

Technical Bulletin

provided by



Copyright by Henkel 2003. All rights reserved.
Data shown is typical, and should not be construed
as limiting or necessarily suitable for design. Actual
data may vary from those shown herein.

PHARMAFUNKTIONELLE EDELSTAHLLOBERFLÄCHEN

Aufsatz Nr. 63 / REV. 00

Dr. -Ing. Georg Henkel
Dipl.-Ing. Benedikt Henkel

*The component's
value is assured
by its surface*



PHARMAFUNKTIONELLE EDELSTAHLLOBERFLÄCHEN

Einleitung

Der vorherrschende Werkstoff in der pharmazeutischen Produktionstechnik für Apparate, Behälter und Rohrleitungssysteme ist der austenitische Edelstahl im Legierungsbereich DIN 1.4404/ 1.4435/1.4539 bzw. AISI 316L und 904L.

Ziel für eine möglichst unbeschränkte Produktionsnutzung der Anlagen im medienberührten Bereich ist ungeteilt die

- optimale Passivschichtausbildung und damit unbedenkliche Korrosionsresistenz
- Partikelreinheit
- geringe Kontamination bzw. einfache und sichere Dekontamination der medienberührten Oberflächen.

Die Ausbildung und der Zustand der medienberührten Oberflächen entscheiden also im Wesentlichen die pharmagerechte Funktionalität und die Nutzungssicherheit der Apparate und Systeme.

Die technische Ausführung der Oberflächen erfolgt final entweder durch mechanisches Schleifen/Polieren oder aber durch elektrochemisches Polieren mit einem Abtrag von 15 – 25 µm.

Die Definition der Oberflächenqualität zur Erzielung und Sicherung der unbeschränkt notwendigen Pharmafunktionalität erfolgt durch die Teilbereiche

- (Mikro-)/Topografie: z.B. Ra-Wert
- Morphologie: Passivschichtzustand, Cr/Fe-Verhältnis
- Energieniveau: Oberflächenspannung **und** Potentialzustand.

Jüngere Hinweise auf die topografische Charakterisierung von Edelstahloberflächen mit Angabe so genannter optimaler Rauheiten Ra aus einfachen Haftkraftüberlegungen greifen hierbei wissenschaftlich erfahrungsgemäß viel zu kurz.

Schlussfolgerungen aus diesen stark vereinfachten Überlegungen lassen sich in der Betriebspraxis **nicht** bestätigen.

Aufgabenstellung

Ziel ist es, technisch verlässlich realisierbare Oberflächenausführungszustände bezüglich

- Topografie
- Morphologie
- Energieniveau/Potential

zu beschreiben, die hinsichtlich der Faktoren der Pharmafunktionalität gesichert die besten Verhältnisse ergeben.

Dazu ist es notwendig für die Oberflächenausführungskriterien den jeweils günstigsten Zustand zu beschreiben, zu einem optimalen Zustand zu formulieren und sodann die technische Ausführungsmöglichkeit diesem optimalen Zustand so nahe wie möglich zu bringen.

Die Formulierung von technisch und v. a. auch wirtschaftlich realisierbaren Oberflächenbearbeitungs- und Prüfungsverfahren ist Ziel nachfolgender Überlegungen.

Überlegungen zur (Mikro-)Topografie

Die derzeit gehandhabten technischen Methoden zur Herstellung von technischen Bauteilen/Apparaten machen die Nutzung von mechanischen Bearbeitungsverfahren unumgänglich. Dabei sind spanlose Verfahren, wie Walzen und Ziehen (Bleche, Rohre), ebenso im Einsatz wie spanabhebende Verfahren, wie Drehen, Bohren, Schleifen etc.

Durch Anwendung dieser Verfahren auf Edelstahloberflächen werden (Mikro-) Topografien praktisch vorgegeben. Dabei versteht man unter der Topografie die tatsächliche dreidimensionale geometrische Abweichung von der idealen ebenen Nullfläche. Speziell im Mikrobereich sind hierbei auch so genannte singuläre Flächenelemente (z.B. Dopplungen, umgelegte Furchenelemente etc.) zu berücksichtigen.

