

## Schnelle Ermittlung der technischen Sauberkeit mikrorauer Oberflächen

### Einleitung

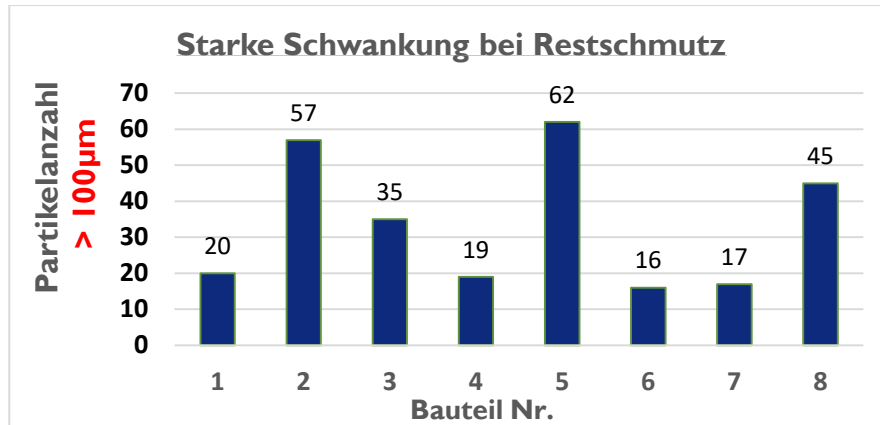
Was will der Käufer von heute? Sicher und leistungsfähig, das sollen Produkte sein. Außerdem sollen sie einen möglichst grünen Fußabdruck haben. Doch wie erreicht ein Unternehmen dieses Ziel? Der Einsatz ökologisch bedenklicher Substanzen soll so weit wie möglich verringert werden und der Material- sowie Energieverbrauch über den gesamten Produktlebenszyklus muss abnehmen.

Verschiedene Bauteile müssen also nicht nur immer weiter steigenden Qualitätsansprüchen gerecht werden, sondern auch immer kleiner werden. Dadurch sehen sich Unternehmen mit neuen Problemen konfrontiert. Je kleiner ein Bauteil ist, desto empfindlicher ist es in der Regel. Beispielsweise führen ungewollte Verunreinigungen zu Minderleistung oder gar zu Fehlfunktionen. Metallische Partikel im Bereich der Hochvoltelektronik von Elektroautos können Kurzschlüsse bis hin zu Bränden verursachen. Klebeflächen, die durch Partikel oder/und filmische Verunreinigungen kontaminiert sind, besitzen eine geringere Klebekraft. Dadurch steigt die Gefahr des Versagens der Klebestelle im späteren Einsatz, was beispielsweise zu Undichtigkeiten und Austreten toxischer Substanzen führen kann. Szenarien wie die beiden genannten, führen zu unerwarteten Kosten beim Anwender und Imageschäden. Daher versuchen die Unternehmen, das Risiko zu minimieren, indem sie die Ursachen vermeiden. Es gilt, ungewollte Verschmutzungen nach Möglichkeit auszuschließen. Getrieben von diesen Herausforderungen hat sich das Arbeitsfeld der „Technischen Sauberkeit“ entwickelt. Hierbei geht es um die Entfernung kritischer Verunreinigungen und die Kontrolle, ob Bauteile an neuralgischen Stellen die geforderte Sauberkeitsspezifikation erfüllen.

### Partikelkontamination als Teil der Technischen Sauberkeit

Für manche Bauteile sind besonders metallische Partikel funktionsgefährdend, da sie Kurzschlusspotential bieten. Andernorts sind alle harten Partikel (z. B. Korund) kritisch, weil diese zu Abrieb und vorzeitigem Verschleiß führen. Verschiedene Firmen haben hunderte von Reinigungsverfahren und Reinigungsanlagen entwickelt, um Bauteile bestmöglich zu reinigen. Andere Hersteller haben sich darauf spezialisiert, Messgeräte zum Nachweis der Sauberkeit zu entwickeln. An dieser Stelle hat sich das Verfahren der Nassextraktion und anschließender Mikroskopie des Analysefilters durchgesetzt. In VDA 19.1 wird dieses Verfahren ausführlich beschrieben. Allerdings stößt dieses Verfahren an seine Grenzen. Die Analyse in einem Auftragslabor dauert einige Stunden bis Tage und kostet einige hundert Euro. Bis zum Ergebnis liegt die produzierte Charge irgendwo auf Lager und wartet auf Freigabe. Platz für Lagerfläche kostet ebenfalls Geld. Sollte das Ergebnis „n. i. O.“ sein, beginnt die Ursachenforschung. Während dieser Zeit liegt kann die fertig produzierte Ware nicht versendet werden. Es kommt zum Lieferverzug.

