

# Partikuläre Verschmutzung schnell bestimmen

Die Streiflichtmethode ermöglicht es, partikuläre Verunreinigungen auf Oberflächen zuverlässig zu messen. Bei diesem Verfahren wird das von Partikeln gestreute Licht gesammelt und ausgewertet. Ein Messsystem auf dieser Basis liefert schnelle Ergebnisse, ist wirtschaftlich, einfach zu bedienen und mobil einsetzbar.

Bei der Analyse mit Streiflicht mit dem Messsystem Part Sens 4.0 der OMT GmbH wird das Licht fast parallel zur Oberfläche von der Seite eingestrahlt. Anders als im Auflicht (Standardmikroskop), wird nur refraktiertes (gestreutes) Licht erfasst und analysiert. Eine Besonderheit der Streiflichtmethode ist das sehr hohe Signal-Rauschen-Verhältnis (Signal-Noise-Ratio). Ist die Oberfläche unter den Partikeln dunkel, so lassen sich auch kleine Partikel bis zur physikalischen Grenze des Systems sehr zuverlässig nachweisen. Wird die Lichtintensität erhöht, wird das Signal stärker – während der Einfluss der dunklen Oberfläche (= Noise) nur minimal stärker wird.

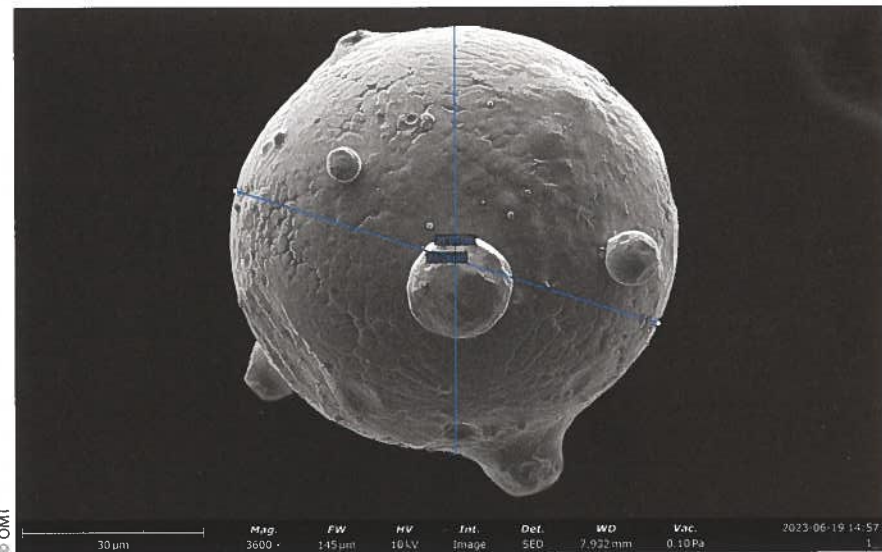
## Erst abklatschen, dann analysieren

Die Extraktion durch Abklatschen ist eine seit langem praktizierte Methode und wird in verschiedenen Standards beschrieben. [1] Mit der Abklatschfolie TapeLift Pad von OMT werden Partikel von trockenen Oberflächen abgelöst und anschließend zur Messung präsentiert. Die Validierung dieses Probenahmeverfahrens erfolgt über die bekannte Abklingkurve [2] [3]. Das Besondere ist, dass die Oberfläche des TapeLift Pads einen ideal-schwarzen und ebenen Hintergrund zur Messung mit Streiflicht darstellt. Je glatter und dunkler der Hintergrund, desto höher Kontrast und die Abbildungsgenauigkeit.

