

Beständigkeit als Herausforderung: Edelstahl Rostfrei

Heinz Koch, Dr. Alfred Otto, Dr. Wolfgang Schlump, Krefeld

Vortrag anlässlich der Fachveranstaltung
L'Inox pour une Architecture Visionnaire, Paris, 15. Mai 2001
einer Gemeinschaftsveranstaltung von
Euro Inox, Brüssel, Belgien und I.D. Inox, Saint Herblain, Frankreich



Edelstahl Rostfrei zeichnet sich durch eine praktisch unbegrenzte Beständigkeit gegen korrosive Einflüsse aus. Insbesondere diese Beständigkeit ist die Eigenschaft, mit der diese Werkstoffe auch als Baumaterial überzeugen. Faszinierend sind die Ästhetik der Oberfläche und die Formbarkeit des Materials. Die Vielfalt unserer rostfreien Stähle eröffnet dem Architekten einen großen Gestaltungsraum. Durch unterschiedlich verfügbare Produktformen und vielfältige Oberflächenstrukturen werden dem Gestaltungswillen nahezu keine Grenzen gesetzt (Abb. 1). Sowohl für solitäre Anwendungen als auch in Verbindung mit Glas, Stein oder Holz ist Edelstahl Rostfrei nahezu unvergänglich.

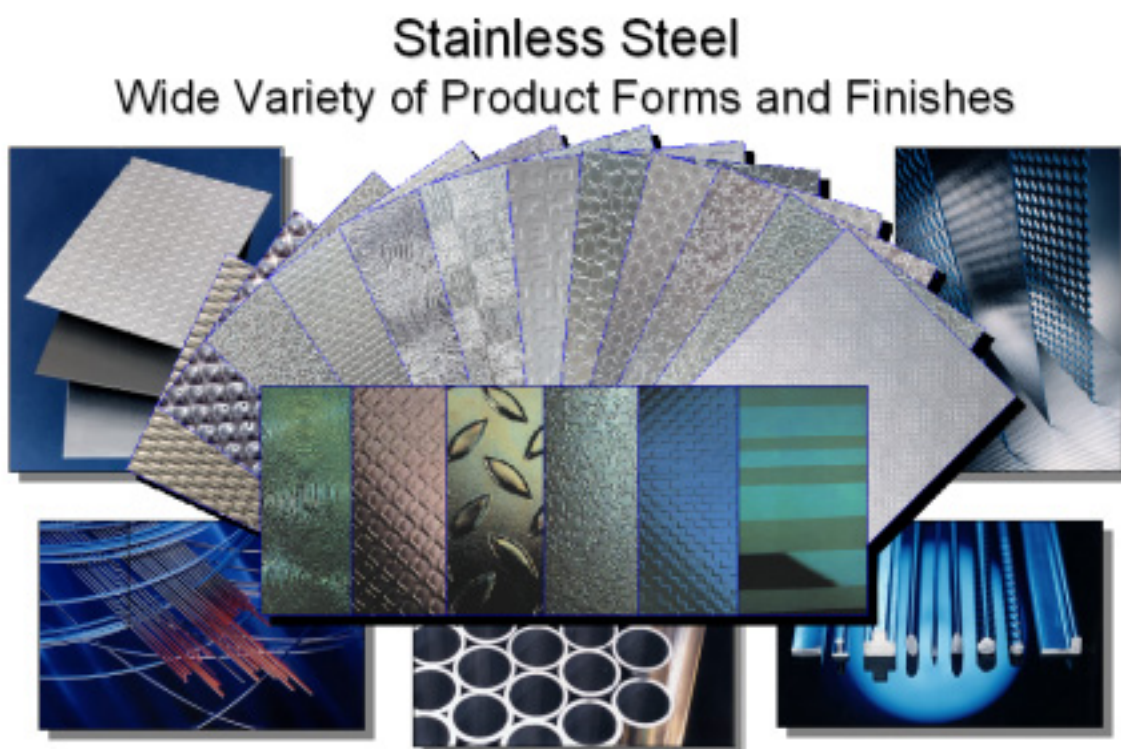


Abb. 1: Auswahl verfügbarer Produktformen

Beständigkeit zeichnet auch den seit Jahren stetig zunehmenden Verbrauch von Edelstahl Rostfrei aus. Er ist eine Bestätigung für die Attraktivität dieses Materials. Es erfüllt einerseits steigende Ansprüche hochtechnologischer industrieller Anwendungen in Bezug auf Sicherheit, Qualitätsbewusstsein, Umweltverträglichkeit und Kosten.

Gleichzeitig liegt Edelstahl Rostfrei als stilprägender Werkstoff voll im Trend des Zeitgeistes und ist Ausdruck des Selbstwertgefühls moderner Industriegesellschaften, dem Designer und Architekten mit ihren edelstahlgeprägten Entwürfen bleibenden Ausdruck verleihen. Während sich die gesamte Industrie-Produktionsleistung der OECD-Länder in den vergangenen 40 Jahren etwa verdreifachte, erhöhte sich im gleichen Zeitraum der Vergleichswert für Edelstahl Rostfrei deutlich überproportional um den Faktor 8 mit weiterhin ungebrochenem Wachstum von 5 – 7 % pro Jahr (Abb. 2).