Untersuchungen haben gezeigt, dass einzelne Bauteile einer Charge sehr unterschiedlich verschmutzt sind. Zwischen dem am saubersten und schmutzigsten Bauteil liegen bisweilen mehrere hundert Prozent Unterschied. In absoluten Zahlen ist diese Tatsache in Abbildung I dargestellt. Es reicht daher nicht aus, nur wenige Bauteile als Stichprobe zu analysieren. Aussagekräftiger und sicherer ist es, kontinuierlich die Sauberkeit zu überwachen.



**Abbildung I: Innerhalb einer Charge variiert die Technische Sauberkeit einzelner Bauteile gravierend. Zuverlässige Aussagen erfordern eine statistische Herangehensweise**

Bei vertretbarem Aufwand-Nutzen-Verhältnis führt dies automatisch dazu, dass eine Routineprüfung anders erfolgen muss als eine detaillierte Sauberkeitsanalyse. Wie dies im Speziellen durchgeführt wird, hängt unter anderem vom zu prüfenden Bauteil und den Sauberkeitsanforderungen ab und ist im Kunden-Lieferanten-Verhältnis zu klären.

### **Der PartSens 4.0 als Lösung vieler Probleme**

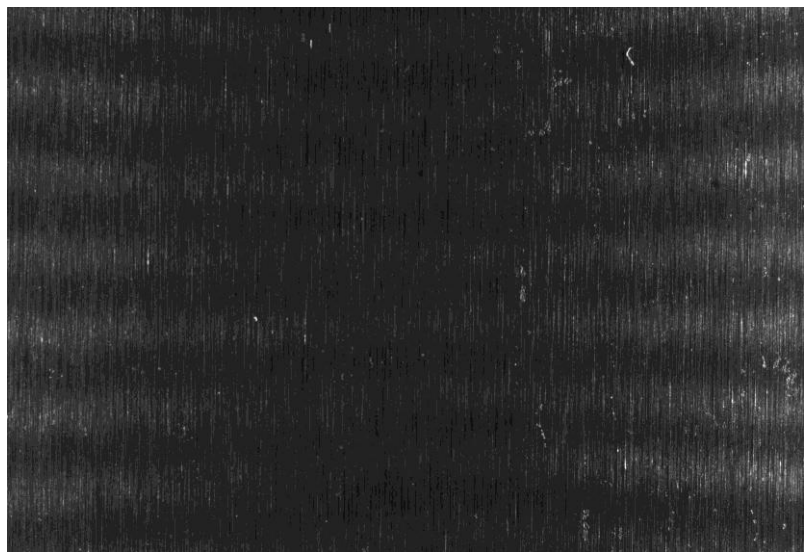
Der PartSens 4.0 ist ein tragbares Messgerät, der es erlaubt, direkt vor Ort verschiedene Bauteile auf ihre Sauberkeit zu untersuchen. Somit können negative Trends frühzeitig erkannt und rechtzeitig Gegenmaßnahmen eingeleitet werden. Mit voreingestellten Rezepten können Mitarbeiter innerhalb von Sekunden Messungen durchführen. Wird das Gerät ans Netzwerk angeschlossen, werden die Daten automatisch mit einem zuvor definierten Ordner synchronisiert. Produktionsleiter und Verantwortlicher für Technische Sauberkeit können die Daten sofort einsehen und innerhalb von Minuten reagieren.

