

## Automatisierte Partikelmessungen

### Saubere Bauteile sind zuverlässiger und leben länger

*Kay Scheffler und Anja Schué*

*Leica Microsystems, Wetzlar, Germany, [www.leica-microsystems.com/](http://www.leica-microsystems.com/)*

In der Automobilindustrie ist die technische Sauberkeit funktionskritischer Einzel- und Systemkomponenten als ein entscheidendes Kriterium für Zuverlässigkeit und Lebensdauer in den letzten Jahren immer mehr in den Vordergrund gerückt. Diese Entwicklung findet auch in der ISO-DIS 16232 (Road vehicles - Cleanliness of components of fluid circuits) Ausdruck. Mikroskopsysteme mit entsprechender Auswertesoftware ermöglichen eine effiziente und sichere Restschmutzanalyse bei Injektoren, Pumpen, Steuerteilen und weiteren mikromechanischen Komponenten.

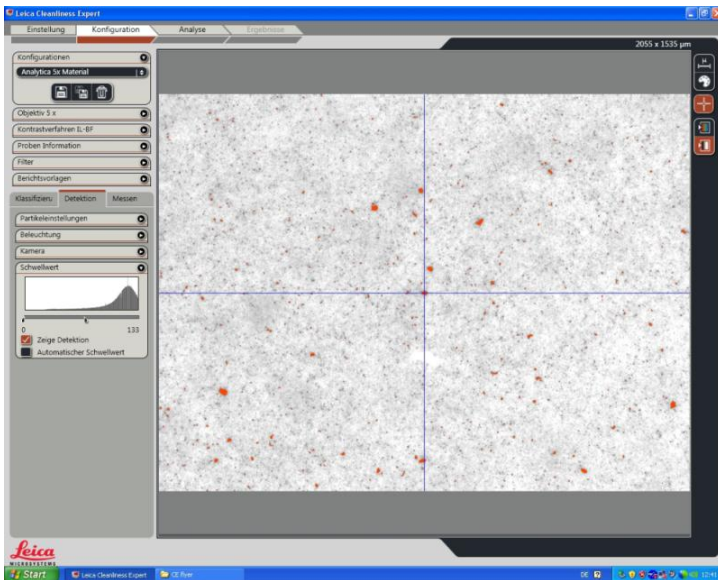
Viele Fahrzeugkomponenten können, einmal verbaut oder eingesetzt, nicht mehr kontrolliert werden. Verschmutzungen durch anhaftende Partikel können zu einem Totalausfall führen. Eine effiziente Sauberkeitsbestimmung zur Qualitätssicherung der Fertigungsprozesse kann nicht direkt am komplexen Bauteil erfolgen. Deshalb wird der Verschmutzungsgrad indirekt über die mikroskopische Restschmutzanalyse bestimmt. Dies geschieht in drei Schritten:

1. Spülen/Waschen der Bauteile
2. Filtration der Spülflüssigkeit
3. Optische Analyse des Filters

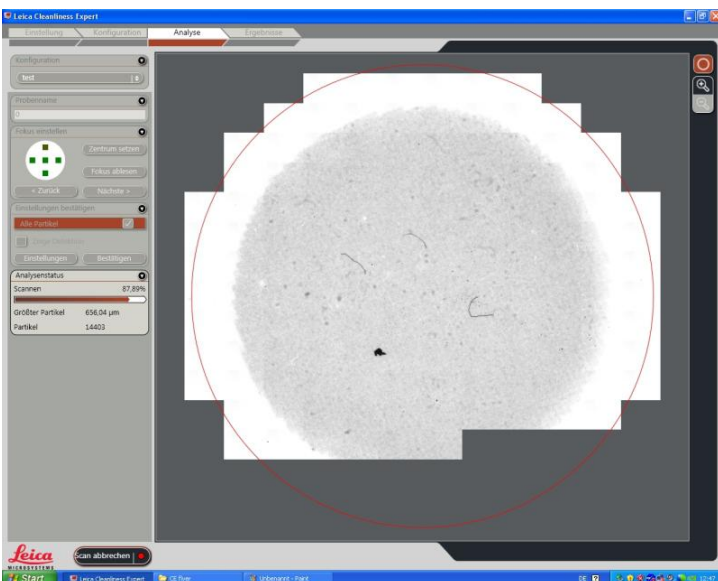
In enger Zusammenarbeit mit Zulieferern der Automobilindustrie hat Leica Microsystems das neue Komplettsystem Leica Cleanliness Expert für die Restschmutzanalyse entwickelt. Es besteht aus einem automatisierten Mikroskop (Leica DM4000 M – DM6000 M) mit Scanning-Tisch und Digitalkamera sowie einem leistungsstarken PC mit entsprechender Auswertesoftware, die Größe (Länge, Breite und Höhe), Art (Partikel/ Faser, reflektierend/nicht-reflektierend) und Anzahl der Schmutzpartikel auf einem Filter erfasst (Abbildung 1). Leica Cleanliness Expert analysiert Partikelfilter entsprechend den Vorgaben der VDA Band 19 sowie der ISO-DIS 16232. Die flexible Software lässt sich einfach und schnell auch an andere Industrienormen oder werksinterne Qualitätsstandards anpassen. Der Prüfer wird durch die Messroutine geleitet, bis die automatische Partikelmessung gestartet wird. Um reproduzierbare und vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, werden alle Systemparameter und eventuelle Änderungen durch den Benutzer automatisch dokumentiert. Die Ergebnisse werden automatisch dargestellt (Abbildung 2) und können gegebenenfalls noch weiter bearbeitet werden.



