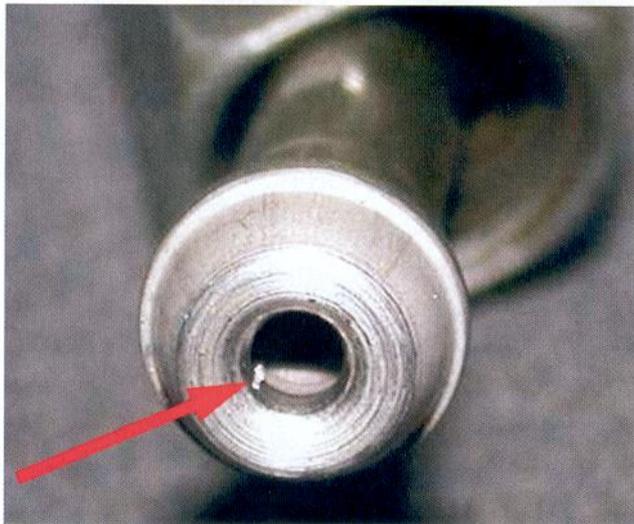


Bauteilsauberkeit in der Automobilproduktion

Ein Qualitätsmerkmal macht Karriere

Bei der Erstellung moderner Produkte müssen heute oft extreme Sauberkeitsanforderungen eingehalten werden, um deren dauerhafte Funktion gewährleisten zu können. Ein seit Jahren weithin bekanntes Beispiel ist die Halbleiterbranche, die Bauteile unter Reinraumbedingungen herstellt. Der Fertigungsbereich wird mit großem Aufwand von der Umgebung abgeschottet, damit keine Partikel eindringen können. Schleusen-, Filter- und Schutzsysteme wurden entwickelt und optimiert, so dass in der Halbleiterproduktion erstaunlich geringe Ausschussraten erzielt werden.



Dichtkegel einer Kraftstoffleitung mit Metallspan. Partikelkontaminationen können Injektoren in modernen Motoren beschädigen was zum Totalausfall führen kann.

Weitere Beispiele sind in der pharmazeutischen, der optischen und feinmechanischen Industrie sowie der Luft- und Raumfahrt-technik zu finden, die alle seit geraumer Zeit erfolgreich hohe Sauberkeitsanforderungen erfüllen.

Aber auch in anderen Branchen hat sich die Bauteilsauberkeit von einem notwendigen Übel zu einem zentralen Qualitätsmerkmal entwickelt, welches maßgeblichen Einfluss auf die Funktionsfähigkeit, Zuverlässigkeit und die Verschleißanfälligkeit von Bauteilen nimmt. Dies impliziert einen wachsenden Bedarf an Lösungen zur Bauteilsauberkeit. Am Erfolg der Fachmesse parts2clean, die seit 2003 jährlich statt findet, lässt sich das wachsende Interesse an der Thematik ablesen. Dort werden Produkte und Dienstleistungen für die industrielle Teilereinigung und -trocknung, sowie der Analyse von Verschmutzungen vorgestellt.

In der Automobilproduktion tauchte das Qualitätsmerkmal technischer Sauberkeit von Bauteilen schon vor einigen Jahren auf und hat seit dem an Relevanz gewonnen.

Während den vergangenen Jahren war bei Automobilen eine stetig wachsende Leistungsfähigkeit des Antriebsstranges zu beobachten, die von den Anforderungen Gewichtsreduktion, kompaktere Bauweise, mehr Leistung und Drehmoment sowie geringerer Kraftstoffverbrauch und niedrigere Schadstoffemission getrieben wurde. Um diese Ziele zu erreichen, erhöhte sich die Anzahl sicherheitsrelevanter Komponenten. Darüber hinaus sind Bauteile immer stärkeren Belastungen ausgesetzt und unterliegen deswegen maßlich sehr engen Toleranzen. Die damit verbundene, höhere Sensibilität dieser Komponenten, hat sie anfälliger gegenüber Verschmutzungen werden lassen. Erkennbar sind zwei wesentliche Trends. Eine wachsende Anzahl von Bauteilen muss Restschmutzanforderungen genügen und für einzelne Bauteilgruppen werden die Sauberkeitsvorgaben zunehmend anspruchsvoller. Der Begriff Sauberkeit bezieht sich dabei auf zwei grundsätzliche Klassen von Verschmutzungen. Die Klasse der Partikelverschmutzungen beinhaltet feste Medien wie Späne oder Staub, die zweite die filmischen Verschmutzungen, wie beispielsweise Benetzungen mit Schmier-, Antikorrosions- oder Kühlstoffen.

