



**Abb. 1** PART-LIFT™, Vorrichtung zur Erfassung des Partikel- und Faserfragment-Belags auf Oberflächen geringer Rauigkeit (Patent Labuda).

**Win Labuda**

## **Druckabhängiger Partikel-Kollektor**

Clear & Clean - Forschungslabor

Während die Erfassung der Anzahl von Partikeln oder Mikroben, die in Flüssigkeiten und Gasen vorhanden sind, durch eine Auswahl geeigneter Messverfahren zufriedenstellend durchgeführt werden kann, besteht ein erhebliches Defizit an Verfahren zum Identifizieren und Zählen von Partikeln, Faserfragmenten und Mikroben auf Oberflächen. Mit Hilfe des kürzlich vom Autor vorgestellten Partikel- und Mikroben-Kollektors kann unter dem Mikroskop durch starke seitliche Beleuchtung ein schnelles visuelles Verständnis des Vorkommens von Partikeln, Mikroben und Faserfragmenten auf einer glatten und ebenen Oberfläche erreicht werden. Mit Hilfe der elektronischen Bildanalyse ist es auch möglich, eine automatische Zählung und Klassifizierung der Partikel von einer relativ kleinen Größe bis zu einigen Millimetern durchzuführen - abhängig vom gewählten Mikroskop. Innerhalb weniger Minuten ist es möglich, nahezu vollständige Informationen über das Spektrum der Partikelablagerung auf einer ebenen Oberfläche zu erhalten. Auf diese Weise wird ein Problem gelöst, das bisher im technischen Reinraum zu vielen falschen Annahmen geführt hat: Die meisten Partikelzähler für Luft oder Flüssigkeiten unterscheiden nicht mehr zwischen Partikeln und Fasern mit einer Größe von 10 und 1000 oder mehr  $\mu\text{m}$ . Auf diese Weise wird ein Korn mit einem Durchmesser von 850  $\mu\text{m}$  häufig unter der gleichen Klassifizierung wie ein 12  $\mu\text{m}$ -Partikel registriert. Daher ist die Oberflächenkontamination durch Mesopartikel, Makropartikel und insbesondere durch Faserfragmente mit mehr als 10  $\mu\text{m}$  im Allgemeinen noch nicht sehr gut bekannt.

## Mechanik und Bedienung

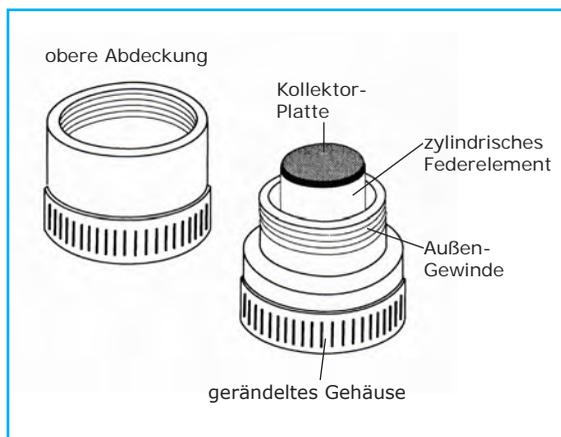


Abb. 2 Schema PART-LIFT™-Kollektor

Der zweiteilige Kollektor besteht aus einer verschließbaren Metallkapsel mit Gewinde. In der Mitte der Kapsel befindet sich ein zylindrisches Federelement aus Weichschaum. Auf der Oberseite des Federelements ist eine Kollektor-Platte mit leicht haftender Oberfläche befestigt. Die Klebesubstanz auf der Oberfläche der Kollektor-Platte ist selbstwiederherstellend, so dass der Kollektor mehrfach verwendet werden kann. Wenn der Boden der Kapsel mit der Kollektor-Platte für mindestens 5 Sekunden gegen eine trockene und annähernd ebene Oberfläche gedrückt wird, werden die lose daran haftenden Partikel, Fasern, Faserfragmente oder Mikroben von der Kollektor-Platte aufgenommen und verbleiben dort. Die obere Ebene der Kollektor-Platte hebt sich um einige Millimeter von der Gewinde- oder Kontaktebene der Basis ab, um sicherzustellen, dass der effektive Druck gegen die zu analysierende Oberfläche immer etwa 5 - 6 Newton beträgt. Nach Beendigung des Sammelns kann der obere Teil der Kapsel auf die Basis geschraubt werden, und die so gesicherte Partikelprobe kann dann in einem Labor mikroskopisch analysiert werden. Nach der Messung oder Untersuchung gibt es zwei Möglichkeiten, den Kollektor zu reinigen und wieder zu verwenden:

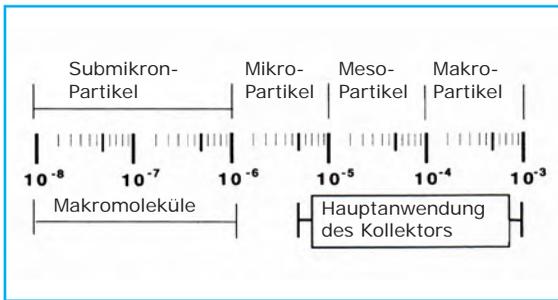


Abb. 3 Bereiche von Partikeln nach Größe, wie vom Autor verwendet

A - Die Kollektor-Platte wird etwa 5 Sekunden lang auf einen Beschichtungsträger gedrückt, der mit einem Spezialkleber aufgebracht wurde (PART-LIFT™ Cleaning Pad, als Zubehör erhältlich). Die Kollektor-Platte wird dann durch langsames Abziehen vom Beschichtungsträger gereinigt. Dieser Vorgang kann bei Bedarf wiederholt werden.

B - Mit einem speziellen fusselfreien Tuch, das in einer etwa 50 : 50 %-igen Mischung aus DI-Wasser höchster Reinheit und Isopropylalkohol getränkt wurde. Selbst die kleinen Partikel können durch vorsichtiges Abwischen mit dem zuvor genannten sauberen Tuch entfernt werden. Die meisten Tücher sind jedoch für diesen Vorgang nicht wirklich sauber genug, so muss möglicherweise eine Reinigung wie unter A beschrieben folgen.

Der Partikel-Kollektor ist dann zur weiteren Verwendung bereit. Die maximale Lebensdauer des Geräts hängt - wie bei jeder Klebeschicht - von verschiedenen Umgebungsfaktoren und natürlich von der Anzahl der durchgeführten Analysen ab. Grundsätzlich kann man mit einer maximalen Lebensdauer von 2 Jahren rechnen.

## Effektivität der Entfernung von Partikeln

Nach dem Abheben der Vorrichtung von der zu untersuchenden Oberfläche sollte sich jetzt ein großer Teil der auf der Oberfläche befindlichen Partikel zur Untersuchung auf der Kollektor-Platte befinden. Wie groß dieser Prozentsatz ist, hängt von den verschiedenen Oberflächenqualitäten ab. Das Institut für Prozess- und Aerosol-Messtechniken der Universität Duisburg hat jedoch die Effektivität der Entfernung von Partikeln des Kollektors auf einer polierten Siliziumscheibe (Wafer) getestet.

## Methode der Messung

Eine Siliziumscheibe (Wafer) mit einer Oberflächen-Rauheit von Ra 5 - 10 nm war homogen mit fluoreszierenden Latexkugeln mit einem Durchmesser von 0,48 und alternativ von 0,21 µm bedeckt. Der so vorbereitete Wafer wurde auf einem automatisierten XY-Tisch eines optischen Epifluoreszenz-Mikroskops zur computergesteuerten Positionierung fixiert. Der XY-Tisch wurde an 468 Zufalls-generierten Positionen innerhalb des zu untersuchenden Bereichs positioniert, und an jedem von ihnen wurde die Menge der ermittelten Partikel aufgezeichnet. Nachdem der Partikel-Kollektor im Feld der Untersuchung auf dem Wafer eingesetzt worden war, wurden die gleichen 468 verschiedenen Stellen, die zuvor auf Vorkommen und Anzahl von Partikeln untersucht worden waren, erneut untersucht und die gefundenen Partikel wurden aufgezeichnet. Die Differenz zwischen den beiden Teilchenzahlen wird als prozentuale Entfernungs-Effektivität des Partikel-Kollektors ausgedrückt. Es wurden 5 Reihen mit jeweils 5 Messungen erstellt, summiert also 25 Messungen auf einem Quadrat von 4 mm<sup>2</sup>. Die Ergebnisse sind Tabelle 1 zu entnehmen.

