

Reinigen allein reicht nicht mehr

Bei der Herstellung von Mikroprodukten steigen die Anforderungen an die Technische Sauberkeit. Ebenso spielt der definierte Grad an Sauberkeit bei schwer erreichbaren Oberflächen eine immer größere Rolle. Eine Herausforderung für den **GESAMTPROZESS** und das Reinigungsverfahren.

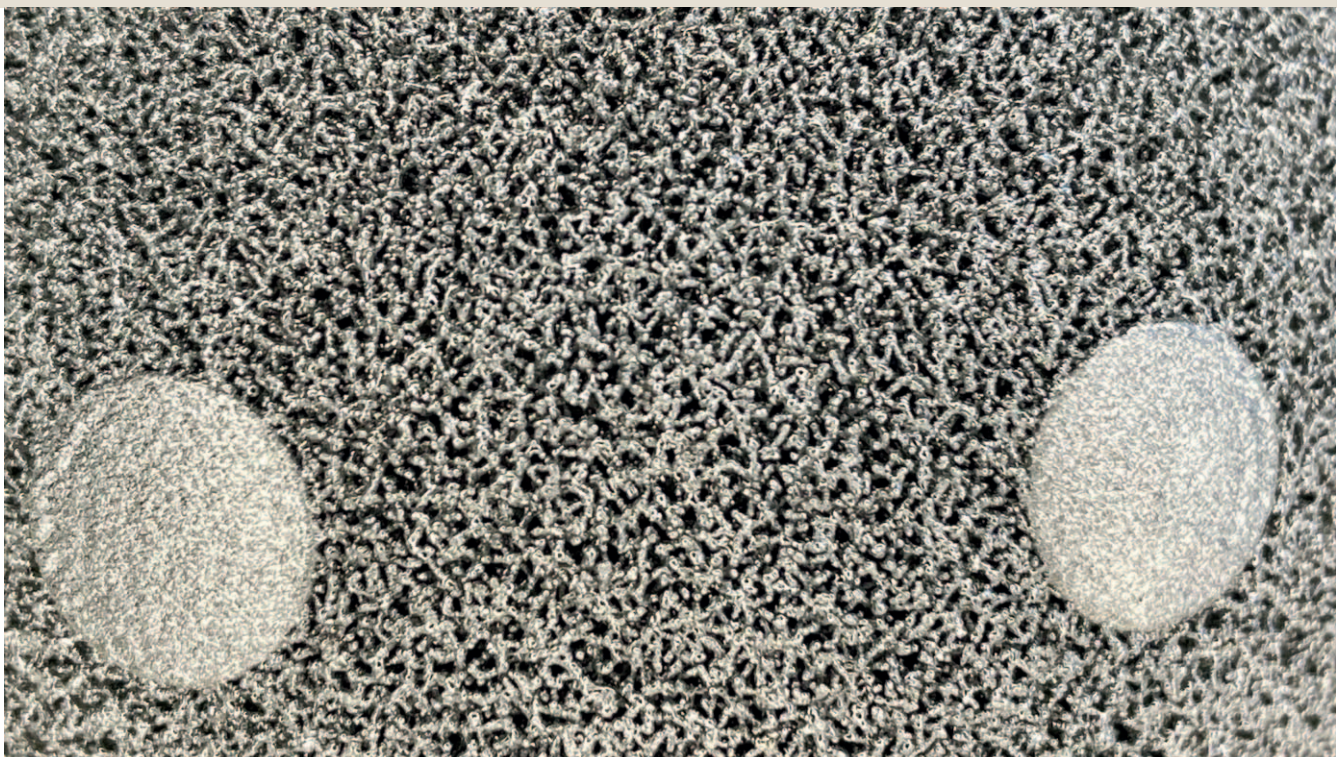


Bild 1. Additiv gefertigte Implantate stellen durch ihre komplexe geometrische Ausformung und Oberflächenstruktur in Kombination mit den Reinigungsanforderungen der High-Purity-Branche eine besondere Aufgabe für den Gesamtprozess und die Reinigungstechnik dar

