle, vergleichende Übersicht über die Qualitätsmerkmale verschiedener HiTech-Reinigungstücher

Mehrkosten für diese kostenintensive Fertigungsumgebung aufwiegen.

Es besteht weltweit keine Einigkeit unter den Anwendern, welcher der vier oben aufgeführten Wege der richtige sei. Weil niemand einen Gegenbeweis zu einer der o. a. kontroversen Meinungen antreten kann, ist es letztlich eine Glaubenssache geworden, welches Verbrauchsmaterial eingesetzt wird. Diese allgemeine Orientierungslosigkeit hat sicher Nachteile: Einer derselben besteht z. B. darin, daß die Impulse vom Anwender in Richtung Hersteller ausbleiben, welche normalerweise einem Innovationsgeschehen für verbesserte Produkte vorausgehen.

### Gemeinsamkeiten

Man kann als Basis sicher einige Grundsätze aufstellen, welche von allen der vorstehend genannten vier Glaubensrichtungen akzeptiert werden:

- Ein gewisses Maß an ausbeuterelevanter Verunreinigung durch das Verbrauchsmaterial besteht. Es ist jedoch zur Zeit nicht bekannt, in welcher Größenordnung
- so gut wie nötig - so preiswert wie möglich soll das Material sein
- bei gleichem Preis soll das bessere Material eingesetzt werden
- bei gleichem Preis soll die höhere Behaglichkeits-Stufe eingesetzt werden
- bei Gefährdung der Gesundheit soll das bessere Material auch zum höheren Preis eingesetzt werden

Der Autor möchte aus seiner Erfahrung mit der Entwicklung und Anwendung von Reinraum-Verbrauchsmaterial zunächst die Möglichkeiten aufzeigen (siehe Tab. 5) und dann im Rahmen von vier Thesen sinnvolle Grenzen aufzeigen.

### Wege der Kostensenkung

Eine Studie zum Thema Reinigungstücher aus der jüngeren Vergangenheit hat alternative Möglichkeiten der Kostensenkung für den Materialbereich *Reinraum-Reinigungstücher*



**Abb. 4** Eine mobile Spenderbox mit Reinraum-Reinigungstüchern kann leicht zu jedem Ort notwendiger Reinigungs-Arbeiten transportiert werden.

aufgezeigt, die von der ausschließlichen Fokussierung auf den Materialpreis zu einer eher übergeordneten Betrachtung des gesamten Kostenblocks *wischendes Reinigen* hinweisen. Dort hat der Verfasser ausgeführt, daß im Rahmen der *Reinraumversorgung, der arbeitsplatznahen Bereitstellung, der Optimierung der Reinigungszeit, der gesicherten Einzeltuch-Entnahme, der Optimierung des Feuchtegrades und der Entsorgung* von Reinigungstüchern weit größere Kostensenkungspotentiale bestehen, als durch Materialpreissenkungen jemals möglich wären.

Hier bestehen in den Betrieben oft kontroverse Interessenlagen zwischen Fertigungs- und Einkaufsabteilung. Eine akute Einsparung auf der Einkaufsebene - *so gering sie auch sei* - , ist stets transparenter und präsenter als eine Einsparung auf der Fertigungsebene - *so groß sie auch sei*. Das ist so, weil Letztere normalerweise in den Unternehmen - abgesehen von gelegentlichen Verbesserungsvorschlägen der Belegschaft - keine Organisationsform hat und im Rahmen komplizierter technischer Sachverhalte viel schwerer darstellbar ist. Auf diesem Gebiet werden in der europäischen Industrie große Fehler begangen. In der erwähnten Studie weist der Verfasser nach, daß bei Arbeitsplatzkosten von DM 2,32 pro Minute in der deutschen Halbleiterindustrie ein Reinigungsvorgang mit einem Reinraumtuch einschl. Materialkosten durchschnittlich etwa 1,85 DM kostet, wobei die durchschnittlichen Materialkosten für ein Reinigungstuch nur mit DM 0,16 eingesetzt sind.



Bevor man den materialgebundenen Kostenblock mit einer evtl. Erhöhung des Gefährdungsrisikos von DM 0,16 auf z. B. DM 0,10 senkt, wäre es sicher viel sinnvoller den fertigungsgebundenen Kostenblock von:

- Kosten für einen Wischvorgang	DM 1,85
- Materialkosten des Tuchs	DM 0,16
- Arbeitsplatzkosten	DM 1,69

z. B. auf DM 1,30 zu senken, denn dieser Bereich verfügt dazu über ein erheblich größeres Potential. Das wären:

- *Reduzierung von Reinigungstuch-Doppellentnahmen durch geeignete Spender*
- *Reduzierung der Material-Holzzeit durch arbeitsplatznahe Anordnung und Erhöhung der Spenderzahl*
- *Reduzierung der Material-Suchzeit durch arbeitsplatznahe Anordnung und Erhöhung der Anzahl von Spendern*
- *Reduzierung der Befeuchtungszeit durch Einsatz bereits vorgefeuchteter Tücher*
- *Verbesserung der Befeuchtungs-Homogenität durch Einsatz feuchter Reinraum-Tücher oder durch Sprühflaschen mit einem Tröpfchendurchmesser oberhalb der Aerosolgrenze*
- *Erhöhung der Reinigungs-Effektivität durch Einsatz von Tüchern mit hoher Trockenwisch-Fähigkeit*
- *Erhöhung der Reinigungs-Effektivität durch geeignetes Operator-Training*
- *Reduzierung der Entsorgungszeit durch Erhöhung der Anzahl von Entsorgungsstellen*

Manuelles Reinigen gehört in allen Bereichen der Industrie zu den zeitkosten-intensivsten Arbeiten. Das muß mehr beachtet werden. Ersparnismöglichkeiten auf der Fertigungsebene werden zu wenig genutzt, weil damit zunächst vielleicht sogar eine Materialkostenerhöhung verbunden ist. Reinraum-Techniker haben aus Unsicherheit oft nicht den Mut oder der Erfahrung und auch nicht die Zeit, solch eine Maßnahme gegenüber den Einkaufsabteilungen zu vertreten.

### Möglichkeiten der Material-Auswahl

Es soll festgestellt werden, welche marktgängigen Alternativen denn überhaupt vorhanden sind, woraus der Anwender seine Auswahl treffen könnte.

