

# JOT

## Journal für Oberflächentechnik

### **Galvanotechnik**

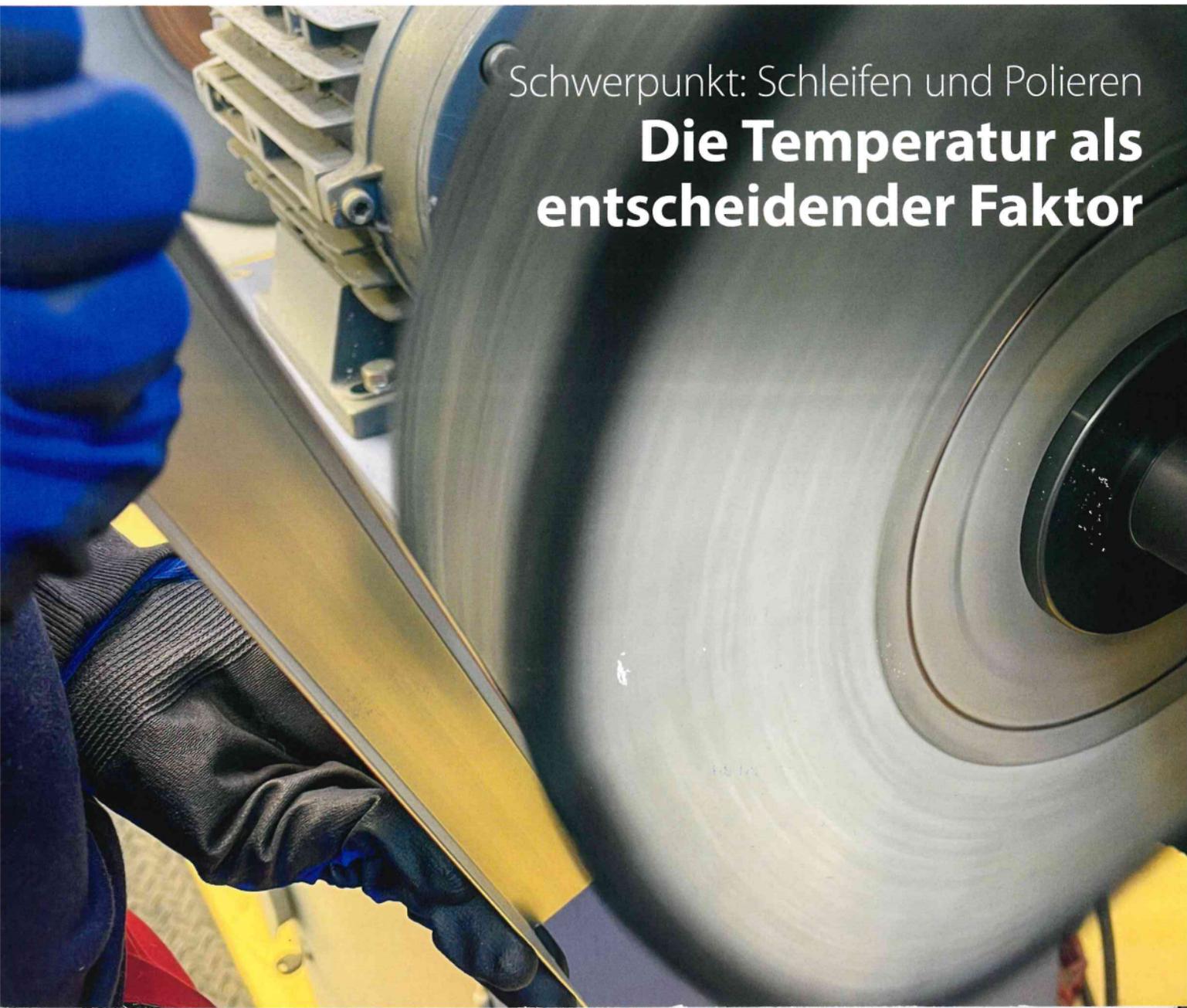
Durchgängige Digitalisierung  
erfüllt hohe Qualitätsansprüche

