

Karl-Friedrich Berger,
Sandra Kiefer (Hrsg.)

JAHRBUCH 2025

Dichten. Kleben. Polymer.

ISGATEC®

Technische Sauberkeit beherrschen

Mit leistungsfähigen Dienstleistungen künftigen Anforderungen Rechnung tragen

BRANCHENÜBERGREIFEND – Die Bedeutung der Technischen Sauberkeit steigt stetig. Und entsprechend wachsen die Anstrengungen, Partikelverunreinigungen in Bauteilen oder Baugruppen zu verhindern. Ebenso gilt es, sich an aktualisierte Richtlinien und Leitfäden für die Herstellung sauberkeitssensibler Teile, Baugruppen und Systeme im Sinne der Technischen Sauberkeit anzupassen. Was in den 1990er-Jahren durch die Automobilindustrie initiiert wurde, trieb danach maßgeblich die Elektronikindustrie voran und kehrt nun im Rahmen der E-Mobilität mit Niedervolt- und Hochvoltkomponenten wieder zur Mobilitätsindustrie zurück. Dabei wird der Nachweis einer Sauberfertigung von Produktion über Logistik bis zu Verpackung und Transport auch durch den steigenden Fachkräftemangel immer wichtiger. Ein Beispiel aus dem Elastomer- und Dichtungsbereich macht deutlich, welchen Anforderungen Unternehmen ausgesetzt sind, und wie sie sie bewältigen können.

Die zunehmende Forderung nach technischer Sauberkeit stellt vielen Herstellern und Zulieferern immer größere Aufgaben. Dabei sind es nicht nur immer mehr Bereiche und Branchen, die eine verbindliche Technische Sauberkeit verlangen, sondern es gibt auch immer höhere Anforderungen an die Qualität der gelieferten Teile. Zudem geht es nicht nur um die tatsächliche Sauberkeit, sondern auch um die Einhaltung von Normen sowie die Dokumentation und den Nachweis, dass diese Prozesse durchgeführt und eingehalten wurden. Betroffen davon sind sowohl die Herstellung von Bauteilen und Baugruppen als auch die innerbetriebliche Logistik sowie die Verpackung und der Transport zum Kunden bis in dessen Fertigungs- und Montagebereiche. Im Folgenden soll am Beispiel eines Oberflächenveredlers von Elastomeren aufgezeigt werden, wie auch kleine Unternehmen es schaffen können, die Forderungen nach technischer Sauberkeit einzuhalten, ohne ihr finanzielles Potenzial zu überreizen.



Von Bettina Kremer,
Geschäftsführerin

OVE Plasmatec GmbH
www.ove-plasmatec.de



Zum Lösungspartner

Umfassende Regelwerke zur Technischen Sauberkeit

Ausgehend von der Automobilindustrie in den 1990er-Jahren mündete die Forderung nach technischer Sauberkeit von Bauteilen, die verbaut werden sollten, sehr schnell in hohen Ansprüchen, Normen und Dokumentationspflichten. Ausgangspunkt waren z.B. die bezüglich einer Verschmutzung besonders in ihrer Funktion empfindlichen Antiblockiersysteme oder die Direkteinspritz-Systeme in Dieselfahrzeugen. Gefordert wurden und werden zunehmend sauberkeitssensible technische Bauteile, die nur eine hinreichend geringe Kontamination von schädlichen Partikeln aufweisen. Ziel ist es, die unvermeidlichen Partikelverunreinigungen – auch Restschmutz genannt – in technischen Systemen so gering zu halten, dass es zu keinen kurz- oder langfristigen Funktionseinschränkungen und Systemschädigungen kommt. Erst dann gilt ein System im Sinne der Technischen Sauberkeit als hinreichend sauber. Der einst gegründete „Industrieverbund Technische Sauberkeit“ (TecSa) hat ein umfassendes Regelwerk erstellt, das festschreibt, wie Sauberkeitsprüfungen an Produkten der Automobilindustrie durchzuführen sind. Im Regelwerk VDA, Bd. 19 „Prüfung der technischen Sauberkeit – Partikelverunreinigung, funktionsrelevanter Automobilteile“ sind 2004 Extraktions- und Analyseverfahren sowie die Dokumentation der Prüferergebnisse festgelegt. Mit der Norm ISO 16232 erhielt dies auch internationale Geltung.