Finaler Oberflächenabtrag durch sachgerechtes elektrochemisches Polieren verändert die zuvor mechanisch gefertigte Oberfläche entscheidend auch in (mikro-)topografischer Hinsicht.

Schroffe Mikrostrukturen werden geglättet, singuläre Untiefen werden geöffnet – die Oberfläche wird geschlossen und in Abhängigkeit vom topografischen Grundprofil auf ein relatives Minimum reduziert, wobei auch das Maß der zu verunreinigenden Gesamtläche deutlich kleiner wird.

Hinsichtlich der Pharmafunktionsgrößen bedeutet dies:

❖ Passivschichtausbildung/Korrosionsresistenz

Die rein topografischen Verhältnisse beeinflussen die Passivschichtausbildung kaum. Korrosionstechnisch ist die relative Größe einer Oberfläche insofern von Bedeutung, als die größere Fläche auch linear vermehrt Korrosionsprodukte erzeugen kann.

Mikrotopografisch sind schroffe Strukturen äußerst unterstützend für Nestbildungen von Verunreinigungen und sohin Korrosionszentren. Elektropolierte Oberflächen sind deshalb mechanisch gefertigten Oberflächen in dieser Hinsicht deutlich überlegen.

❖ **Partikelreinheit**

Speziell (spanabhebend) mechanisch gefertigte Edelstahloberflächen können nicht partikelfrei hergestellt werden. Partikel von Werkstoff- und Werkzeugabrieb werden unvermeidlich in das Produkt generiert.

Elektropolierte Edelstahloberflächen sind als partikelfrei gekennzeichnet.

❖ **Kontamination/Dekontamination von partikulären und auch ionischen Verunreinigungen**

➤ Partikuläre Verunreinigungen

Partikuläre Verunreinigungen, wie Bakterien, Hefen, Lipide, Peptide etc., haben i. A. eine Größe im Bereich von 0,5 ... 50 µm.

Die Haftwirkung an der Oberfläche über die Adhäsionsmechanismen der Van-der-Waals-Kräfte (Dispersionskräfte, Dipolkräfte, Induktionskräfte, H-Brückenbindungskräfte etc.) bzw. der Coulomb- oder elektrostatischen Kräfte als typische Sekundärkräfte sind vor allem dadurch gekennzeichnet, dass die (spezifische) Kraftwirkung nur bei sehr kleinen Abständen – also praktisch bei Berührung – erfolgt. Die notwendigen Abstände Wand-Partikel liegen dabei < 50 µm bei Van-der-Waals-Kräften und < 20 µm bei Coulomb-Kräften.

In diesem Zusammenhang ist die Dicke der hydraulischen Strömungsgrenzschicht von wesentlicher Bedeutung, da in der Grenzschicht die Scherströmung und damit die Wandschubkräfte als reinigende Kräfte auf sehr kleine Werte abfallen. Die Grenzschichtdicke ist je nach Medium und Oberflächenrauheit im Bereich von 20 ... 100 µm.

Außerdem ist bei Partikeln neben der Größe auch deren geometrische Form (kugelig, länglich etc.) und Formfließcharakter zu beachten. Zudem ist neben elektrisch neutralen Partikeln auch der Zustand von Partikeln mit chemisch bzw. elektrisch aktivem Charakter zu beachten:

.) polar oder apolar, also hydrophil oder hydrophob

.) anionisch oder kationisch,

wodurch die zu erwartenden Haftmechanismen bzw. Haftwirkungen entsprechend beeinflusst werden.

Die Ausbildung der wahren (Mikro-)Topografie der Edelstahloberfläche hat in diesem Zusammenhang also v.a. einen Einfluss auf die tatsächlich zu erwartenden Berührungsfächen zwischen Edelstahloberfläche und Partikel.

Je nach Größe und Form des Partikels ergeben sich günstige und weniger günstige Mikrotopografien. Etwa bei einer Partikelgröße von 10 µm in kugeliger Ausbildung ergibt sich bei mikroebener Oberfläche eine Punktberührung und bei mikrorauer Oberfläche eine

Mehrpunktberührung. Bei länglicher Partikelform mit ähnlichem Volumen ergibt sich bei mikroglatte Oberfläche eine Linienberührung und bei mikrorauer Oberfläche eine Mehrpunktberührung.

