



Abb. 1

Win Labuda

Die kostenbestimmenden Größen einer Reinigungsprozedur

Clear & Clean - Forschungslabor

Ein großer Teil der verantwortlichen Reinraum-Ingenieure beteuert bei entsprechender Befragung, mit dem Produkt Reinigungstücher „keine Probleme“ zu haben. Das liegt oft daran, daß in einem Fertigungsbetrieb vor allem als Problem empfunden wird, wenn der Fertigungsfluß gestört ist. Wenn jedoch für die einzelne Reinigungsprozedur unnötig viele Reinigungstücher eingesetzt werden oder unnötig viel Zeit verbraucht wird, so bleibt diese Tatsache zumeist unerkannt und erhöht schleichend die Fertigungskosten. Dass es hierbei um viel Geld gehen kann, zeigt der nachstehende Aufsatz.

Weltweit werden jährlich in den unterschiedlichen Fertigungsstätten der Reinraum-gebundenen Industrien mehr als 200 Millionen Reinigungstücher eingesetzt. Mittlerweile existieren dafür weltweit bereits mehr als 150 Anbieter. Über 90 % des Weltmarktes teilen sich jedoch nur eine Handvoll professioneller Hersteller. Aus den folgenden mit dem Elektronenmikroskop erstellten Aufnahmen (Tafel 1-4) lässt sich erkennen, wie unterschiedlich die Oberflächen der am Markt befindlichen Tücher beschaffen sind. Daraus ergibt sich die unterschiedliche Reinigungs-Wirkung (Reinigungs-Effektivität) der verschiedenen Tücher.

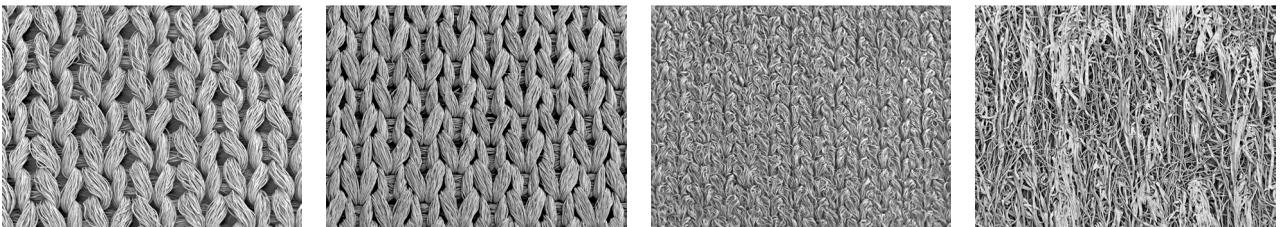
Erwartungen an ein Reinraum-Tuch

Von einem Reinigungstuch für den Produktionseinsatz erwarten wir, daß man damit Verunreinigungen von Oberflächen entfernen kann, und zwar

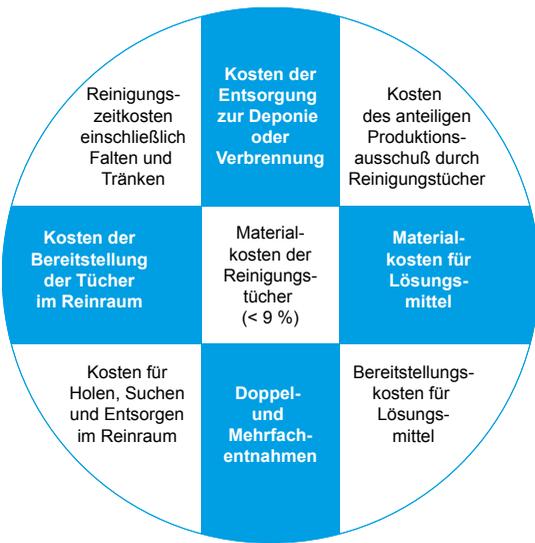
- so viel wie möglich
- so schnell wie möglich