Technologietransfer und fertig?

Nun kann man sich fragen, ob die langjährigen Erfahrungen aus anderen Branchen für die Verfolgung von Sauberkeitsstrategien nicht auch in der Automobilproduktion angewendet werden können. Das ist leider nur zu einem geringen Teil möglich. Der Grund für die schlechte Transferierbarkeit ist im Herstellungsprozess der Produkte zu finden. Während man in der Halbleiter-, Pharma- und optischen Industrie Verunreinigungen von den Produkten durch hochreine Prozessmedien und flächendeckende Reinraumtechnik fernhält, ist das bei der Produktion von Maschinen- und Automobilbauteilen nicht ausreichend. Hier entstehen die für die Funktion der Bauteile kritischen Verunreinigungen erst im Fertigungsprozess. Die Entfernung von Verschmutzungen wird damit zu einem weiteren wichtigen Fertigungsschritt. Das Abschotten gegenüber Verunreinigungen aus der Umgebung ist erst nach der Reinigung der Bauteile sinnvoll. Ein Technologie- und Wissenstransfer von Sauberkeitsanforderungen, die für Bauteile wie z.B. Nockenwellenversteller bereits seit einigen Jahren gelten, funktioniert recht gut. Das liegt daran, dass die betrachteten Partikelklassen und geforderten Sauberkeitsgrade vergleichbar sind und daher bekannte Verfahren zur Reinigung und Analyse auch bei weiteren Bauteilen angewendet werden können. Schwieriger gestaltet sich jedoch die Einhaltung von Anforderungen, die sich

DER AUTOR



Dipl. Kfm. Oliver Wolff, Consultant bei der time2 Business Consulting GmbH in Berlin.

auf immer kleinere Partikel beziehen und immer niedrigere Grenzwerte beinhalten. Ein aktuelles Beispiel aus der Automobilindustrie verdeutlicht den zuletzt genannten Fall. Es handelt sich dabei um Bauteile des Kraftstoffsystems eines Ottomotors mit strahlgeführter Direkteinspritzung. Eine Technologie die im Bereich der Ottomotoren noch in ihren Anfängen steckt. VW und Audi haben zwar schon Ottomotoren mit Direkteinspritzung auf dem Markt. Diese arbeiten jedoch mit wandgeführten Verfahren bei denen Mehrlochventile mit Magnetstellern zur Anwendung kommen. Die Strahlführung wird bei BMW und bei Mercedes Benz angewendet. Bei strahlgeführter Direkteinspritzung kommen Einspritzventile zum Einsatz, die mit Piezotechnologie arbeiten. Das Öffnen des Ventils erfolgt dabei nicht mittels Magnetstellern, sondern durch so genannte Piezoelemente. Diese bestehen aus mehreren Lagen einer speziellen Keramik, die sich beim Anlegen einer Spannung augenblicklich ausdehnt und so den elektrischen Impuls in eine mechanische Bewegung umsetzt. Ein Piezoelement reagiert vier mal schneller als ein Magnetsteller. Dadurch lässt sich Schichtbetrieb mit bis zu fünf Einspritzvorgängen pro Arbeitstakt realisieren. Es ist zu erwarten, dass die Direkteinspritzung, in den nächsten Jahren die Saugrohreinspritzung verdrängen wird. Welche Art von Einspritzventilen sich dabei durchsetzen wird lässt sich noch nicht genau sagen.