*Standard-Reinraumtücher:* Es kann heute als gesichert gelten, daß sich für die Standard-Aufgaben der Flächenreinigung und spill-control im HL-Reinraum fast überall hydro-verfestigte Spunlace-Vliesstoffe aus Zellstoff-Polyester-Gemisch durchgesetzt haben. Dies geschieht möglicherweise ohne Beeinträchtigung der Fertigungsabbeute auch in Reinräumen der Klasse 10. Zehn Jahre Erfahrung mit diesem Material bei vielen großen Halbleiter-Herstellern unterstützen diese Feststellung.

Ein Versuch mit Tüchern aus 100 % Cellulose, der in einem großen deutschen Halbleiter-Werk über ein Jahr lief, war deswegen nicht erfolgreich, weil es bei den Reinigungsvorgängen wegen zu geringer Festigkeit des Materials Zellstoff zur mechanischen Zerstörung des Reinigungsmittels kam, bevor der Reinigungsvorgang beendet war. Ein preislich motiviertes downgrading dieses Materials findet seine Grenze also möglicherweise nicht im Bereich der Reinheitsanforderungen sondern im Bereich der Handhabung.

Einige Reinraum-Betreiber setzen als Standard-Tücher aus ökologischen Gründen Viskose ein, oder in Japan Cupramonium-Vliesstoffe; andere bevorzugen Spinnvliese aus Polypropylen. Bei etwa 4 Millionen an ein deutsches Halbleiterwerk gelieferter Reinraum-Reinigungstücher aus hydroverfestigter Cellulose wurden keine ausbeuterelevanten Probleme bekannt. Unterschiede bei den Standard-Reinraum-Tüchern werden sich in Zukunft nicht so sehr auf die Tücherkonstruktion selbst sondern eher auf die Bereitstellungs- und Entsorgungsform derselben beziehen. Vorreiter dieser Entwicklung war die Firma Bosch in Reutlingen, welche bereits vor vielen Jahren in den dort vorhandenen Reinräumen als erste Einzelblatt-Spender für Reinraum-Reinigungstücher eingesetzt hat.

Die untere Qualitätsgrenze der Konstruktion liegt z. Zt. bei einem Vliesstoff-Tuch mit ca. 50 % Zellstoffanteil, Rest Polymerfaser.

Auswahl-Kriterien sind:

*Standard-Tücher*

- Anlieferungszustand
  - trocken
  - feucht
- Bereitstellungsform
  - Flachgelege
  - Interfalz im Mobil-Spender
  - Interfalz als Nachfüll-Pac
  - Viertelfalz

*Equipment-Reinigungstücher:* Auf dem Weltmarkt befinden sich etwa 20 verschiedene Reinraum-Gestricke. Diese finden auch bei den Herstellern von Speicherplatten vorzugsweise Einsatz. Sie unterscheiden sich nach den folgenden grundsätzlichen Auswahl-Kriterien:

- Waschzustand
  - gewaschen
  - ungewaschen
- Kantenschnitt:
  - thermisch
  - mechanisch
- Anlieferungsform
  - gelegt
  - geschüttet
- Anlieferungszustand
  - trocken
  - feucht

Ganz wesentliche Unterschiede zwischen den einzelnen Produkten bestehen jedoch bei den Kennwerten Partikelfreisetzung, Reinigungs-Effektivität, Wasseraufnahme pro Zeiteinheit,

Flüssigkeitsrückstand auf der gereinigten Oberfläche und Triboelektrizität.

Auch gibt es heute noch einige Anbieter von ungewaschenen Gestricken und solchen ohne thermofixierte Ränder.

**Mehrweg-Tücher**

Im Rahmen notwendiger Kosten-Einsparungen hat sich zeitweise seit vielen Jahren immer wieder das Thema Mehrweg-Tücher etabliert. Während das Thema für den Bereich der Halbleiter-FABs wegen der Verschiedenartigkeit der Verschmutzungsreste (Kationen, Lackreste etc.), welche sich als Restbestände auch noch in den gewaschenen Tüchern befinden, uninteressant ist, besteht doch bei den Herstellern von Speicherplatten eine gewisse Neigung zum Mehrfach-Produkt.

Dafür spricht die Hoffnung auf eine Ersparnis. Dagegen sprechen die folgenden kostenträchtigen Handhabungen, welche bei dem Kosten-Niveau eines europäischen Reinraum-Betriebs in die Kalkulation einbezogen werden müssen und das Mehrwegtuch teurer werden lassen als das Einwegtuch.

- Einsammeln der Tücher
- Trennen von stark verschmutzten Tüchern
- Verpacken in transportfähige Gebinde
- Transportieren zum Ort der Wäscherei und Waschen
- Trocknen unter Reinraum-Bedingungen
- Verpacken in entnahmefähige Gebinde
- Rücktransport derselben zum Ort des Einsatzes
- Prüfen des Reinheitszustands
- Prüfen der Reinigungs-Effektivität

Reinraumtuch (codiert)	Fibr. Durchmesser im Garn (µm)	Gesamt-Partikel nach Tauchmethode (M-Part/m <sup>2</sup> )	Gesamt-Partikel nach Schalenmethode(k-Part/cm <sup>2</sup> )
CLHDSG	7,6	26,5	1,28
CLHDMG	8,1	21,6	3,12
TEAWPU	11,2	15	8,15
CLMDMG	12,1	11,6	5,95
BSU30U	13,9	2,3	12,01
TEALTU	14,7	3,3	13,58

**Tabelle 2** Partikelfreisetzung verschiedener Reinraum-Reinigungstücher (codiert)

Hinzu kommt, daß endlich der Einsammler in der Lage sein müßte, festzustellen, ob es sich um ein mehrfach gewaschenes Tuch handelt, welches bereits entsorgt werden muß oder um ein neues oder wenig genutztes.