Serie der Messungen	lfd. Nr. der Messungen	Partikel-Größe in $\mu\text{m}$	Position auf dem Wafer	Effektivität der Entfernung in %
1	1	0,48	oben	81,6
1	2	0,48	unten	82,3
1	3	0,48	mittig	44,4
1	4	0,48	rechts	84,9
1	5	0,48	links	93,1
2	1	0,48	oben	89,0
2	2	0,48	unten	80,5
2	3	0,48	mittig	29,1
2	4	0,48	rechts	81,1
2	5	0,48	links	44,1
3	1	0,48	oben	98,5
3	2	0,48	unten	96,3
3	3	0,48	mittig	84,6
3	4	0,48	rechts	95,2
3	5	0,48	links	94,1
4	1	0,21	oben	91,0
4	2	0,21	unten	90,9
4	3	0,21	mittig	90,0
4	4	0,21	rechts	91,8
4	5	0,21	links	94,8
5	1	0,21	oben	88,0
5	2	0,21	unten	91,3
5	3	0,21	mittig	87,1
5	4	0,21	rechts	88,9
5	5	0,21	links	88,0

**Tabelle 1** Ergebnisse der verschiedenen Untersuchungsreihen

Als Messung 3 der Serie 1 und Messung 3 der Serie 2 unverständliche Abweichungen von den übrigen Daten zeigten, stellte sich heraus, dass der Winkel des anfänglichen Kontakts zwischen dem Kollektor und der zu analysierenden Oberfläche für die Genauigkeit der Messdaten von Bedeutung ist. Wenn der Winkel relativ zu dem Wafer etwa 90 Grad betrug, bildeten sich Luftblasen zwischen der Kollektor-Platte und dem Wafer und der enge Kontakt zwischen den beiden Oberflächen wurde verhindert. Dadurch wurde die Anzahl der gesammelten Partikel reduziert. Nachdem die Art des Berührens der Oberfläche des Wafers auf einen Winkel von etwa 30 Grad geändert wurde und der Kollektor langsam in eine aufrechte Position bewegt wurde, zeigten die Daten der nachfolgenden 3 Untersuchungsreihe keine weitere Inkonsistenz (Tab. 1).

Die obigen Daten waren für uns so überraschend, weil wir eine starke Verringerung der Entfernungseffektivität für Partikel mit Durchmessern von 0,21  $\mu\text{m}$  erwartet hatten. Tatsächlich fanden wir jedoch nach einem Mittelwert der Ergebnisse nur eine Abnahme um 4,4 % von 93 % für 0,48- $\mu\text{m}$ -Partikel und auf 89 % für 0,21- $\mu\text{m}$ -Partikel. Zu den zukünftigen Aufgaben im Zusammenhang mit diesem Gerät gehört die Untersuchung

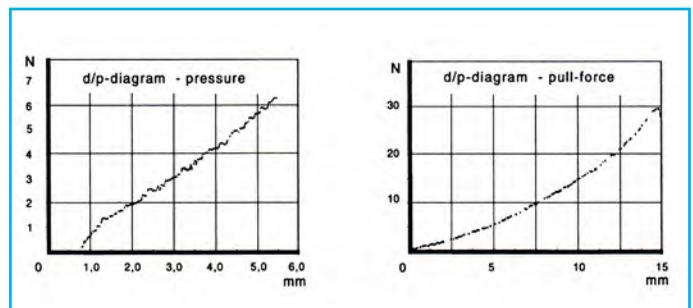
der Sammel-Effektivität von Meso- und Makropartikeln, da dies der beabsichtigte Bereich der Hauptanwendung der Kollektoren ist.