### **Funktionelle Oberflächen**

Biolumineszenz bringt  
Holz zum Leuchten

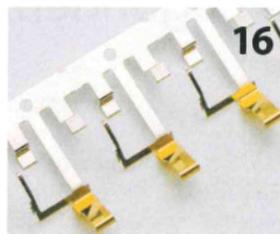
### **Vorbehandlung**

Geschlossener Wasserkreislauf  
für Qualität und Nachhaltigkeit



Schwerpunkt: Schleifen und Polieren

## **Die Temperatur als entscheidender Faktor**



### Aus der Branche

- 04 Branchenmeldungen & Termine
- 08 Paint Expo 2026 mit frischen Impulsen und neuen Gesichtern
- 10 30 Jahre Beschichtungspulver mit Fokus auf Nachhaltigkeit
- 11 Spezialist für Stromversorgungen feiert 55. Jubiläum

### Nasslackieren

- 12 Deutlich reduzierter Lackverbrauch dank neuem Nasslacksystem

### Funktionelle Oberflächen

- 14 Biolumineszenz bringt Holz zum Leuchten

### Galvanotechnik

- 16 Symbiose aus Gold und Eisen
- 18 Dank Wärmepumpentrocknung endlich fleckenfrei
- 20 Mit durchgängiger Digitalisierung höchste Qualitätsansprüche erfüllen
- 22 Überwachung nasschemischer Bäder

### Dünne Schichten

- 26 Sol-Gel-Beschichtungen versprechen neue Lösungen mit hohem Schutz

### Schleifen und Polieren

- 28 Automatisches Finish für die Automobilindustrie
- 32 Nichtrostenden Stahl oberflächenschonend schleifen
- 36 Die Temperatur als entscheidender Faktor beim Polieren
- 38 Gleitschleifen, ohne Mikroplastik in die Umwelt abzugeben
- 40 Königsdisziplin hartstoffbeschichtete Brems Scheiben
- 42 Hohe Oberflächengüte dank fein gewuchteter Werkzeuge

### Coil Coating

- 44 Beschichtete Verbundplatten vereinen Funktionalität, Effizienz und Ästhetik

### Vorbehandlung

- 46 Geschlossener Wasserkreislauf für Qualität und Nachhaltigkeit

### Rubriken

- 66 Impressum

### Anzeigenrubriken

- 48 Bezugsquellen
- 65 Freie Kapazitäten

Titelbild: © menzerna polishing compounds GmbH & Co. KG

# Nichtrostenden Stahl oberflächenschonend schleifen

Bei der Anwendung von nichtrostenden Stählen ist die Oberfläche entscheidend. Dabei sind neben der finalen Oberflächenbearbeitung auch die vorhergehenden Bearbeitungsschritte relevant, um eine möglichst hohe Korrosionsbeständigkeit und ein reduziertes Anhaftungsverhalten von Partikeln und anderen Medien zu erzielen.

Prof. Dr.-Ing. Paul Gümpel, Prof. Dr.-Ing. Arnulf Hörtnagl, Cornelius Mauch

Für Edelstahloberflächen bestehen hohe Anforderungen insbesondere an deren Korrosionsbeständigkeit, aber auch an das optische Erscheinungsbild und den Widerstand gegen mechanische Beschädigung. Ein weiteres Qualitätskriterium stellen die chemischen und im Speziellen auch die physikalischen Eigenschaften der Oberflächen dar. So sollen die Oberflächen möglichst wenig verschmutzen, beziehungsweise leicht zu reinigen sein. Die Bindungskräfte zwischen der Oberfläche und den sie umgebenden Medien spielen hier, aber auch beispielsweise beim Kleben oder im Kontakt mit Fremdstoffen sowie bei der Förderung und