**Reinraum-Papier**

*Reinraum-Papier* (lose gestapelte Blätter): Reinraum-Papiere werden zumeist als Aufzeichnungsmedium für Fertigungsdaten gebraucht. Sie befinden sich bei der Halbleiterfertigung oft als Prozess-Aufzeichnungsdaten in Scheibennähe. Reinraum-Papiere müssen in Druckern und Kopiergeräten bedruckbar

Produktgruppe	A - hochwertigstes bekanntes Material	B - nächst niedrigere Qualitätsstufe	Kommentar zum downgrading
<b>Standard-Tücher</b>	Zellstoff-PES-Vlies im Einzelblatt-Spender als Standard-Tuch	Zellstoff-PES-Vlies als Flachgelege, verpackt in PE-Beutel	Mehrfach-Entnahmen erhöhen die Tücher kosten erheblich oder lange Fummelzeiten erhöhen die Zeitkosten; aber gewisse Ersparnis bei den Materialkosten
		100% Zellstoff-Vlies	Festigkeitsprobleme beim Trockeneinsatz; Feuchteinsatz wegen Zersetzung bei Kanten- und Eckenreibung nicht möglich
			hoher Ionenbestand
<b>Equipment-Tücher</b>	Gestricke, DIW-gewaschen, weich randversiegelt, gelegt, hohe Gardichte	Gestricke, DIW-gewaschen, nicht randversiegelt, gelegt	abgetrennte Maschenköpfe erhöhen die Maschinen-Ausfallzeiten
		Gestricke, DIW-gewaschen, weich randversiegelt, geschüttet	wenn in der Fertigung ausreichende Anzahl von Gestricke-Containern bereitgestellt werden, sind Ersparnisse möglich
		Gestricke, DIW-gewaschen, hart randversiegelt, geschüttet	evtl. Zerstörung empfindlicher Oberflächen durch harte Schmelzkante; Einsparungen möglich durch geschüttete anstelle von gelegter Ware
		Gestricke, DIW-gewaschen, randversiegelt, geringere Gardichte	höherer Feuchtigkeitsrückstand nach feuchtem Wischen ergibt mehr Verschmutzungsrückstand und erheblich längere Wischzeiten. Fettschichten werden nicht voll abgetragen.
		thermofixierter Vliesstoff, gewaschen, weich randversiegelt, gelegt	geringe Einsparungen im Vergleich zu Gestricken möglich, aber geringere Festigkeit des Vliesstoffs beschränkt die Anwendungsmöglichkeiten
<b>Boden-Tücher</b>	Tücher aus thermofixiertem Vliesstoff angepaßt an Bodenwischgerät	Bodenreinigungstücher aus Zellstoff- PES-Vlies	starke Abnutzung bereits nach kurzem Gebrauch; für Lochböden vollkommen ungeeignet
		wiederverwendbare gewebte Bodentücher	evtl. nach kurzem Gebrauch viel Faserabrieb und daher hohe zurückbleibende Partikelmenge
<b>Reinraum-Papier</b>	dekontaminiertes ionen- und partikelarmes Papier hoher Durchreißfestigkeit und leichter Markierfarbe	nicht dekontamin. ionen- und partikelarmes Papier hoher Durchreißfestigkeit und leichter Markierfarbe	preiswerter als A, aber Kante enthält mehr Partikel und Faserfragmente; für Laufprotokolle fraglich; in SMIF-Umgebungen möglich
		nicht dekontaminiertes Papier hoher Durchreißfestigkeit mit höherem Ionen- und Partikelbestand	kaum preiswerter als A; keine wesentlichen Einsparungen; vom Kosten-Nutzen Verhältnis her betrachtet nicht lohnend

**Tabelle 3** Auswirkungen des downgrading der Qualität von Reinraum-Verbrauchsmaterial

sein. Es gibt weltweit fünf bekannte Anbieter von Papieren auf Zellstoff-Basis und von sehr unterschiedlicher Qualität.

Auswahlkriterien sind:

- generelle Kriterien

- Tonerhaftung
- Weiterreißfestigkeit
- Beschreibbarkeit
- Maschinenfähigkeit

- reintechnische Kriterien

- Partikelfreisetzung Kante
- Partikelfreisetzung Fläche
- Ionenfreisetzung
- Triboelektrik

Es ist nicht ratsam, Reinraum-Papier ohne vorherige Qualitätsprüfung der reintechnischen Kriterien einzusetzen. Die Qualitätsunterschiede der Produkte der einzelnen Hersteller sind bei diesem Produkt ganz erheblich.

*Reinraum-Notizbücher:* Generelle Auswahlkriterien sind bei diesen Produkten:

- Kunststoff-Deckel
- Spiralbindung aus Kunststoff
- innen Reinraum-Papier
- Anlieferung in Kunststoff-Folie

### **Downgrading der Verbrauchsmaterial-Qualität**

Wenn sich in Randbereichen technischer Prozesse Fakten nicht unmittelbar erschließen lassen, so bildet die *fachmännisch gestützte Vermutung* (expert based assumption) den höchsten z. Zt. erzielbaren Wahrheitswert. Die Ergebnisse der fachmännisch gestützten Vermutung sind deshalb unter Einbeziehung einer anzunehmenden Sicherheitsreserve zur Vermeidung von Nachteilen für das Prozessgeschehen so lange als verbindliche Wahrheit zu betrachten, bis ein höherer Erkenntnisstand vorliegt. Diese mittelbare Erkenntnis-methode hat sich weltweit bei der Auswahl des Reinraum-Verbrauchsmaterials durchgesetzt. Diese Methode ist jedoch stets nur so gut wie die Fachkompetenz der Personen, von denen sie betrieben wird. Man kann davon ausgehen, daß das zur Zeit weltweit gängige Verbrauchsmaterial die fachmännisch gestützte Vermutung am besten reflektiert.

Denjenigen Technikern, welche der Meinungsgruppe 3 (der Weg der reduzierten Verhältnisse) nahestehen, sollen nachstehend die folgenden Argumente nähergebracht werden. Unterschiede bei den dynamischen Oberflächen-Reinheitsgraden einzelner Prozess-Schritte oder Komponenten berechtigen deswegen nicht zu der Annahme, der gesamte Prozess könne auf den Reinheitsgrad der Komponente mit der geringsten dynamischen Oberflächenreinheit reduziert werden, weil sich im Prozess das Maß aller Unreinheiten addiert und unter der Annahme einer insgesamt reduzierten Prozessreinheit eine Beeinträchtigung des Prozess-Ziels *nicht ausgeschlossen* werden kann. Das heißt in der Praxis: Auch wenn der Overall des Operators nicht der geforderten Oberflächenreinheit entspricht, so dürfen dennoch nicht auch das Reinraum-Papier, die Reinraum-Reinigungstücher und alles sonstige Material auf eine geringere Reinheitsklasse umgestellt werden.