## Anwendungen

Der Partikel-Kollektor wurde vom Autor in erster Linie entworfen, um ein schnelles und zuverlässig arbeitendes Werkzeug zur Messung der Reinheit von Reinraumtüchern, Papier und Handschuhen während der Produktion und der abschließenden Qualitätskontrolle sowie für den Vergleich verschiedener Herstellerprodukte zur Verfügung zu haben. Der Einsatzbereich des beschriebenen Partikel-Kollektors beschränkt sich jedoch nicht nur darauf. Möglich wäre die statistische Erfassung feiner Ablagerungen auf kritischen Oberflächen. Mit dem Kollektor können auch Wareneingangsprüfungen durchgeführt werden, die zuvor nicht ordnungsgemäß durchgeführt werden konnten. Das gilt für alle Produkte, die im Lieferzustand nur begrenzte Mengen an Fasern, Partikeln oder Bakterien auf ihrer Oberfläche und / oder ihrem Inneren tragen oder freigeben dürfen. Beispielsweise kann der Kollektor in folgenden Anwendungsbereichen eingesetzt werden:

- Krankenhäuser  
Überprüfung der Sauberkeit von Operationssälen und dem Vorhandensein von Mikroben an Wänden und anderen Oberflächen.
- Allgemeine Reinraum-Industrie  
Bekleidungsstücke, Papier, Handschuhe, Behälter, Folien, Taschen und Wischtücher, Ausrüstungsteile von Geräten vor und nach dem Reinigungsvorgang.
- Pharmazeutische Industrie  
Flaschen und Behälter, die Verbreitung von Pulverteilchen.
- Leiterplattenindustrie  
Sauberkeit der Leiterplatte im Lieferzustand.
- Asbest- & Textilindustrie  
Bedeckung von Oberflächen in Arbeitsbereichen mit Fasern, gefährlich für die menschliche Gesundheit.
- Atomindustrie  
Auffinden radioaktiver Stäube

**Abb. 4** Das linke Diagramm zeigt den Betriebsdruck in Newton relativ zum Abstand zwischen der Kollektor-Platte und der Höhe von max. Komprimierung. Das Diagramm rechts zeigt die Zugkraft, die für den vertikalen Abtrag einer glatten und ebenen Oberfläche erforderlich ist, die am Kollektor haftet.



Zu diesem frühen Zeitpunkt ist es nicht möglich, alle möglichen Anwendungen für dieses Gerät zu benennen, der Autor ist jedoch für jeden Hinweis, der zu noch nicht bekannten Anwendungen führt, sehr dankbar.

## Einschränkungen

Dieser Partikel-Kollektor hat - wie jedes andere Partikel-Beobachtungsgerät - seine Grenzen und diese sind in den folgenden Bereichen zu finden:

*Unebene Oberflächen:* Da der Partikel-Kollektor eine gleichmäßige Konstruktion hat, ist es nicht einfach, Partikel von einer uneben geformten Oberflächen zu sammeln, wenn ihr Krümmungsradius relativ zum Durchmesser der Kollektor-Platte klein ist. Praxistests zeigen hier, was außerhalb der Möglichkeiten liegt.

*Raue Oberflächen:* Die vom Institut für Aerosoltechnologie (Tab. 1) aufgenommenen Daten wurden von einer Siliziumscheibe (Wafer) mit einer Oberflächenrauheit  $R_z$  unter  $0,1 \mu\text{m}$  erhalten. Es ist offensichtlich, dass ab einem bestimmten Oberflächen-Rauigkeitsgrad die Anzahl der durch dieses Verfahren aufzunehmenden Partikel tendenziell abnimmt. Sind die „Täler“ der Oberfläche größer als die zu füllenden Partikel, dann verhindern die „Gipfel der Berge“, dass die Kollektor-Platte mit diesen Partikeln in Kontakt kommt. Dies trifft zu, wenn die „Täler“ nicht ungewöhnlich lang sind.

