

# Mini, Micro und komplex

## Reinigung von empfindlichen Kleinbauteilen mit komplexen Geometrien

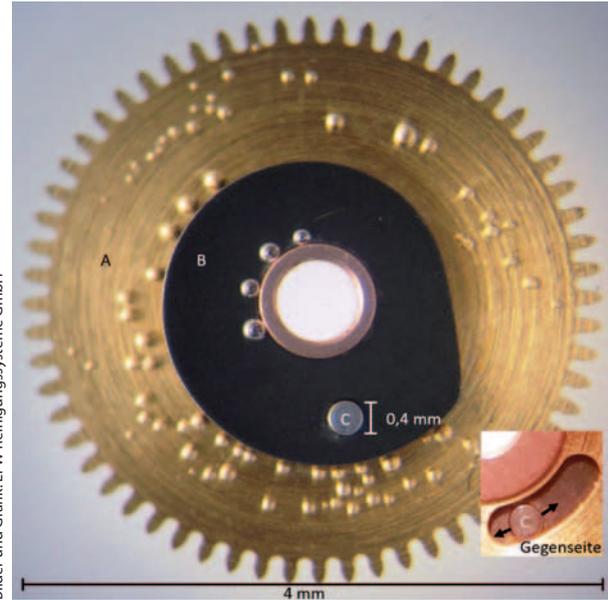
Die Fein- und Feinstreinigung von kleinen und kleinsten Bauteilen mit komplexen Geometrien oder hoher Packungsdichte stellt eine Herausforderung für die industrielle Reinigungstechnik dar. Hier ist die Zyklische Nukleation ein interessantes Verfahren, da es gerade in den bisher kritischen Bereichen sehr effektiv wirksam sein kann.

Die Charakteristika von Kleinstbauteilen zeigen sich anhand ihrer Materialien, der geometrischen Eigenschaften sowie der Prozesse, die zu ihrer Herstellung eingesetzt werden. Häufig handelt es sich dabei um Laser- oder Ätz-, gelegentlich auch um klassische Zerspanungs- oder Stanzprozesse. Ätzprozesse sind in der Regel rückstandsfrei, während die anderen Vorbehandlungen jeweils ihre eigene Kontamination mit sich bringen. Zerspanungs- und Stanzrückstände sind Späne, Grate sowie in die Oberfläche eingearbeitete organische Reste. Laserbehandelte Teile weisen geometriebeeinflussende Schmauchablagerungen auf.

Hat man es beim Vorprozess mit einem Beschichtungsverfahren zu tun, kann es aufgrund der Oberfläche – und nicht etwa durch die dadurch verursachten Verschmutzungen – zu Schwierigkeiten wie etwa Beschädigungen der Beschichtung durch den waschmechanischen Prozess kommen, die erheblichen Einfluss auf die Endreinigung

nehmen. Ultraschall kann hier zum Beispiel destruktiv wirken. Grundsätzlich unterscheiden sich die Verunreinigungen also nicht von jenen, die in anderen Prozessen entstehen und zu entfernen sind. Allerdings liegt der Unterschied in der Bauteilgröße, den feinen empfindlichen Geometrien sowie in den Reinheitsanforderungen, die durch die gewünschten Einsatzgebiete – zum Beispiel mechanische Abläufe – oder die Folgeprozesse – zum Beispiel Beschichten – bestimmt werden.

Bei Mikrokomponenten sind Beschädigungen und/oder Formveränderungen beim begleitenden Handling oder durch die eigentlichen Reinigungsprozesse nicht selten. Geometrisch sind diese Kleinstbauteile zudem häufig so gestaltet, dass kleine Bohrungen oder andere kapillare Strukturen das Erscheinungsbild prägen und dadurch besondere Herausforderungen in der industriellen Reinigung bedingen.



Bilder und Grafik: LPW Reinigungssysteme GmbH

Mechanische Bauteile, hier ein Uhrzahnrad (A) mit einer beweglichen Scheibe (B) und einem Haltebolzen (C), sind bedingt durch ihre Geometrie nur bedingt für eine Ultraschallreinigung geeignet.

### Aufgabenstellung an das eigentliche Reinigungsverfahren

Das eingesetzte Reinigungsverfahren darf weder direkt noch indirekt zu einer Beschädigung oder Verformung des Bauteils oder der Oberfläche respektive einer möglichen Beschichtung führen. Es sollte unmittelbar auf der Grenzschicht des Bauteils wirken und auch in verdeckten Bereichen, seine waschmechanischen Fähigkeiten entfalten. Zusätzlich sollte es den Medienfluss und somit den Transport der Reinigungschemie an die Einsatzstelle sowie den Abtransport der gelösten Verunreinigungen unterstützen – und auch bei hoher Packungsdichte einen gleichbleibenden Reinigungsprozess erlauben. Stand der Technik sind häufig Ultra-/Megaschall-Reinigungsverfahren ►

**GLEITSCHLEIFTECHNIK, VIELSEITIG IN DER OBERFLÄCHENBEARBEITUNG**  
Entgraten | Glätten | Polieren | Reinigen | Entzundern

**WALTHER TROWAL!**





Leitungen mit kapillaren Strukturen, beispielsweise in der Flüssigkeitsanalytik, weisen gerade im Innenbereich sehr hohe Sauberkeitsanforderungen auf.