An das so viel wie möglich hat man schon immer gedacht, aber das so schnell wie möglich ist bisher nicht genügend beachtet worden. Dazu ist die folgende Überlegung nützlich:

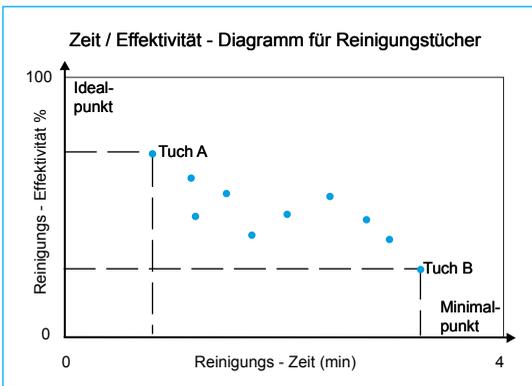
Manche Großbetriebe der HiTech-Industrien haben einen jährlichen Bedarf von 10 Millionen Reinigungstüchern. Jedes dieser Tücher muss im Fertigungsumfeld bereitgestellt, aus der Verpackung entnommen, gefaltet, mit einem Lösungsmittel getränkt, es muss angewendet und entsorgt werden. Ob das mit dem einen Tuch in 1 Minute möglich ist oder mit dem anderen in 2 Minuten bedeutet ein Mehr an Arbeitszeit von 10 Millionen Minuten entsprechend 83000 Arbeitsstunden mit Arbeitsplatzkosten bei 120 Euro pro Stunde. Das ergibt pro



Tafel 1 - 4 Oberflächen diverser Reinigungstücher für den Reinraum-Einsatz

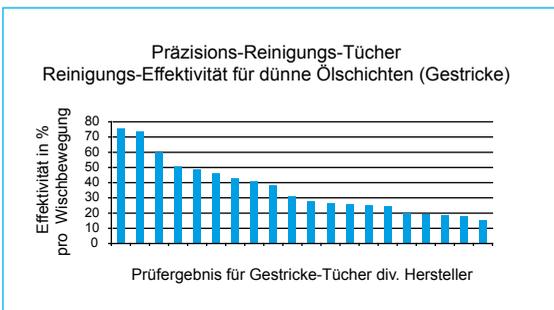


Tafel 5 Darstellung der Kostenblöcke, welche das Wischende Reinigen in einer Reinraum-Fertigung betreffen.



Tafel 6 Darstellung der Größen Reinigungs-Effektivität und Reinigungszeit

Materialpreis gegen Reinigungszeit



Tafel 7 20 Präzisionsreinigungstücher div. Hersteller wurden geprüft

Jahr eine Kostendifferenz von 10 Millionen Euro. Hier geht es also um viel Geld, denn Reinigungstücher sind extrem handhabungs-intensive Produkte. (Mehr Informationen dazu in Tafel 5).

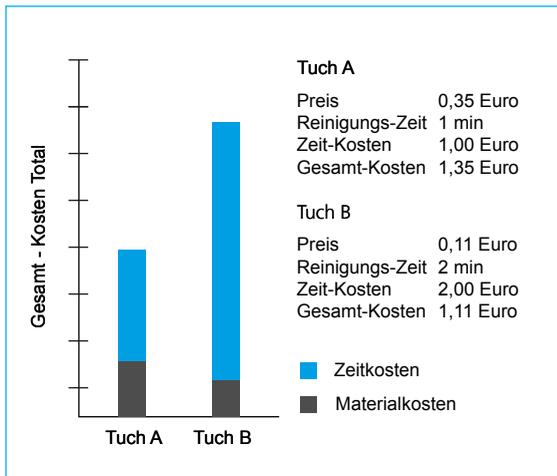
Um die Kombination dieser Eigenschaften grafisch darzustellen, haben wir das u. a. (nicht reale) Diagramm (Tafel 6) geschaffen. Ein ideales Tuch würde es erlauben, 100 % einer Standard-Verunreinigung innerhalb von wenigen Sekunden zu entfernen. Mit dem realen Tuch A lassen sich während einer Reinigungs-Prozedur 75 % einer Standard-Verunreinigung (dünne Fettschicht) innerhalb von 1,0 Minute entfernen. Mit dem Tuch B lassen sich jedoch innerhalb von 3,5 Minuten nur 20 % der gleichen Verunreinigung entfernen. Das sind etwa die technischen Grenzwerte, welche wir von den z. Zt. weltweit angebotenen Tüchern erwarten dürfen.