*Verminderte Haftung durch feuchte Oberflächen:* Dieses Gerät bindet Partikel durch Adhäsionskräfte zwischen der Kollektor-

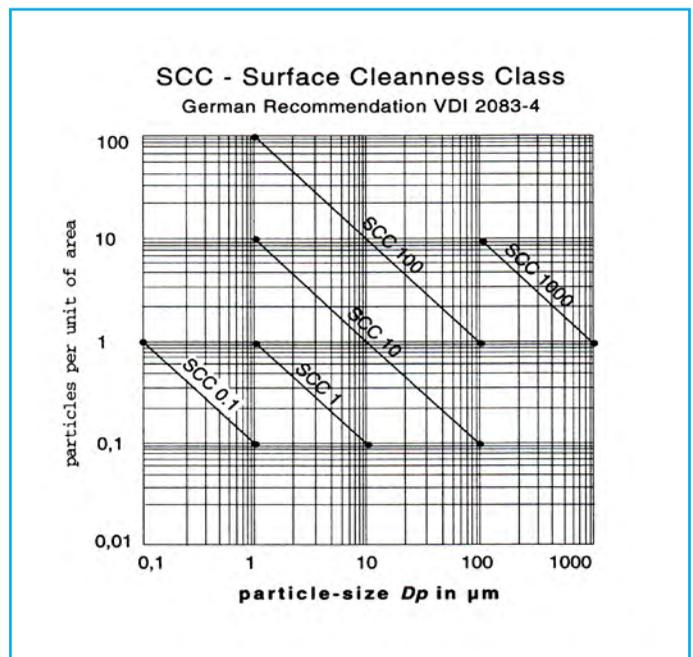


Abb. 5 Die deutsche VDI-Empfehlung zur Oberflächenreinigung 2083-4 enthält eine Klassifizierung für verschiedene Oberflächenreinigungsgrade. Der Kollektor ist eines der Mittel, um Oberflächen gemäß dem Diagramm zu klassifizieren.

Platte und den zu sammelnden Partikeln. Um die Haftfestigkeit zu erhöhen, trägt die Kollektor-Platte dieser Vorrichtung von sich aus eine Art Klebstoff, von dem eine sehr dünne Schicht kontinuierlich die Oberfläche bedeckt, so dass die Partikel in den Klebstoff eingebettet werden, was zu einer erheblichen Zunahme der Bindungskräfte führt. Wenn die Teilchen jedoch z. B. nur im nassen Zustand verfügbar sind, dann wird Wasser als weitere Schicht um das Partikel in das System eingebracht, die fast keine Bindungskraft für den Klebstoff aufweist und daher das System dann nicht funktionieren kann.

*Ultra saubere Oberflächen:* Da während des Kontakts zwischen diesen Oberflächen kleine Mengen des Klebstoffs, die der Sammelplatte eigen sind, auf die zu analysierende Oberfläche übertragen werden können, kann die Vorrichtung nicht zum Analysieren solcher kritischer Oberflächen wie z. B. Siliziumwafer und aller Gegenstände, die durch die Reste des Klebstoffs beschädigt werden können, eingesetzt werden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass diese Art von Partikel-Kollektor für die Analyse von ebenen, trockenen und relativ glatten Oberflächen geeignet ist, die nicht durch ultradünne Klebstoffschichten beschädigt werden können. Es kann unwichtige Einschränkungen geben, wie extreme Dichten der Partikelbedeckung durch mehr als eine Staubschicht, sehr heiße oder kalte Oberflächen, oder andere Begrenzungen, die dem Autor bisher nicht bekannt waren.

## Bildübertragung und Analyse

Tatsächlich hat uns Bernhard Klumpp [21] in seiner Dissertation 1993 eine Fülle wertvoller Informationen, Zusammenfassungen und Literaturangaben zu den physikalischen und technischen Aspekten der Messung von Partikeln auf Oberflächen, unter Verwendung des optischen Mikroskops und Streulicht hinterlassen. Zurzeit gibt es nicht viel zu seiner Erklärung und seinen Erkenntnissen hinzuzufügen. Ein großer Teil der These von Klumpp beschäftigt sich jedoch mit Partikeldurchmessern um 1  $\mu\text{m}$ , während sich der Autor hauptsächlich mit Meso- und Makropartikeln sowie Faserfragmenten befasst. In diesem Bereich spielen enge Toleranzen der Genauigkeit der gewonnenen Daten keine große Rolle. Die durchschnittliche Partikelgröße auf der Außenseite von Reinraumbekleidung liegt beispielsweise nach einigen Tagen oft über 10  $\mu\text{m}$ . Gleiches gilt für Materialabrieb in der Ausrüstung von Reinräumen. Auch Reinraumbücher hinterlassen nach dem Reinigen von leicht rauen Oberflächen Partikel mit einer Größe von mehr als 10 - 50  $\mu\text{m}$ . Dies gilt in geringerem Umfang auch für Latex- und Vinylhandschuhe. Auch die Ränder einiger Reinraumpapiere tragen Partikel und Fasern von weit über 100  $\mu\text{m}$ . Die Hauptanforderungen hier sind:

- ein einfaches Verfahren zum Sammeln der Partikel, Mikroben usw.