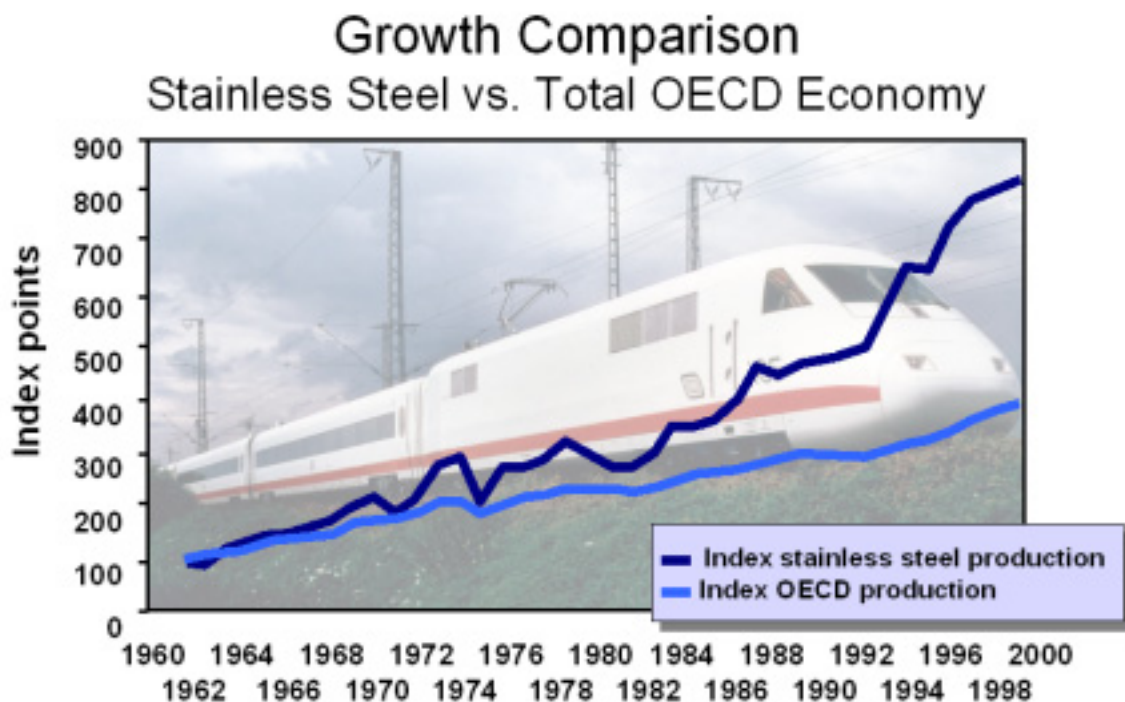


Abb. 2: Wachstumsvergleich OECD-Produktion / Edelstahl-Rostfrei-Produktion

Obwohl wir mit der Aufzählung und Beschreibung der positiven Eigenschaften und Entwicklungen des nichtrostenden Stahles fortfahren könnten, wollen wir uns in diesem Beitrag mit einem sehr sachbezogenen Thema, nämlich dem Einfluss der Oberflächenausführung auf die Bauteileigenschaften

- Korrosionsbeständigkeit
- Reflexionsverhalten
- Verschmutzungs- und Reinigungsverhalten

beschäftigen (Abb. 3). Aus vielen Kontakten zu Bauherren, Planern, Architekten und den Betreibern entsprechender Bauwerke ist der Eindruck entstanden, dass zu der aufgezeigten Thematik Informationsbedarf besteht. Hinsichtlich der drei aufgezeigten Oberflächeneigenschaften nichtrostender Stähle wird der derzeitige Kenntnisstand besprochen, z. T. werden eigene Mess- und Untersuchungsergebnisse vorgestellt.

The Influence of Different Surface Finishes

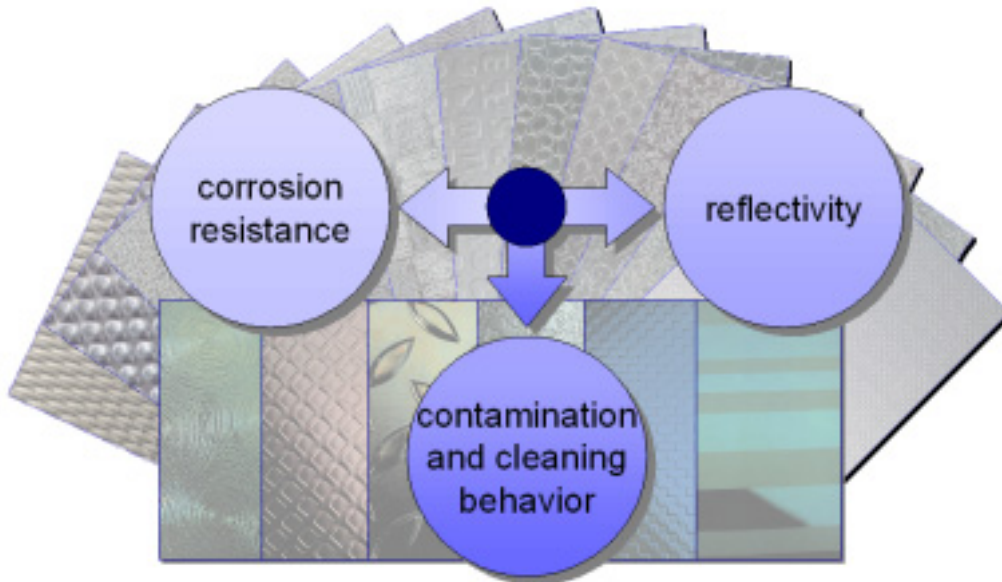


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Korrosionsbeständigkeit, Reflexionsverhalten und Verschmutzungs-/Reinigungsverhalten

Zunächst wollen wir uns dem Einfluss der Oberflächenausführung auf die Korrosionsbeständigkeit von Edelstahl Rostfrei zuwenden. Bauteile aus Edelstahl Rostfrei unterliegen in der Architektur im allgemeinen keiner flächigen, abtragenden Korrosionsbeanspruchung, sondern können bei Vorliegen entsprechender Bedingungen lokal auf Korrosion beansprucht werden. Die bekannteste Form der lokalen Korrosion an nichtrostenden Stählen ist die Lochkorrosion. Es liegen jedoch gesicherte Erkenntnisse vor, wie durch Auswahl geeigneter nichtrostender Stähle Lochkorrosion und andere lokale Korrosionsarten vermieden werden können.