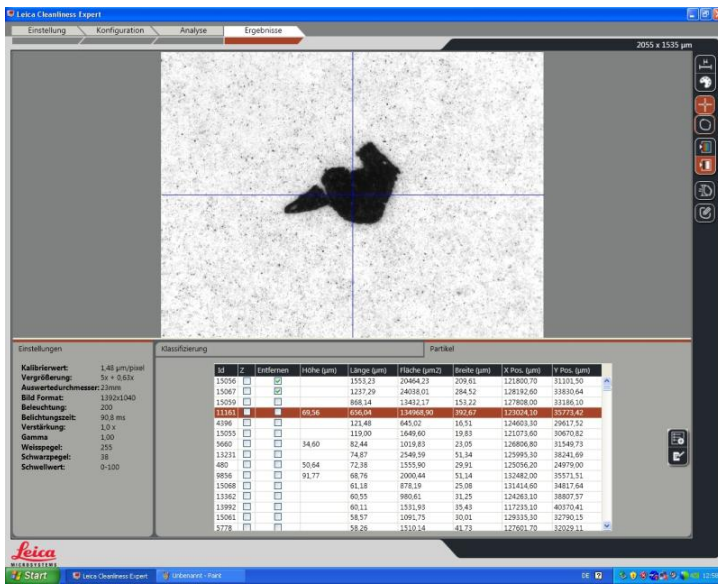
Abbildung 1: Das Komplettsystem Leica Cleanliness Expert mit vollautomatisiertem Mikroskop, Digitalkamera und Software ist auf einfache und sichere Bedienung ausgelegt.



a)



b)



c)

Abbildungen 2a-c: Die Ergebnisse der Partikelmessung werden automatisch dargestellt. a) Analysenkonfiguration durch Einstellen des Schwellwertes im Live-Bild, b) Aufbau des vollständigen Mosaiks. Der intelligente Detektions-Algorithmus verfolgt Partikel und Fasern über die Bildgrenzen hinweg, c) Der Controller der Resultate im Live-Bild sorgt für zuverlässige Ergebnisse.

### Das 10-Pixel-Kriterium

Bei der automatisierten Partikelmessung soll laut ISO-DIS 16232 die Länge der kleinsten Partikel von mindestens 10 Pixel abgebildet werden (Abbildung 3). Der entsprechende Kalibrierwert für die Partikelgröße ist abhängig von der Vergrößerung des Mikroskops, inklusive des Faktors des Kameraadapters und der Pixelgröße der Kamera. Der Kalibrierwert lässt sich manuell bestimmen oder aus den Systemparametern über die Software errechnen.