GERHARD KOBLENZER

Ob medizinische Implantate aus dem 3D-Drucker, hochsensible Laser oder Sensoren – die Fertigung von Mikroprodukten wird immer komplexer. Das hat Auswirkungen auf die industrielle Bauteilreinigung dieser Komponenten sowie auf die Konzeption der entsprechenden Systeme. Die LPW Reinigungssysteme GmbH aus dem schwäbischen Riederich hat auf diesem Feld zwei Jahre lang intensiv geforscht und mit Anwendern aus den jeweiligen Branchen im firmeneigenen Test- und Dienstleistungszentrum umfassende Versuchsreihen durchgeführt. Warum das Reinigen allein nicht reicht, was in puncto Technischer Sauberkeit neu ist und welche Prozesse für eine erfolgreiche Fertigung maßgebend sind, das beleuchtet dieser Beitrag.

Technische Sauberkeit entsteht nicht allein durch das ›Quality-Gate-Reinigen‹. Relevant sind dabei

der Vorprozess mit seinen Einflüssen auf die Machbarkeit (›Cleanability‹), der Reinigungsprozess mit seinen unmittelbaren internen Parametern sowie der Folgeprozess mit seinen qualitätsrelevanten Faktoren auf dem Weg zum eigentlichen Verwendungsort (räumlich und zeitlich) des ›sauberen Produkts‹. Diesbezüglich haben sich auf dem gesamten Feld der Mikroprodukte zwei neue Trends herauskristallisiert: Zum einen sind etwa in der Hochvakuum-, der Sensortechnik oder bei der Herstellung von Analyse-

> KONTAKT

HERSTELLER
LPW Reinigungssysteme GmbH
 D-72585 Riederich
 Tel. +49 7123 3804-0
 info@lpw-cleaning.de
www.lpw-cleaning.de

Bild 2. Die höheren Qualitätsansprüche in puncto Technische Sauberkeit betreffen nicht nur die kleinen und präzise gefertigten feinmechanischen Komponenten. Auch große und komplexe metallische Bauteile mit mehreren Hundert Kilogramm aus der zerspanenden Vorfertigung sind von den Kriterien der Mikroproduktion tangiert. So entstehen Kammergrößen für pulsende Vakuum-Reinigungsprozesse mit einem Füllvolumen von über 3000 Litern für Bauteile aus der Hochvakuumtechnik in der Halbleiterindustrie

geräten steigende Anforderungen an den Grad der Technischen Sauberkeit in Bezug auf filmische, pigmentartige oder biologische, toxische sowie atomare Kontaminationslevel zu verzeichnen. Zum anderen spielt der definierte Grad an Sauberkeit bei schwer erreichbaren Oberflächen, beispielsweise bei komplexen geometrischen Ausformungen an additiv gefertigten Bauteilen oder Kapillarstrukturen, eine immer größere Rolle (**Bild 1**).

Beide Trends stellen eine erhebliche Herausforderung für das Quality-Gate-Reinigen und für die Prozesskette im Gesamten dar. Denn die Messlatte der individuellen Sauberkeitsspezifikation in Korrelation mit der Bauteilgeometrie sowie den Umwelt- und Rahmenparametern erfordert nun eine angepasste ganzheitliche Planung und Durchführung – sowie die entsprechende Sensibilisierung und Schulung aller am Projekt beteiligten Mitarbeitenden.

Einflüsse auf die Prozesse

Vom Rohmaterial bis hin zu den einzelnen Montage- und Fertigungsschritten ist jeder Teilprozess danach zu beurteilen, ob er für den Grad der geforderten Technischen Sauberkeit positive oder negative Konsequenzen hat. Faktoren aus den Handlungsschritten, den eingesetzten Hilfs- und Betriebsstoffen oder den Umwelt- und Umgebungsparametern sind nach Art und Auftreten zu definieren, in ihrer Auswirkung auf die Folgeprozesse zu bewerten und mit ihren erlaubten Grenzwerten festzuschreiben. Diese Faktoren bilden das Fundament der Cleanability und haben direkten Einfluss auf die Machbarkeit sowie den Aufwand eines qualifizierten Reinigungsprozesses.