## Rauheit von Oberflächen - Beispiel Aluminiumbleche

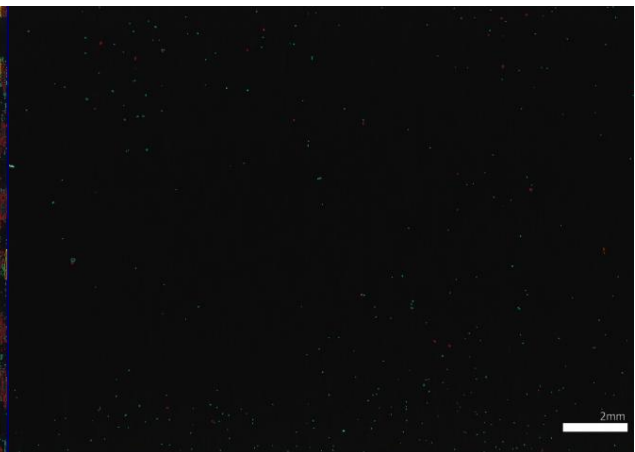
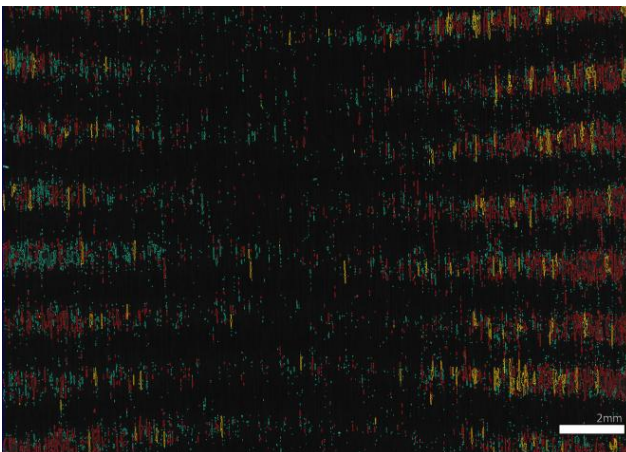
Bereits ab einer Rauheit von  $R_a > 0,2 \mu\text{m}$  werden Strukturen der Oberfläche vom PartSens 4.0 erkannt und als „Partikel“ interpretiert. Deshalb lassen sich viele Bauteile mit dem PartSens 4.0 nicht direkt sinnvoll messen. Beispielhaft sei hier ein Aluminiumblech gezeigt. Bereits mit bloßem Auge erkennt man in Abbildung 2 Strukturen mit einer Vorzugsrichtung. Hierbei handelt es sich um Spuren vom Walzen (siehe Abbildung 3). Diese Walzspuren sind bei direkter Messung der Oberfläche deutlich zu erkennen.



**Abbildung 2:**  
Aluminiumblech mit  
deutlich erkennbarer  
Oberflächenstruktur



**Abbildung 3:** links: Messkopf steht auf dem Blech; Messung erfolgt direkt  
rechts: Auszug aus den Rohdaten zeigt deutlich erkennbare Riefen



**Abbildung 4:** Vergleich, was vom PartSens 4.0 bei inaktivem Riefenmodus (links) bzw. aktiviertem Riefenmodus (rechts) als Partikel identifiziert wird.

Zur Unterdrückung dieser Riefen besitzt der PartSens 4.0 einen sogenannten Riefenmodus. Die Auswirkungen im konkreten Fall sind sehr gut in Abbildung 4 zu sehen. Die vertikal verlaufenden Walzspuren werden sehr effektiv unterdrückt. Dies ermöglicht es, grobe Trends zu identifizieren. Sollten beispielsweise deutlich mehr große Partikel ( $> 200 \mu\text{m}$ ) als üblich auf dem Blech haften, wird der PartSens 4.0 dies erkennen. Sollte sich das Walzwerkzeug abnutzen und die Riefen tiefer werden, wird der PartSens 4.0 diesen Verschleiß ebenfalls erkennen. Eine sichere Identifikation von Partikeln  $< 100 \mu\text{m}$  ist im gezeigten Fall nicht möglich. Hierzu bedarf es einer indirekten Methode, bei der die Partikel vom Bauteil extrahiert und anschließend gemessen werden.

Die PMT Partikel-Messtechnik GmbH bietet zu diesem Zweck sogenannte TapeLift Pads an. Hierbei handelt es sich vereinfacht gesagt um eine schwarze, adhäsive Folie, an der fast alle Partikel kleben bleiben. Ein Beispiel ist im Abbildung 5 zu sehen.