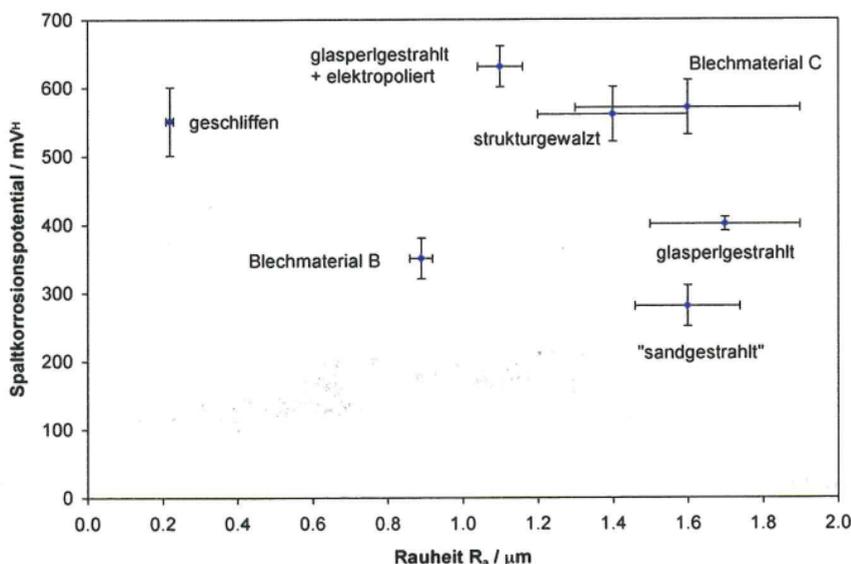
Lagerung von Pulvern, Flüssigkeiten und/oder Pasten eine wichtige Rolle. Die Qualitätsbeurteilung der Oberfläche erfolgt in der Regel über das optische Erscheinungsbild, teilweise auch in Verbindung mit der angewandten Körnung des Schleifkorns bei der Oberflächenbearbeitung oder über die taktil erfasste Rauigkeit der Edelstahloberflächen. Meist wird hierzu der Ra-Wert zur Beurteilung herangezogen. Schon bei der elementaren Eigenschaft der nichtrostenden Stähle – der Korrosionsbeständigkeit – zeigt sich, dass dieses Qualitätskriterium hier nicht ausreicht. Ein Einfluss zwischen der Rauigkeit

der Oberfläche und der Korrosionsbeständigkeit von nichtrostendem Stahl ist zwar grundsätzlich gegeben (Bild 1 und Bild 2), dieser wird allerdings von weiteren Einflüssen überlagert. Solche Einflüsse stellen beispielsweise geometrische Defekte in der Oberfläche, wie Spalten oder Materialüberlagerungen, dar. Solche Defekte sind bei geschliffenen Oberflächen häufig zu beobachten (Bild 3) und werden durch den Ra-Wert der Oberfläche nicht ausreichend repräsentativ erfasst.

## Der Einfluss des oberflächennahen Gefüges

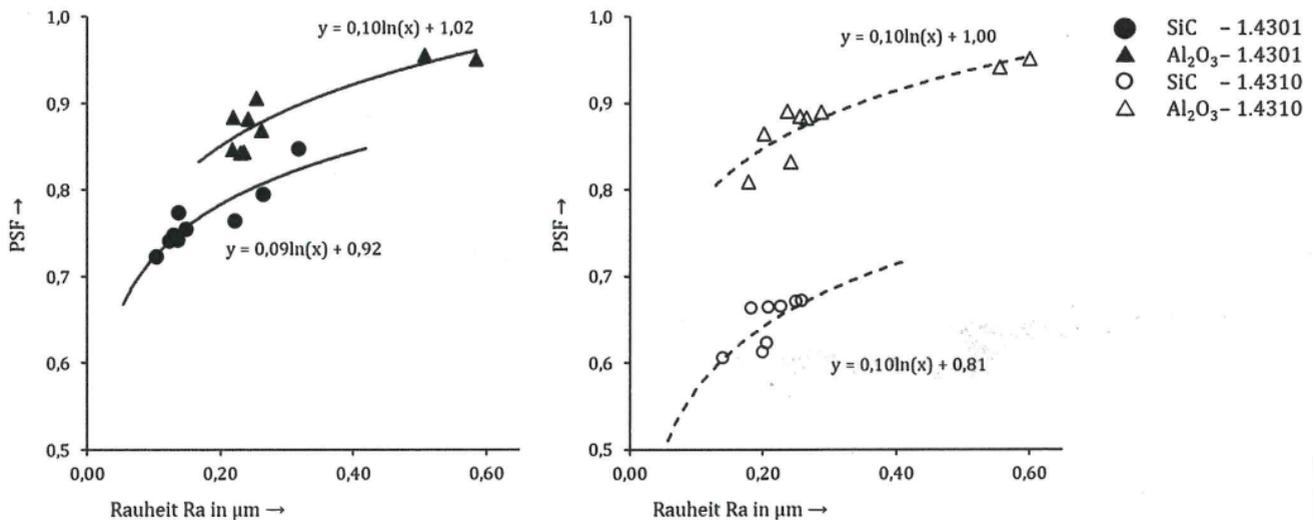
Ein weiterer, oft unterschätzter Einfluss auf die Oberflächeneigenschaften ist durch den Zustand des oberflächennahen Gefüges gegeben. [5, 6] Das vorliegende Gefüge direkt unterhalb der Oberfläche beeinflusst die Entstehung und die Stabilität der Passivschicht und somit auch die Korrosionsbeständigkeit erheblich. [3] Zudem werden durch die oberflächennahe Gefügestruktur die physikalischen Eigenschaften – zum Beispiel Bindungskräfte respektive die Oberflächenenergie – wesentlich beeinflusst.