Aus zahlreichen Untersuchungen ist bekannt, dass die Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle mit steigendem Anteil an Legierungsbestandteilen, insbesondere Chrom- und Molybdän, zunimmt (Abb. 4).

Chemical Composition of Typical Stainless Steels

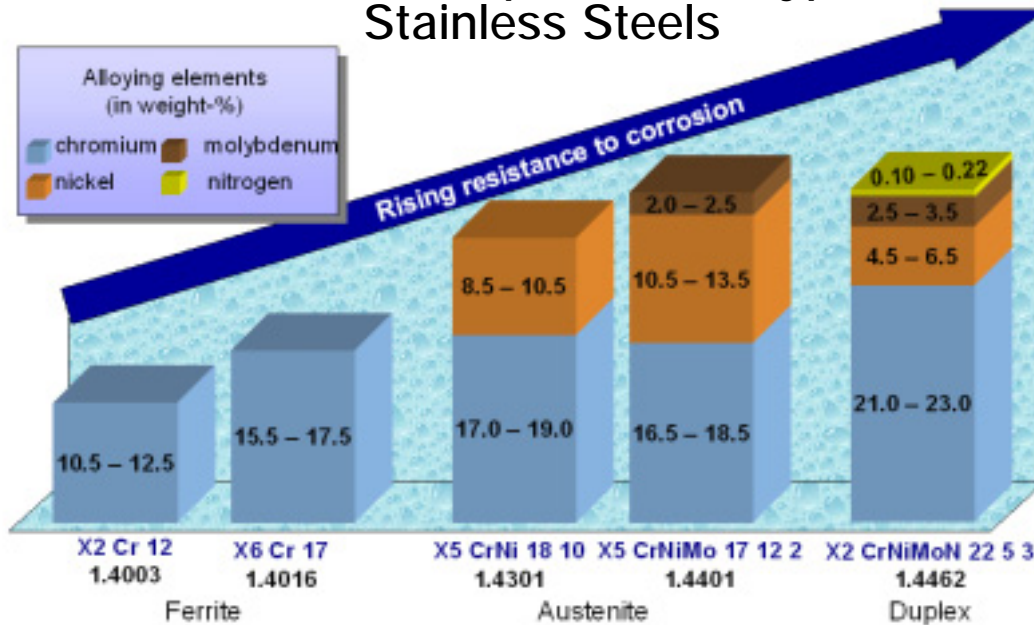


Abb. 4: Zusammenhang zwischen Legierungsmittelgehalt und Korrosionsbeständigkeit

Classification of Steel Grades According to Resistance to Corrosion

Material	Structure	Resistance class	Corrosion loads and typical applications
1.4003 X 2 Cr 11 1.4016 X 6 Cr 17	Ferrite Ferrite	I	Interior spaces
1.4318 X 2 CrNiN 18-7 1.4567 X 3 CrNiCu 18-9 1.4301 X 5 CrNi 18-10 1.4541 X 6 CrNiTi 18-10	Austenite Austenite Austenite Austenite	II	Accessible structures without significant concentrations of chlorides and sulfur dioxide
1.4401 X 5 CrNiMo 17-12-2 1.4404 X 2 CrNiMo 17-13-2 1.4571 X 6 CrNiMoTi 17-12-2 1.4439 X 2 CrNiMoN 17-13-5	Austenite Austenite Austenite Austenite	III	Inaccessible structures with moderate chloride and sulfur dioxide loading
1.4462 X 2 CrNiMoN 22-5-3 1.4539 X 1 NiCrMoCuN 25-20-5 1.4529 X 1 NiCrMoCuN 25-20-6 1.4565 X 3 CrNiMnMoNbN 23-17-5-3 1.4547 X 1 CrNiMoCuN 20-18-6	Ferr.-austenite Austenite Austenite Austenite Austenite	IV	Structures subject to heavy corrosion loading from chlorides and sulfur dioxide (also under concentrated loads, e.g. structures in seawater and road tunnels)

Abb. 5: Einteilung der nichtrostenden Stähle gemäß der Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung des DIBt

Verwiesen werden soll in diesem Zusammenhang auf die Einteilung der nichtrostenden Stahlsorten in Korrosionsleistungsstufen in der "Allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung Z 30.3-6" des Deutschen Institutes für Bautechnik (Abb. 5). Die Einteilung wurde für die Verwendung nichtrostender Stähle für tragende Bauteile getroffen. Bei dem in Korrosionsleistungsstufe 1 vorgestellten Werkstoff 1.4003 handelt es sich um einen nichtrostenden Konstruktionsstahl mit ca. 12% Chrom. Dieser Stahl wird entweder beschichtet eingesetzt oder aber in absolut korrosionsfreien Bereichen. Werkstoff-Nr. 1.4016 ist trotz höherer Korrosionsbeständigkeit als 1.4003 für Außenanwendungen nicht zu empfehlen.

Der Einfluss der Oberflächenausführung auf die Korrosionsbeständigkeit nichtrostender Stähle ist bekannt und wurde in mehreren Arbeiten dargestellt. Wir möchten Ihnen in unserem Hause vorliegende Untersuchungsergebnisse vorstellen (Abb. 6). Es ist darauf hinzuweisen, dass die Korrosionsbeständigkeit der nichtrostenden Stähle insbesondere durch die chemische Zusammensetzung beeinflusst und gewährleistet wird. Der Einfluss der Oberflächenausführung auf die Korrosionsbeständigkeit ist gegeben, wirkt sich jedoch im allgemeinen erst bei Anwendungen im Grenzbereich der Korrosionsbeständigkeit aus, so kann beispielsweise bei gleichem Werkstoff in Meeresnähe eine geschliffene Oberfläche versagen, während ein Bauteil im elektrolytierten Zustand keinen Korrosionsangriff zeigt.