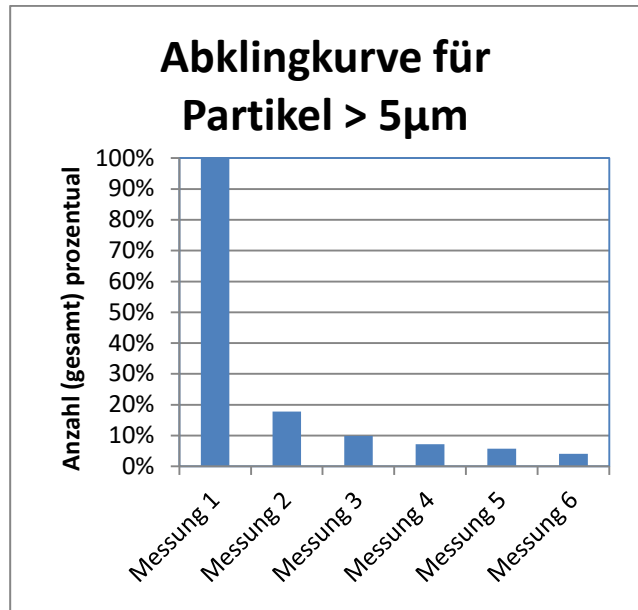
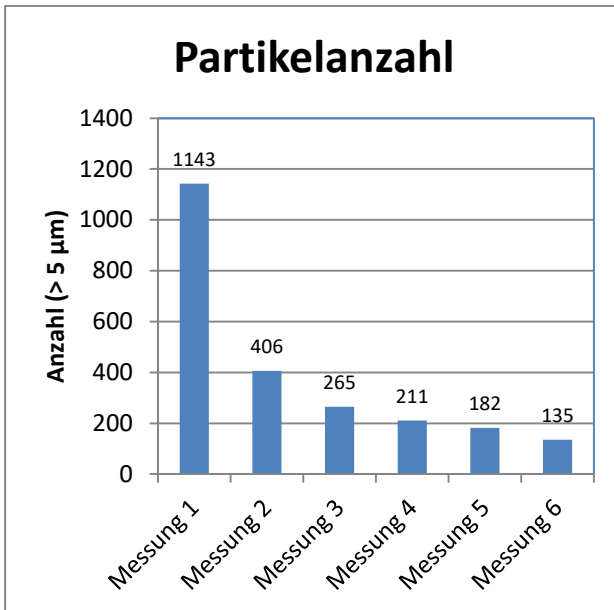


**Abbildung 5: Probenahme mittels TapeLift Pad auf Alu-Blech (links); TapeLift Pad mit Partikeln (rechts)**

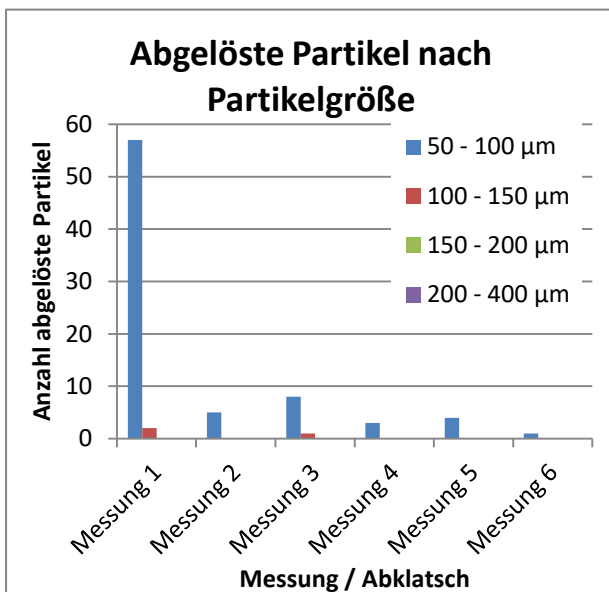
### **Abklingkurve – Eignungstest für Extraktionsverfahren**

Um sicher zu gehen, dass das verwendete Extraktionsverfahren geeignet ist, schreibt die VDA 19.1 die Erstellung einer Abklingkurve vor. Dabei werden in einem zuvor definierten Bereich 6-mal hintereinander immer wieder unter exakt gleichen Bedingungen Partikel extrahiert. Damit die Extraktionsmethode als geeignet betrachtet werden darf, darf spätestens beim 6. Extraktionsschritt die extrahierte Partikelanzahl nicht größer als 10% der Summe aller während der vorangegangenen Extraktionsschritte abgelösten Partikel sein:

$$C_i < 0,1 * \sum_{n=1}^i C_n \text{ mit } i \leq 6$$



**Abbildung 6:** links: Bei der jeweiligen Messung 1 – 6 vom Aluminiumblech (Abbildung 5) absolut abgelöste Anzahl Partikel > 5µm | rechts: Abklingkurve wie in VDA 19.1 gefordert