Bei der kritischen Annäherung an die Gefährdungshypothese erlaubt die Vorstellung der Reduzierung der Materialqualität bis zur denkbaren Minimalgrenze ein aufschlußreiches gedankliches Experiment. Reduzierung bis zur Minimalgrenze würde heißen:

- Servietten-Papier anstelle von Polyester-Zellstoff-Gemischen
- Recycling-Papier anstelle von Reinraum-Papier
- Das Weglassen jeglicher Handschuhe in der Fertigung
- Das Weglassen jeglicher Reinraum-Bekleidung
- Das Tragen von Straßenschuhen

Geht man noch einen Schritt weiter, so könnte man sich auch vorstellen:

- Das Arbeiten bei ungefilterter Luft

Unter der Annahme daß alle diese Schritte theoretisch rückwirkungsfrei durchführbar sind, bleibt dennoch die Tatsache: Das *konkrete Wissen* über die Beeinträchtigung der Fertigungsausbeute wäre erst dann zugänglich, wenn das Experiment über einen ausreichend langen Zeitraum stattgefunden hätte.

Es ist kaum vorstellbar, daß sich ein Reinraum-Betreiber findet, der bereit ist, eine Wafer-FAB

mit Erstellungskosten von einer Milliarde DM zwei Jahre lang unter den oben genannten Minimalbedingungen zu betreiben - um dann *möglicherweise* festzustellen, daß er im Jahr 300.000,- DM an Verbrauchsmaterial eingespart hat, aber die Wafer-FAB jetzt 4 Monate lang für ein *general cleaning* geschlossen werden muß.

Als Alternative zu der o. a. angedachten Möglichkeit des Betriebs einer FAB bei minimaler Verbrauchsmaterial-Qualität bietet sich gedanklich auch die Möglichkeit der schrittweisen Qualitätsreduzierung des Verbrauchsmaterials über längere Zeiträume bis zum Auftreten akuter Gefährdungsfälle mit nachfolgender Regulierung in Richtung einer Wiederanhebung des Qualitätsniveaus.

Die Durchführung dieses Vorhabens scheitert an grundsätzlichen, physikalischen Gegebenheiten: Die Verunreinigung eines Reinraums ist prinzipiell ein unendlich fortschreitender additiver Prozess. Eine Behinderung dieses Fortschreitens erfolgt durch Entfernung der Verunreinigungsmenge, also die geplanten periodisch durchgeführten Reinigungsarbeiten. Die Reduzierung derselben kann in geringen Zeitabständen erfolgen, so daß ein Anwachsen derselben bis zum Gefährdungspotential verhindert wird. Ist der Zustand einer akuten Prozessgefährdung durch eine langsam gewachsene partikuläre Verunreinigung erst einmal eingetreten, so ist die Beseitigung dieses Zustands ebenfalls nur in längeren Zeiträumen möglich und das Ergebnis wäre möglicherweise eine fünfmonatige Schließung für ein *general cleaning*. Hier läßt sich eine Grundregel der Reintechnik aufstellen:

		Anwenderprüfung im eigenen Hause		
		möglich	schwer möglich	nicht möglich
<b>technische Merkmale der Verbrauchsmaterialien</b>				
<b>physikalisch-chemische Prüfungen im Speziallabor</b>				
1	Flächenmasse	Δ		
2	Dicke			Δ
3	Bruchlast längs und quer			Δ
4	Bruchdehnung längs und quer			Δ
5	Wasseraufnahme gesamt	Δ		
6	Wasseraufnahme kapillarisch			Δ
7	Halbwertszeit d. Wasseraufnahme			Δ
8	Flüssigkeitsrückstand nach Wischen			Δ
9	Partikelrückstand nach Wischen		Δ	
10	Triboelektrik, Aufladungshöhe			Δ
11	Triboelektrik, Entladungszeit			Δ
12	kationische Bestandteile		Δ	
13	anionische Bestandteile		Δ	
14	Reinigungs-Effektivität für Partikel			Δ
15	Reinigungs-Effektivität für pastöse Schichten			Δ
<b>mögliche visuelle Funktionsprüfungen im Fertigungsumfeld</b>				
18	Lösungsmittel-Verteilung im 2fach gefalteten Tuch bei Spritztränkung	Δ		
19	Flüssigkeitsrückstand auf der Oberfläche nach Wischen	Δ		
20	Aufnahmen definierter Flüssigkeitsmenge im 2-fach gefalteten Zustand (Anzahl der Wischvorgänge)	Δ		
21	Entfernung einer Fettschicht von einem Spiegelglas	Δ		

Tabelle 4

*Die Energie zur Herbeiführung partikulärer Verunreinigung auf Oberflächen ist stets um ein Vielfaches geringer als die Energie für deren Beseitigung.*

### Drei Thesen des Autors

- These 1: *Wenn Einsicht in ein physikalisch-technisches Prozess-Geschehen für längere Zeiträume nicht erwartet werden kann, so ist das Verhalten nach dem geringsten erfahrungsbasierten Gefährdungs-Risiko einzurichten. Das heißt speziell: Solange der Beweis des Gegenteils nicht erbracht werden kann, ist die Vermutung einer Prozessgefährdung durch das Reinraum-Verbrauchsmaterial aufrecht zu erhalten und danach zu handeln.*
- These 2: *Wegen der möglichen Kumulierung negativer Prozesseinflüsse kann die Prozess-Reinheit nicht an der Prozess-Komponente der geringsten Oberflächenreinheit orientiert werden.*
- These 3: *Die Kosten des Reinraum-Verbrauchsmaterials können unter zwei Aspekten betrachtet werden:*
  - *Unter dem Aspekt der Prozessgefährdung (Yieldkosten) und*
  - *unter dem Aspekt der Handhabung (Zeitkosten).*

Die Möglichkeiten einer Prozesskostensenkung sind heute erheblich größer im Bereich reduzierter Zeitkosten als im Bereich reduzierter Materialkosten.