Bei der mechanischen Endbearbeitung wie Kaltumformung, spanender Bearbeitung und mechanischen Poliervorgängen an Edelstahloberflächen wird der oberflächennahe Gefügebereich erheblich verändert. Hohe Spannungen und Verschiebungen unmittelbar unter der Oberfläche führen zu einer gestörten Zone im Metallgitter mit einer erhöhten Zahl an Gitterfehlern, einer un-



© siehe [1]

**Bild 1** > Spaltkorrosionspotenziale gegen Oberflächenrauheitswert  $R_a$  von nichtrostenden Stahlproben 1.4301 mit unterschiedlicher Oberfläche (Fehlerbalken stellen die Standardabweichung dar). [1]



**Bild 2** > Errechneter PSF (pitting susceptibility factor) nach Klapper et al. über die taktile gemessene Oberflächenrauheit Ra für industriell geschliffenen Oberflächenausführungen mit errechneter logarithmischer Trendlinie (links: Werkstoff 1.4301/AISI304, rechts: Werkstoff 1.4310/AISI301). [2]

gleichmäßigen Spannungsverteilung sowie zu einer sehr dünnen, oberen Schicht, der sogenannten Beilby-Schicht mit teilweise aufgelöster, genauer gesagt amorphisierter Struktur und eingepresstem Fremdmaterial. In dem gesamten Störungsfeld „Bearbeitete Schicht“ und „Beilby-Schicht“ (Bild 4) liegen deutlich mehr Gitterfehler und Gitterinhomogenitäten vor als im Grundmaterial. Aufgrund der großen Dickenunterschiede wird dieses Störungsfeld aus verändertem Gitter zusammen mit der extrem dünnen Beilby-Schicht nachfolgend ganzheitlich betrachtet. Die Dicke dieses Störungsfeldes kann je nach der angewandten Oberflächenbearbeitung stark variieren. Während sich die Beilby-Schicht relativ leicht durch Elektropolieren komplett beseitigen lässt, erscheint dies bei der „Bearbeiteten Schicht“ (Bild 4) kaum möglich, weil dieser gestörte Gitterbereich hierfür meist zu

dick ist. Der gestörte Gitterbereich kann auch nicht durch eine Nachbehandlung wieder in einen gleichgewichtsnahen Zustand gebracht werden, da sich die hierzu notwendigen Glühtemperaturen bei Fertigteilen nicht ohne erhebliche Nachteile realisieren lassen. Das Ziel bei der finalen Gestaltung einer Edelstahloberfläche sollte daher darin bestehen, dass die Dicke und der Schädigungsgrad in dieser gestörten Zone möglichst gering sind. Das ist durch eine schonende Oberflächenbearbeitung, etwa durch ein feines Schleifen mit geringeren Kräften und feinem Schleifkorn, möglich.

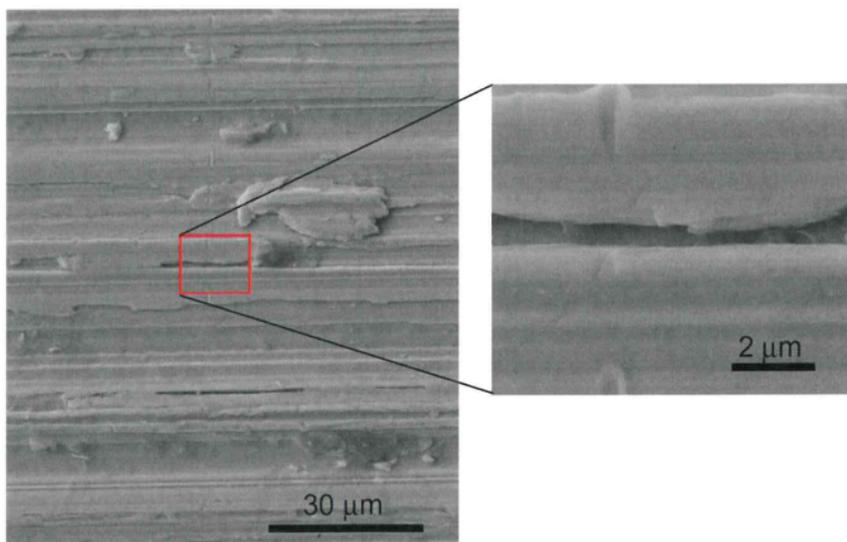
### Der Hebel der Anpresskraft beim Schleifprozess