Mit der zunehmenden Verbreitung von leistungsstarken elektronischen Bauteilen und Baugruppen in Automobilen ab den 2000er-Jahren hat die Elektrotechnik das Thema übernommen und im Leitfaden „Technische Sauberkeit in der Elektrotechnik“ festgeschrieben. So soll die Herstellung sauberkeitssensibler Teile, Baugruppen und Systeme im Sinne der technischen Sauberkeit im Rahmen der „Sauberfertigung“ erfolgen. Entlang der gesamten Wertschöpfungskette – vom Rohmaterial bis zur Endnutzung – sollen dabei die Bereiche Fertigung, Montage, Personal, Reinigung, Verpackung, Lagerung und Transport berücksichtigt werden.

E-Mobilität sorgt für neue und größere Herausforderungen

Zahlreiche Überarbeitungen und Weiterentwicklungen, an denen Gremien, Arbeitsgruppen und Firmen aus der Industrie mitwirken, schreiben Regelwerk und Normen ständig fort. 2023 startete ein neuerliches Revisionsverfahren, das 2025 abgeschlossen sein soll. Hintergrund ist der aktuelle Trend in der Elektronik zu immer kleiner werdenden Schaltungen mit höherer Leistungsdichte und Funktionalitäten bei gleichzeitig geringem Leistungsverbrauch und möglichst langer Lebensdauer. Wenn die Leistungsdichte wächst, steigt mit ihr auch die Empfindlichkeit gegenüber Restschmutz. Mit dem Einsatz solcher elektronischer Baugruppen in batterie- oder akku-

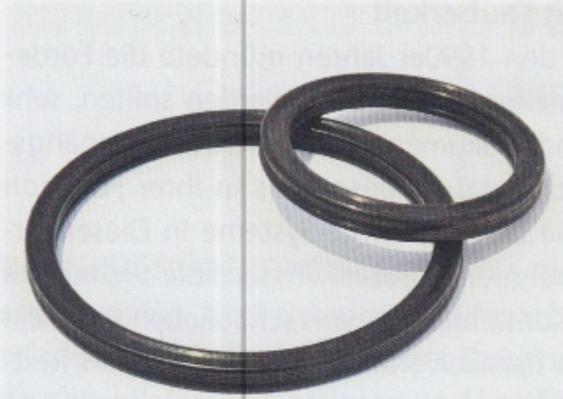


Bild 1: Die leistungsfähige Beschichtung OVE40SL auf Elastomeren erfordert zuvor porentiefe und verbriefte Reinigung der Dichtungsringe (Bild: OVE Plasmatec)

betriebenen Systemen kehrt das Thema mit großer Wucht in die (Elektro-)Mobilindustrie mit Auto- und Fahrradmotoren zurück. Ebenso nutzen die Bereiche Elektrowerkzeuge und Haushaltsgeräte verstärkt Akkus als Energiequelle. In diesem Zusammenhang erhält die Hochvoltrichtlinie für die Leistungselektronik aus dem Jahr 2014 immer mehr Bedeutung. Sie legt Partikelgrenzwerte im Hinblick auf elektrische Abstände, Luft- und Kriechstrecken, Prozesssicherheit und Wiederholgenauigkeit in der Serienfertigung sowie den Umgang mit nichtmetallischen Partikeln und Fasern fest.