### Die Materialprüfung beim Anwender

Neue oder verbesserte Reinraum-Verbrauchsmaterialien treffen bei den Reinraum-Ingenieuren und den Reinraum-Beauftragten der Anwender auf unterschiedliche Akzeptanz. Der Zeitraum zwischen vorgestellter Innovation und Einführung in die Praxis ist oft unnötig lang. Dies wird vom Anwender stets damit begründet, daß das neue oder verbesserte Produkt zunächst einer *technischen Anwenderprüfung* unterzogen werden muß, bevor es dann entweder zum Einsatz freigegeben wird oder nicht. Aber auch andere Hürden wie geringes Interesse an einem Produktwechsel, vermeintliche Höhe der Prüfkosten und daraus

abgeleitete Forderungen nach überdeutlicher Preissenkung oder auch Durchsetzungsprobleme der Reinraum-Ingenieure bei der Einkaufsabteilung oder der Belegschaft sind Gründe dafür, daß die technische Innovation auf dem Gebiet der Reinraum-Verbrauchsmaterialien nur langsam in die Betriebe Einzug hält.

Dieser Aufsatz beschreibt die realen Sachverhalte im Bereich der Anwenderprüfungen am Beispiel von *Reinraum-Reinigungstüchern* und zeigt Perspektiven für eine schnelle und für die Beteiligten transparente Produktbewertung zum Nutzen aller. Die technischen Merkmale von Reinraum-Reinigungstüchern lassen sich im Hinblick auf ihre Prüfbarkeit beim Anwender in drei Gruppen gliedern (Tab. 4). Das sind:

- beim Anwender leicht prüfbare Merkmale
- beim Anwender schwer prüfbare Merkmale
- beim Anwender nicht prüfbare Merkmale

Ein Halbleiter-Produzent z. B. hat normalerweise für die Prüfung der grundsätzlichen technischen Merkmale eines Reinigungstuchs (*Bruchlast, Bruchdehnung, Flüssigkeitsabsorption gesamt, Absorptionsrate, Flüssigkeitsrückstand nach Wischvorgang*) weder das Instrumentarium noch ausgebildete Prüfer. Für die Merkmale der *Partikel- und Faserfreisetzung* hat er z. B. das Instrumentarium der Partikelzählung, aber nicht das der praxisnahen *Partikelsammlung*. Für den Bereich der Meso-Partikel und Fasern oberhalb 100 µm steht ihm normalerweise überhaupt kein Equipment zur Verfügung, welches irgendwelche reproduzierbaren Ergebnisse liefert. Für die seltenen Prüfungen, welche beim Anwender auf dem Gebiet der Verbrauchsmaterialien anstehen, ist eine Anschaffung von Equipment oder Fachpersonal schon von den Kosten her nicht vertretbar. Er kann also die meisten Produkt-Prüfungen im eigenen Hause physikalisch oder chemisch nicht zuverlässig durchführen und ist somit vor die Wahl gestellt, welche sich aus dem Inhalt der Tab. 5 ergibt. Diese Tabelle zeigt, welche Prüfungen normalerweise beim Anwender ohne weiteres durchführbar sind und welche nicht.

Aber selbst bei den *einfachen Funktionsprüfungen* im Fertigungsumfeld ergeben sich erfahrungsgemäß große Probleme mit einer sinnvollen, neutralen - und somit brauchbaren

Möglichkeiten	positive	negativ
die technischen Angaben der Produkthersteller zu akzeptieren	wenig Arbeit	Unsicherheit betreffend den Wahrheitsgehalt der Angaben
vergleichende Prüfungen bei einem wiss. Institut durchführen zu lassen	neutrale vergleichende Ergebnisse	teuer und nicht wenig Vorarbeit, um die Aufgabe für das Institut zu definieren
Prüfungen im Labor eines Herstellers selbst durchzuführen - an mitgebrachten und vorher codierten Mustern	preiswert, geschultes Personal, Routineprüfmethoden	wenn die Prüflinge vorher nicht gut codiert sind, erfährt der Hersteller (Laboreigner) die Prüfergebnisse der Mitbewerber-Produkte

**Tabelle 5**

Produkt-Bewertung. Das Prüfniveau beim Anwender ist im Bereich Reinraum-Verbrauchsmaterial normalerweise dem technischen Stand des Produkts nicht angemessen. Einige Gründe dafür werden nachstehend genannt:

Anwender-Prüfungen der Gebrauchstüchtigkeit des Reinraum-Verbrauchsmaterials erfolgen nicht aufgrund von Messungen sondern aufgrund von menschlichen Beobachtungen, Erfahrungen und Gefühlen. Will man auf dieser Basis zu einem einigermaßen sinnvollen Ergebnis gelangen, so wären nach Meinung des Anthropologischen Instituts der Universität Kiel, Dr. Helbing, etwa 160 Prüfungen durch verschiedene Personen nötig, um innerhalb normaler Toleranzgrenzen aussagefähig zu sein.

Textile Gebilde sind ihrer Natur nach stofflich nicht homogen. So werden bei vielen textilen Prüfungen Variationskoeffizienten um die 30 % als normal angesehen. Das bedeutet, man muß für jedes Merkmal mindestens 5 Einzelprüfungen machen, um beim Prüfergebnis innerhalb einer Toleranz von etwa 20 % zu liegen. Die erforderliche Anzahl von Einzelprüfungen würde sich also noch einmal erhöhen. Dafür haben die meisten Betriebspraktiker nicht die Zeit und viele Reinraumbeauftragte naturgemäß auch nicht die textilprüftechnische Erfahrung.

Messen heißt *vergleichen mit einer Bezugsgröße*. Bei praktischen *Anwenderprüfungen* ist die Bezugsgröße eine Kombination aus Erfahrung und Wunsch. Das Produkt ist "gut", wenn es den bisherigen guten Erfahrungen des Prüfenden mit solchen oder ähnlichen Produkten entspricht. Hat der Prüfende keine oder wenig Erfahrung mit solchen Produkten, so ersetzen Wunsch und Vorstellung oftmals die Erfahrung.

"Meßgerät" sind bei solchen Prüfungen die menschlichen Sinne. Die meisten vorrangigen technischen Kennwerte eines Reinraumtuchs sind mit Hilfe der menschlichen Sinne jedoch nicht wahrnehmbar.