Wie beispielsweise allein durch die Anpresskraft beim Schleifprozess die Ober-

flächentopografie verändert wird, zeigen die Untersuchungen von Burkert, Klapper und Lehmann (Bild 5). Neben den erheblichen Topografieunterschieden, die durch den unterschiedlichen Anpressdruck ausgelöst werden, haben elektrochemische Rauschmessungen gezeigt, dass die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung von Lochfraß an Proben etwa um die Hälfte niedriger ist, wenn sie mit normalem statt hohem Schleifdruck geschliffen wurden. Insgesamt verbleiben nach dem Schleifen zahlreiche Oberflächendefekte wie Spalten oder Materialüberlappungen (Bild 3), die sich negativ auf die Korrosionsbeständigkeit auswirken. Außerdem wird das Gefüge beim Schleifen unterhalb der Zerspanungszone insbesondere bei dem hohen Anpressdruck sehr stark verändert und mit Fehlern respektive Versetzungen angereichert. Das dabei entstehende Störungsfeld nimmt ebenfalls Einfluss auf die Korrosionsbeständigkeit.

Wie und wo dieses Störungsfeld im Gefüge unterhalb der Zerspanungszone entsteht, hängt von der Art der Oberflächenbearbeitung und den gewählten Bearbeitungsparametern ab. Bei der Spannbildung gibt es immer eine Verformungszone (elastisch und plastisch) unterhalb der Oberfläche, was letztendlich zu den gestörten Gefügebereichen führt. Wie tief und ausgeprägt diese Zone ist, hängt von den Zerspanungsbedingungen, aber auch von den mechanischen Eigenschaften des Werkstoffs, insbesondere von dessen Festigkeit und Duktilität, ab. [5]

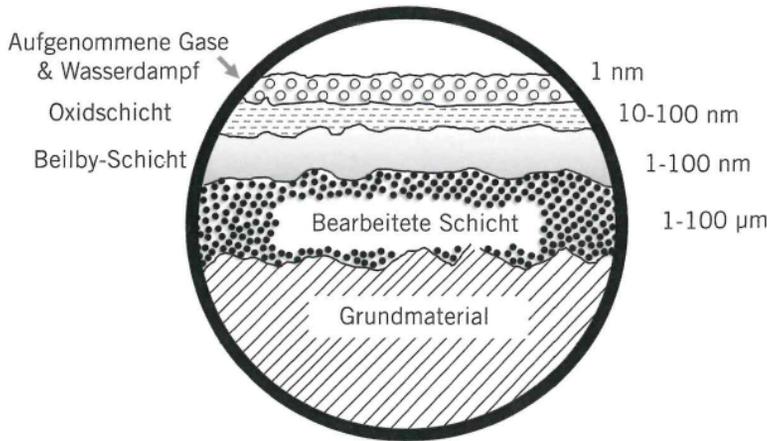
Geschliffene Oberflächen sind im Korrosionsverhalten den vom Stahlhersteller angelieferten, gewalzten und geglühten Oberflächen daher oft unterlegen. Bei der Halbzeugherstellung wird durch eine



**Bild 3** > REM-Aufnahme einer geschliffenen Oberfläche des Werkstoffs 1.4301 / 304 mit Darstellung eines Mikrospalts. [2]

© siehe [2]

© siehe [2]



**Bild 4** > Schichtaufbau an einer bearbeiteten Metalloberfläche. [4]

Abschlussglühung das Gefüge rekristallisiert. Das oberflächennahe Gefüge ist so nicht mehr im Ungleichgewicht. Selbst bei einem finalen dekorativen Schliff von Stahlblechen sind die Schleifparameter optimal eingestellt und mit den Bedingungen in der Endbearbeitung an geometrisch oft schwierigen Fertigteilen meist nicht vergleichbar. Bezüglich der Korrosionsbeständigkeit lassen sich negative geometrische Einflüsse der geschliffenen Oberfläche durch Elektropolieren und/oder entsprechende Passivierungsverfahren wieder abmildern – die Gefügeveränderung unterhalb der Oberfläche und deren Einfluss auf die physikalischen Eigenschaften bleiben dabei allerdings erhalten.