Für die Herstellung, die Veredelung und den Einsatz von Elastomerdichtungen bedeutet dies einen immer größeren Aufwand in der Herstellung sauberer und funktionsfähiger Teile. Insbesondere, wenn die Baugruppen immer kleiner und leistungsfähiger werden und immer mehr Funktionalitäten innerhalb einer Baugruppe verbaut sind. Damit brauchen auch immer kleiner werdende Dichtungen eine besondere Behandlung, bevor sie ihren langlebigen Einsatz antreten dürfen. Wenn das Volumen einer Dichtung immer kleiner wird, wird das Verhältnis von herstellungsbedingten Restpartikeln zum gesamten Teil immer ungünstiger. Umso wichtiger ist es, diese Partikel zu entfernen, bevor die Dichtungen veredelt werden. Dementsprechend hoch ist die Anforderung an die Technische Sauberkeit. Ein Beispiel sind die nur erbsengroßen Dichtungen für E-Bike-Elektromotoren, bei denen dies gerade erfolgreich realisiert wird.

Kleine Teile, große Verantwortung

Was Dichtungen alles können müssen, ist nicht hoch genug zu bewerten. Obwohl sie klassische C-Teile sind, müssen sie A-Funktionen übernehmen. So sollen sie möglichst den ewigen Zielkonflikt zwischen hervorragender Dichtwirkung, niedrigster Reibung und geringstmöglichem Verschleiß auflösen. Und das bei immer mehr neuen und komplexeren Anwendungen, neuen Materialien und Werkstoffen sowie neuen Geometrien. Eine Beschichtung mit Gleitlack bringt Elastomerdichtungen allen konkurrierenden Zielen näher. Diese Nachbehandlung und Veredelung eignet sich für Großserien genauso wie für Kleinstmengen ab ein Stück.

Fest steht, das hat die Praxis bisher gezeigt: Mit dem Beschichten von Elastomer-Dichtungen werden aus einfachen Dichtringen leistungsfähige Hightech-Teile (**Bild 1**). Damit lassen sich Reibwerte ebenso verbessern wie die dynamischen Funktionen der Teile. Durch Vereinzlung und optionale Farben wird die Montage erleichtert, was die automatisierte Verarbeitung der Dichtungen oftmals erst möglich macht, weil sie sich erst dann einzeln zuführen lassen. Gleichzeitig entfällt das aufwändige, meist manuelle Aufbringen herkömmlicher Fertigungs- und Montagehilfen. Die Beschichtung mit einer wasserbasierten Gleitlackschicht ist hauchdünn, hochelastisch und umweltfreundlich. Wichtigste Voraussetzung für deren Aufbringung ist dabei die absolute Sauberkeit und verbrieft LABS-Konformität.

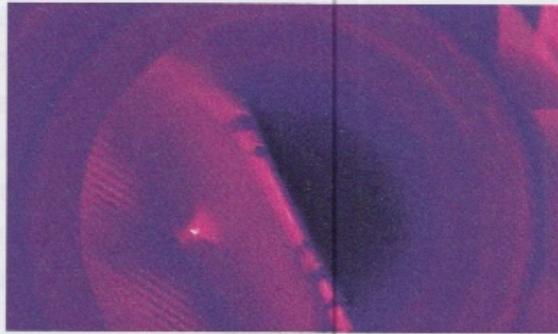


Bild 2: Feinstreinigung durch das Plasmaverfahren (Bild: OVE Plasmatec)