Die Formulierung einer optimalen Mikrorauheit als Basis für die Haftungswahrscheinlichkeit (z.B. Ra) ist ohne Kenntnis von Partikelgröße und Form also kaum sinnvoll.

Der gezielte elektrochemische Polierabtrag erlaubt, in Abhängigkeit vom (mechanisch gefertigtem) Vorzustand eine wählbare mikrotopografische Struktur.

Beispiel:

- mechanischer Vorschleiff K 180 (monodirektional)

→|K|←



Ra = ca. 0,6 µm
Rz = ca. 4 µm
K = ca. 2,5 µm

- nach Elektropolierung mit Abtrag 15 µm

→|K|←



Ra = ca. 0,35 µm
Rz = ca. 2 µm
K = ca. 2,5 µm

- mechanisches Vorstrahlen mit Korn 1 – 2 µm (unidirektional)

→|K|←



Ra = ca. 1,0µm
Rz = ca. 2,5 µm
K = ca. 2 µm

- nach Elektropolierung mit Abtrag ca. 15 µm

→|K|←



Ra = ca. 0,8 µm
Rz = ca. 1,5 µm
K = ca. 2 µm

Der Charakter der Oberfläche wird durch elektrochemischen Polierabtrag mikroskopisch verrundet; singuläre Bereiche werden saniert.

Spezifische potentielle Kontaktflächen werden je nach Vorbearbeitung nicht völlig eingeebnet und verbleiben in einem hügeligen Charakter, der speziell bei unidirektionaler Unebenheit der topografischen Lotusstruktur ähnlich angepasst werden kann.

Insofern lassen sich bei gezielter Abstimmung zwischen mechanischer Vorbearbeitung und elektrochemischer Finalbehandlung ideale topografische Strukturen im Hinblick auf eine Optimierung bezüglich der Minimierung der tatsächlichen Haftkontaktflächen einstellen.

Die Formulierung eines optimalen Ra-Wertes – unabhängig von der Finalbehandlung – ist aber in Unkenntnis der Größe und Form der belegenden Partikel nicht sinnvoll.

➤ ionische Verunreinigungen

Ionen zeigen i. A. atomare bzw. molekulare Dimensionen und sind bezüglich Kontaktflächen mit der Edelstahloberfläche nicht relevant in Bezug auf Ra-Betrachtungen.

Mechanisch gefertigte mikrorauhe Edelstahloberflächen – speziell mit lokalen Untiefen bzw. singulären Bereichen – sind ideale Nistplätze etwa für Cl^- -Ionen und meist Ausgangspunkt für lokale Korrosionsausbildungen, wie etwa Lochfraßkorrosion.

Oberflächen mit elektrochemischem Polierabtrag zeigen eine geschlossene topografische Mikrostruktur und vermeiden in hohem Maße die Bildung solcher lokaler Nistplätze verlässlich.

Rauheitsangaben in Ra-/Rz-Werten erlauben je nach Oberflächenbearbeitung meist nur sehr unscharfe Hüllkurvenresultate und eignen sich daher nur sehr bedingt zur verlässlichen topografischen Beschreibung von Edelstahloberflächen. Die Formulierung von optimalen Ra-Werten ist also neben den o.g. Unschärfen letztlich auch aus messtechnischen Gründen eine extrem grobe Vereinfachung, die weder wissenschaftlich noch praktisch einer seriösen Prüfung Stand halten kann.

Überlegungen zur Morphologie der Edelstahloberfläche

Die medienberührte Edelstahloberfläche soll zur Kalkulierbarkeit des Verhaltens sowohl in Bezug auf die Stoffelemente (Cr, Ni, Fe etc.) wie auch im Bezug auf die kristalline Ordnungsstruktur (kfz, Austenit) im Wesentlichen die Verhältnisse aufweisen, die die Legierung laut Datenblatt kennzeichnen.

Daneben soll die chromoxidreiche Passivschicht lückenlos ausgebildet sein und das Cr/Fe-Verhältnis der Schicht (Dicke > 1,5 nm) etwa für $1.4404 > 1,7 \dots 2$ sein.