Da Streulicht analysiert wird, werden auch schwarze Partikel gut erkannt. Weiße oder transparente Partikel sind hier völlig unproblematisch. Bei der Standardanalyse nach VDA 19.1 im Auflicht werden helle und transparente Partikel häufig falsch oder gar nicht erkannt. Das muss beim gleichzeitigen Einsatz der Methoden oder bei der Umstellung beachtet werden. Fasern werden über die Geometrie definiert, erkannt und angezeigt. Der metallische Charakter der Partikel wird über die Glanzeigenschaften, beziehungsweise die Dynamik des Glanzes bewertet [4]. Zur Validierung der Größermessung im Streiflicht können Referenzpartikel genutzt werden – sowohl bei der Messung



Der Hintergrund des TapeLift-Pads ist schwarz.



REM-Aufnahme eines Referenzpartikels mit 72 µm.

mit Abklatsch, als auch besonders bei der Messung direkt auf nicht normierten Oberflächen wie grau, farbig oder strukturiert. Partikel mit einer verifizierten Größe werden aufgebracht, die Belichtungsintensität entsprechend justiert oder dem Anwendungszweck entsprechend eingestellt und ein Korrekturfaktor im Nachgang angewendet.

## Sauberkeit im Prozess

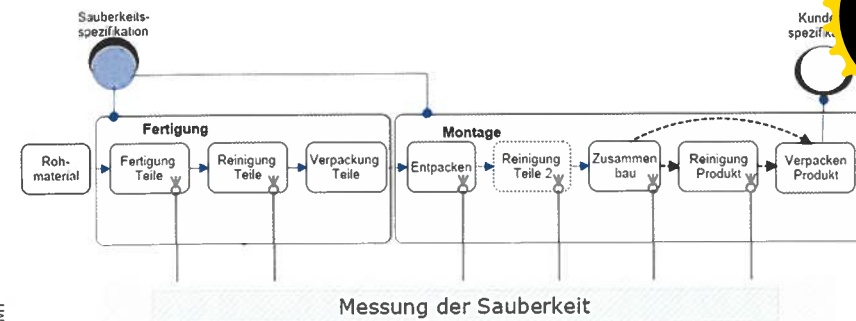
Das Dilemma bei der Bestimmung von Verschmutzung oder der Reinigungswirkung liegt dabei darin, dass der erzielte Zustand sich schnell und ohne menschliche Einwirkung verändern kann. Dazu kommt, dass Partikel sich immer wieder auch auf undefiniert, nicht-statistischer Art und Weise auf Werkstücken sammeln.

Der Ausweg ist, den Fertigungsprozess bestmöglich schmutzfrei zu gestalten und jedes Werkstück einzeln verpackt (zwischen-) zu lagern. Dieser Ansatz wird in der Raumfahrtindustrie umgesetzt – mit entsprechenden Kosten. Im Juni 2023 hat SpaceX für die saubere Verladung des ESO Euclid Weltraumteleskops in eine Falcon-9 Rakete einen Cleanliness-Aufschlag von 5 Mio. Dollar erhoben.

Für die Industrie ist eine pragmatische Lösung mit kalkulierbarem Aufwand durch den Einsatz von Teilbeprobung und statistischer Auswertung der Partikelkontamination umsetzbar. Voraussetzung ist hier ein stabiler Prozess.

Von entscheidender Bedeutung ist, dass die Prüfergebnisse in wenigen Sekunden zur Verfügung stehen. Wenn eine Eskalationsstaktik vorgegeben ist, kann unmittelbar entschieden werden, ob weitere Messungen notwendig sind, ob Eingriffsgrenzen überschritten wurden oder umgekehrt, vereinfacht weiter geprüft werden kann. Weitergehende Prüfungen der Materialeigenschaften können durch direkte Weiterverwendung der TapeLift Pads im REM-EDX und LIBS-Raman oder FTIR erfolgen, wobei eine Mindestgröße der Partikel beachtet werden muss. Es wird keine zusätzliche Fixierung benötigt, da die Partikel ausreichend gut auf den TapeLift Pads haften. So kann auch Forensik für ausgewählte Extraktionen erfolgen. Die TapeLift Pads sind stabil im Grobvakuum sowie für begrenzte Zeit im Feinvakuum und enthalten keine störenden Fremdstoffe, die die spektrale Analyse beeinflussen würden.