Durch diese kleinen Öffnungen ist in Bezug auf partikuläre und filmische Kontaminationen eine ausreichende Reinigung zu gewährleisten.

auf wässriger oder Lösemittelbasis. Diese sind dann wirksam und erfolgreich, wenn die Bauteile während dem Behandlungsprozess so angeordnet sind, dass der Schall die gesamte Oberfläche erreicht. Außerdem darf der Ultraschall weder das Grundmaterial noch seine Beschichtung beschädigen. Außerdem muss der Medienfluss direkt auf der Grenzschicht des Bauteils – also der akustische Strom – so stark sein, dass die gelöste Verunreinigung von der Bauteiloberfläche angehoben und dem Medienstrom zugeführt wird.

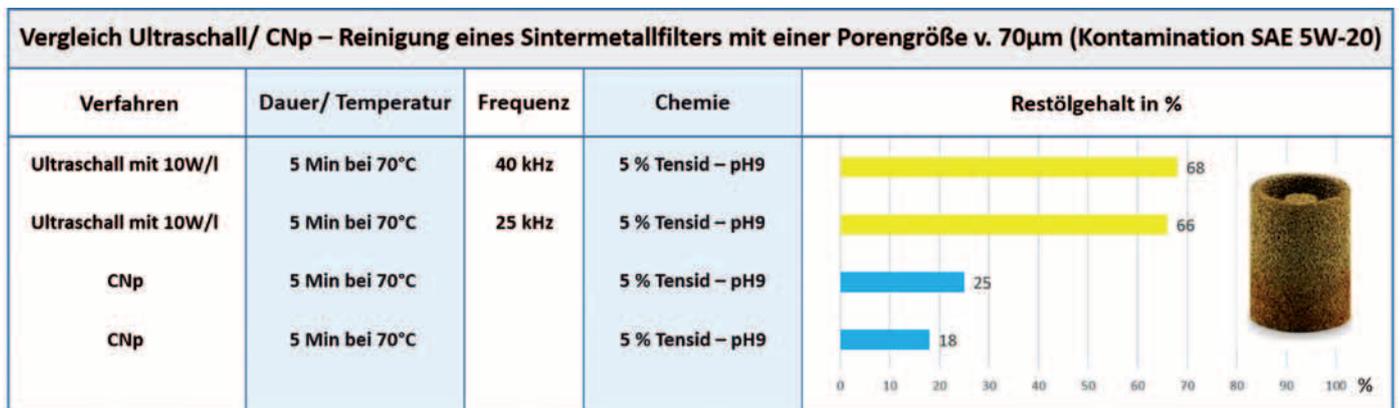
Limitiert ist dieses waschmechanische Verfahren durch die potenzielle Fähigkeit, die Oberflächen zu beschädigen sowie durch die Notwendigkeit, die Packungsdichte von Bauteilen auf die Frequenz des Ultraschalls anzupassen. Zudem ist die Wirkung des Schalls in Bohrungen und anderen kapillaren Strukturen, bedingt durch seine

physikalischen Eigenschaften, nicht mehr gegeben.

Eine effiziente Alternative oder Ergänzung stellt die Zyklische Nukleation (CNp) dar. Dieses im Vakuum arbeitende System kennzeichnet sich durch seine waschmechanische Wirkung auf der gesamten Bauteiloberfläche aus und dringt auch in verdeckte Geometrien, Kapillare und Abschattungen ein, die mit dem Reinigungsmedium in direkter Verbindung stehen. Außerdem führt es zu einem verfahrensbedingten Medienstrom unmittelbar auf der Bauteiloberfläche. Zudem haben umfangreiche Versuchsreihen aufgezeigt, dass selbst bei empfindliche Beschichtungen in Verbindung mit hohen Feinstreinigungsanforderungen durch den Reinigungsprozess keine Beschädigungen an der Beschichtung oder der Bauteiloberfläche vorkommen.

### Der geeignete Prozess

Wie bei allen Feinstreinigungsverfahren erfolgen üblicherweise zunächst die Vorreinigungsabläufe, wenn erforderlich, im Rahmen von räumlich getrennten Zwischenreinigungsprozessen. Bedingt durch die Risiken der Kreuzkontamination mit vor-/nachgelagerten Prozessen, Handlings- oder Umgebungseinflüssen müssen die Umgebungsparameter, in Abhängigkeit zum gewünschten Sauberkeitswert, klar definiert und kontrolliert werden. In Bezug auf die Anlagentechnik bedeutet dies eine hohe Gewichtung der mechanischen und verfahrenstechnischen Ausführung sowie der Medien-Qualität. Außerdem gilt es gegebenenfalls, Verunreinigungen durch verfahrenstechnische und mechanische Komponenten – dazu gehört partikulärer und filmischer Schmutzeintrag durch Ventile, Drehbewegungen oder



Reinigung eines Sintermetallfilters: hier entfaltet das CNp-Verfahren durch die Medienflussunterstützung (asymmetrischer Volumenstrom) seine volle Stärke. Die Säulengrafik zeigt, dass in diesem Beispiel der Restölgehalt unter einem Drittel eines normalen Ultraschallprozesses liegen kann.