Im betrachteten Beispiel besteht die Düse eines Piezovenils aus einer sich nach außen öffnenden Nadel. Der Hub der Ventilnadel beträgt nur ca. 50 μm . Durch diese kleine Öffnung wird während des Einspritzvorganges der Kraftstoff mit bis zu 200 bar hindurch gepresst. Der Ventilnadelsitz, die Dichtfläche zwischen Ventilnadel und Ventilhäuse, ist für Partikelverunreinigungen im Kraftstoff sehr anfällig. Sollte zum Beispiel ein Schmutzpartikel in den Ventilnadelsitz einschlagen, entsteht dort eine mikroskopische Beschädigung, die das Ventil undicht werden lässt. Damit kann eine genaue Steuerung des Luft-Kraftstoffgemisches nicht mehr gewährleistet werden, da Kraftstoff unkontrolliert in den Verbrennungsraum gelangt. Es kommt zu Leistungsabfall, erhöhtem Kraftstoffverbrauch, Verschlechterung der Abgaswerte oder auch zum Totalausfall des Motors. Partikel, die über den Kraftstoff in das System gelangen könnten, werden wirkungsvoll über Feinstfilter zurückgehalten. Probleme bereitet aber die prozessichere Vermeidung des so genannten Urschmutzes. Dabei handelt es sich um Schmutzpartikel, die während der Herstellung und Montage der Bauteile des Kraftstoffsystems entstehen. Da die zulässige Partikelanzahl hier geringer ist und auch kleinere Partikel ab 5 μm relevant sind, reichen die Reinigungsverfahren, wie sie für

andere Bauteile des gleichen Motors oder für die Komponenten der Kraftstoffsysteme anderer Motoren genügen, nicht mehr aus. Einspritzventile von z.B. Common Rail Dieselmotoren müssen nur gegen metallische Partikel größer als 200 μm geschützt werden.

Was fehlt?

Zur Vermeidung von Bauteilausfällen muss der gesamte Produktionsprozess in Augenschein genommen werden. Es bedarf einer reliablen Messtechnik, um Prozesssicherheit bei der Reinigung und Reinhaltung der Bauteile generieren zu können. Gängige Laborverfahren, wie das Spülen von Bauteilstichproben mit anschließender Filtration des Reinigungsmediums und einem Auszählen der ausgefilterten Partikel sind zu aufwendig und vor allem zu langwierig, um damit Serienprozesse zeitnah überwachen zu können. Benötigt wird eine möglichst einhundertprozentige Prüfung „online“, also direkt im Fertigungsablauf mit möglichst kurzen Regelkreisen. Es nützt verhältnismäßig wenig die schlechte Qualität einer Stichprobe festgestellt zu haben nachdem bereits weiterer Ausschuss erstellt wurde. Je schneller eine Qualitätsveränderung in der Teilereinigung festgestellt und je schneller auf diese reagiert werden kann, desto weniger Prozessreserven sind notwendig. Gerade wenn die Anforderungen an der Grenze des heute technisch machbaren liegen, ist die Bereitstellung solcher Prozessreserven kaum noch möglich.

Die Herausforderungen bestehen in der Entwicklung geeigneter Sensorik und Messverfahren zur Sauberkeitsanalyse, sowie in der Integration dieser Technologien in die Fertigungsprozesse. Ein Beispiel für Innovationen im Bereich Sensorik ist das Kombisens des Fraunhofer Instituts für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), welches in der Lage ist, filmische Kontaminationen und solche durch Partikel gleichzeitig und direkt am Bauteil mit einem Sensor zu detektieren. PartScan, ebenfalls vom Fraunhofer IPA nutzt hochauflösende Kameratechnik, die eine prozessbegleitende Detektion von Partikelkontaminationen ermöglicht.

Vor einer Reinheitskontrolle müssen Bauteile erst einmal von den Partikeln befreit werden, die z.B. durch zerspanende Bearbeitung entstanden sind oder aus der Umgebung stammen. Die Anbieter für solche Lösungen sind zwar nicht zahlreich, aber etabliert. Zu beobachten ist hier eine Fokussierung auf laborartige Anwendungsbereiche und weniger auf vollautomatisierte, großserienfähige Lösungen. Zulieferern und Dienstleistern in der Automobil- und Maschinenbaubranche fehlt es an Erfahrungen Bauteile von kleinsten Verunreinigungen zu befreien. Stellenweise sind Zulieferer mit der Einhaltung der Vorgaben überfordert. OEMs

fehlt es oft noch an Erfahrung mit hoch belasteten und deswegen eng tolerierten Bauteilen bezüglich ihrer Empfindlichkeit gegenüber Verschmutzungen. Damit entsteht auch Unsicherheit über die notwendigen Maßnahmen zur Qualitätssicherung.