Deutlich wird das zum Beispiel bei Umformungs-, Schleif- oder Polieraufgaben. Hier entstehen auf metallischen Oberflächen filmische und feinstpartikuläre Verunreinigungen (**Bild 2**), die zum Teil in die Oberfläche hineingearbeitet werden und den eigentlichen Reinigungsablauf stark tangieren. Dieser ist bei hohen Sauberkeitsanforderungen (zum Beispiel in der Hochvakuumtechnik) auf den Vorprozess anzupassen (**Bild 3**). Ungeplante Veränderungen, wie



etwa der Wechsel von Hilfs-, Betriebsstoffen oder Werkzeugen, geometrische Abweichungen der Bauteile oder Wartezeiten, beeinflussen die Reinigung negativ bis hin zum Nichterreichen des jeweils geforderten Qualitätslevels.

Besteht ein definierter und überprüfbarer Grad an Cleanability, so hat sich der Reinigungsprozess im Wesentlichen mit dem waschmechanischen (und chemischen) Erreichen der Kontamination sowie deren sicherem Abtransport zu beschäftigen. So weit die Theorie, doch die genannten neuen Anforderungen haben ihr eigenes Profil:

- Filmische, pigmentartige oder auch biologische, toxische oder atomare Kontaminationen verstecken sich in der laminaren Grenzschicht, direkt auf der Bauteiloberfläche, und können auch (bedingt durch die Vorprozesse) in der verformten Grenzschicht auftreten. Je nach Reinheitsaufgabe bedeutet dies eine echte Herausforderung.

- In Verbindung mit einer komplexen, gegebenenfalls kapillaren Geometrie oder einer eng gepackten Anordnung des Reinigungsguts kommen viele etablierte Reinigungsprozesse und -medien (wässrig oder gasgetragen) nur eingeschränkt oder gar nicht infrage (**Bild 4**).

- Einflüsse aus den Umgebungsbedingungen (Crosskontamination durch zum Beispiel Handling), ▶



Bild 3. In der Laser- und Hochvakuumtechnik wird die Reinigungstechnik mit empfindlichen und hochpräzise bearbeiteten Oberflächen konfrontiert

Gefahr der Verschmutzung durch die Reinigungsanlage (beispielsweise mechanische Bewegungen oder ungewollte Aufkonzentrationen von Schmutz in den Trocknungssystemen, speziell Umlufttrocknungen) und durch den Einsatz ungeeigneter Medien wie Flüssigkeiten, Chemie, Umgebungsluft, Druckluft (**Bild 5**).

Der Folgeprozess wird oft unterschätzt. Er ist häufig der kritischste Punkt in Bezug auf die Technische Sauberkeit und charakterisiert sich dadurch, dass er die zeitliche und räumliche Distanz zwischen dem Erreichen eines geforderten Sauberkeitslevels und dem Ort, an dem er benötigt wird, abbildet. Und er besteht aus einer Vielzahl an Risiken und Störgrößen, beispielsweise Beschädigung oder Kontamination durch falsches Handling, ungeeignete Verpackung oder nicht geeignete Umgebungsparameter und Alterungs-/Veränderungseinflüsse durch zu lange Lagerung und Wartezeiten.