**Abbildung 7:** Abgelöste Anzahl Partikel für ausgewählte Partikelgrößenbereiche

Wie in Abbildung 6 rechts zu sehen ist, ist das Abklingkriterium bereits nach der 3. Messung erreicht. Die Methode kann also als sehr gut geeignet bezeichnet werden. Die Betrachtung der Rohdaten zeigt, dass beim ersten Abklatsch mit 1143 Partikeln etwa genauso viele Partikel abgelöst werden, wie bei Abklatsch 2 bis 6 zusammen (kumuliert 1199 Partikel). Über die Anforderung der VDA 19.1 hinaus lässt sich die Effektivität des Verfahrens natürlich auch für verschiedene Partikelgrößenbereiche betrachten. In Abbildung 7 ist gezeigt, bei welcher der sechs aufeinander folgenden Messungen wie viele Partikel eines bestimmten Partikelgrößenbereichs abgelöst wurden. Partikel zwischen 50 und 100 µm wurden nahezu vollständig beim ersten Mal abgelöst. Im Bereich 100 – 150 µm wurden bei der ersten Messung 2 Partikel und bei der dritten Messung 1 Partikel gezählt. Größere Partikel wurden bei dieser Messung gar nicht gefunden. Das positive Ergebnis zur Ablöseeffizienz des TapeLift

Verfahrens unter realen Bedingungen ist umso bedeutender vor dem Hintergrund, dass das Schädigungspotential eines Partikels mit seiner Größe stark zunimmt.

### Direkte vs. Indirekte Messung

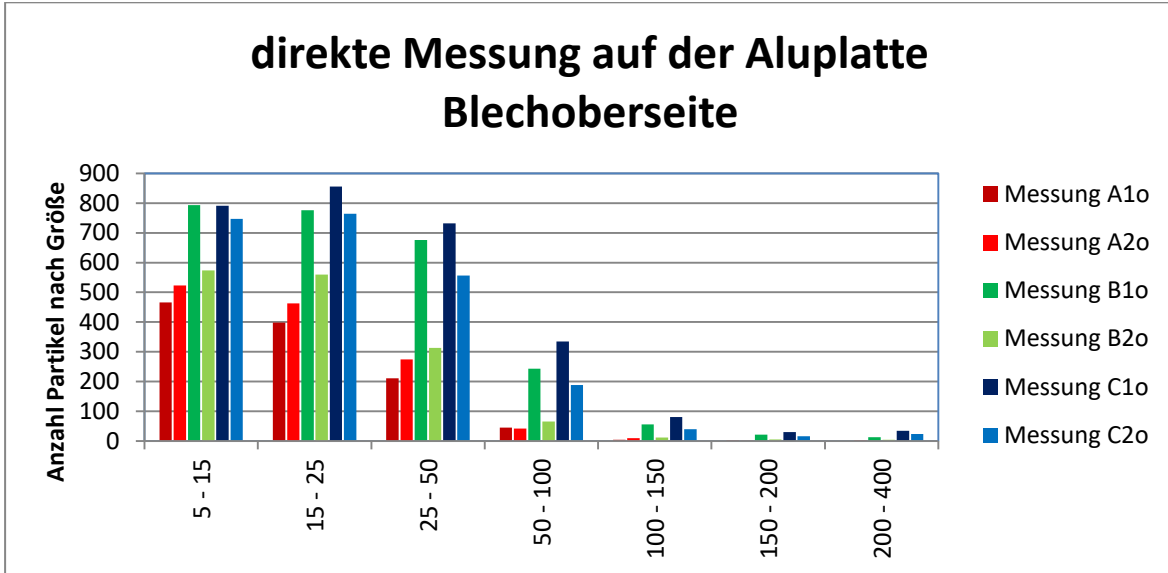


Abbildung 8: Partikelgrößenverteilung verschiedener Bleche bei direkter Messung auf der Oberfläche, wie in Abbildung 3 links zu sehen, mit aktiviertem Riefenmodus