Andere Oberflächenverhältnisse – speziell als Ergebnis mechanischer Oberflächenfinalbehandlung, wie mechanisches Schleifen/Polieren – lassen diese Anforderungen i. A. **nicht** gesichert erreichen und zeigen in der Regel statt einer kristallin reinen Fläche eine amorph verschmierte Beilby-Schicht mit unsicherem Passivzustand.

Hinsichtlich der Pharmafunktionsgrößen bedeutet dies

- Korrosionsresistenz/Passivschichtbildung

Die von der Edelstahloberfläche erwartete Korrosionsresistenz im praktischen Medienkontakt **bedingt** die Existenz einer möglichst homogen geschlossenen, chromoxidreichen Passivschicht.

Passivschichtstörungen (lokal oder flächig), welche im System nicht umgehend re-passivieren (heilen), führen unweigerlich zu Korrosionseffekten und zur Bildung von Korrosionsprodukten, wie Schwermetalloxide (Fe-Oxide) und dergleichen.

Speziell auch anwendungsbedingte Umgebungsbedingungen, wie z.B. heißes WFI, können zu einer nachhaltigen Störung des dynamischen Gleichgewichts der Passivschicht führen und eine typische Art flächiger Korrosion (Fe-Oxide) verursachen; Rougingeffekt.

Im Gegensatz zu mechanischen Schleifverfahren lassen gezielte elektrochemische Polierabträge metallisch reine und ungestörte austenitische Kristallstrukturen freilegen, maximale Passivschichtbildungen erzielen und maximale Korrosionsresistenzen für jeden Legierungstyp einstellen.

Die Darstellung dieser verbesserten Korrosionswiderstandsbedingungen erfolgt i. A. in arttypischen Stromspannungspotentialkurven.

- Kontamination/Dekontamination

Partikuläre und/oder ionische Verunreinigungen von Edelstahloberflächen werden durch die auf der Edelstahloberfläche vorliegenden morphologischen Gegebenheiten zunächst nur indirekt beeinflusst.

Morphologisch unterschiedliche Bedingungen

.) mechanischer Schliff:

amorph verschmierte
Beilby-Schicht;
Schleifkornabriebe etc.

.) elektrochemisches Polieren:

reine, ungestörte austenitische
Kristallstruktur

der Edelstahloberflächen zeigen selbstverständlich deutlich verschiedene Energieniveaus der Edelstahloberfläche, welche für deutlich unterschiedliche Kontaminations- bzw. Dekontaminations- oder Reinigungsverhalten nachhaltige Relevanz haben. Auf diese Thematik wird in der Folge an anderer Stelle eingegangen.

- Partikelverhalten/Partikelreinheit

Die Partikelreinheit wird durch die morphologische Struktur der Edelstahloberfläche ebenfalls nur indirekt beeinflusst. So sind z.B. Werkstoff und/oder Werkzeugabriebe (etwa vom Schleifen) einerseits morphologische Unreinheiten und zum anderen eben potentielle Partikelfrachten.

Überlegungen zum Energieniveau/Potential

Edelstahloberflächen besitzen ähnlich anderen festen Stoffen und Flüssigkeiten eine spezifische Oberflächenspannung bzw. Oberflächenenergie, welche prinzipiell aus den additiven Termen

.) polarer Anteil

.) apolarer oder dispersiver Anteil

besteht.

Dieses Energieniveau der Legierungsoberfläche wird bei mechanischer Bearbeitung der Oberfläche durch die Speicherung von Energie infolge plastischer Verformung erhöht, wobei die Schicht der Energiespeicherung je nach Intensität der Bearbeitung üblicherweise in Tiefen bis zu ca. 10 µm und darüber reichen kann.

Messungen zeigen, dass die Veränderung des Energieniveaus durch mechanische Verarbeitungsspannungen bis zum doppelten Wert des unverspannten Ausgangszustandes reichen kann.

Der vom Energieniveau zunächst unabhängige Potentialzustand der Edelstahloberfläche in einem flüssigen Medium ist neben dem Energieniveau eine weitere wesentliche Komponente hinsichtlich der Haftspannung zwischen Edelstahloberfläche und Partikel und insoweit eine bestimmende Größe für die Ermittlung der Haftungswahrscheinlichkeit.