Die als Punkte angedeuteten Zwischenwerte sind angenommene Ergebnisse für die Tücher unterschiedlicher Hersteller. Die Werte sind deshalb angenommen, weil wir bisher nicht in der Lage sind, die Reinigungszeit reproduzierbar zu messen. An einem Prüfgerät für derartige Prüfungen wird z. Zt. im Clear & Clean - Forschungslabor gearbeitet. Mit der Fertigstellung ist im Jahre 2005 zu rechnen.

Es ist jedoch bereits heute möglich, die Reinigungs-Effektivität von Reinigungstüchern mit Hilfe eines Linear-Wischsimulators nach der Methode *Reinigungs-Effektivität-Prüfung nach Labuda* zu messen. Dadurch ergeben sich bereits Informationen erster Näherung über die Einsatzfähigkeit von Präzisions-Reinigungstüchern für die Anwendung bei den Techniken des Reinen Arbeitens. In Tafel 7 sind die Prüfergebnisse von 20 Reinigungstüchern unterschiedlicher in- und ausländischer Hersteller dargestellt. Hier wird deutlich, wie unterschiedlich die Ergebnisse ausfallen. Die Prüfmethode wird weiter unten im Abschnitt *Prüfmethoden* erläutert.

Materialpreis und Reinigungszeit sind die wesentlichen kostenbestimmenden Größen der wischenden Reinigungsprozedur. Bei einem Tuch mit dem man sehr gute Reinigungs-Zeiten erreicht, kann der Materialpreis relativ hoch sein, weil der Anwender durch den Einsatz solcher Tücher dadurch einen überproportionalen, geldwerten Nutzen hat (siehe Tafel 8).

Während eine bestimmte Reinigungsaufgabe mit einem bestimmten Tuch z. B. 40 Sekunden erfordert, kann sie bei einem anderen Tuch 2 ½ Minuten in Anspruch nehmen. Mit einem weiteren Tuch kann sie überhaupt nur dann durchführbar sein, wenn man für die gleiche Aufgabe drei Tücher benutzt. Diese Fakten verändern in hohem Maße das Reinigungs-Ergebnis und vor allem die Reinigungs-Zeitkosten. Gerade beim wischenden Reinigen zeigt sich eine Kosten-Problematik besonderer Art: Betrachtet man die gesamten



Tafel 8 In diesem Diagramm zeigen sich bei dem Tuch B die deutlich erhöhten Gesamtkosten für die Reinigungsprozedur durch den Einsatz eines preisreduzierten Reinigungstuchs mit geringerer Reinigungs-Effektivität bzw. Reinigungszeit. Die Materialkosten-Einsparung von 69 % resultiert in einer Gesamtkosten-Erhöhung für die Reinigungsprozedur von 56 %.

Das Beharrungsvermögen in einer Halbleiterfertigung

Kosten einer Reinigungsprozedur von der Bereitstellung der Reinigungstücher in der Fertigung bis zur Entsorgung nach Gebrauch, so zeigt sich, daß die Materialkosten für das Reinigungstuch nicht einmal 10 % der Gesamtkosten einer Reinigungsprozedur betragen [Lit 1]. Über 85 % der Kosten betreffen den Zeitaufwand des Reinigens. Aus diesem Grunde muß der Fertigungsingenieur bestrebt sein, hocheffiziente Reinigungstücher einzusetzen, durch deren Einsatz sich die hohen Reinigungs-Zeitkosten reduzieren lassen. Der Materialpreis der Tücher kann also vergleichsweise hoch sein, solange die Gesamtkosten der Reinigungsprozedur durch den Einsatz des betreffenden Tuches vergleichsweise gering bleiben.