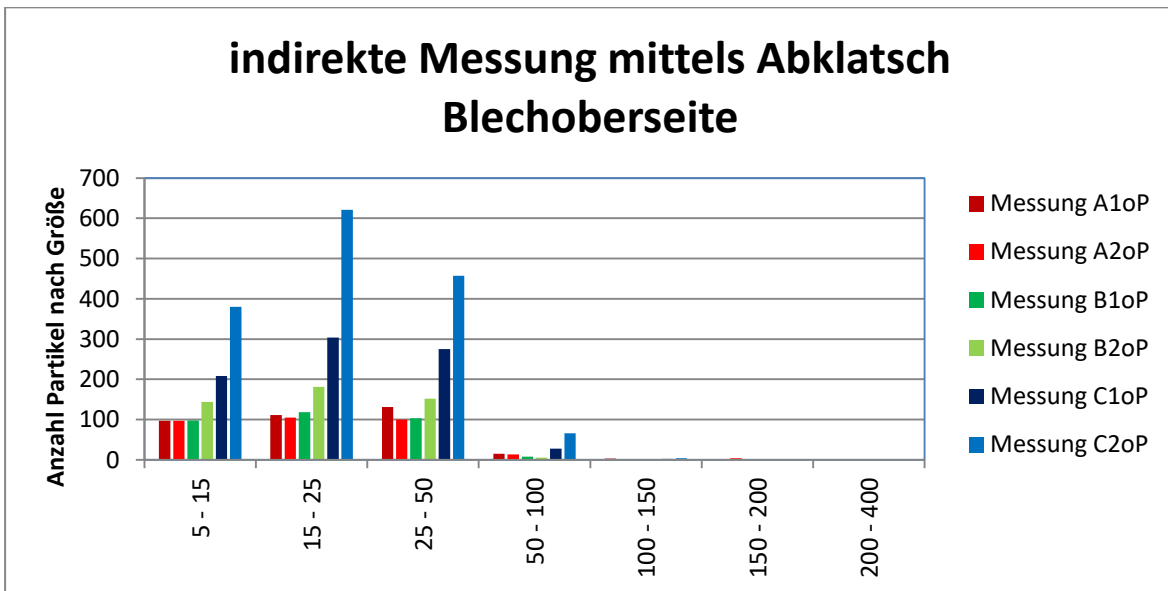


Abbildung 9: Partikelgrößenverteilung verschiedener Bleche nach der ersten Extraktion mittels Abklatsch mit TapeLift Pad



Geht man nun also davon aus, dass bei einmaligem Abklatsch knapp 50% aller auf dem Blech vorhandenen Partikel abgelöst werden, ist es möglich, die Nullzählrate oder Falscherkennungsrate der Direktmessung zu bestimmen. Um eine gute Statistik zu generieren, muss an mindestens 50 zuvor definierten Stellen eine Direktmessung erfolgen. Für die identischen Stellen müssen anschließend jeweils die Abklingkurven aufgenommen werden. Je geringer die Anzahl Messpunkte, desto größer ist die Unsicherheit über die Genauigkeit der Ergebnisse und damit die Standardabweichung. Für den praktischen Einsatz ist diese Herangehensweise jedoch eher unbrauchbar. In der Praxis werden meist aus Zeit- und Kapazitätsgründen eher wenige Bauteile (max. 10 Stück) überprüft. Die Standardabweichung ist dadurch größer, wodurch unter Umständen Spezifikationen nicht sicher eingehalten werden können. Bei der Ermittlung der Daten für Abbildung 8 und Abbildung 9 wurden aus drei verschiedenen Produktionsschritten (A, B & C) jeweils zwei Bleche (1 & 2) auf der Oberseite untersucht. Der Vergleich von Abbildung 8 und Abbildung 9 zeigt klar, dass das Abklatschverfahren mittels TapeLift Pads genauere Ergebnisse liefert. Besonders deutlich ist dies oberhalb einer Partikelgröße von 100 µm zu sehen. Bei der Direktmessung wurden stets mehr Partikel oberhalb 100 µm gezählt als nach Abklatsch mittels TapeLift Pad. Die Ablöseeffizienz für Partikel > 100 µm ist in Abbildung 7 zu erkennen. Daher kann mit Sicherheit gesagt werden, dass bei der Direktmessung stets zu viele große Partikel falsch positiv identifiziert wurden. Um eine generelle Verschlechterung der technischen Sauberkeit zu erkennen, ist die Direktmessung vollkommen ausreichend und aufgrund der Zeitersparnis für diesen Zweck zu empfehlen. Für exakte Messdaten muss aber zwingend das TapeLift Verfahren angewandt werden.