Zu den immer wieder auftauchenden Fragen gehören:

- Welcher Grad der Verschmutzung ist gerade noch zulässig?
- Auf welcher Stufe des Produktionsprozesses ist welcher Reinheitsgrad notwendig?
- Welches Reinigungsmedium und welches Verfahren sind am vorteilhaftesten?
- Wie kann eine ausreichende Prozesskontrolle implementiert werden?

Bei der Beantwortung können sicherlich, von Kooperationen zwischen Wissenschaft, Industrie und Verbänden erarbeitete, Richtlinien und Normen helfen. Jedoch wird es auch notwendig sein, individuell angepasste Lösungen unter Hinzuziehung von Expertenwissen zu generieren, da Normen und Richtlinien allein keine Anleitungen für ein bestimmtes Verfahren liefern. Gerade bei Bauteilen an die höchste Ansprüche bzgl. Sauberkeit gestellt werden, fällt auf, dass Probleme nicht so sehr in der Konstruktion des Bauteils und seiner Erprobung auftauchen. Die Entwicklung wirtschaftlich und qualitativ optimaler Herstellprozesse stellt die eigentliche Herausforderung dar.

Im oben angesprochenen Beispiel eines Kraftstoffsystems für Ottomotoren mit Di-

ZITAT

„Ohne Wert-Schätzung gibt es keine Wert-Schöpfung. Wer nicht Wert-Schätzt wird nichts zurückbekommen. Vorgesetzte, die glauben, Sie mit einem lauwarmen Händedruck zu motivieren, können Sie vergessen.“

Hartmut Bauer, Manager Idea Management bei John Deere; anläßl. Babtec-Hausmesse 2004

rekteinspritzung müssen auch die Kraftstoffleitungen Reinheitsvorgaben erfüllen. Fehlende Erfahrungen mit dieser Art von Kraftstoffsystem führen dazu, dass man bei der Bestimmung von Restschmutzgrenzwerten erhebliche Sicherheitszuschläge einrechnet.

So kommt es, dass auch alle Einzelteile der Kraftstoffleitungen einen hohen technischen Reinheitsgrad aufweisen müssen. Dieser kann nur mit erheblichem Aufwand erreicht werden. Dadurch steigen die Qualitätskosten bei den Zulieferern stark an und der Spielraum für Prozessreserven ist nur noch gering. Beispielsweise schmolz der Preisvorteil eines osteuropäischen Lieferanten für ein Rohstück gegenüber einem deutschen Zulieferer nach Bekanntgabe der Restschmutzvorgaben

rasch dahin. Würde man über ein geeignetes Verfahren zur Reinigung der fertigen Kraftstoffleitungen verfügen, könnten die Anforderungen an den Grad der Urverschmutzung der Vorprodukte herabgesetzt werden und somit Qualitätskosten eingespart werden.

Bei Produkten mit mehrstufigen Wertschöpfungsketten sind in der Regel mehrere Unternehmen beteiligt. Die Qualität der Halbfertigerzeugnisse und Vorprodukte wird anhand einer Reihe von vereinbarten Merkmalen mit definierten Ausprägungen überprüft. Für die Analytik im Rahmen der Qualitätskontrolle und -sicherung werden in der Regel Standards wie z.B. ISO Normen zugrunde gelegt, die allen Beteiligten zugänglich sind. Damit wird eine Vergleichbarkeit der Messwerte hergestellt, die notwendig ist damit Schlechteile von allen Vertragspartnern eindeutig identifiziert werden können. Im Bereich der Sauberkeitsanalytik steht man jedoch erst am Anfang einer solchen Standardisierung. Der Faktor Mensch hat wie so oft einen großen Einfluss auf die Analyseergebnisse. Dies führt dazu, dass Lieferanten und Abnehmer wiederholt zu unterschiedlichen Auslegungen über den tatsächlichen Reinheitsgrad von gelieferten Bauteilen kommen.