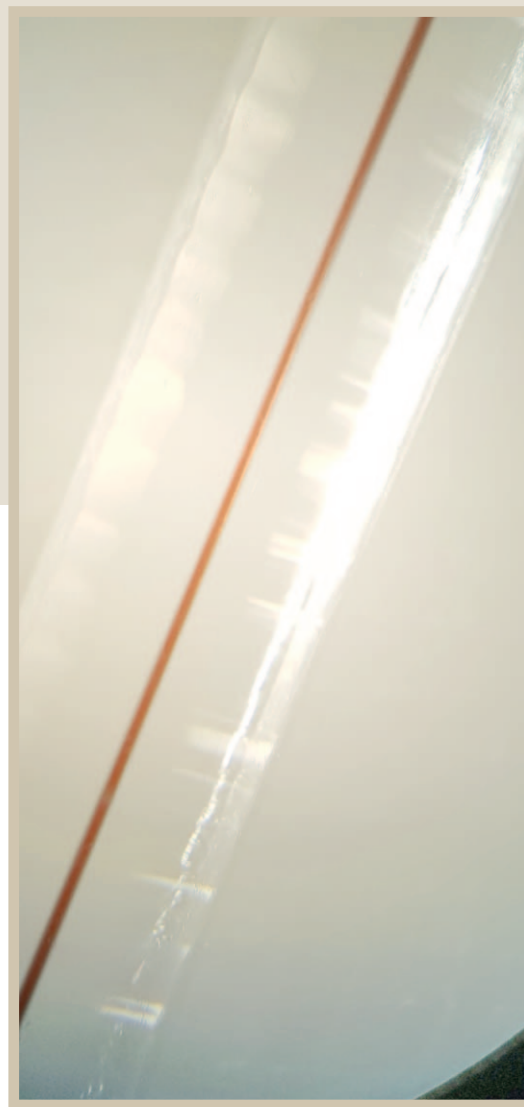


Bild 4. Kapillarstrukturen, etwa in feinen Kanülen und Rohren, unterliegen höchsten Sauberheitskriterien. Durch ihr Aspect Ratio (Verhältnis von Innendurchmesser und Länge) schließen diese Bauteile den Einsatz der meisten bekannten Reinigungsverfahren aus und stellen auch die Spül- und Trocknungsprozesse auf die Probe. Hier eine 300 mm lange Glaskapillare mit einem Innendurchmesser von circa 70 µm

Praxisbeispiel additiv gefertigte Implantate

Einen modernen Reinigungs-Klassiker stellen inzwischen additiv gefertigte Implantate aus der Medizintechnik dar. Sie vereinen alle genannten hohen Reifeanforderungen (zum Beispiel im Hinblick auf Zytotoxizität, Bioburden) mit einer komplexen Geometrie. Im Arbeitsalltag sieht das dann wie folgt aus: Im Fertigungsprozess entsteht eine offenporige geometrische Ausformung, die im ersten Schritt mit Pulverrückständen kontaminiert ist. In Folgeschritten kann es, etwa durch eine mechanische Nachbearbeitung, zu Verunreinigungen in der Innengeometrie kommen. So sind also zwei Reinigungsprozesse