Im Passivzustand ist die Edelstahloberfläche durch ein entsprechendes Potential gekennzeichnet

- die mechanisch bearbeitete Edelstahloberfläche zeigt ein hohes positives Potential und ist insoweit elektrisch aktiv.
- elektrochemisch polierte Edelstahloberflächen zeigen ein niedriges positives Potential, welches u.a. für ein typisches Abperlen von Wassertropfen (geringere Benetzungsneigung) verantwortlich ist.

Die Abschätzung des Benetzungsgrades kann insohin nur sehr grob über die Oberflächenspannung der Edelstahloberfläche erfolgen. Der Versuch, allein über die Oberflächenspannung eine Partikelhaftungsaussage bzw. eine Aussage über Oberflächenrückstände zu gewinnen, führt erfahrungsgemäß **nicht** zum Ziel, wie Praxiserfahrungen zeigen.

Austenitischer Edelstahl zeigt in sauren und alkalischen Lösungen stets ein positives Potential gegen den umgebenden Elektrolyten, wodurch Anionen an der Edelstahloberfläche absorbiert werden. Dies ist etwa besonders bei Cl⁻-Ionen ein erhebliches Indiz für die verstärkte Anlagerung an mechanisch geschliffenen Oberflächen mit erhöhtem positivem Potential.

- **Korrosionsresistenz/Passivschichtbildung**

Die Passivschichtbildung wird durch das Energieniveau der Edelstahloberfläche nur mittelbar beeinflusst, da die Passivierung ein rein chemischer Prozess ist. Wird das Energieniveau der Edelstahloberfläche durch eingepresste Fremdstoffe verursacht, so behindern diese auch die ungestörte Passivschichtausbildung, was speziell bei mechanisch polierten Oberflächen zu erkennen ist.

Die Korrosionsresistenz in unmittelbarem Zusammenhang mit der Passivschichtqualität leidet in konformer Weise mit (lokalen) Fehlern in der Passivschicht.

- **Partikelreinheit**

Die Partikelreinheit steht ebenfalls nur in mittelbarer Beziehung zum Energieniveau bzw. zum Potentialzustand der Edelstahloberfläche.

- **Kontamination/Dekontamination:**

Dieses Oberflächenverhalten ist in sehr direktem Zusammenhang mit dem Energieniveau (Oberflächenspannung) **und** dem Potentialzustand der Edelstahloberfläche zu sehen.

Erhöhte Oberflächenspannungen (polarer und/oder apolarer Anteil) und auch erhöhte positive Potentiale führen zu deutlich verstärkter chemisch-physikalisch bedingter Adhäsionsneigung der Oberflächen bezüglich anlagerungsfähigen Partikeln, wobei allerdings die Partikelqualität zu beachten ist:

- .) polar/apolar
- .) anionisch/kationisch
- .) Größe
- .) geometrische Form

Speziell elektrochemisch polierte Edelstahloberflächen zeigen im Vergleich zu mechanisch geschliffenen Edelstahloberflächen deutlich reduzierte Oberflächenspannungen u.v. deutlich reduzierte elektrische Potentiale, wodurch die zu erwartenden Haftspannungen merklich reduziert sind.

Unabhängig von den Gesichtspunkten der Oberflächenenergie und des Potentialzustandes von Edelstahloberflächen im Hinblick auf Partikelkontaminationen bzw. -dekontaminationen sind v.a. auch bei Belegungen durch Keime/Bakterien die haftungsrelevanten Gesichtspunkte des Metabolismus zwischen Partikel und Edelstahloberfläche gebührend zu berücksichtigen bzw. in Ansatz zu bringen.

Dieser formanpassungsfähige Anlagerungsmechanismus ist aus mikroskopischen Gründen bei elektropolierten Edelstahloberflächen erfahrungsgemäß weit weniger ausgeprägt möglich als bei mechanisch geschliffenen Edelstahloberflächen.