Die Ergebnisse von Prüfungen im Fertigungsumfeld lassen einen numerischen Ergebnisausdruck nicht ohne weiteres zu. Es werden daher in der Praxis oftmals *Punkteskalen* dazu benutzt, um eine Bewertung nach Beobachtung, Erfahrung und Gefühl in eine zumeist linear gegliederte Skala zu übertragen. Diese Darstellungsform soll den Aussagewert von meßtechnisch nicht erfaßten oder erfaßbaren Größen auf die Ebene einer digitalen und also eine mit vermeintlich höherem Wahrheitsgehalt versehenen Information heben. Aber auch die Zuordnung der erfaßten Phänomene zu den verschiedenen Skalengruppen erfolgt auf *subjektiver* Basis.

Der Autor hat es erlebt, daß die Anwender-Prüfungen eines bestimmten Reinraum-Verbrauchsmaterials in dem einen Halbleiterwerk der gleichen Muttergesellschaft ergab, daß es sich dabei um ein vorbildliches Produkt mit Referenzcharakter handelt; in dem anderen Werk wurde das gleiche Produkt als das schlechteste des Marktes bewertet und mit einer Einkaufssperre belegt. Dies zeigt die immer noch vorhandene Bewertungsunsicherheit im Bereich Reinraum-Verbrauchsmaterial.

### Fehlerhafte Prüfmethoden

Insbesondere im Bereich der *Prüfung der Partikel- und Faserfreisetzung* von Reinraumtüchern besteht eine große Unsicherheit bei den Qualitätsprüfern. Diese hat ihre Ursache in der erstaunlich fehlerhaften Betrachtung des wischenden Reinigungs-Vorgangs durch ein amerikanisches privates Institut (Institute of

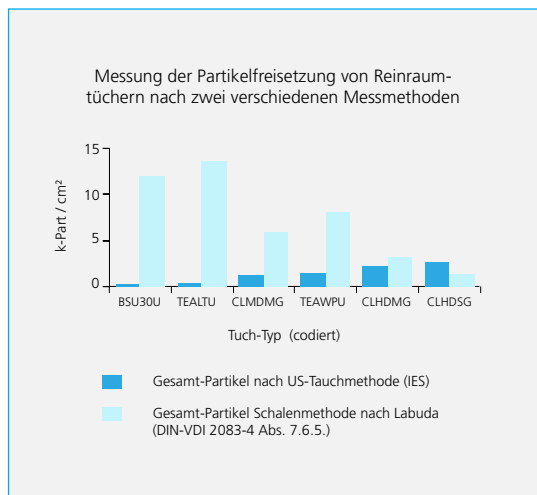
Environmental Science), welches Empfehlungen für die Prüfung von Reinraumtüchern herausgibt und von Einzelfirmen der US-Industrie gesponsert wird. Der Gedanke, welcher der dort veröffentlichten Prüfung IES (IES-RP-CC-004-87T und RP-CC-004.2) zugrunde liegt, ist:

Wenn man ein Reinraumtuch in destilliertem Wasser badet und danach die Anzahl der im Wasser befindlichen Partikel zählt, so erhält man ein Maß für die „Güte“ dieses Reinigungstuchs.

Dieser Gedanke ist physikalisch betrachtet vollkommen abwegig, weil sich bei einem Wischvorgang vor allem zwei Oberflächen reibend berühren: *die Oberfläche des Reinigungstuchs und die zu reinigende Oberfläche*. Dabei kommt es zu einem Materialabrieb.

Beim Tauchen eines Reinigungstuchs kommt es zu keinem Materialabrieb, sondern zu einer Ausschwemmung von Partikeln in die umgebende Flüssigkeit hinein. Das ist ein vollkommen anderes physikalisches Geschehen. Die Ergebnisse sind denn auch sehr unterschiedlich, ja konträr zueinander (Abb. 5).

Laban, Arrelano et al. hatten 1990 festgestellt, daß nach einem trockenen Wischvorgang auf Oberflächen geringster Rauigkeit (Wafer-Oberfläche) alle Reinigungstücher, unabhängig



**Abb. 5** Ergebnisse der Messungen des Parameters Partikelfreisetzung von einigen bekannten Reinraum-Reinigungstüchern nach zwei verschiedenen Meßmethoden

von ihrer Konstruktion und ihrem Auswasch-Zustand die gleiche Partikelmenge auf der Oberfläche zurücklassen (Lit).

Der Autor hatte 1993 den Laban-Versuch dahingehend erweitert, daß er viele Wischvorgänge auf verschiedenen rauhen Oberflächen durchführte und die freigesetzten Partikel in Relation zur Festigkeit des textilen Materials setzte, welches zur Herstellung des Reinigungstuchs verwendet wurde. Aufgrund dieser Versuche wurde die Abhängigkeit der Partikelfreisetzung vom Tuch-Material und der Oberflächen-Rauigkeit deutlich festgestellt (Abb. 6).

Obwohl Labans und Labudas Arbeiten den Amerikanern bekannt waren, mochten diese nicht von ihrer obskuren IES-Immersionemethode lassen. Das IES (Institute for Environmental Science) hat jedenfalls bis zum Jahre 1999 nicht reagiert.

Nach unseren Erfahrungen zeigen sich die Mechanismen des wischenden Reinigens wie folgt:

Beim *trockenen Wischvorgang* kommt es zunächst zu einer Interaktion der beteiligten Oberflächen:

1. Die aktive Oberfläche (Reinigungstuch) berührt die Partikel, welche sich auf der passiven Oberfläche befinden. Ein Teil derselben werden mittels der Van-der-Waals-Kräfte an die in großer Zahl vorhandenen Fasern des Tuchs gebunden. Ein weiterer Teil wird mechanisch gebunden.
2. Gleichzeitig werden durch die beim Wischvorgang entstehende Reibungselektrizität elektrische Felder aufgebaut, welche in ihrer Stärke abhängig sind vom Faser-Material und der chemischen Ausrüstung, welche sich zur Hydrophilierung normalerweise auf allen thermoplastischen Reinigungstüchern befindet.
3. Je nach Materialfestigkeit, Beschaffenheit der chemischen Ausrüstung der Reinigungstuch-Fasern und Rauigkeit der passiven Oberfläche kommt es zu einem *Teilchenabrieb*. Zunächst werden Teilchen der chemischen Faser-Ausrüstung abgerieben und bei zunehmender Reibung Teile der Faser selbst.