Der Einkäufer steht dieser Darstellung oftmals kritisch gegenüber weil er seiner Ausbildung und Natur nach *Materialkosten-orientiert* und nicht *Prozesskosten-orientiert* denkt. Diese Denkweise hat ein bayerischer Einkaufsleiter einmal sehr deutlich formuliert:

„Ein Reinigungstuch ist ein Reinigungstuch und dass die Fetzen, wo Sie uns anbieten besser sein als Klopapier, das muss man erst einmal beweisen.“

Damit hatte er mit seinen einfachen Worten auf einen Mangel hingewiesen, der heute noch weitgehend besteht: Den Mangel an Prüfgeräten für Reinigungstücher und allgemein akzeptierten Prüfmethoden.

Oftmals entstehen in Großbetrieben Spannungen zwischen Einkaufs- und Fertigungsabteilungen dadurch, dass die Fertigung dem Einkauf nicht flexibel genug erscheint und auf den Druck kostengünstigere Produkte einzusetzen nur zögerlich reagiert. Betreffend das Produkt *Präzisions-Reinigungstücher* gibt es dafür einige gute Gründe:

In einer Halbleiterfertigung etwa gibt es über 100 unterschiedliche Reinigungsaufgaben, für deren Durchführung Präzisions-Reinigungstücher eingesetzt werden. Diese reichen von der Grob- und Feinreinigung der Plasma-Ätzanlagen über die Reinigung von Fußböden mit Lochstruktur, die Präzisionsreinigung optischer Gläser in analytischen Geräten bis zu den kritischen Reinigungsaufgaben im Maskenzentrum.

Trotz der Vielfalt der anfallenden Reinigungsaufgaben muß das Spektrum der angebotenen Reinigungstücher im Fertigungsbetrieb auf wenige Typen begrenzt bleiben. Sonst wäre bei der Vielzahl der Mitarbeiter keine übersichtliche Zuordnung von *Reinigungstuch zu Reinigungsaufgabe* gewährleistet. Aus diesem Grunde ist das in einer Fertigung benutzte Tücherspektrum technisch gesehen sehr sorgfältig ausgewählt. Nur so ist die Vielzahl der bestehenden Reinigungsaufgaben mit der begrenzten Anzahl von 2-3 unterschiedlichen Reinigungstüchern überhaupt durchführbar.

Die Problematik der Produktbewertung

Industrielle Produkte werden normalerweise nach einem zuverlässigen Bewertungsschema bewertet, welches in einer Spezifikation zusammengefaßt ist. Das sind in Deutschland z. B. die DIN-Normen. Für Reinigungstücher bestehen jedoch bisher keine DIN-Normen. Daher war es auch nicht möglich, Reinraum-Tücher nach ihrer reinraumtechnischen Eignung zu klassifizieren. Diese Situation machen sich insbesondere Händler und zweitklassige Hersteller zunutze. Sie bezeichnen jedes wie auch immer geartete Tuch als Reinraum-Tuch, solange es nur weiß oder blau ist. Der Anwender ist mit der Auswahl oftmals überfordert und spezifiziert in Ermangelung von geeigneten Spezial-Prüfgeräten irgendein Tuch - zumeist nach Kosten-Gesichtspunkten oder im Rahmen von Versorgungs-Kontrakten. Die Kontrakt-Versorger haben jedoch nur dann ein Interesse hocheffiziente Reinigungstücher an den Abnehmer zu liefern, wenn der Kontrakt auf der Basis einer offengelegten Kalkulation funktioniert. Ist das nicht der Fall, so versucht der Kontrakt-Versorger naturgemäß alles, um möglichst billige d. h. zumeist nicht so effiziente Reinigungstücher einzukaufen und diese mit einem guten Gewinn an den Anwender weiterzuverkaufen. Die Problematik der Undurchsichtigkeit wird auf technischer Seite dadurch verschärft, dass der Mitarbeiter im Betrieb die Wirksamkeit eines Reinigungstuches nur in begrenztem Maße beurteilen kann. Erstens hat er normalerweise keine Vergleichsprodukte zur Hand und zweitens kann er zumeist die Verunreinigung, welche er mit dem Tuch entfernt, nicht sehen. Partikel im Bereich von 0,1 ... 10 µm Größe sind nämlich für das menschliche Auge unsichtbar.