- eine sichere Transport-Möglichkeit der Probe an den Ort der Analyse
- vergleichende Analyse und schneller Zugriff auf die quantitativen Partikeldaten

Der hier beschriebene Partikel-Kollektor scheint gut geeignet, die oben genannten Anforderungen zu erfüllen.

Zweckmäßigerweise werden die auf der Kollektor-Platte vorhandenen Partikel oder Mikroben mit intensivem seitlichem Licht oder Laserstrahl beleuchtet. Ihr Streulicht hebt sich dadurch sehr gut vor dem dunklen Hintergrund der Kollektor-Platte ab. Es ist jedoch auch möglich, die Probe durch die in der mikroskopischen Literatur hinreichend beschriebene Dunkelfeld-Beleuchtung sichtbar zu machen. Für Mikroben gibt es viele Möglichkeiten, sie mithilfe fluoreszenz-mikroskopischer Methoden sichtbar zu machen, die unter Mikrobiologen bekannt sind.

Die Elektronische Bildanalyse steht für die automatische Zählung und / oder Formfaktoranalyse von Partikeln oder Faserfragmenten zur Verfügung. Für die ersten Untersuchungen verwendete der Autor die in den USA entwickelte Optimas-Software. Die folgenden interessanten Daten zu den zu analysierenden Partikeln können aus dem mikroskopischen Bild erhalten werden.

- Gesamtzahl
  - 3D-Luminanz-Oberfläche
  - Hauptachsenlänge
  - längste Achse
  - Äquiv. perimetrischer Durchmesser
  - Feret-Durchmesser
  - Oberflächen in  $\mu\text{m}^2$
  - maximale Breite
- und viele mehr

Die Zeit, um die vollständigen Daten für jeden der 200 Partikel - von der Öffnung des Kollektors bis zu den gedruckten Daten - zu erhalten, beträgt etwa 1 bis 2 Minuten.

## Die unentdeckte Welt der Mesopartikel

Es gibt nur ein einziges Reinheits-Merkmal, von dem permanent Daten in den meisten Reinräumen abgerufen werden, und dies ist die Reinheit der Luft. Reingenieure sind stolz darauf, wenn sie in einem Reinraum einen Luftreinigungsgrad unter einem Partikel von  $> 0,5 \mu\text{m}$  pro Kubikfuß einhalten können. Auf der anderen Seite werden große Mengen von Partikeln in den Reinraum übertragen oder dort erzeugt, die deutlich größer sind. Hauptquellen für die Erzeugung solcher Partikel sind die dort tätigen Operatoren, die für die Produktion

verwendete Chemikalien, die im Betrieb befindlichen Geräte, der Einsatz von Verbrauchs-Materialien wie Tücher und Handschuhe usw., aber auch Kleidungsstücke und Schuhe. Ein großer Teil dieser erzeugten oder übertragenen Teilchen hat eine Größe von mehr als  $0,5 \mu\text{m}$ .

Der Grund dass die gesamte Gruppe solcher Mesopartikel sowie Makropartikel, uns weitgehend entgangen ist, ist offensichtlich das Fehlen von Methoden für ihre mühelose Auffindung und Messung. Dies liegt daran, dass das Hauptgerät zur Partikelzählung in der Reinraum-Industrie der Laser-Partikelzähler ist und die meisten dieser Instrumente alle Partikel mit einem Durchmesser von mehr als  $10 \mu\text{m}$  ohne weitere Differenzierung zählen. Der nachteilige Einfluss von beispielsweise  $120 \mu\text{m}$ -Partikeln für die Herstellung kann sich jedoch vollständig von denjenigen von  $10 \mu\text{m}$  unterscheiden. Glücklicherweise spielen Meso- und Makropartikel zumindest in der Halbleiterindustrie keine wesentliche Rolle bei der Entstehung von Defekten, die von Partikeln herrühren. Es ist jedoch wichtig, dass wir uns in diesem Untersuchungsbereich mehr Mühe geben, und der Partikel-Kollektor könnte dafür ein wertvolles Instrument sein.