- Ein großer Teil der abgeriebenen Partikel und Faserfragmente wird jedoch im gleichen Wischvorgang wieder an die Tuch-Oberfläche gebunden. Dieser vom Autor beschriebene Wiedereinbindungseffekt (recapturing) bestimmt wesentlich die Menge der auf der passiven Oberfläche zurückgelassenen Partikel.

Beim feuchten Wischvorgang

- treten die van der Waals-Kräfte nicht in Erscheinung.
- Es werden auch keine elektrischen Felder aufgebaut.
- Bei nur teilweise gefeuchteten Tüchern entstehen jedoch elektrische Felder in Abhängigkeit von der Ausdehnung der Trockenfläche (Lit.)
- Überfeuchtete Tücher haben eine geringere Reinigungs-Effektivität als trockene.
- Feuchte Tücher zeigen auf rauhen Oberflächen einen größeren Materialabrieb als trockene.

Unterschwellige Einflüsse auf ein Prüfergebnis

Äußert eine Prüfperson zu dem geprüften Produkt ihre Meinung gegenüber einer zweiten, so ist die Meinungsbildung der 2. Prüfperson zu dem Produkt bis zu irgendeinem Grade abhängig von der Meinung der ersten. Das kann sich in Zustimmung oder auch in Ablehnung und günstigstenfalls in Neutralität äußern - je nach persönlichem Verhältnis und Abhängigkeitsgrad zwischen Person 1 und 2. Die innere Präsenz dieser Beziehung zueinander oder gegeneinander kann die innere Präsenz der Prüfaufgabe völlig überdecken.

Reinigungstücher werden vom Menschen allgemein, solange beim Arbeiten nicht irgendwelche Inhaltsstoffe sichtbar freigesetzt werden, als "gut" empfunden, je weicher, je "natürlicher" sie sich anfühlen. Diese Komponente geht erfahrungsgemäß in die Beurteilung eines Reinigungstuchs stärker ein als alle anderen Erwägungen. Es ist jedoch eine Tatsache, daß insbesondere die weichen Materialien den größten nicht sichtbaren Partikel- und Faserabrieb aufweisen.

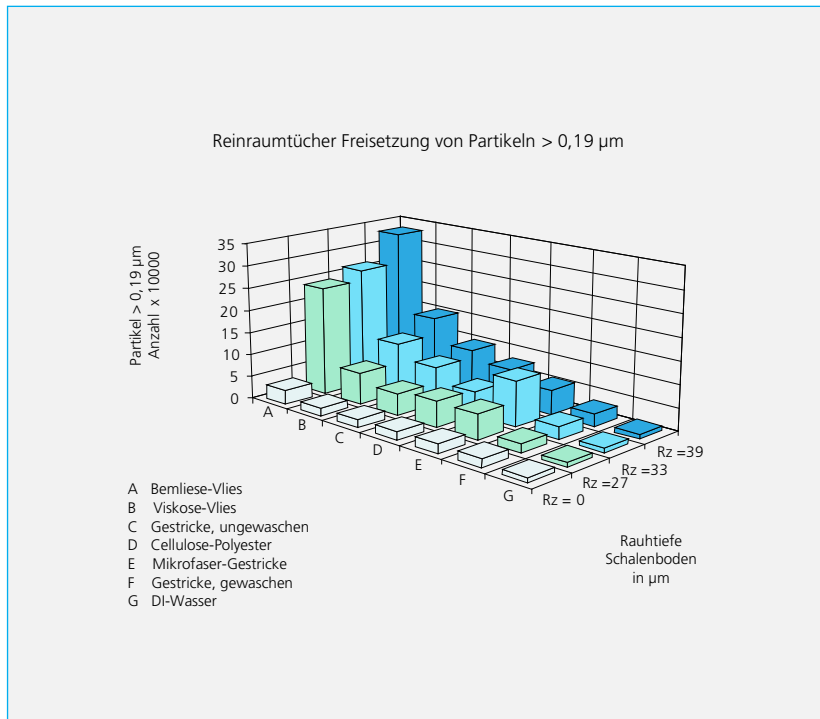


Abb. 6 Freisetzung von Partikeln >0,19 µm in Abhängigkeit von dem verwendeten textilen Material und der Rauigkeit der gewischten Oberfläche

Ist der Hersteller eines Produktes dem/ den Prüfern bekannt, so entscheidet ein positives Herstellerimage wesentlich über die dem Produkt vom Prüfer zugeordnete Qualität. Das Herstellerimage ist jedoch abhängig von der Erfüllung der Erwartungshaltung des Anwenders. Diese bezieht sich oft nicht ausschließlich auf die Produktqualität und deren Wirksamkeit im praktischen Einsatz. Technisch Andersdenkende - auch wenn sie nachprüfbar weit näher an der Wahrheit liegen - werden gelegentlich mit einem negativen Image bedacht. Ja-Sager haben oft ein positives Hersteller-Image auch bei geringer Produkt-Effektivität.

Man kann von einem Anwender nicht erwarten, daß er ständig mit Prüfungen neuer Verbrauchsmaterialien oder bekannter Produkte neu am Markt erscheinender Hersteller beschäftigt ist, denn Prüfen kostet Zeit und bindet Personal an diese Aufgabe, welches woanders vielleicht produktiver eingesetzt ist. Andererseits wäre es töricht, die Entwicklungen am Markt nicht mehr zu beobachten und sich aus dem Innovationsgeschehen des Marktes auszuklinken - nur damit man nichts mehr prüfen muß. Es gibt eine gute Lösung um festzustellen, ob ein neues Produkt eines Herstellers geprüft werden sollte.

Das ist ein Fragebogen mit dem der Hersteller aufgefordert wird, bei Angabe technischer Daten die Innovation gegenüber dem Stand der Technik genau zu beschreiben und den Zusatznutzen seines Produkts auszuweisen. Wenn dieser Fragebogen auf eine Innovation hinweist, die vielversprechend erscheint, dann sollte man unverzüglich prüfen.