Gesamtkosten-Errechnung für Reinigungs-Prozeduren mit Hilfe von Reinigungstüchern

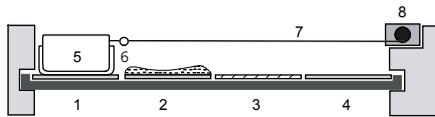
$$\text{Gesamtkosten} = \left[\frac{\text{Arbeitsplatz - Kosten / h}}{60} \times \text{Reinigungs-Zeit in min} \right] + \text{Materialkosten pro Tuch}$$

Tafel 9 Reinigungs-Gesamtkosten für wischende Reinigungsprozeduren

Das Clear & Clean-Forschungslabor hat die unbefriedigende Situation frühzeitig erkannt und in den 80er Jahren damit begonnen, das wischende Reinigen zu erforschen und damit einhergehend sinnvolle Prüfmethode vorzustellen. Es ist nicht leicht, diese Prüfmethode durchzusetzen, weil das amerikanische IEST-Institut Prüfmethode herausgegeben hatte, welche einen physikalischen Irrtum enthalten. Erst jetzt hat die Wissenschaft den Wahrheitsgehalt der Clear & Clean-Prüfmethode bestätigt und die amerikanischen Prüfmethode als ungeeignet verworfen. Hierfür gebührt dem DTNW – Deutsches Textilforschungszentrum Nord-West in Krefeld Dank und Anerkennung [Lit 2]. Mit den Clear & Clean-Prüfmethode war es möglich geworden, die Reinigungs-Effektivität eines jeden Präzisions-Reinigungstuchs für diverse Verunreiniger zu messen. Jetzt konnten Tücher in ihrer Reinigungswirkung miteinander verglichen werden und der Reinraum-Ingenieur konnte die effizientesten Tücher auswählen.

Die Prüfmethode

Im Laufe der Jahre wurden, die Mechanismen des wischenden Reinigens im Clear & Clean-Forschungslabor mehr und mehr erforscht. Daraus resultierten im wesentlichen folgende Prüfmethode und Instrumente, welche heute zunehmend von der Wissenschaft anerkannt werden [Lit 2]. Die einzelnen Prüfungen haben die folgenden Bezeichnungen:



1. Startposition
2. Trägerplatte mit definierter Verunreinigung
3. Trägerplatte hoher Reinheit
4. Endposition
5. Standardgewicht
6. aufgespannter Reinigungstuch-Prüfling
7. Zugseil
8. Aufwickelmotor

Tafel 10 Reinigungs-Effektivität Prüfung nach Labuda

1. Reinigungs-Effektivität nach Labuda

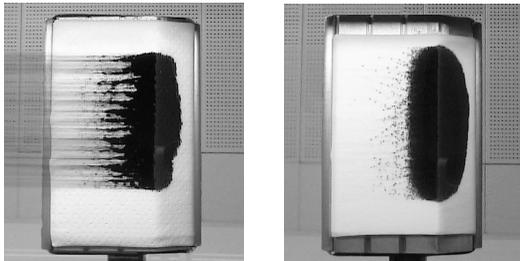
Ein Reinigungstuch wird unter definiertem Druck über eine sehr dünne schichtförmige Fett-Verunreinigung von definierter Dicke bewegt. Die Verunreinigungs-Masse wird vor und nach dem Wischvorgang gemessen und prozentual in Beziehung zueinander gebracht.