## Beispiele

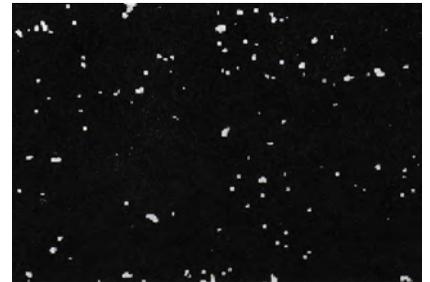
Die Beispiele Abb. 6 bis 11 sollen mögliche Anwendungen des Kollektors veranschaulichen.



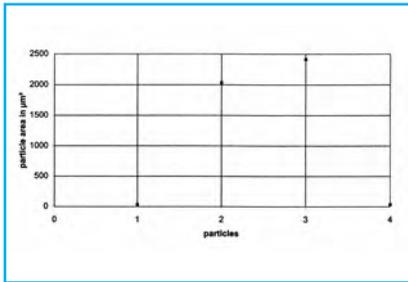
**Abb. 6** Kollektor-Platte nach dem Reinigen - gesehen vom elektronischen Bildanalyseprogramm. Nach dem Reinigungsvorgang verbleiben 4 Partikel im aktiven Kollektorabschnitt. Sie werden auf dem Bildschirm des Monitors und in der Diagrammregisterkarte 10 übersichtlich dargestellt. Die Anzahl der auf der Kollektorplatte verbleibenden Partikel ist der „Grauwert“, der nach ordnungsgemäßer Verwendung des Kollektors von der Partikelanzahl abgezogen wird. Der untersuchte Abschnitt der Kollektorplatte für Abb. 6, 7 und 8 betrug  $9 \times 5,8 \text{ mm}$ .



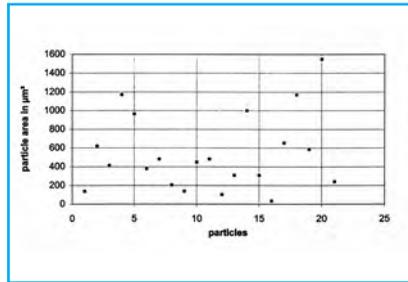
**Abb. 7** Reinraumtuch - In diesem Fall wurde der Partikel-Kollektor 5 Sekunden lang auf die Oberfläche eines Reinraumtuches gedrückt und anschließend durch die elektronische Bildanalyse ausgewertet. Deutlich mehr Partikel (37 Stück) als auf dem nebenstehenden Bild befinden sich auf der Kollektorplatte. Aufgrund der Platzverringerung für dieses Bild sind nicht alle im Diagramm 10 erscheinenden Partikel hier zu sehen.



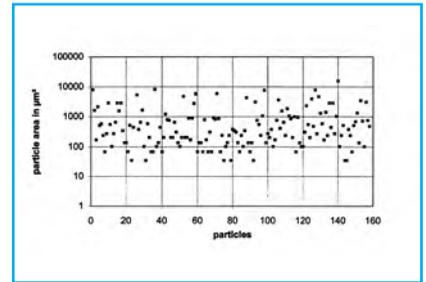
**Abb. 8** Baumwolltuch - Es wurde das gleiche Sammelverfahren wie für das Reinraumtuch verwendet. Aufgrund der großen Anzahl von Partikeln und Fasern, die das elektronische Bildanalyseprogramm verfolgt, ist der Unterschied zum Reinraumtuch Abb. 7 deutlich sichtbar. Es muss jedoch erforscht werden, ob die Kollektor-Platte schwach an den textilen Körper gebundene Fasern und Partikel herausreißt, die sich im normalen Betriebsablauf nicht lösen würden.



