

Spezielle Mess- und Prüfgeräte,

die in der Reinraumtechnik nicht alltäglich sind



In der Reinraumtechnik werden standardmäßig eine Reihe von Mess- und Prüfgeräten eingesetzt, die für die Überwachung oder auch die Requalifizierungen von Reinräumen unabdingbar sind. Sicherlich ist der klassische Streulichtpartikelzähler dabei das am meisten vertretene Messgerät. Um aber gezielt verschiedene Parameter zu erfassen, die in der Reinraumtechnik von Bedeutung sind, bedarf es einiger spezieller Geräte auf die im Folgenden eingegangen wird. Die aufgeführten Geräte sind für alle Anwender der Reinraumtechnik und damit sind alle Branchen gemeint von der Automobil- über die Feinmechanik, die Medizintechnik ebenso wie jegliche Halbleitertechnologien, ohne jetzt alle aufzählen zu wollen, einsetzbar.



Thomas von Kahlden

Allen gemein ist, dass jeder Reinraumanwender seine Reinräume überwachen, regelmäßig reinigen und warten muss, ebenso wie es keinen Reinraum gibt, der nicht von Menschen betreten wird, sodass diese entsprechende Kleidung tragen müssen.

Die Reinräume selbst, so wie man diese heute erstellen kann, d.h. die technische Ausführung der Wände, Decken, Böden und die Lüftungstechnik, sind soweit vorangeschritten, sodass sich darin Luftreinheitsklassen nahezu jeglicher Reinheit realisieren lassen. Von den Kosten sprechen wir hier nicht, d.h. aber in jedem Anwendungsfall, dass die Reinraumtechnik den Anforderungen der Prozesse und Produkte entsprechen muss.

Mit einem leeren Reinraum, sprich dem Zustand „as built“, läßt sich für einen Betreiber weder Geld verdienen, noch lassen sich Forschungsergebnisse erzielen; d.h. die Räume werden mit

Betriebsmitteln von dem einfachen Stuhl bis hin zur komplexen Fertigungsanlage ausgestattet, inklusive dem Personal, das die Anlagen betreibt. Damit fängt das Dilemma der Sauberkeit, Reinheit oder Reinraumtauglichkeit an.

Vernebler

Um die produktrelevanten Parameter zu erfassen bedurfte es der Entwicklung einiger Geräte, um eben genau die Reinheit bzw. Reinraumtauglichkeit nachzuweisen. Begonnen hat dies mit der Erkenntnis, dass die Reinräume zwar über eine Luftdurchströmung verfügen, aber kein Mensch kann diese sehen, außer dass man ggf. die Luftgeschwindigkeit punktuell messen kann. Somit entstanden die Visualisierungsgeräte für die Strömung, die aber nun mal einer gewissen Sauberkeit entsprechen müssen, sprich einer gewissen Reinraumtauglichkeit.

Diese Nebelgeräte sind seit über 25 Jahren am Markt verfügbar und arbeiten meist auf Wasserbasis; aufgereinigtes Wasser wird als Medium verwendet, um mit Ultraschallzerstäubern als kleine Tröpfchen in die Luft zu geben und so die Strömungsverläufe sichtbar zu machen. Solange die Strömungsgeschwindigkeit über 0,2 m/sec liegt, wie es in Werkbänken oder hochwertigen Räumen der Klasse ISO 5 und besser mit turbulenzarme Verdrängungsströmung der Fall ist, funktioniert das auch zufriedenstellend. Sobald man aber diesen Wasserdampf in turbulente Bereiche einbringt sinkt dieser durch die Abkühlung der Tropfen eigenständig in Richtung Boden. Das erscheint dem Betrachter meist positiv, ist jedoch auf den Effekt der Verdunstungskälte der Tropfen, der diese absinken läßt zurückzuführen. Verwendet man Wasserdampf und Kaltgas als Nebelbasis entstehen auch Wassertröpfchen, die allerdings



Abb. 1: Handy-Fog



Abb. 2: Mini-Fog



Abb. 3: Nebelgerät N2-fog auf Wagen



Abb. 4: Helmke Drum



Abb. 5: Messtisch



Abb. 6: Messzange

vom Spektrum her deutlich kleiner sind und der Nebel somit auch in den turbulent durchströmten Bereichen eingesetzt werden kann. Dieses Prinzip der Nebelerzeugung wurde mit dem N2-FOG umgesetzt.