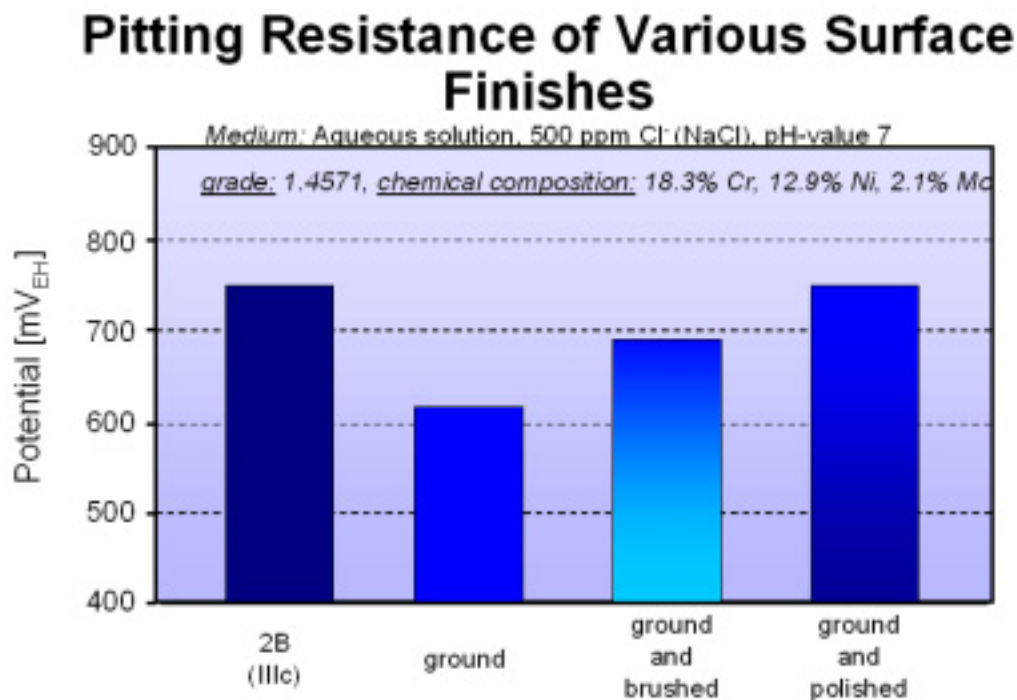


Abb. 6: Zusammenhang zwischen Korrosionsbeständigkeit und Oberflächenzustand

Reflexionsverhalten unterschiedlicher Oberflächen nichtrostender Stähle – Allgemeines

Die reflektierende, "spiegelnde" Wirkung der Oberfläche nichtrostender Stähle wird in bestimmten Anwendungsfällen gewünscht. Bekannt ist die Oberflächenausführung "mirror-finish" und ihre Anwendung als Spiegel in Aufzügen, in den Eingangsbereichen repräsentativer Gebäude, als repräsentative Schalterblende oder aber auch wegen der Bruchsicherheit als Spiegel in Kraftfahrzeugen und Flugzeugen. In sehr vielen Anwendungsfällen wird jedoch beim Einsatz nichtrostender Stähle und anderer metallischer Werkstoffe eine möglichst geringe Reflexion des Lichtes gefordert. Dies ist immer dann der Fall, wenn durch intensive Lichtreflexion die Flug- oder Verkehrssicherheit beeinträchtigt werden kann. Auch aus gestalterischen Gründen wird in vielen Fällen eine matte Oberfläche gewünscht. Die ebenfalls im Bauwesen häufig verwendeten Werkstoffe Kupfer und Zink bilden an der Atmosphäre eine sehr matte Patina und lösen hiermit das Problem der Lichtreflexion auf ihre Weise.

Diese 3 – 5 µm dicke Patina wird durch die Oxidation der metallischen Oberfläche gebildet. Derartige Oxidationsschichten sind so dick, dass sie optisch wie eine Keramik wirken und keinen metallischen Glanz mehr aufweisen. Die Erscheinungsbilder dieser Patina sind abhängig von Umwelteinflüssen und können sich mit der Zeit ändern. Ein Abwaschen dieser Schichten, unter bestimmten Voraussetzungen, ist ebenfalls bekannt. Im Gegensatz zu diesen Werkstoffen zeichnet sich nichtrostender Stahl durch eine über Jahre hinweg gleichbleibende metallisch blanke Oberfläche aus. Die sogenannte Passivschicht des nichtrostenden Stahles ist nur wenige Nanometer dick. Ein Vorteil mit zunehmender Bedeutung für die Verwendung nichtrostender Stähle für entsprechende Anwendungen besteht darin, dass keine Kontamination des Abwassers oder des Grundwassers stattfindet.

Um den metallischen Glanz, oder auch die gerichtete Reflexion des Lichtes nichtrostender Stähle zu minimieren, wurden verschiedene matte Oberflächenausführungen entwickelt und sind als Blech und Band verfügbar.