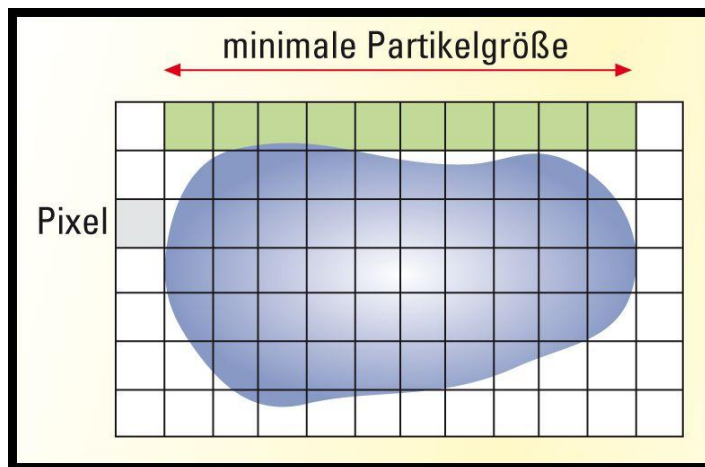


Abbildung 3: Ein Lichtmikroskop mit einem 5x-Objektiv und NA = 0,15 erzielt eine Auflösung von 2,2 µm. Das heißt, ein Kalibrierwert von 2 µm/pixel ist ausreichend zur Erfüllung des 10-Pixel-Kriteriums. Ein kleinerer Kalibrierwert führt hier nicht zu einer besseren Auflösung.

Für die Berechnung des Kalibrierwertes wird die Pixelgröße des Kamerachips durch die gesamte optische Vergrößerung geteilt. Eine Pixelgröße von 3,2 µm und eine 5x-Vergrößerung mit einem C-Mount-Faktor von 0,55 ergeben einen Kalibrierwert 1,16 µm/pixel. Wird die Kameraauflösung dabei auf 2x2 binning reduziert, erhöht sich der Kalibrierwert um den Faktor 2 auf 2,3 µm/pixel. Bei kleinen Werten von beispielsweise 0,3 µm/pixel ist allerdings unbedingt zu beachten, dass 3 µm große Partikel gemäß dem 10-Pixel-Kriterium nur dann korrekt erfasst werden, wenn ein optisches System mit entsprechender Auflösung eingesetzt wird.

Bei manueller Kalibrierung wird der Wert aus einer möglichst pixelgenau vermessenen, definierten Distanz ermittelt. Theoretisch und manuell bestimmter Kalibrierwert weichen bei Festoptiken im Allgemeinen erst in der zweiten Nachkommastelle voneinander ab. Bei Stereomikroskopen und Makroskopen muss der Wert manuell bestimmt werden, da die Differenz aufgrund der Zoomoptik größer ist.

Das 10-Pixel-Kriterium gilt vor allem bei der Vermessung funktionskritischer Partikel. Für andere Partikelmessungen kann die Anforderung auf den fünffachen Wert der Auflösung abgeschwächt werden.

Für Messungen in kleinen Partikelklassen (CCC-Klassen A-C und größer) empfiehlt sich der Einsatz vollautomatisierter Lichtmikroskope mit hoher Abbildungsqualität. Je nach Partikelgröße können Vergrößerungen von 5x, 10x oder 20x verwendet werden. Für größere Partikelklassen (CCC-Klassen ab D) eignet sich das 2,5x Objektiv, um schnell auch größere Filterdurchmesser mit der gewünschten Auflösung analysieren zu können.

---

## **Restschmutzanalyse in der Praxis**

Interview mit Dr. Michael Härtel, Leiter des Werkstoffprüflabors bei der Continental Automotive GmbH, Division Powertrain, Limbach-Oberfrohna

Die Division Powertrain des Automobilzulieferers Continental AG entwickelt und produziert Systemlösungen für den Fahrzeugantrieb. Das Produktprogramm reicht von Benzin- und Dieseleinspritzsystemen über Motor- und Getriebesteuerungen bis hin zu Komponenten und Systemen für Hybridantriebe. Am Standort Limbach-Oberfrohna bei Chemnitz werden Piezo-Injektoren für Diesel-Common-Rail-Einspritzsysteme gefertigt. Die Piezo-Technik führt nicht nur zu sparsamen und schadstoffärmeren Dieselmotoren, sondern verhilft auch Benzinmotoren mit Direkteinspritzung zu deutlich weniger Kraftstoffverbrauch. Dr. Michael Härtel, Leiter des Werkstoffprüflabors und zuständig für Fragen der Werkstofftechnik in Limbach-Oberfrohna, setzt zur Sauberkeitsanalyse bei Einzelkomponenten und Bauteilgruppen Leica Analysensoftware ein.