Partikelzähler

Der Partikelzähler für Luft ist wie schon angemerkt ein weltweit verbreitetes Instrument, das auch quasi von jedem Nutzer im Reinraum bedienbar ist. Gerade durch die Einfachheit der Probenzuführung und des Ergebnisses quasi in Echtzeit, wird der Partikelzähler vielfältig eingesetzt. Die inerten Druckgase wie Reinstdruckluft oder Stickstoff können bei einem Betriebsdruck von mehreren Bar nicht ohne weiteres einem konventionellen Partikelzähler zugeführt werden. Einen Druck von bis zu 8 bar in der Versorgungsleitung ist zu hoch für den üblichen mechanischen Aufbau

der Messzelle der Partikelzähler. Dieser lässt sich trotzdem einsetzen, wenn man ein Expansionsgefäß davor schaltet. Aus dieser Notwendigkeit entstand das sogenannte EXPA, das in der Lage ist, an die Versorgungsleitung angeschlossen zu werden. Das Gas expandiert in dessen Volumen, aus dem dann die Probe für den Partikelzähler genommen wird. Das bedeutet ungeachtet des Druckes in der Versorgungsleitung expandiert das Gas in das Ausgleichsgefäß, ein Großteil strömt gezielt und kontrolliert in die Umgebung über. Der Partikelzähler entnimmt die Probe entsprechend seinem individuellen Probevolumenstrom. Die aus der Versorgungsleitung entnommene Luftmenge setzt sich aus dem Volumenstrom des Partikelzählers und der Luftmenge zusammen, die aus dem Expansionsgefäß in die Umgebung abströmt, die gleichzeitig auch gemessen wird. Somit kann eine realistische Messung der Parti-

kelkonzentration bei einer definierten Abnahmemenge am Entnahmeort durchgeführt werden.

Mensch = Partikel trotz Reinraumbekleidung

Kein Reinraum ohne Personal, d.h. es gibt am Markt eine Vielzahl an Varianten an Reinraumbekleidung entsprechend der verschiedenen Reinheitsklassen in denen sie verwendet wird. Diese Kleidung ist regelmäßig zu dekontaminieren, was in entsprechenden Reinraumwäschereien erfolgt. Dabei stellt sich logischerweise die Frage, wie gut kann die Kleidung dekontaminiert werden?

Somit wurde schon vor vielen Jahren ein Prüfgerät entwickelt, die Helmke Drum, ein Gerät mit dem in Verbindung mit einem Partikelzähler der Restgehalt an partikulärer Kontamination erfaßt werden kann. Die Basis stellt dabei der IEST-Standard IES-RP3.4^[1] dar, in dem die „Wäschetro-



Abb. 7: Handschuhanziehhilfe „Easy Gloving“

mel“ mit allen relevanten Dimensionen so auch der Probeentnahme definiert sind. Dies führt dazu, dass alle Anwender auf der gleichen Basis die Partikel aus der Helmke Drum erfassen. CCI hat die technische Ausführung über die Jahre weiter verfeinert und beliefert europäische als auch außereuropäische Anwender mit diesen Systemen.

Die deutsche Ingenieurtechnik, bekannt für akribisches Arbeiten, hat eine weitere Methode der Restkontaminationsmessung an Reinraumkleidung optimiert. Es waren Herr Dr. Ehrler und Frau Schmeer Lioe, die seinerzeit am ITV, heute DITF, die Durchsaugmethode gemäß ASTM F 51^[2] in ein halbautomatisches System weiterentwickelt haben. Aus der Abscheidung der abgelösten Partikel auf dem Filter (ASTM-F51) wurde die Durchsaugmethode genannt „Messtisch“ anstatt dem Filter wird der Probenvolumenstrom direkt dem Partikelzähler zugeführt. Somit kann die definierte Luftmenge nacheinander in einzelnen Messvorgängen an verschiedenen Stellen des Kleidungsstücks durch das Gewebe „geblasen“ werden und so der Restpartikelgehalt gemessen werden. Dieses System hat bis dato nur im deutschsprachigen Raum Einzug gehalten. Grund dafür dürfte sein, dass es bis dato in keiner Norm oder Richtlinie verewigt wurde. Da diese Methode zwar effektiv und auch schnell von statten geht, aber nicht als Eingangskontrolle für den Nutzer gedacht ist, hat CCI aus dem Verfahren die „Messzange“ abgeleitet. Es wurde ein mobiles System entwickelt, das analog dem Messtisch arbeitet. Durch die Verwendung von Reinstdruckluft, der Messzange und einem Partikelzähler kann dieses System z. B. in jeder Schleuse als Qualitätskontrolle für die partikuläre Sauberkeit der Reinraumkleidung eingesetzt werden.