Bevor die gemessenen Reflexionswerte unterschiedlicher nichtrostender Oberflächen vorgestellt werden, möchten wir einige einfache physikalische Grundlagen der Reflexion des Lichtes erläutern. Dies scheint zum besseren Verständnis des Glanzmessverfahrens hilfreich zu sein. Die oft angewandte visuelle Beurteilung einer realisierten Fassade unterliegt in hohem Maße dem personenabhängigen Empfinden und wird durch Umgebungsbedingungen, insbesondere durch die Lichtverhältnisse, beeinflusst. Ziel der heute angewandten Glanzmessverfahren ist es, von einer subjektiven Beurteilung hin zu einer objektiven qualifizierbaren Beurteilung des Glanzes einer Oberfläche an nichtrostenden Stählen zu gelangen.

Unter metallischem Glanz wird ganz allgemein die gerichtete Reflexion des Lichtes verstanden. Diese Art der Lichtreflexion tritt bei sehr glatten blanken metallischen Oberflächen auf. Der Einfallswinkel auftreffender Lichtstrahlen α_{in} ist gleich dem Reflexionswinkel α_{out} (Abb. 7). Keramische und organische Oberflächen zeigen eine diffuse Lichtreflexion. Auftreffende Lichtstrahlen werden diffus reflektiert.

Reflection of Smooth Surfaces (schematic)

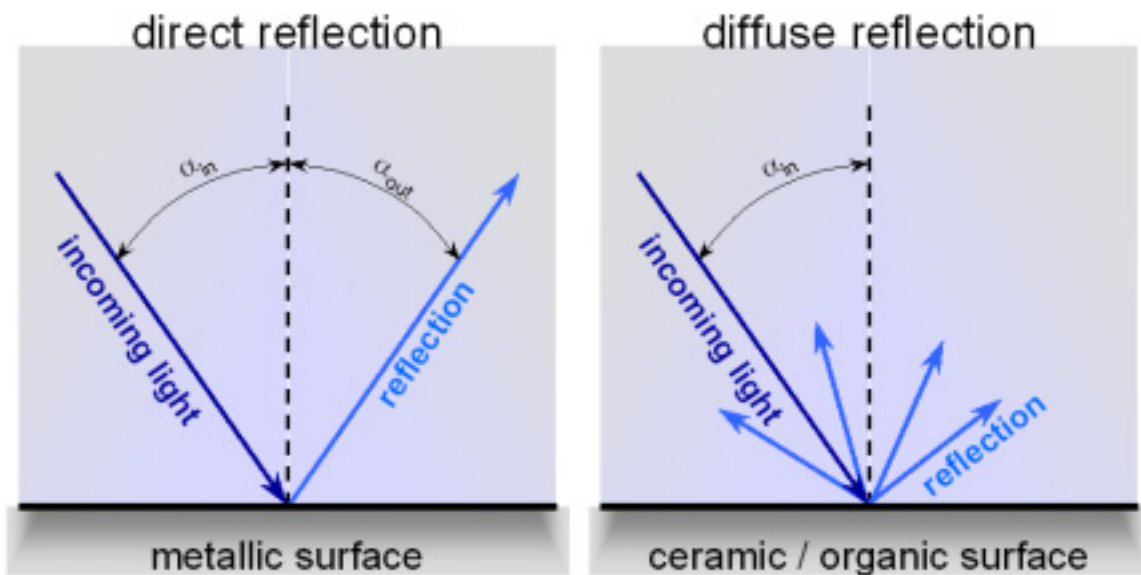


Abb. 7: Reflexion glatter Oberflächen

In Abb. 8 wird schematisch das Reflexionsverhalten unterschiedlich rauher metallischer Oberflächen dargestellt. Zusammenfassend kann festgestellt werden:

Geringe Rauigkeit	→	geringe Streuung	→	hoher Glanz
Große Rauigkeit	→	große Streuung	→	geringer Glanz

Das Reflexionsverhalten metallischer Oberflächen wird heute mit standardisierten Reflektometern gemessen (Abb. 9). Reflektometer arbeiten nach dem Reflexionsprinzip, d. h. es wird die gerichtete Reflexion eines definiert auf eine Oberfläche auftreffenden Lichtstrahles gemessen. Die angestrahlte Fläche ist bei den üblichen Messverfahren 8 mm breit und je nach gewählten Einstrahlwinkel zwischen 10 und 20 mm lang.

Reflection of Different Surface Designs (Schematically)