### **Warum ist die Restschmutzanalyse so wichtig?**

Dr. Härtel: „Vom Einzelteil bis zur Baugruppe prüfen wir alles sehr genau auf Partikelrückstände, da wir heute wissen, dass die Sauberkeit ein entscheidender Faktor für Zuverlässigkeit und Lebensdauer ist. Die Komponenten werden mehrfach gewaschen und gereinigt, um anhaftende Partikel zu entfernen. Dabei werden unter anderem Lanzen eingesetzt, welche Bohrungen von Innen reinigen, oder es kommen entsprechend hohe Drücke beim Waschen zum Einsatz. Nach der Reinigung untersuchen wir die Partikel nach Größen und deren Verteilung mit Hilfe der mikroskopischen Analyseverfahren. Die Ergebnisse sind nicht nur wichtig, um unsere hohen Qualitätsstandards zu überprüfen, die zum Teil noch strenger als die offiziellen Richtlinien sind. Sie helfen uns auch, Ursache und Herkunft der Verunreinigungen festzustellen.“

### **Wie wirken sich an Bauteilen anhaftende Partikelrückstände aus?**

Dr. Härtel: „Unsere Bauteile haben enge Toleranzen, sehr genaue Passungen beziehungsweise mikroskopisch kleine Öffnungen. Kleinste Partikelrückstände in Injektoren, Pumpen oder Steuerteilen könnten während des Betriebs folgenschwere Funktionsstörungen verursachen bis hin zum Ausfall des kompletten Einspritzsystems. Unsere Injektoren spritzen den Kraftstoff durch kaum vorstellbar kleine Bohrungen in den Motor. Da kann man sich leicht vorstellen, dass Partikel ab einer bestimmten Größe an diesen Stellen Probleme bereiten. Ähnliches gilt für die Steuerung der Injektoren, einem Zusammenspiel unterschiedlicher Drücke, die wiederum über sehr kleine Bohrungsöffnungen geregelt werden. Wenn sich dort ein Span festsetzt, wird die Funktion des Einspritzsystems behindert.“

### **Ist die lichtmikroskopische Partikelanalyse für Ihre Anforderungen ausreichend?**

Dr. Härtel: „Die optische Kontrolle ist für die Routine das Verfahren der Wahl. Sie liefert schnell zuverlässige Ergebnisse und ist dabei noch wirtschaftlich. Uns interessiert nicht, ob unsere Teile "klinisch" sauber sind. Wir haben die Fragen zu beantworten, ob Partikel vorhanden sind, wie groß diese sind und ob davon funktionelle Störungen ausgehen können. Wir klassifizieren die Partikel nach ihrer Größe und teilen sie in funktionsrelevante Klassen ein. Abhängig von der Klassenzugehörigkeit gibt es entsprechende Szenarien, woraus sich wiederum Konsequenzen für den Herstellungsprozess ableiten lassen. Sehr kleine Partikel sind in der Regel eher unkritisch. Wir erfassen auch diese um eventuellen Veränderungen in den Fertigungsprozessen frühzeitig erkennen zu können. In speziellen Fällen setzen wir teure, zeitaufwändige, rasterelektronenmikroskopische Untersuchungen ein – wenn wir beispielsweise die genaue Zusammensetzung der Partikel untersuchen wollen.“

**Wie häufig prüfen Sie die Bauteile auf Sauberkeit?**

Dr. Härtel: "Wir untersuchen Bauteile und Baugruppen in regelmäßigen Abständen entsprechend unseren Prüfplänen. Untersucht werden komplett montierte Injektoren, aber auch Einzelteile. Die Prüffrequenzen selbst werden von Erfahrungswerten beeinflusst. Treten bei einem Bauteil plötzlich erhöhte Werte auf, wird die Prüffrequenz erhöht und parallel Abstellmaßnahmen eingeleitet."

**Wie beurteilen Sie das Analysesystem?**

Dr. Härtel: „Mit der Leica Analysensoftware sind wir sehr zufrieden. Insbesondere die selbsterklärende Bedienung gefällt uns sehr gut. Leica Microsystems entwickelt die Software ständig weiter und integriert anwendungsrelevante Punkte. Die unterschiedlichen passwortgeschützten Benutzerebenen machen das System in der täglichen Praxis sehr sicher.“

„Für die Zukunft wünscht sich die Industrie natürlich eine vollautomatische Lösung für das Zählen und Klassifizieren der Partikel, um die Zahl der Prüfteile pro Zeiteinheit erhöhen zu können beziehungsweise um zeitnah und vor Ort prüfen zu können. Aber ich sehe gegenwärtig keine Möglichkeit für eine wirtschaftliche Umsetzung dieser Ideen.“