Handschuhe anziehen

Bleiben wir beim Personal, das in Reinräumen mit Handschuhen arbeiten muss. Es gibt ein namhaftes Unternehmen in der optischen Industrie, das



Abb. 8: Inspektionslampe PVL

Handschuhe verwendet hat, die sich unendlich schwierig anziehen ließen, d.h. der Operator hat einige Minuten benötigt bis er die Handschuhe kunstgerecht an den Händen angelegt hatte. Aus dieser Anforderung entstand ein Handschuhanziehsystem, genannt „Easy Gloving“. Aber nicht jede Entwicklung ist von Erfolg gekrönt. Just als das System in einigen Versionen eingesetzt wurde kamen neue Handschuhe auf den Markt, die sich wiederum leicht anziehen ließen und das System war überholt.

Letztlich werden in sämtlichen Reinräumen, abgesehen von Forschungseinrichtungen, Produkte hergestellt, die an einen Endnutzer weiter gegeben werden müssen. Ein Produkt verfügt immer über Oberflächen, d.h. auch wenn das Produkt in einem noch so hochwertigen Reinraum gefertigt wird, heißt das noch lange nicht, dass die Oberflächen „sauber“ sind. Der Begriff sauber ist ein dehnbare Begriff, meist ist zunächst die partikuläre Sauberkeit damit gemeint. An dieser Stelle wird es schwierig die Sauberkeit einer technischen Oberfläche zu ermitteln. Das definieren geht ja noch leicht, siehe ISO 14644-9^[3], nur wie kann man das messtechnisch nachweisen?

Partikelbelastung technischer Oberflächen

Als technische Oberfläche werden alle Oberflächen bezeichnet, die nicht optisch glatt sind, sprich einem Spiegel analog sind. Eine technische Oberfläche hat eine Rautiefe und auf derartigen Oberflächen ist es schwierig die Partikelbelastung, sprich die Anzahl der Partikel je Flächeneinheit zu erfassen. Es gibt lediglich ein Instrument was dafür in Grenzen geeignet ist, dessen Prototyp von Dr. Bernhard Klumpp im Jahre 1992 bis 1993 auf Basis der Erfassung des Streiflichts entwickelt wurde^[4]. Jedoch hat dieses Prinzip physikalische Grenzen. Je größer die Rautiefe, umso größer müssen die Partikel sein, die man erkennen kann. Das Prinzip der Streiflichtmessung wurde in ein Messgerät überführt, das in-

dustriell gefertigt wird. Es hat aber den großen Nachteil, das bedingt durch das Messprinzip nur eine relativ kleine Fläche je Messvorgang erfasst werden kann. Weiterhin werden keine Partikel, die kleiner als die mittlere Rautiefe sind erkannt, da sie in der Rautiefe „verschwinden“ und vom Streiflicht nicht erfaßt werden.

Erfahrungsgemäß ist es für Hersteller von Komponenten oder Teilen, die unter reinraumtechnischen Bedingungen gefertigt werden, schwierig eine Produktsauberkeit zu definieren. Die Halbleiterfertigung macht das seit vielen Jahren da die Qualitätssicherung erkannte, dass Partikel mit einer Größe von ca. 10 % der Strukturbreite zu Defekten führen können.

Auf einem Bauteil wie einer Laserkammer, einer Röntgenröhre, etc. wird diese Definition nahezu unmöglich, da beim Ausfall dieses Bauteils z.B. bei einem Hochspannungsüberschlag diese Teilchen mehr oder weniger verdampfen. Somit ist es obendrein schwierig zu sagen, ob es sich um eine partikuläre Auswirkung oder um einen anderen Fehler handelte. Was damit ausgedrückt werden soll, ist dass es in jeder Fertigung, die unter Reinraumbedingungen abläuft, individuell zu einer Definition der Kontamination, bleiben wir zunächst bei der partikulären, kommen muss.

Oberflächenkontamination

Somit ist klar, dass Möglichkeiten geschaffen werden mußten, um die partikuläre Sauberkeit von Oberflächen zu erfassen. Schon in den 90er Jahren wurde von der Firma Dryden Eng.^[5] in den USA ein Gerät propagiert, das über eine Sonde verfügte, die Partikel von der Oberfläche ablöste. Das Gerät wurde erfolgreich insbesondere in der Halbleiterfertigung z.B. nach der Reinigung von Prozesskammern eingeführt. In Europa hatte das Gerät weniger Erfolg, da u.a. die deutsche Mentalität sofort durchschlug und man erkannte: Da werden ja gar nicht alle Partikel auf der Oberfläche erfaßt, was vollkommen richtig ist.



Abb. 9: Partikelzähler, Steuergerät und Oberflächen-sonde



Abb. 10: Bedampfen der Oberfläche mit dem Gerät Confis



Abb. 11: EXPA

© CCI – von Kahlden GmbH

Das Thema Ablösung von Partikeln von der Oberfläche ist ein unendlich komplexes Thema, was tief in die Oberflächenphysik und -chemie eingeht, siehe Aufsätze und Bücher von K. Mittal^[6]. Trotz all diesen wenn und aber Diskussionen bleiben nur zwei wesentliche Möglichkeiten für die Inspektion von Oberflächen.