Prüfziel: Feststellung wie viel % auf einer Oberfläche befindlicher Verunreinigung sich mit einer einzigen Wischbewegung von einem bestimmten Reinigungstuch entfernen lassen.

2. Flüssigkeitsrückstand nach Labuda

Auf eine ebene, transparente Glasfläche wird eine kleine Flüssigkeitslache von definierter Masse- und Flächen-Ausdehnung gebracht. Ein Reinigungstuch wird gewogen. Anschließend wird es unter definiertem Druck und bei definierter Geschwindigkeit über die Flüssigkeitslache hinwegbewegt. Wird die Prüfflüssigkeit schwarz eingefärbt, so ist es außerdem möglich, durch die Glasplatte hindurch mit einer Videokamera aufzuzeichnen, ob ein bestimmtes Reinigungstuch die Prüfflüssigkeit während des Wischens in sich aufnimmt oder lediglich auf der Oberfläche verschmiert (siehe Tafel 11).

Prüfziel: Feststellung wie viel Prozent einer Flüssigkeitslache sich von einem bestimmten Reinigungstuch mit einer einzigen oder mehreren Wischbewegungen von einer Oberfläche entfernen lassen. Feststellung ob das Reinigungstuch beim Wischen keine Schlieren erzeugt.



Schlierenbild eines Reinigungstuchs mit geringer Reinigungs-Effektivität

Schlierenbild eines Reinigungstuchs mit hoher Reinigungs-Effektivität

Tafel 11 Schlierenbildung bei Reinigungstüchern

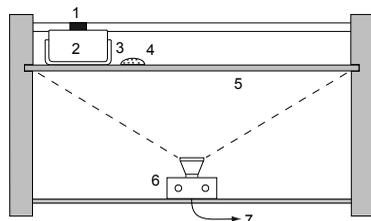
3. Partikelabrieb-Prüfung nach Labuda

Ein Reinigungstuch wird unter definiertem Druck über eine Oberfläche von definierter Rauigkeit bewegt. Dabei entstehen Partikelabrieb und Faserfragmente. Diese werden von der Oberfläche abgespült sowie anschließend gezählt und statistisch ausgewertet.

Prüfziel: Feststellung des effektiven Partikel- und Faserabriebs bei den Prozeduren des wischenden Reinigens. Bei dieser Prüfung wird die Reinheit der Oberfläche und auch der eventuelle Tränkungs Zustand eines befeuchteten Reinigungstuchs prüftechnisch mitberücksichtigt.

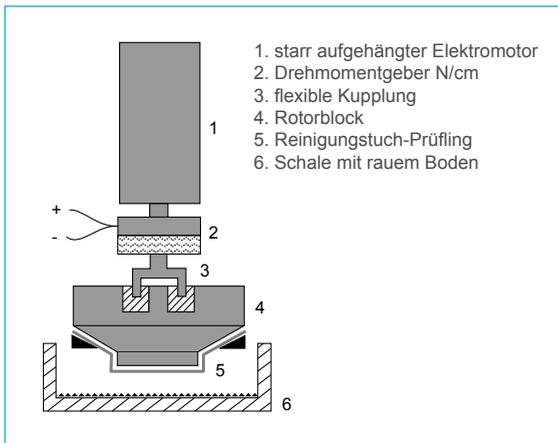
4. effektive Reinigungszeit nach Labuda (in der Entwicklung)

Ein Reinigungstuch wird unter definiertem Druck auf eine rotierende Walze gedrückt, auf der sich eine fetthaltige, schwarz eingefärbte Standard-Verunreinigung befindet. Mit zunehmender Anzahl von Rotationen nimmt der Schwärzungsgrad des Verunreinigungsflecks ab. Es entsteht ein Diagramm, welches die Größen Schwärzung und Zeit enthält.