**Optimized-Grind-Finishing-Verfahren**

Eine besondere Herausforderung stellen hier Komponenten im Behälter- und Apparatebau dar, die aufgrund einer kompakten Baugröße in Verbindung mit weiteren spezifischen Anforderungen in der Regel händisch geschliffen werden, da die Innenflächen oft nur schwer zugänglich sind. Gleichzeitig werden oft sehr hohe Anforderungen hinsichtlich Reinigbarkeit und Korrosionsbeständigkeit der entsprechenden Komponenten gestellt, sodass akuter Verbesserungsbedarf besteht. Hier setzt die Oberflächenoptimierung im Bereich der Behälter- und Fassherstellung an. Bei der Firma Bolz Intec wird die Innenbearbeitung an Fässern und Behältern mit einem neuen Fertigungsverfahren, dem OGF (Optimized Grind Finishing)-Verfahren durchgeführt. Anstatt eines intensiven Schleifabtrags wird mit kleineren Anpresskräften und feineren Schleifmitteln über einen längeren Zeitraum gearbeitet. So wird

das Gefüge unterhalb der Oberfläche weniger tief und weniger intensiv verändert. Eine Nachbearbeitung durch Elektropolieren wird auch im Rahmen des OGF-Verfahrens vorgenommen, wobei schon ein geringerer elektrochemischer Abtrag zu guten Ergebnissen führt.

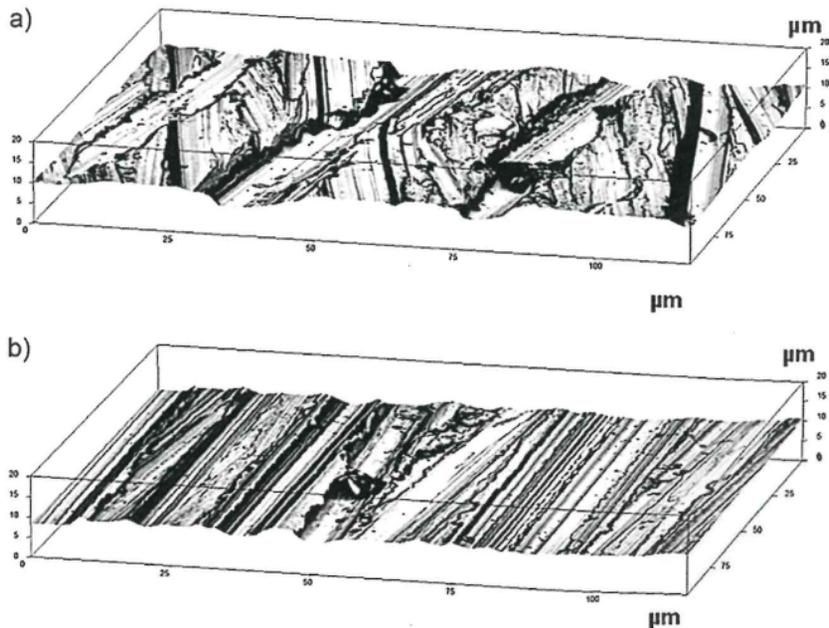
Für die Betrachtung der Eigenschaften einer Oberfläche, die aus einer Interaktion mit der Umgebung resultiert – man spricht hier von Systemeigenschaften –, ist es entscheidend, wie der Werkstoff an der Oberfläche und in den oberflächennahen Bereichen aufgebaut ist und welche chemischen sowie physikalischen Eigenschaften daraus resultieren. Systemeigenschaften wie die Korrosionsbeständigkeit, die Anhaftung von Fremdstoffen oder das Rei-

nigungsverhalten sind sehr wichtig für alle Bauteile, die in sensiblen Anwendungsgebieten eingesetzt werden. So bleiben beispielsweise feinste Partikel an den Wänden von Transportbehältern haften, wenn die wirkenden Bindungsmechanismen – etwa Van-der-Waals-Kräfte – größer sind als die Gewichtskraft, die auf die Partikel aufgrund von deren Masse einwirkt.