Der Anfang ist gemacht

Mit dem VDA Band 19 des Fraunhoferinstituts für Produktionstechnik und Automatisierung IPA „Prüfung der technischen Sauberkeit – Partikelverunreinigung funktionsrelevanter Automobilteile“, der im vergangenen Jahr erschienen ist, hat man in der Automobilindustrie einen Schritt nach vorne gemacht. Die wichtigsten Punkte dieses Regelwerkes sollen in die internationale Norm ISO 16232 („cleanliness of components of fluid circuits“) eingearbeitet werden. In diesem Regelwerk werden Methoden zur Extraktion von Verschmutzungen aus Bauteilen und Methoden zur Massen- und Größenbestimmung der Partikel definiert. Darüber hinaus werden auch Verfahren zur manuellen und automatischen Zählung von Partikeln, sowie Dokumentationsvorschriften festgelegt.

Weitere ISO-Normen beschäftigen sich mit der Kalibrierung automatischer Partikelzähler (ISO 11171 und ISO 11943) oder einer Kodierung zur Definition der Partikelkontamination (ISO 4406).

Fazit

Auf der einen Seite besteht die Herausforderung in der Erfüllung immer schärferer Anforderungen an die technische Sauberkeit von Bauteilen die sogar die Vermeidung eines einzigen kritischen Partikels beinhalten können. Auf der anderen Seite gilt es, bereits gängige Sauberkeitsgrade bei neuen Bauteilen zu erreichen. Bedarf an Lösungen besteht für die Be-

herrschung von Reinigungsprozessen, die messtechnische Erfassung von Kontaminationen und die Schaffung von allgemeingültigen Standards.

Im Bereich der Bauteilreinigung konkretisiert sich dieser Bedarf hinsichtlich Reinigungsverfahren und -medien. Probleme bereiten hier vor allem die steigenden Anforderungen an Reinheitsgrade, die größtenteils technologisch induziert, aber auch durch Sicherheitsaufschläge bei der Grenzwertbestimmung und durch das Vorhalten von Prozessreserven verstärkt werden.

Daneben bedingt die steigende Anzahl von unterschiedlichen Bauteilen, die eine Anfälligkeit gegenüber Verschmutzungen zeigen, einen wachsenden Bedarf an individuellen Lösungen. Trotz bereits gemachter Fortschritte sind im Bereich Sensorik und Messtechnik weiterhin Innovationen wünschenswert, um das Ziel einer Prozesssicherung mit kurzen Regelkreisen realisieren zu können. Es ist noch üblich zur Prozessüberwachung Stichproben zu ziehen, die Bauteile zu reinigen, das Reinigungsmedium zu filtern und die Partikel auf dem Filter auszuzählen. Eine fertigungsnahe Sauberkeitsbewertung mit kurzen Regelkreisen ist noch nicht realisiert.

Zur Erleichterung der Kommunikation und zur Vermeidung von Streitigkeiten bei Qualitätsmängeln bezüglich Bauteilsauberkeit werden noch Standardisierungen für weitere Verfahren der Kontaminationsbeseitigung und -bestimmung benötigt. Es bietet sich an, solche Standardisierungen und Verfahrensentwicklungen auch in Zukunft über Kooperationsprojekte zwischen Wirtschaft und Wissenschaft voranzutreiben.

Es darf davon ausgegangen werden, dass im Automobilsektor die Anzahl der Bauteile, an die Sauberkeitsanforderungen gestellt werden, weiterhin zunimmt. Generell wird damit die Nachfrage für Investitionsgüter im Bereich Reinigungs- und Analysetechnologie ansteigen. Ob die im Beispiel dieses Artikels angesprochenen Minimalkontaminationen dabei eine wesentliche Rolle spielen werden, hängt von der Entwicklung bei zukünftigen Verbrennungsmotoren ab.

Bedarf für Lösungen zur Bauteilsauberkeit gibt es auch noch in Bereichen wie sauberkeitgerechter Verpackungen und Logistiklösungen, Vermeidung von Montageverschmutzungen und Überwachung von Reinigungsmedien. Zulieferer sollten für den wachsenden Bedarf sensibilisiert werden. Damit können sie die sich gerade am Technologiestandort Deutschland bietenden Chancen wahrnehmen. Aber auch Beratungsleistungen durch Experten für technische Bauteilsauberkeit werden zunehmend nachgefragt.

time2 Business Consulting, Berlin