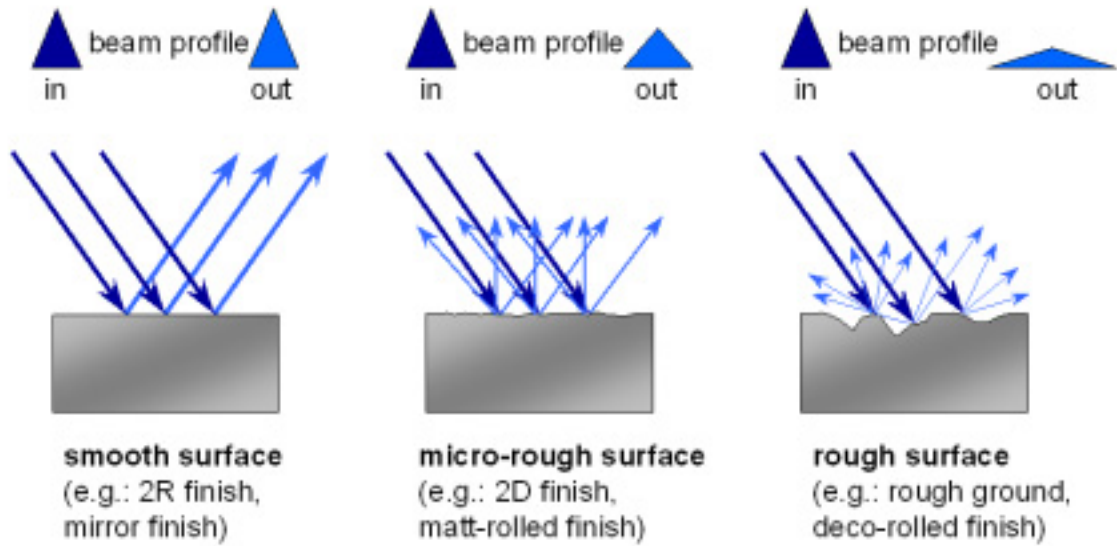


Abb. 8: Reflexionsverhalten verschiedener metallischer Oberflächen

The Gloss Meter



Abb. 9: Reflektometer

Interrelationship of Surface Finish, Gloss Index and Roughness

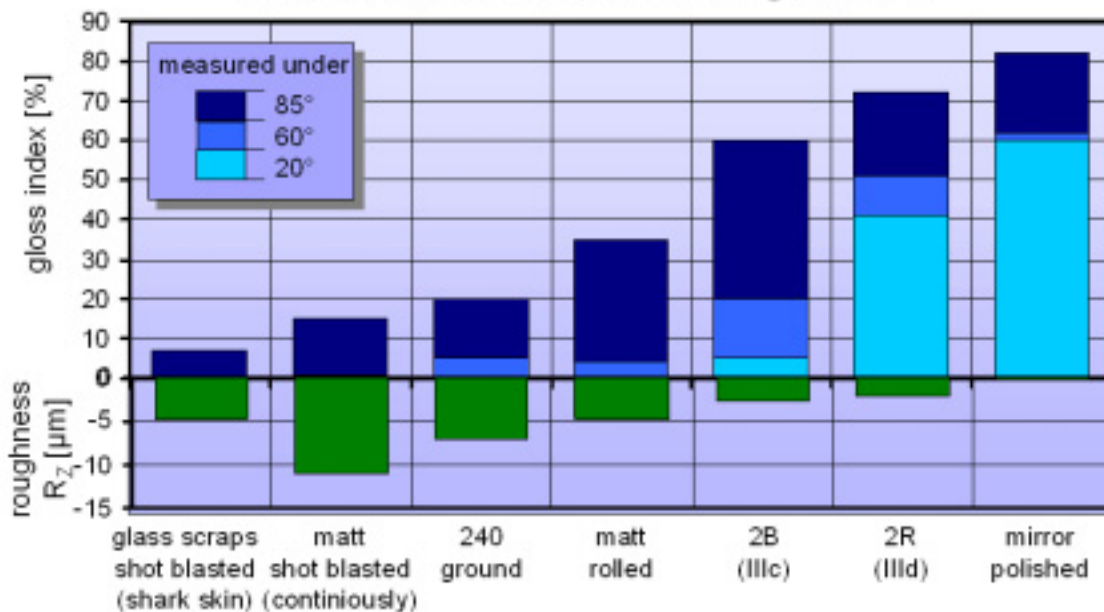


Abb. 10: Zusammenhang zwischen Oberflächenausführung, Glanzgrad und Rauigkeit

Das Diagramm in Abb. 10 zeigt an unterschiedlichen Oberflächen nichtrostender Stähle ermittelte Glanzmesswerte mit den jeweils zugehörigen Rauigkeitswerten R_z . An dieser Stelle möchten wir das bisher gesagte zum Thema Reflexion zusammenfassen. Ziel der Glanzmessung an nichtrostenden Stählen ist eine Objektivierung der Beurteilung einer Oberfläche hinsichtlich ihres Reflexionsverhaltens. Auch bei kritischer Betrachtung der an Proben ermittelten Werte ist festzustellen, dass die Glanzmessung mit Reflektometern zu einer objektiveren Oberflächenbeurteilung beiträgt. Allerdings kann das technische Messverfahren die subjektive Wahrnehmung durch das menschliche Auge nicht vollständig nachempfinden. Dieses setzt auch andere Faktoren wie Farbe, absolute Helligkeitswerte und sichtbare Oberflächenstrukturen zu einem Gesamtbild zusammen. Die dargestellten Messergebnisse zeigen, dass es gelungen ist, mit kostengünstigen großtechnischen Verfahren Oberflächen zu erzeugen, die eine geringere Reflexion als die bisher üblichen 2B-Oberflächen aufweisen.

Die folgenden Bilder zeigen Anwendungsbeispiele. Abb. 11 zeigt den neuen Zollhof in Düsseldorf, verkleidet mit blankgeglühten Blechen. Hier ist die blanke spiegelnde Oberfläche ein bewusst gewähltes Gestaltungsmerkmal. Das Erscheinungsbild des Bauwerkes ändert sich je nach Betrachtungsstandpunkt und Lichtverhältnissen. Abb. 12 zeigt im Gegensatz dazu ein Beispiel für die Anwendung mattgewalzter Bleche mit einem einheitlichen Erscheinungsbild.

„Neuer Zollhof“ Harbour Düsseldorf, Germany



Facade worked in bright annealed stainless steel, *Architect*: Frank Gehry, USA
grade 1.4401 in 0.5 mm thickness.

Abb. 11: Neuer Zollhof, Düsseldorf

Residential Building in Vorarlberg, Austria



Stainless Steel as roofing material for domestic architecture.
Grade 1.4301 (AISI 304) with matt-rolled surface, thickness 0.5 mm

Abb. 12: Mattgewalzte Bleche für Bedachungen

Verschmutzungs- und Reinigungsverhalten

Nichtrostende Stähle zeichnen sich in der Architektur durch geringe Verschmutzungsneigung und günstiges und problemloses Reinigungsverhalten aus. Dennoch können z. B. "Fingerprints" in bestimmten Bereichen störend wirken. Es werden einige grundlegende Betrachtungen angestellt, die für eine Minimierung der störenden optischen Wirkung von Fingerprints von Bedeutung sind. Wir als Hersteller müssen uns dieser Diskussion stellen, um die Akzeptanz für nichtrostende Stähle in bestimmten Anwendungsbereichen zu erhöhen. Grundsätzlich ist zu unterscheiden zwischen benetzenden und nicht benetzenden Oberflächenverschmutzungen.