Mit Plasma geht's in die Tiefe

Nach der Herstellung weisen Elastomerdichtungen häufig Reste von Ölen, Fetten, Trennmitteln oder sonstigen Fertigungshilfsstoffen auf. Darüber hinaus sind sie häufig miteinander verklebt. So eingebaut, würden sie nicht zuverlässig funktionieren, und sie würden sich auch nicht automatisiert montieren lassen. Im ersten Schritt der Oberflächenveredelung werden die Elastomerteile deshalb gründlich nassgereinigt und die sauberen Teile anschließend schonend getrocknet. In Anwendung des Sinnerschen Waschkreises gilt es, unter Berücksichtigung von Reinigungsmittel, Mechanik, Temperatur und Zeit, die optimale Einstellung der Faktoren auf die für den Anwendungsfall günstigste und schonendste Methode zu finden – sowohl für den Reinigungserfolg als auch für die Wirtschaftlichkeit. In einem ersten Waschvorgang werden die Dichtungen zusammen mit dem passenden Reinigungsmittel in der geeigneten Konzentration eine definierte Zeit mit der vom Werkstoff abhängigen Temperatur gewaschen. Das Ergebnis sind grundgereinigte Elastomerdichtungen. Darüber hinaus gibt es beim Reinigen heute – vom einfachen Waschen über das tiefenwirkende Plasmareinigen – ebenso geprüfte LABS-Konformität nach verschiedenen Werksnormen.

Beim Plasmaverfahren (**Bild 2**) kommen die grundgereinigten Elastomere in eine Niederdruckplasmaanlage, in der zunächst ein Vakuum erzeugt wird. Ein Hochfrequenzgenerator liefert elektrische Spannung, die gemeinsam mit Umgebungsluft bzw. Sauerstoff eingebracht wird. So entsteht ein elektrisch leitfähiges Gas, das Plasma, das die

Oberflächeneigenschaften der Dichtungsringe verändert, indem die Moleküle ange-regt werden. Bei dieser Feinstreinigung bilden sich Sauerstoffradikale (O) und Ozon (O₃). Die freien Radikale mit den ausdiffundierenden nicht-elastomeren Stoffen ver-binden sich mit Rückständen der Fertigungshilfsstoffe und oxydieren als Gas (CO₂) und H₂O. So werden nicht nur verbliebene oberflächliche Fertigungshilfsmittel ent-fernt, sondern auch, je nach Materialzusammensetzung, diffundierte, ungebundene Mischungsbestandteile wie Weichmacher aus Elastomeren herausgelöst.

Immer öfter wird nachgewiesene LABS-Konformität gefordert

LABS ist ein Akronym für Lackbenetzungsstörende Substanzen. Diese Substanzen verhindern eine gleichmäßige Benetzung der zu lackierenden Oberflächen und ver-ursachen so trichterförmige Störstellen und Krater in der Lackschicht. Seit Einführung von lösemittelarmen Lacken in der Automobilindustrie wird für Produktionsmaterial, Anlagen und Werkzeuge die LABS-Konformität gefordert. Auch in der Vorbehandlung von Klebflächen sind Störstellen nicht erwünscht, weil sie die Haftung reduzieren. Da nicht bekannt ist, welche Substanzen zu diesen Störungen führen, werden Materi-alien, Bauteile und Baugruppen auf LABS-Konformität geprüft. Während bei Metallen und vielen Kunststoffen durch intensive Reinigung die oberflächlich haftenden Ferti-gungshilfsmittel sicher entfernt werden können, genügt bei Elastomeren eine Ober-flächenreinigung nicht. Hier schafft erst das Plasmaverfahren LABS-Konformität.

Wo Normwerte fehlen, ist Expertenwissen gefragt

Nun hat sich die Adhäsionsfähigkeit und Benetzbarkeit der Oberflächen erhöht. Be-schichtungen lassen sich so bestens mit der plasmaaktivierten Oberfläche verbinden. Die Benetzungsfähigkeit – respektive die Oberflächenspannung – muss vor dem Be-schichten jedoch geprüft werden. Hier bieten sich die Kontaktwinkelmessung sowie Versuche mit Testtinte an. Die Dauer der Plasmaaktivierung hängt dabei vom Elastomer, den Zusatzstoffen und dem gewünschten oder benötigten Oberflächenergebnis ab. Hier ist die Erfahrung der Expert:innen gefragt, denn vorgeschriebene Normwerte gibt es dabei genauso wenig wie immer gleiche Elastomere. Ist das gewünschte Er-gebnis erreicht, können die Werkstücke beschichtet werden.