Die meisten Herstellerangebote beim Anwender enthalten jedoch nicht die Bitte um Prüfung aus Innovationsgründen sondern um sich generell bekannt zu machen oder wegen eines vermeintlich günstigeren Preisangebotes. Hier muß der Reinraumingenieur sehr gut trennen können, bei welchem Produkt eine Prüfung sinnvoll ist.

Im Bereich des Reinraum-Verbrauchsmaterials gibt es weltweit nur zwei Hersteller, welche eine intensive Forschung betreiben. Drei weitere Hersteller betreiben keine systematische Forschung, sind jedoch in der Lage, ein Großteil der technischen Merkmale ihrer Produkte meßtechnisch zu erfassen. Von den angeführten fünf Herstellern befindet sich nur einer in Europa und der Rest in den USA. Außerdem gibt es weltweit eine Vielzahl von Unternehmen, welche ihre Produkte als Reinraum-Verbrauchsmaterial deklarieren, aber weder eine reintechnische Qualitätskontrolle noch ein faserstofftechnisches Prüflabor haben. Diese Hersteller scheiden bei seriösen Anwendern ohnehin für den Einsatz ihrer Produkte aus.

## Zusammenfassung I

(betreffend die Materialauswahl)

- Das bestehende Reinraum-Verbrauchsmaterial hat sich reintechnisch und preislich über einen langen Zeitraum etabliert. Eine deutliche Reduzierung der Abgabepreise ist von den etablierten Herstellern zumeist nur bei entsprechendem downgrading der technischen Ansprüche an das Material zu erwarten.
- Von nicht etablierten Herstellern ohne nennenswerten F & E-Aufwand wären gelegentlich Preisreduzierungen zu erwarten, wobei solchen Unternehmen naturgemäß die Inventionskapazität, das know-how und oft auch das Kapital fehlt, um in die für den Anwender interessantere Kostenreduzierung auf dem Handhabungssektor zu investieren.
- Das sind Verbesserung der Trockenwischfähigkeit, homogen gefeuchtete Tücher in schnell zugänglichen Behältern, höhere dynamische Oberflächenreinheit bei Equipment-Tüchern, Siebreinigungstücher mit erheblich verringerten Siebreinigungszeiten im Bereich Schaltdruck und Hybridtechnik.
- Es besteht also eine Vielzahl von Möglichkeiten der Kostenreduzierung beim Verbrauchsmaterial, welche auf Veränderungen von dessen *Konstruktion, Anlieferungszustand und Bereitstellung im Fertigungsumfeld* beruhen. In diesem Bereich liegen knapp 90 % der Möglichkeiten für eine Reduzierung der Kosten.
- Jeder, der ein Auto kauft, möchte z. B. seine Höchstgeschwindigkeit, den Benzinverbrauch, die Beschleunigung etc. kennen.
- Es ist bemerkenswert, daß in hunderten von Diskussionen mit Reinraum-Anwendern von Reinigungstüchern stets nur nach dem Preis und nicht nach der Ausführung der Tücher gefragt wurde. Und dies, obwohl ein großer Anwender über eine Million Reinraum-Tücher pro Jahr benötigt. Das heißt, eine Million Mal pro Jahr setzt ein Mitarbeiter wertvolle Arbeitszeit für Reinigungsvorgänge ein.

## Zusammenfassung II

(betreffend die Anwenderprüfung)

- Anwenderprüfungen von Reinraum-Verbrauchsmaterialien ohne die Basis einer meßtechnisch orientierten Spezifikation und ohne statistisch ausreichende Anzahl von Prüflingen sind wertlos, ja sogar gefährlich aufgrund der falschen Schlüsse, die daraus gezogen werden können.
- Die Prüfperson beim Anwender sollte nie wissen, wer der Hersteller des geprüften Produktes ist (codierte Prüflinge).
- Ein fachlich renommierter Hersteller weiß über die einzelnen Aspekte der Qualität seiner Produkte normalerweise mehr als ein Prüfer beim Anwender. Es ist daher sinnvoll und zeitsparend, den Hersteller des Produktes vor Prüfbeginn in eine Produkt-Prüfung einzubinden.
- Wird die Bedingung der *codierten Prüflinge* strikt eingehalten, so ist gegen eine Prüfung bei einem der Hersteller nichts einzuwenden. Sie ist wegen des dort vorhandenen Prüf-Instrumentariums weitaus sinnvoller als die Durchführung eigener Anwenderprüfungen ohne geeignetes Instrumentarium und ohne geschultes Personal.
- Die Anmerkungen der Fertigungs-Mitarbeiter des Anwenders, welche die zu prüfenden Produkte täglich einsetzen, enthalten oft wertvolle Hinweise auf *praxisorientierte* Merkmale derselben. Mitarbeiter des Anwenders sollen jedoch nicht als *Prüfer* eingesetzt werden, weil sie auf *diesem Gebiet* normalerweise keine Fachleute sind.
- Die Entscheidung darüber, welches Verbrauchsmaterial in einer Reinraum-Fertigung eingesetzt wird, sollte allein der fachlich gebildete *Reinraum-Ingenieur* treffen. Bei solchen Produkten, bei denen Behaglichkeitskriterien die Auswahl mitbestimmen, soll auch der Reinraum-Beauftragte mitentscheiden. Eine Einbindung von allen möglichen anderen Meinungsträgern innerhalb des Unternehmens zur Absicherung der Entscheidung sollte vermieden werden.
- Die Prüfergebnisse sollen *unbedingt* mit den Herstellerfirmen diskutiert werden. Geheimhaltung von Prüfergebnissen gegenüber dem Hersteller ist ein Relikt aus der vergangener Zeit. Es ist im Interesse des prüfenden Anwenders, eine kritische Betrachtung seiner Prüfmodalitäten und Ergebnisse zu erhalten. Prüfer sollen daher zum kooperativen Handeln verpflichtet werden.

### Literatur

1. Evaluating Wiping Materials Used in Cleanrooms and Other Controlled Environments, IES-RP-CC004.2, Institute of Environmental Sciences, 1992
2. Laban, Frédéric et al. (Motorola) - Clean room wiper efficiency comparison tests, Swiss Contamination Control 3(1990) Nr. 4a, ICCCS 90, Zürich, 1990