Unter nicht benetzenden Verschmutzungen sind insbesondere Staub, Ruß usw. zu verstehen, d. h., die Schmutzpartikel liegen lose auf und werden im Außenbereich bei ausreichender Beregnung weggewaschen. Ein eindrucksvolles Beispiel hierfür ist die Bedachung des Chrysler-Buildings. Hier wurde bei einer Inspektion nach etwa 70 Jahren seit Erbauung eine völlig intakte, optisch unveränderte, metallische Oberfläche festgestellt. Dabei sind die an nichtrostenden Stählen üblicherweise auftretenden Rauigkeiten auch z. B. im gestrahlten Zustand für das Reinigungsverhalten bei nicht benetzender Verschmutzung nicht von Bedeutung. Es sollte nicht unerwähnt bleiben, dass die an mineralischen Baustoffen wie Beton, Stein oder Holz häufig auftretende Vermoosung und Algenbildung an metallischen Werkstoffen praktisch nicht auftritt, da die Nahrungsgrundlage für Algen und Moos fehlt.

Benetzende Verunreinigungen sind z. B. fetthaltige wässrige Bestandteile, Finger- und Hautschweiß, aber auch alle anderen nicht flüchtigen Flüssigkeiten, mit denen nichtrostender Stahl in Berührung kommt. Oberflächen mit solchen Verunreinigungen sind mit zunehmender Rauigkeit schwieriger zu reinigen, der Reinigungsaufwand steigt. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die benetzenden Schmutzfilme in die Vertiefungen der rauen Oberflächen eindringen oder eingepresst werden.

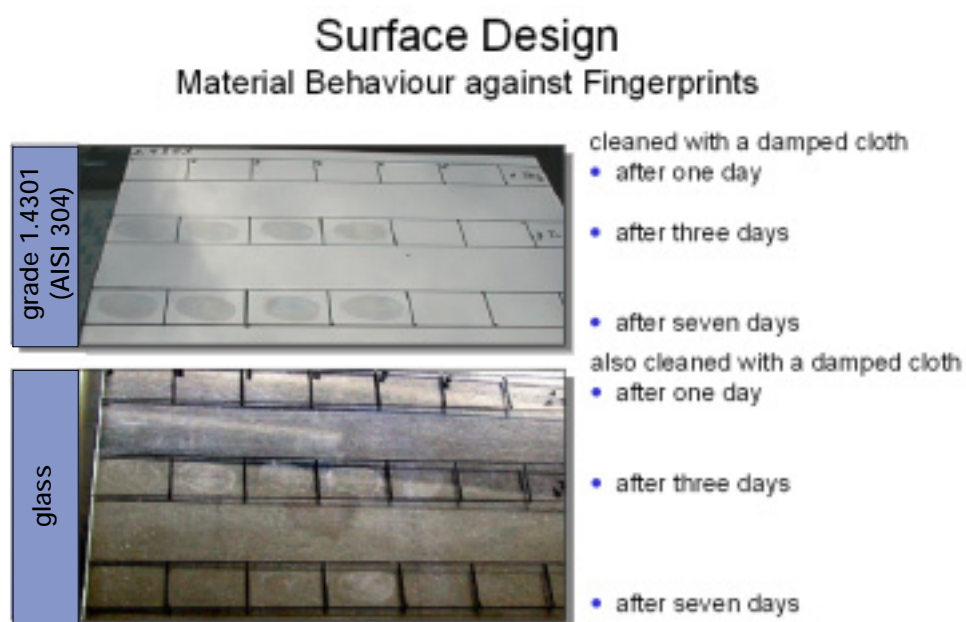


Abb. 13: Entfernbarkeit von Fingerabdrücken in Abhängigkeit von der Dauer ihres Verbleibs auf der Oberfläche

Experimentell wurde nachgewiesen, dass die Reinigungsfähigkeit der Oberfläche immer schwieriger wird, je länger der Reinigungsprozess hinausgezögert wird (Abb. 13). Dies ist im allgemeinen nicht auf eine chemische Reaktion des Schmutzes mit der Edelstahloberfläche zurückzuführen. Das gleiche Phänomen findet man auch auf Glasoberflächen, die wesentlich inerte als Metalloberflächen sind.

Die verschlechterte Reinigungsfähigkeit ist zurückzuführen auf eine Veränderung des Schmutzes; insbesondere der Fingerprints durch Oxidation und durch Lichteinfluss, z. B. in Form einer Verharzung der Fette. Auch nach längerer Zeit lassen sich entsprechende Verschmutzungen im allgemeinen durch fettlösende Mittel vollständig entfernen.

Maßnahmen

Experimentell wurde nachgewiesen, dass die Sichtbarkeit von Fingerprints u. a. von dem Reflexionsverhalten der Oberfläche abhängt (Abb. 14). Bei spiegelnden Oberflächen erscheint der Fingerprint im allgemeinen hell. Das ist damit zu erklären, dass die metallische Oberfläche dunkel erscheint, solange das von ihr reflektierte Licht nicht ins Auge des Betrachters fällt. Aufgebrachte Verunreinigungen führen zu einer diffusen Reflexion des Lichtes und diese Bereiche erscheinen daher hell. Bei nicht reflektierenden matten Oberflächen erscheint der Fingerprint dunkel, das diffus gestreute Licht wird durch die Schmutzschicht lokal absorbiert. Zwischen beiden Zuständen gibt es ein Minimum, in dem durch Anpassung des Glanzgrades der Fingerabdruck sehr viel schwächer zu sehen ist. Eine angepasste Oberfläche lässt sich z. B. durch leichtes Glasperlenstrahlen herstellen. Weitere Maßnahmen zur Unterdrückung bzw. Minimierung der störenden Wirkung von Fingerprints sind die Verwendung mustergewalzter oder nicht zu fein geschliffener Oberflächen.