### **Mehrwert des PartSens 4.0**

Der PartSens 4.0 ist ein sehr flexibel einsetzbares Messgerät zur Detektion von Partikeln zum Zweck der Bestimmung der Technischen Sauberkeit. Mit 7,7 Kg ist es von jedermann tragbar und kann vor Ort in der Serienproduktion eingesetzt werden. Bei diesem Gewicht sind die zwei Akkus für mehrere Stunden Betriebsdauer bereits inbegriffen. Die Datengenerierung ist im Vergleich zu anderen Systemen simpel und dauert nur wenige Sekunden bis Minuten. Die Messergebnisse stehen als .xlsx-Datei zur Verfügung und sind dadurch universell prozessierbar. Über einen Thermodrucker ist es sogar möglich, das Ergebnis der Messung vor Ort auszudrucken und dem Warenbegleitschein beizulegen.

Produktionsleiter, Qualitätsverantwortliche und Verantwortliche für Technische Sauberkeit sind somit jederzeit in der Lage, effizient ihre Produktion und Produktionsumgebung hinsichtlich der Kontamination durch Partikel zu überwachen und schnell auf Abweichungen vom Sollzustand zu reagieren. Nicht den Sauberkeitsanforderungen des Kunden entsprechende Produkte werden besser und früher in der Prozesskette entdeckt. Gegenmaßnahmen sind früher möglich. Dies spart Zeit, Geld und steigert die Qualität des Endprodukts.

Weiterhin lassen sich mit dem PartSens 4.0 Arbeitsparameter und Serviceintervalle für Bauteil-Reinigungsanlagen besser steuern. Durch gezielte Testreihen lassen sich z. B. Reinigungsdauer pro

Bauteil und Druck optimieren. Im optimalen Fall kann beides reduziert werden und dadurch Strom gespart werden. Anhand der Restverschmutzung auf gewaschenen Bauteilen lässt sich der Zeitpunkt feststellen, wann die Reinigungsflüssigkeiten und Filter einer Anlage ausgetauscht werden sollten. Dies trägt zu sauberen Produkten bei, erspart Kosten für unnötige oder verfrühte Servicemaßnahmen und ermöglicht einen möglichst umweltschonenden Umgang mit den Ressourcen.

Auch saubere Arbeitsflächen tragen erheblich zur Technischen Sauberkeit eines Produktes bei. Die Sauberkeit der Arbeitsflächen kann durch deren Abklatsch mittels TapeLift Pad überwacht werden. Mithilfe der gewonnenen Daten können Reinigungsanweisungen und –intervalle optimiert werden.

### **Fazit**

**Als vielseitig einsetzbares Messsystem ist der PartSens 4.0 ein wertvolles Gerät, dass es ermöglicht, die Technische Sauberkeit zu verbessern, Kosten zu sparen und Ressourcen zu schonen.**

---

### **Quellen:**

Alle gezeigten Bilder wurden durch die PMT GmbH selbst erstellt und sind geistiges Eigentum. Alle Grafiken beruhen auf Daten, welche im Zuge von Kundenprojekten generiert wurden.

**Autor:** Marcel Hopfe; M. Sc. Physik; Vertriebsingenieur; [m.hopfe@pmt.eu](mailto:m.hopfe@pmt.eu)

### **PMT Partikel-Messtechnik GmbH**

Die PMT Partikel-Messtechnik GmbH ist seit über 35 Jahren im Bereich der partikulären und mikrobiologischen Kontaminationskontrolle aktiv. PMT als Dienstleistungs- und Handelsunternehmen ist mit rund 65 Mitarbeitern in 5 Ländern vertreten. Aufbauend auf dem traditionellen Arbeitsgebiet der Partikelzählung entwickelt PMT vielfältige Gesamtlösungen in diversen Anwendungsfeldern der Partikelmesstechnik und der mikrobiologischen Kontaminationskontrolle.