Neben den Anforderungen aus den Regelwerken und Normen werden auch die Kun-denanforderungen, die diese Normen einfordern, häufiger. Dabei lässt sich eine er-höhte Anfrage nach dokumentierter technischer Sauberkeit feststellen, seit das The-ma Fachkräftemangel in den Fokus rückt. Was früher auf Vertrags- und Vertrauensbasis zwischen zwei Geschäftspartner:innen auch ohne verbrieftete Ergebnisse möglich war, rückt immer mehr in den Hintergrund. Stattdessen wachsen die Forderungen nach

zertifizierter Technischer Sauberkeit. Kunden verlangen also genau diese Leistungen, die auch in den Regelwerken und Normen festgelegt sind. Also Produkte, Komponenten und Bauteile, die den entsprechenden Grad der Reinheit aufweisen und sicherstellen, dass keine unerwünschten Partikel, Verunreinigungen und Rückstände auf den Oberflächen vorhanden sind, die die Qualität, Funktionalität und Lebensdauer beeinträchtigen könnten. Daraus resultieren individuelle Anforderungen, basierend auf VDA Band 19, wie z.B. der CCC-Code.

Kreative Lösungen können Reinräume entbehrlich machen

Das stellt insbesondere kleinere Unternehmen vor große technische und finanzielle Herausforderungen. So wird die Umgebungssauberkeit in ISO-Klassen angegeben, die u.U. besondere Produktionsräume bedingen. Nicht immer muss es jedoch ein teurer Reinraum sein. So wurde z.B. eine saubere Produktionsumgebung der Klasse 8 nach ISO 14644 erreicht, indem man Staubfilter an den Fenstern angebracht und AeroPur-Luftfilter in Produktionsräumen aufgestellt hat (**Bild 3**). Zur Kontrolle wird die Umgebungsluft beim Beschichten dauerhaft gemessen.

Durch weitere Maßnahmen können die hohen Anforderungen erfüllt und auch nachgewiesen werden. So werden Partikel und filmische Verschmutzungen auf dem Bauteil bewertet, metallische und nicht-metallische Partikel getrennt, Fasern und Gewicht (Gravimetrie) separat betrachtet und filmische Verunreinigungen mittels TGA, REM oder LABS-Prüfung nachgewiesen sowie schließlich Partikel, basierend auf dem VDA Band 19, nach CCC-Code angegeben. Dadurch erreicht man derzeit folgende Sauberkeitswerte nach dem CCC-Code:

- CCC = A(B14/C13/D13/E11/F9/G6/H0/I0/J0/K0/L0M0/N0)
- Gravimetrie: 0,41 mg / 1.000 cm²
- Faserlänge: 1.255 µm / gestreckte Länge 2.500 µm
- Keine Partikel > 200 µm



Bild 3: Es muss nicht immer gleich Reinraum sein – Technische Sauberkeit lässt sich auch mit einem Filterkonzept, u.a. unter Einsatz von AeroPur-Filtern, realisieren (Bild: OVE Plasmatec)

KMU müssen vor steigenden Standards nicht kapitulieren

Das Ergebnis zeigt, dass auch kleine und mittlere Unternehmen nicht vor den steigenden Anforderungen, Richtlinien und Verordnungen der Technischen Sauberkeit zurückschrecken müssen. Es ist möglich, Partikelverunreinigungen auf Bauteiloberflächen oder in Baugruppen zu verhindern und Richtlinien sowie Leitfäden für die Herstellung sauberkeitssensibler Teile, Baugruppen und Systeme im Sinne der Technischen Sauberkeit einzuhalten, ohne dass dies die finanziellen Möglichkeiten von KMU sprengt.



ISGATEC Lehrgänge – praxisnah, flexibel, zertifiziert.

Tauchen Sie in die Zukunft der Weiterbildung ein