Die Haftungswahrscheinlichkeit

Der mathematische Ansatz der Haftungswahrscheinlichkeit von Schmidt (CIT 2003) als

$$P = C\{g_a \cdot p(A) + g_y \cdot P(y/A)\}$$

Haftungswahrscheinlichkeit Topografieeinfluss Oberflächenspannungseinfluss

= 1 ... für Berührung Partikelwand

= 0 ... für Nichtberührung

kommt durch Versuche zu dem Resultat, dass

.) Ra 0,4 ... 1,5 µm quasi optimal sei

.) Elektropolieren von Edelstahloberflächen höhere Haftungsspannungen (an Glaskügelchen 20 µm Ø) erzeugen, als mechanisch polierte Edelstahloberflächen.

Dieser Ansatz und dessen Schlussfolgerung ist aus der Betriebspraxis eindeutig **nicht** zu bestätigen.

Aus wissenschaftlicher Sicht sind der Ansatz der Haftungswahrscheinlichkeit P und die Versuchsdurchführung durch grobe Vereinfachungen gekennzeichnet, die im Resultat als unvollständig und in der Empfehlung als irreführend bezeichnet werden müssen:

- Die „Empfehlungen“ geben keinen Hinweis auf die Gesichtspunkte Korrosionsverhalten und Partikelverhalten der Edelstahloberfläche.
- Der Ansatz des Oberflächenspannungsterms **ohne** die Betrachtung der Potentialbedingungen ist völlig unzureichend und kann praxisnahe Verhältnisse einfach nicht ausreichend beschreiben.

$$P = C_1 \{ g_a(A) + g_y P(y/A) + g_z k(y/A) \}$$

Topografieeinfluss Oberflächenspannungseinfluss Potentialwirkungseinfluss

- Die referierten AFM-Messungen an Glaskügelchen mit einem Durchmesser von ca. 20 µm führen zu völlig irrelevanten Ergebnissen, da
 - Glaskugeln im Gegensatz zu relevanten partikulären Verunreinigungen, wie bei Keimen, Proteinen, Hefen etc., formhart sind und auf den mikrorauen Spitzen der mechanisch geschliffenen Edelstahloberfläche punktwise aufliegen, wodurch sich Van-der-Waals-Haftkräfte abstandsbedingt nur unwesentlich aufbauen können.









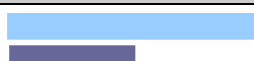


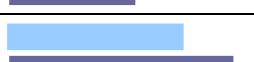
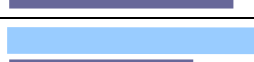

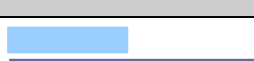
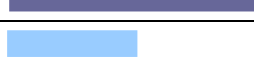
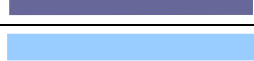
Elektropolierte Edelstahloberflächen **ähnlicher** Ra-Werte zeigen auch ähnliche Haftflächen aber eben reduzierte Haftkräfte bei kompletter Betrachtung von Oberflächenspannung und Potentialrelation Edelstahloberfläche zu Partikel.

Reale Partikel zeigen ein „Umfließen“ von Mikrospitzen und so extrem erhöhte Haftflächen und Haftspannungen. In diesem Zusammenhang haben speziell J.W. Arnold u.a. vom Agricultural Research Center, Athens Georgia, USA ,Ergebnisse auf Basis von AFM-Analysen berichtet, die elektropolierte Oberflächen als eindeutig überlegen ausweisen (Poultry Science 2000, 79, 1839 – 1845 und American Society of Agricultural Engineering 2001, Vol. 44 (2), 347 – 356).

 - Glas i. A. eine hohe Oberflächenspannung hat **und** auch eine hohe elektrische Aktivität (Potential), wodurch sich bei mechanisch geschliffenen Edelstahloberflächen (mit ebenfalls hohem Potential) Abstoßungskräfte ergeben, die die Messung (offenbar unerkant) wesentlich beeinflussen.
- Größen und Form der Realpartikel sind fiktiv definiert und verzerren bei realer Variation das Resultat erheblich.

Schlussbemerkungen

Die Zusammenstellung der wahren Verhältnisse und Abhängigkeiten zeigt, dass die einfach formulierten Zusammenhänge der Haftungswahrscheinlichkeit nach Schmidt in entscheidenden Punkten viel zu kurz greift und die tatsächlichen Vorgänge bei Kontamination und Dekontamination nicht praxisrelevant beschreiben kann.