Gerade die Möglichkeiten der geschlossenen Ein- oder Mehrkammeranlagen ermöglichen völlig neue Prozesse in der Reinigung von Mikrostrukturen.



Toträume – zu vermeiden. Daher müssen die üblichen Medien-Kreislaufsysteme kritisch hinterfragt werden. Das gilt nicht nur für die Reinigungs- und Spülbläufe, unter denselben Kriterien ist auch die Auswahl der geeigneten Trocknungsverfahren zu betrachten.

### Sonderverfahren für sub-µm-Anwendungen

Sonderverfahren der Feinstreinigung sind schwerpunktmäßig an der Beseitigung von Kontaminationen mit Partikel- oder Strukturgröße im sub-µm-Bereich orientiert, die jene unerwünschten Substanzen oder Materialstrukturen entfernen, die beispielsweise die Rauigkeit, Benetzungseigenschaften, chemischen, elektrischen oder optischen Eigenschaften von Oberflächen unerwünscht verändern. Hierbei handelt es sich dann um physikalische oder physikalische/chemische Verfahren, etwa mittels Plasmaätzen, Laserabtrag, Elektropolieren und CO<sub>2</sub>-Granulatstrahlen, sofern die Struktur des Bauteils diese zulässt.

Beispielhaft für dieses Aufgabengebiet ist etwa die Reinigung mechanischer Komponenten wie Wellen und Zahnräder für die Uhrenindustrie. Im dargestellten Fall geht es um die Reinigung von kritischen Zwischenräumen an einem zweiteiligen Zahnrad mit einem Durchmesser von 4 mm. Bisher wurden diese Bauteile mittels Ultraschallreinigungs- und Spülverfahren gereinigt und über Warmluft getrocknet. Die Sauberkeitsanforderungen lagen bei maximal einem Partikel der Größe 25 µm/1cm<sup>2</sup>. Nicht erwünschte Rückstände von Kohlenstoffverbindungen werden über eine Restgasanalyse geprüft, hier liegt die Forderung bei maximal 2,3\*10<sup>-13</sup> A.

Um die waschmechanischen Eigenschaften des Ultraschalls nicht zu beeinträchtigen, waren die Komponenten seither nur einlagig reinigbar. Bedingt durch die geringe Materialstärke wirkt Ultraschall, wenngleich reduziert, mit seiner Kavitation auch in den Zwischenräumen. Mehrstufige Spülprozesse mit drei bis vier Ultraschallspülen sorgen nach den ein bis zwei Reinigungsprozessen

für den Medienaustausch zur Reduzierung der Schmutzfracht sowie der Beseitigung der Reinigerückstände.

Durch die Zyklische Nukleation (CNp) konnten die Zahnräder nun mehrlagig in einem insgesamt dreistufigen Reinigungs-/Spülprozess behandelt werden. Neben der leicht kavitatischen Wirkweise zeigte sich auf der gesamten Bauteiloberfläche und gerade in den kapillaren Bereichen ein kontinuierlicher Medienfluss.

### Fazit

Mikrobauteile sind sensibel und häufig durch ihre Materialstärken oder Oberflächencharakteristik sehr beschädigungsempfindlich. Daraus resultieren bei den gängigen Reinigungsverfahren, insbesondere bei Teilen mit Mikrostrukturen/Kapillaren, erhebliche Limitierungen bei der Packungsdichte. Des Weiteren ist der Einsatz von mehreren

Reinigungs- und Spülbädern nötig. Eindeutige Schwäche ist der sehr eingeschränkte Medienfluss in den kritischen Bereichen. Die Zyklische Nukleation (CNp) bietet hier neue Möglichkeiten: Die Kavitation wirkt auf der gesamten Oberfläche – selbst bei dicht gepackter Ware, der Medienfluss ist kontinuierlich, auch in verdeckten und kapillaren Bereichen. So steht einem sicheren Reinigungsprozess mit einer reduzierten Anzahl von Bädern nichts mehr im Wege. Darüber hinaus ist die direkte Kombination mit Ultraschallverfahren, um Beispiel bei der Abreinigung von Oxidrückständen nach einer Laserbearbeitung, zweckmäßig. Welches Verfahren schlussendlich, gegebenenfalls auch in Kombination, geeignet ist, lässt sich in realitätsnahen Versuchen problemlos feststellen.

**i** LPW Reinigungssysteme GmbH, [www.lpw-reinigungssysteme.de](http://www.lpw-reinigungssysteme.de)

## Schichtdickenbestimmung automatisiert!

OptiSense

- ✓ zerstörungsfrei
- ✓ berührungslos
- ✓ leicht
- ✓ schnell
- ✓ leistungsfähig
- ✓ augensicher

**PaintChecker industrial**

OptiSense GmbH & Co. KG | Annabergstraße 134 | 45721 Haltern am See  
[www.optisense.com](http://www.optisense.com)