**Van-der-Waals-Kräfte**

Unter Van-der-Waals-Kräften sind schwächere Anziehungskräfte zwischen Atomen und/oder Molekülen zu verstehen, die spontan beziehungsweise temporär Dipole entwickeln. Die Van-der-Waals-Kräfte entstehen aus schwachen nicht-kovalenten Wechselwirkungen, die im Gegensatz zu den stärkeren metallischen-, ionischen- oder kovalenten Bindungen nicht auf einem dauerhaften Austausch von Elektronen aufbauen, sondern auf Anziehungskräften zwischen zwei induzierten Dipolen basieren. Ein Grund hierfür ist möglicherweise eine unsymmetrische Verteilung von negativen Ladungsträgern in den Atomen. Dabei liegt ein Dipol spontan beziehungsweise temporär vor und der andere wird induziert.

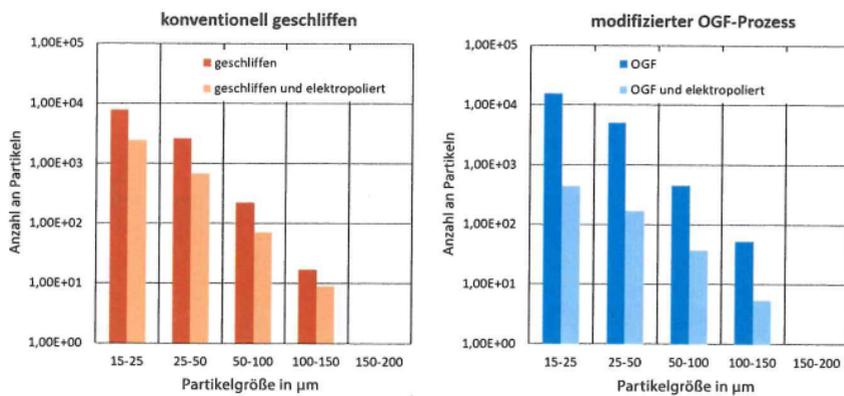
Durch die ungleiche Ladungsverteilung ziehen sich dann die entgegengesetzt geladenen Bereiche der Stoffe an und es entstehen Haftkräfte. Der Schluss liegt nahe, dass diese Kräfte durch den Ordnungszu-



**Bild 5** > Oberflächentopografie von Edelstahl nach mechanischem Schleifen mit hohem Schleifdruck a) und normalem Schleifdruck b). [6]

© in Anlehnung an [4]

© siehe [6]



**Bild 6** > Anzahl der an der Oberfläche haftenden Partikel in Abhängigkeit von der Partikelgröße für konventionell mechanisch bearbeitete Oberflächen und Oberflächen, die im automatisierten Gleitschleifverfahren (OGF) bearbeitet wurden – jeweils mit und ohne anschließendem Elektropolieren der Bauteiloberfläche.

stand im Gitter zumindest über sehr kleine Distanzen beeinflusst werden. Je mehr Unordnung in der Gitterstruktur herrscht, umso leichter entstehen Dipole, die wiederum für die Van-der-Waals-Kräfte verantwortlich sind.

### Einfluss des OGF-Verfahrens auf die Partikelhaftung

Eine erste Einschätzung zum Einfluss des OGF-Verfahrens auf die Partikelanhaftung lieferten Restschmutzanalysen. Ein vergleichender Versuch in Anlehnung an die Normen VDA19.1 (März 2015) sowie ISO 16232 (Dezember 2018) wies nach, dass durch die Bearbeitung nach dieser Methode die Anhaftung von Restmaterial deutlich reduziert wird (Bild 6). Die Auswertung bezieht sich auf die Anwendung des OGF-Verfahrens durch das Unternehmen Bolz Intec, das einen neuen Weg zur Verbesserung seiner Produkte suchte. Das Elektropolieren führt sowohl an der konventionell mechanisch bearbeiteten als auch bei der OGF-bearbeiteten Oberfläche zu einer Reduzierung der anhaftenden Partikel. Ein direkter Vergleich der finalen elektropolierten Oberflächen zeigt jedoch, dass die OGF-bearbeitete Oberfläche insbesondere bei den kleineren Partikelgrößen deutlich weniger anhaftende Partikel aufweist. So liegt für die Partikelgröße 15 bis 25 µm der Durchschnitt bei 2442 bis 440 Partikeln (Reduzierung um etwa 82 %) und für die Partikelgröße 25 bis 50 µm bei 693 bis 172 Partikeln (Reduzierung um etwa 75 %). Dass derartige Effekte im praktischen Einsatz auftreten, lässt sich durch erste Erfahrungen bei den Anwendern belegen. So zeigten Beobachtungen unter anderem eine verbesserte Fließgeschwindigkeit und weniger Anhaftung bei viskosen Medikamentenformulierungen, was zu einer 30%igen Reduktion der Reinigungszeit führte. Ebenso ließen sich beim Transport