Diagrammdarstellung	
1. (Mikro-)Topographie	
Passivschicht/Korrosionsresistenz	
wahre Oberfläche	
Nestbildungsrisiko	
Partikelreinheit	
Kontamination/Dekontamination	
totale Flächengröße	
Flächenkontakte (abhängig von Größe und Form der Partikel)	
Grenzschicht (-volumen)	
2. Morphologie	
Cr/Fe	
Schichtdicke	
Korrosionsresistenz	
Rougingwirkung	
Derougingqualität	
austenitische Kristallstruktur	
3. Energieniveau/Potential	
Energieniveau	
Potential	
Korrosionsresistenz	

Die Empfehlungen der abgeleiteten optimalen Ra-Werte sind aufgrund der groben Vereinfachung eher irreführend als hilfreich.

Bei praxiskonformer Ergänzung des Ansatzes auf reale Partikel (Keime, Proteine, Hefen etc.) und Einbeziehung der Potentialwirkung in wässrigen Lösungen unter Nutzung der AFM-Analytik ergeben sich praxisbestätigende Ergebnisse in der Form, dass fachgerecht elektrochemisch polierte Edelstahloberflächen im Ra-Bereich 0,4 ... 0,8 μm samt entsprechender chemischer Nachkonditionierung mechanisch polierten Oberflächen in **allen** Bereichen der Pharmafunktionalität deutlich und nachhaltig überlegen sind.

Für weitere Auskünfte stehen wir Ihnen jederzeit gern zur Verfügung

Technical Bulletin

Procedures for the treatment of metal surfaces

- ▶ Electrochemical polishing
- ▶ Electrochemical and chemical deburring
- ▶ Chemical polishing
- ▶ Chemical pickling
- ▶ Passivation
- ▶ Derouging and professional repassivation

All services can be carried out on the premises of the customer

Development and supply of

- ▶ chemicals for pickling, electropolishing and passivation of metal surfaces
- ▶ chemicals for derouging and repassivation of stainless steel surfaces
- ▶ turnkey constructions/equipments for the chemical and electrochemical surface treatment of metals

Technical consultation

- ▶ for the surface treatment of
 - Stainless steel (i.e. 1.4435 / 1.4404 / 316l, 1.4539 / 904l, etc.)
 - Nickel and Nickel Alloys (i.e. Alloy 59, Hastelloy, Inconel)
 - Aluminium
 - Copper
 - Niobium
 - Titanium
 - Zirkonium
 - C-steel
- ▶ for apparatus, tubes and fittings in the food, beverage, chemical, cosmetic and pharmaceutical industries, bio and medical technology, plant, refrigeration and heat technology
- ▶ for surface treatment specifications for apparatus and tube systems
- ▶ concerning corrosion of stainless steel

Further services

- ▶ Colouring of stainless steel
- ▶ Clean room treatment
- ▶ Waste water technology
- ▶ Research & Development

We are member of VDMA, EHEDG und ISPE

For further information please contact us

info@henkel-epol.com
www.henkel-epol.com



Certified according to EN ISO 9001:2000
Certificate no : A06/0007



HENKEL Beiz- und Elektropolieretechnik
GmbH & Co. KG
Stoissmühle 2
A – 3830 Waidhofen / Thaya
Tel : + 43 (0) 28 42 / 543 31 - 0*
Fax : + 43 (0) 28 42 / 543 31 - 30
info@henkel-epol.at
www.henkel-epol.com

HENKEL Beiz- und Elektropolieretechnik
GmbH & Co. KG
An der Autobahn 12
D – 19306 Neustadt-Glewe
Tel : + 49 (0) 387 57 / 66 - 0*
Fax : + 49 (0) 387 57 / 66 - 122
info@henkel-epol.com
www.henkel-epol.com

HENKEL Kémiai és Elektrokémiai
Felületkezelő Kft
H – 9172 Györzámoly, Központi Major
Tel : + 36 (0) 96 / 352 - 035
Fax : + 36 (0) 96 / 585 - 035
info@henkel-epol.hu
www.henkel-epol.com

*The component's
value is assured
by its surface*