Bild: LPW

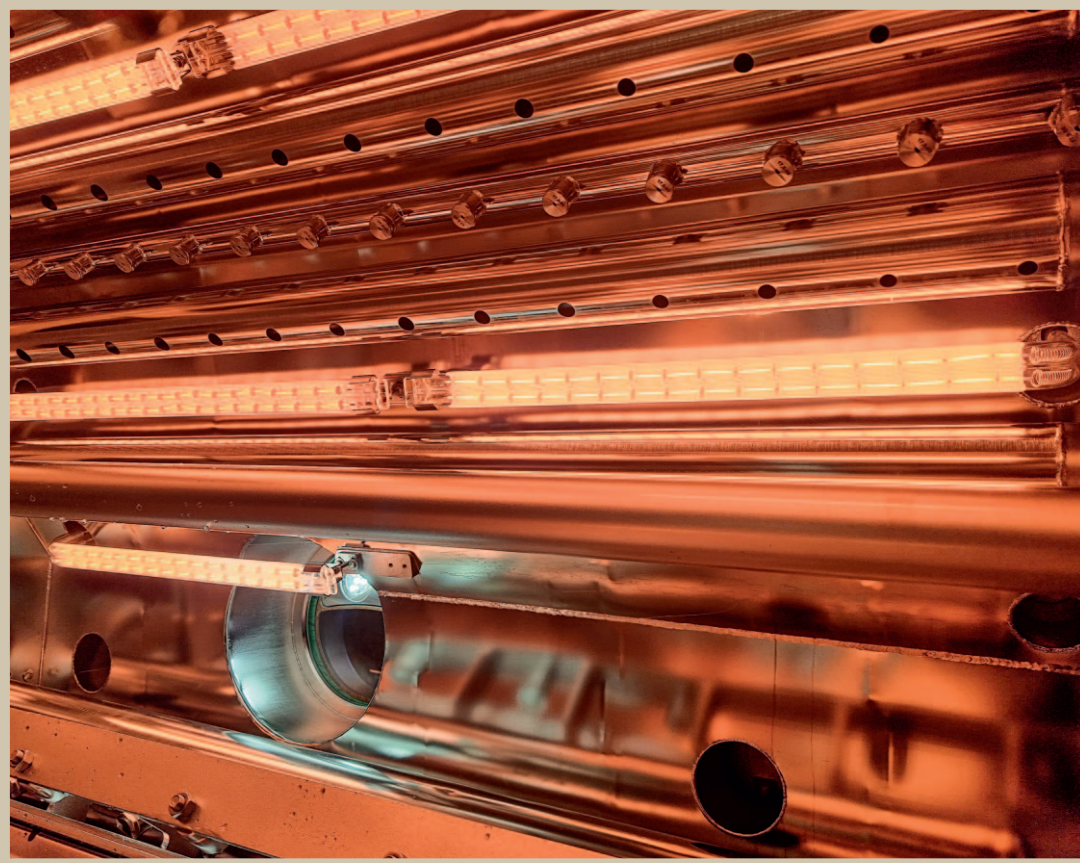


Bild 5. Die Einflüsse der Trocknung auf den Grad der Technischen Sauberkeit werden häufig unterschätzt. So neigen die energieeffizienten Umlufttrocknungssysteme zur Aufkonzentration feinsten Verunreinigungen und als Folge zur Rekontamination der Bauteile. Daher setzt LPW umgebungs-entkoppelte Infrarot-systeme ein

erforderlich. Der erste nach dem Druck zur Beseitigung der Pulverrückstände, der zweite unmittelbar nach der finalen Bearbeitung vor der Verpackung. Die Art der unerwünschten Verschmutzung (filmisch und feinstpartikulär) in der laminaren Grenzschicht in Kombination mit der geometrischen Struktur hat es sowohl für den Reinigungsprozess bei der Beseitigung der Eingangverschmutzung als auch beim Austrag der Reinigungschemie durch die Spülprozesse wirklich in sich. Das betrifft in gleicher Weise die Trocknung. Viele Verfahren (zum Beispiel die meisten Spritz- und Flutprozesse) sind ungeeignet. Sie erreichen die kontaminierten Oberflächen häufig nicht oder nur unzureichend. Auch das bewährte Ultraschallverfahren kommt hier an seine physikalischen Grenzen. Ebenso die Sauberkeitsanalytik, denn durch die geometrische Ausgestaltung ist eine zerstörungsfreie Extraktion der verbliebenen Verunreinigung im Bauteil genauso schwierig wie der Reinigungsprozess an sich.

Anlagensystem für neue High-Purity-Anforderungen

Auf Basis ihrer Forschungs- und Versuchsreihen mit Anwendern der verschiedenen High-Purity-Branchen hat LPW ein modulares Anlagenkonzept für die Fein- und Feinstreinigung entwickelt, welches die hohen Anforderungen an die Prozessführung und das Endergebnis auf allen Ebenen erfüllt. Das System ›PowerJet Ultra‹ verfügt neben den bekannten Reinigungsverfahren Ultraschall und zyklische Nukleation

auch über die erforderliche Trocknung für höhere Anspruchslevel. Das Konzept dient als Technologieträger für die unterschiedlichsten nasschemischen Reinigungs- sowie Spülprozesse und beinhaltet umgebungs-luftfreie Trocknungssysteme und optional integrierbare VE- oder Reinstwasserversorgung. Die Medienströme lassen sich mit einer Vielzahl von anwendungsspezifischen Sensoren überwachen, was einen wesentlichen Baustein für branchenrelevante Validierungsprozesse darstellt. Das Anlagensystem kann direkt an einen Reinraum (bis ISO 5) angebunden oder als integraler Bestandteil im Reinraum installiert werden. Ein weiterer wesentlicher Unternehmensschritt bestand aus der Prozessdigitalisierung und dem Aufbau des ›LPW Applikations-Engineering‹ als komplett neues Geschäftsfeld. Denn Technische Sauberkeit ist eben nicht nur ein technisches Thema. Es ist vielmehr ein Verständnis-, Umdenk- und Dazulern-Thema in Bezug auf die Erfordernisse in der Querschnittsfunktion. Daher unterstützen die Experten von LPW ihre High-Purity-Kunden bei der Implementierung sowie Optimierung von geeigneten Verfahren und Prozessen inzwischen umfassend und bilden dafür eigens eigene Applikationsingenieure und -techniker aus. ■ MI110759

AUTOR

GERHARD KOBLENZER ist CEO der LPW Reinigungssysteme GmbH in Riederich; info@lpw-cleaning.de