Von den bisherigen Verfahren hat sich die Extraktion im Waschkabinett, Sammeln



Prozesskette der Messung der partikulären Sauberkeit mit dem System; durch die einfache Probenahme und schnelle Messung können Werkstücke prozessbegleitend untersucht werden.

der gespülten Partikel auf einem Filter und anschließende Analyse im Auflichtmikroskop bewährt und etabliert. Offen gelassen wurden zwei Bereiche: Werkstücke, deren Größe oder Geometrie oder physikalische Eigenschaft nasse Extraktion und Prüfung verhindert und Anwendungen, deren nasse Extraktion wirtschaftlich schädlich ist, wie destruktive Prüfung und/ oder hoher Aufwand je Prüfung.

Beiden Bereichen ist zu Eigen, dass die Anzahl der Prüfungen ein statistisch relevantes Niveau nicht erreicht. Mittels statistischer Erhebung von Prüfungen lässt sich jedoch eine Reihe von Problemen angehen. Das fängt bei der Inspektion von Rohmaterial und Vorprodukten an, geht über die Bestimmung der Prozessstabilität im Sinne der technischen Sauberkeit, bis hin zur Beurteilung von Transport- und Verpackung und Sicherstellung der Sauberkeit für komplexe, zusammengebaute Produkte.

## Hohe Kosten bei etablierten Verfahren

Etablierte Verfahren sind meist mit hohen Kosten verbunden. Der Aufwand an Geräten, Materialien, Räumlichkeiten und vor allem hinsichtlich des Personals sorgt für eine Erhöhung der Stückkosten, die nicht akzeptiert wird. Dabei ist der Aufwand für Training noch hinzuzurechnen.

Dazu kommt, dass die Ergebnisse der Sauberkeitsprüfung meist nicht zeitnah zur Verfügung stehen und Produkte schon zum nächsten Prozessschritt weiter gelaufen sind – im schlimmsten Fall zum Kunden. Im Falle eines n.-i.-O.-Ergebnisses muss zunächst eine B-Probe genommen werden. Dies ist unter praktischen Gesichtspunkten nicht mehr möglich, wenn es kein Rückstellmuster gibt. Bis zur Klärung bedeutet dies faktisch einen Produktionsstopp bis hin zu einer Rückrufaktion. Hier summieren sich Kosten aus Verpackung, Trans-

port, Bearbeitung, Stillstandzeiten und Imageschäden als nicht-monetäre Kosten.

## Fazit

Durch die Einfachheit der Probenahme und die Schnelligkeit der Messmethode kann mithilfe des PartSens 4.0 in Verbindung mit den TapeLift Pads eine große Anzahl an Werkstücken prozessbegleitend untersucht werden und so eine breite Datenbasis geschaffen werden. Diese erlaubt mit zunehmender Anzahl an Messungen eine immer bessere Bewertung des Prozesses und eine präzise Trendbeobachtung. Noch bevor es zu Problemen und Überschreitungen von Eingriffsgrenzen kommt, können Gegenmaßnahmen bereits im Voraus geplant und ergriffen werden. //

## Literaturhinweise

- [1] ASTM E1216-21; Standard Practice for Sampling for Particulate Contamination by Tape Lift, 2021
- [2] ISO 16232:2018-12 Road vehicles – Cleanliness of components and systems, 2018-12
- [3] VDA 19.1 2015; Prüfung der Technischen Sauberkeit – Partikelverunreinigung funktionsrelevanter Automobilteile, 2. Aufl., März 2015
- [4] Jan Schütz, Alexander Blättermann, Peter Kozłowski, Albrecht Brandenburg: Imaging detection and classification of particulate contamination on structured surfaces. In Proc. SPIE Vol. 11056, 1105620-1, 21 June 2019

## Autor

**Dr. Michael Schwierskott**  
 Director of Sales International & Business Development  
 OMT GmbH, Heimsheim  
 m.schwierskott@omt-gmbh.eu  
 www.omt-gmbh.eu