1. pneumatischer Linearmotor (bidirektional)
2. Standard-Gewicht
3. Reinigungstuch-Prüfling
4. Flüssigkeit (evt. gefärbt)
5. transparente Platte
6. Video-Kamera
7. Computer

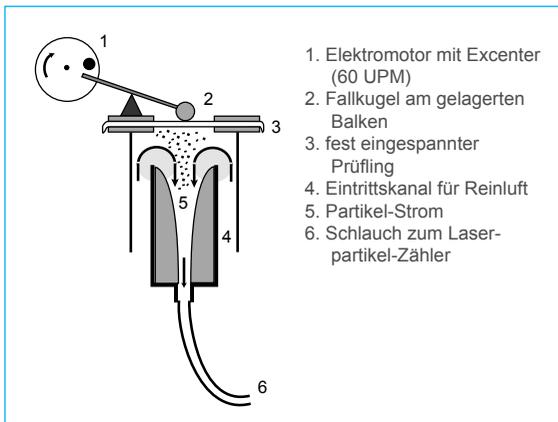
Tafel 12 Flüssigkeitsrückstands- Prüfung nach Labuda



1. starr aufgehängter Elektromotor
2. Drehmomentgeber N/cm
3. flexible Kupplung
4. Rotorblock
5. Reinigungstuch-Prüfling
6. Schale mit rauem Boden

Tafel 13 Partikelabrieb-Prüfung nach Labuda

Zusammenfassung



1. Elektromotor mit Excenter (60 UPM)
2. Fallkugel am gelagerten Balken
3. fest eingespannter Prüfling
4. Eintrittskanal für Reinfluft
5. Partikel-Strom
6. Schlauch zum Laserpartikel-Zähler

Tafel 14 Partikelfreisetzung-Prüfung nach Labuda

Prüfziel: Wie schnell vermindert sich eine Standard-Verunreinigung für ein bestimmtes Reinigungstuch bei zunehmendem Wischweg. Auftreten von Schlierenbildung aufgrund unzureichender Absorption.

Über das geeignete Prüfinstrumentarium für die o. a. Prüfungen 1 bis 4 verfügt bisher jedoch nur das Clear & Clean-Forschungslabor. Dort besteht jedoch für Anwender mit einem großen Bedarf an Reinigungstüchern die Möglichkeit, durch das DTNW – Deutsches Textilforschungszentrum Nord-West; Institut an der Universität Essen-Duisburg Prüfungen durchzuführen zu lassen; Adlerstraße 1, 47798 Krefeld, Tel. 02151-843 0.

Weil textile Werkstoffe stofflich inhomogene Faser- oder Filamentengebilde sind, muss jeweils eine Mindestmenge von Prüflingen geprüft werden, um zu einer statistisch verifizierten Aussage zu kommen. Im Clear & Clean-Forschungslabor werden jeweils zehn Prüflinge für jeden ausgewählten Parameter geprüft. Das ergibt etwa 10...15 % Abweichung vom tatsächlichen Wert.

Reinigungstücher sind handhabungs-intensive Produkte. In diesem Sinne verursachen sie durch den Zeitbedarf ihrer Anwendung höhere Prozesskosten als Materialkosten. Die Gesamtkosten wischender Reinigungs-Prozeduren lassen sich nach einer einfachen Formel errechnen, welche im vorliegenden Aufsatz aufgeführt ist. Oftmals lassen sich durch den Einsatz effizienterer (und zumeist teurerer) Reinigungstücher deutliche Einsparungen an Fertigungskosten erzielen. Welche Tücher effizienter sind und welche nicht, lässt sich durch geeignete Prüfungen feststellen. Die Prüfungen sind in diesem Aufsatz beschrieben.

Literatur

- [1] „Die Kosten des wischenden Reinigens im Reinraum-Betrieb“ Win Labuda – Reinraumtechnik Ausgabe 01/2001 – GIT Verlag
- [2] “Evaluating Wiping Materials used in Cleanrooms and other controlled Environments” Torsten Textor, Thomas Bahners, Eckhard Schollmeyer, DTNW - Deutsches Textilforschungszentrum Nord-West, Institut an der Universität Duisburg-Essen