- man betrachtet die Oberfläche mit einer UV-Lampe oder mit Weißlicht im Streiflichtverfahren;
- man versucht die Methode der Partikelablösung zu optimieren.

CCI hat beides getan. Am Markt war bis vor einigen Jahren keine UV- oder Weißlichtlampe verfügbar, die man guten Gewissens in einem Reinraum einsetzen konnte. Dies war bedingt durch die Ausführung der Oberflächen (nicht reinigbar, Kunststoffmaterialien als Gehäuse, etc.). Somit entwickelte CCI Lampen, die sowohl gegen Desinfektionsmittel als auch H₂O₂ Begasung/Bedampfung dicht sind. Zusätzlich verfügen die Partikelvisualisierungslampen über eine definierte Intensität bis hin zur Kalibrierfähigkeit bei abnehmender Intensität, was bei LED's nun mal physikalisch so ist.

CCI hat die Methode der Ablösung von Partikeln von Oberflächen weiter optimiert, in dem man die Oberfläche mit Reinstdruckluft beschießt. Die sehr hohen Luftgeschwindigkeiten führen zu einer hohen Ablösekraft der Partikel. Es werden deutlich mehr Partikel abgelöst als bei der bisherigen Methode. Durch ein Steuergerät mit dem auch mehrere Druckluftstöße nacheinander an der selben Stelle aufgeben werden können, kann die Ablöseleistung je Pro-

benahmestelle soweit betrieben werden, bis sich keine Partikel mehr ablösen lassen. Immerhin hat dieses Verfahren bei einem namhaften Hersteller von optischen Komponenten und dessen Zulieferern Einzug gehalten.

An dieser Stelle sind wir noch nicht am Ende der möglichen Techniken. Optimierte Verfahren sind auf den Weg gebracht.

Ein weiterer, wichtiger Parameter von technischen Oberflächen ist deren Struktur. Eine technische Oberfläche benötigt eine möglichst gleichmäßige Struktur ohne Störungen, sprich undefinierte Vertiefungen, Erhöhungen, etc. Wie läßt sich das reinraumtechnisch, sprich unter „sauberen“ Bedingungen erfassen?

Hierfür wurde ein Gerät entwickelt, welches Reinstdampf mit variabler Temperatur und variablem Volumenstrom auf eine Oberfläche aufbläst. Somit werden Strukturen optisch sichtbar, vergleichbar mit den Wischspuren am Spiegel im Badezimmer, wenn der Wasserdampf kondensiert. Auch hier sehen wir, welche Spuren das Wischtuch auf dem Spiegel hinterlassen hat. Diese Methode wird insbesondere bei optisch relevanten Oberflächen eingesetzt.

Ausblick

Die meisten der aufgezeigten Geräte wurden durch die Beobachtung oder die Anforderung der Kunden entwickelt. Dazu bedarf es einer detaillierten Betrachtung der Aufgabenstellung oder Erkenntnis der Notwendigkeit, die dann durch ein paar findige Köpfe in ein Gerät zur täglichen Anwendung bei der Kontaminationskontrolle bzw. -vermeidung eingesetzt werden kann. Prinzipiell ist dies nur ein Zwischenstand, weitere Aufgabenstellungen warten.

Literatur

- [1] IEST-RP-CC003.4: Garment Considerations for cleanrooms and other Controlled Environments, 2011; Arlington Place One 2340 S. Arlington Heights Road, Suite 100 , Arlington Heights, IL 60005-4516
- [2] ASTM F 51: Standard Test Method for Sizing and Counting Particulate Contaminant In and On Clean Room Garments (Reapproved 2014), ASTM Headquarters, 100 Barr Harbor Drive, P.O. Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, USA
- [3] EN ISO 14644-9: Reinräume und zugehörige Reinraumbereiche, Teil 9: Klassifizierung der partikulären Oberflächenreinheit (Dez. 2012), DIN Institut für Normung e.V. Beuth Verlag GmbH, 10772 Berlin
- [4] Klumpp, B: Prüfverfahren zur Untersuchung der Partikelreinheit technischer Oberflächen, Berlin; Springer 1993 (IAP-IAO Forschung und Praxis, Band 182)
- [5] Dryden Engineering company, Inc. Owners Manual QIII Surface Particle Detector
- [6] Mittal, K.L.: Treatise on Clean Surface Technology Volume 1, 1987 Plenum Press New York

KONTAKT

Thomas von Kahlden

CCI – von Kahlden GmbH, Leinfelden
 Tel.: +49 711/699 767-10
 t.vonkahlden@cci-vk.de
 www.cci-vk.de