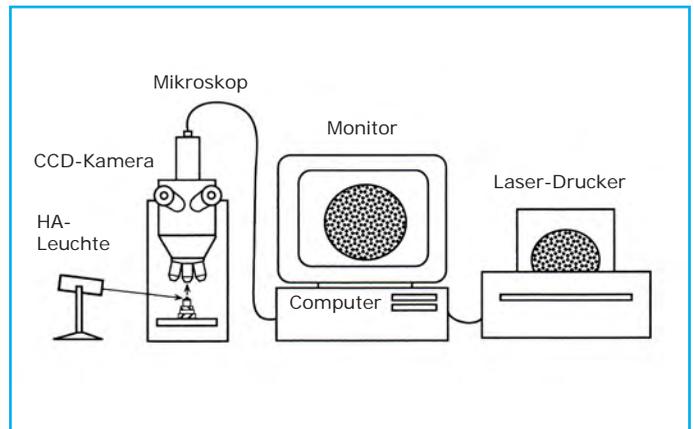
**Abb. 9** Das Diagramm zeigt die Anzahl und Flächengröße der Partikel, die in diesem Fall auf der gereinigten Kollektorplatte verblieben sind. Die Anzahl der Partikel, die auf der Platte verbleiben, wird als „Grauwert“ bezeichnet und variiert mit der durch die Reinigung erzielten Oberflächenreinheit.



**Abb. 10** Das Diagramm zeigt die Anzahl und Flächengröße der Partikel / Fasern, die von der Oberfläche des Reinraumtuchs in Abb. 7 gesammelt wurden. Nach der VDI 2083-4-Spezifikation für die Oberflächenreinheit sind Fasern Partikel mit einer Länge, die das 5-fache ihres Durchmessers überschreitet.



**Abb. 11** Das Diagramm zeigt die Anzahl und Flächengröße der Partikel / Fasern, die aus dem Baumwolltuch in Abb. 8 gesammelt wurden. Baumwolltücher sind praktisch aus Reinraum-Anwendungen verschwunden. Das Diagramm soll nur den Unterschied zu einem Reinraumtuch zeigen.



**Abb. 12**

### Anmerkung

Der in diesem Dokument beschriebene „Partikel-Kollektor nach Labuda“ ist unter der Marke PART-LIFT™ im Handel erhältlich. Patente für das Gerät wurden in Europa und vielen Industrieländern außerhalb Europas angemeldet.

## Literatur

- [1] Klumpp, Bernhard „Prüfverfahren zur Untersuchung der Partikelreinheit technischer Oberflächen“, 1993, Springer-Verlag ISBN 978-3-540-57302-9
- [2] Schmidt, Opiolka, Kück „Kalibrierung von Waferscannern mit Hilfe der Lichtmikroskopie“, VDI-Bericht 919, 1991, Bielefeld
- [3] Crutcher „Contamination-Control-Microscopy“, Institute of Environmental Sciences, USA
- [4] Eesbeck, Zwaal, Plomp „The effects of particle-size and particle-colour on integraring particle counters“
- [5] Verein Deutscher Ingenieure, DIN-VDI Joint working committee „National Guideline for the Cleanness of surfaces“ VDI 2083-4, VDI, 1996
- [6] Paley, Edward „Flex-Test for particulate analysis of dry wipers, 1985 - „Microcontamination“
- [7] Labuda, Win „Hardware-Reinigung für kritische Komponenten“, Markt & Technik Verlag, 1985
- [8] Labuda, Yuko „Qualitätsmerkmale von Reinraum-Papieren“, VDI-Berichte 1095, 1995, Stuttgart
- [9] Labuda, Win „Reinraum-Wischtücher, deren Partikel- und Faserfreisetzung beim Gebrauch in Abhängigkeit von der Rauhtiefe der gereinigten Oberfläche“, VDI-Bericht 1095, 1993, Stuttgart
- [10] Labuda, Win „Die Labuda-Colander Methode, ein neues Verfahren zur Messung des Gebrauchs-Abriebs bei Reinraum-Wischmitteln undPapier“, VDI-Report 919, 1991, Bielefeld
- [11] Labuda, Win „Messung der Partikel-Freisetzung von Reinraum-Wischmitteln - Ein Vergleich der Prüfmethode“, ICCCS-World-Congress, Zürich, 1990, Proceedings