und Handling von Farbpigmenten und sonstigen Pulvern Verbesserungen erzielen und beispielsweise die Kontaminationsgefahr und Materialverluste reduzieren. Die Anwendung dieses Verfahrens bedeutet auch, dass sich durch die Anpassung der Oberflächenbearbeitung das Anhaftungsverhalten an der Oberfläche und somit die Interaktion einer Edelstahloberfläche mit einem Medium beziehungsweise Produkt gezielt beeinflussen lassen. Für die industrielle Anwendung eröffnet das die Möglichkeit, in der Verfahrenstechnik neben dem Reinigungsverhalten beispielsweise die Fließgeschwindigkeit von Produkten in Abfüllanlagen zu justieren. Dies setzt allerdings voraus, dass genügend Informationen zu dem Produkt vorliegen und die Bauteiloberfläche ideal auf die Anwendung adaptiert wird.

### Fazit

Bei der Beurteilung der Qualität einer Oberfläche sollte immer auch der Zustand des oberflächennahen Gefüges in Betracht gezogen werden. Die bei der mechanischen Bearbeitung insbesondere beim Schleifen von Oberflächen entstehende gestörte Zone wird durch eine schonendere Vorgehensweise schwächer und lässt sich dann durch Elektropolieren leichter, sicherer und im Idealfall vollständig entfernen. Der „negative Fußabdruck“ der mechanischen Bearbeitung wird so reduziert, da die Einstellung einer verbesserten Oberfläche bereits durch die Reduzierung der aus der mechanischen Bearbeitung resultierenden Oberflächenbelastung vorbereitet wird. Es entsteht eine mikrotopografisch fein eingebnete und spaltenfreie Oberfläche, unterhalb derer weniger Gitterstörungen vorliegen, was insbesondere ihre physikalischen und chemischen Eigenschaften verändert. Systemeigenschaften, die aus der Interaktion zwischen dem Werkstoff und dem

jeweiligen Medium resultieren – etwa die Korrosionsbeständigkeit und die Haftkräfte beim Kontakt mit weiteren Stoffen –, lassen sich so verbessern. //

© Bolz Intec GmbH

### Literaturhinweise

- [1] Faller, M.; Gümpel, P.: Einfluss einer mechanischen Bearbeitung auf das Korrosionsverhalten von nichtrostenden Stählen. Tagungsband 3-Länder-Korrosionstagung, Wien, 2008
- [2] Hörtnagl, A.: Systembetrachtung der Korrosionsbeständigkeit an geschliffenen Oberflächen von metastabilen Austeniten. Ilmenau, 2022
- [3] Turnbul, A. et al.: Sensivity of stress corrosion cracking of stainless steels to surface machining and grinding procedure. In: Corrosion Science 53 (2011), pp. 3398-3415
- [4] Singh, D.; Baier, R.: Contact Angle and Wettability Correlations for Bioadhesion to Reference Polymers, Metals, Ceramics and Tissues. In: K. L. Mittal: Advances in Contact Angle, Wettability and Adhesion. Scrivener Publishing LLC, 2018.
- [5] Hörtnagl, A.: Oberflächenbearbeitung und Oberflächenausführungen von nichtrostenden Stählen. In: Gümpel, P. et al.: Rostfreie Stähle. 6. Auflage, Renningen, 2025
- [6] Burkert, A.; Klapper, H. S.; Lehmann, J.: Novel strategies for assessing the pitting corrosion resistance of stainless steels surfaces. In: Materials and Corrosion, 64 (2012), pp 675-682

### Autoren

#### Prof. Dr.-Ing. Dr. hc Paul Gümpel

Selbstständiger Werkstoffberater  
Werkstoffberatung GbR, Bodman-Ludwigshafen  
paulguempel@gmail.com

#### Prof. Dr.-Ing. Arnulf Hörtnagl

Dozent für Werkstofftechnik und Wasserstoffsicherheit  
Technische Hochschule Würzburg-Schweinfurt (THWS), Schweinfurt  
arnulf.hoertnagl@thws.de  
www.thws.de

#### Dipl. oec. Cornelius Mauch

Geschäftsführer  
Bolz Intec GmbH, Argenbühl-Eisenharz  
cm@bolz-intec.com  
www.bolz-intec.com