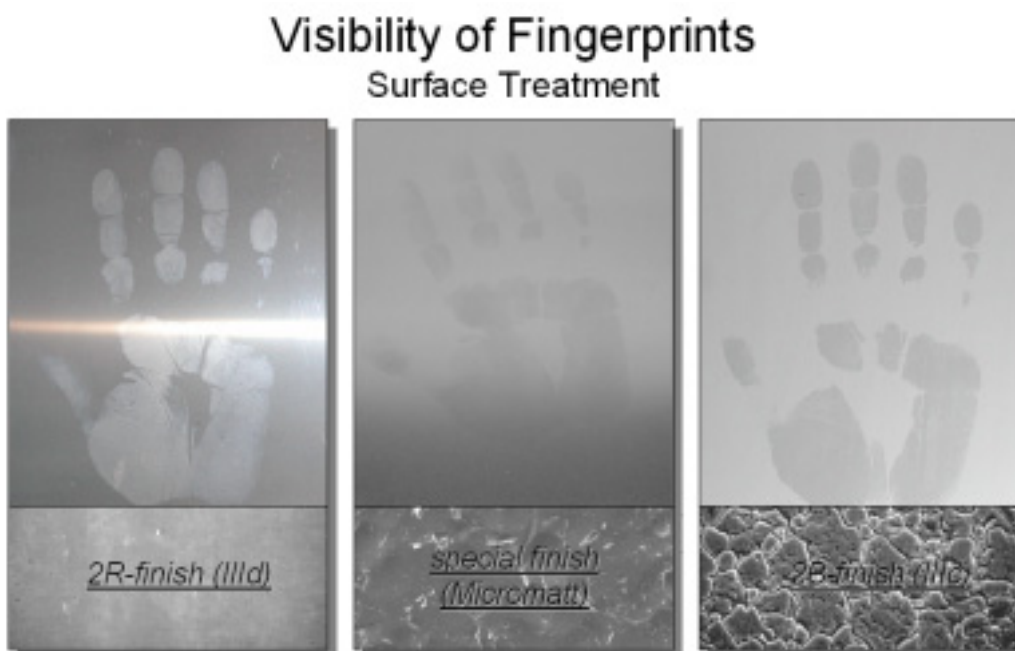


Abb. 14: Sichtbarkeit von Fingerabdrücken in Abhängigkeit von der Oberflächenrauigkeit

Nicht detailliert vorgestellt und besprochen werden sollen temporäre oder permanente Beschichtungen. Entsprechende Beschichtungen werden im Innenbereich zur Reduzierung der Fingerprintempfindlichkeit angewandt, weisen aber die Nachteile von nachträglichen und zu wiederholenden Oberflächenaufträgen auf. Die Wirkungsweise einer temporären Beschichtung zeigt Abb.15. Hier wurde eine gestrahlte Oberfläche zur Hälfte mit einem Silikonöl beschichtet. Die Oberfläche nimmt dann die Farbe der Fingerprints an.

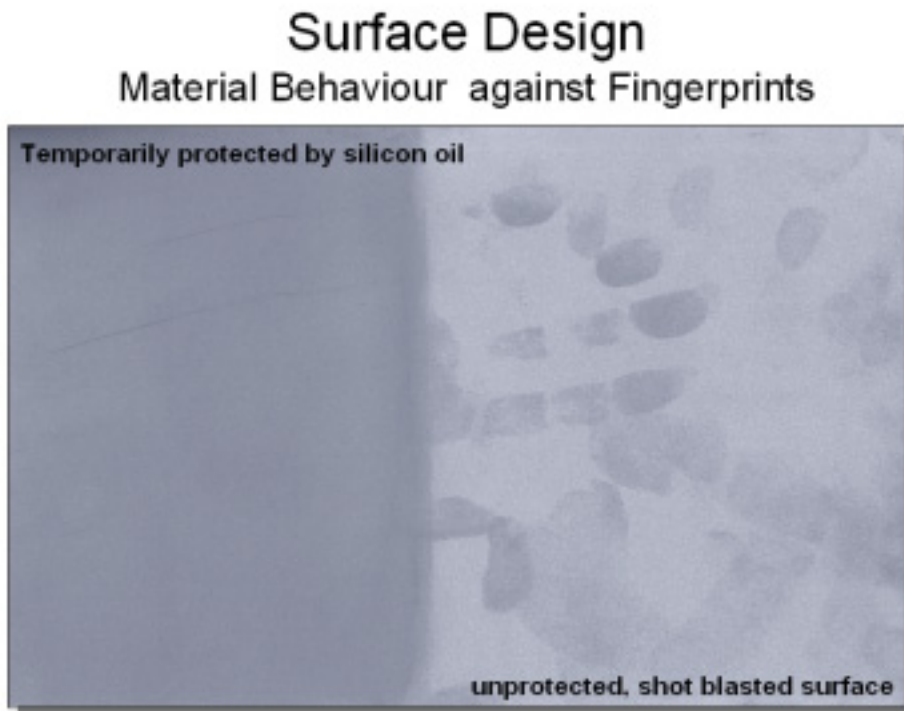


Abb. 15: Wirkung temporärer Beschichtungen

Unser Beitrag wäre nicht vollständig, würden wir nicht auf den sog. "Lotus-Effekt" hinweisen, da es seit Jahren Betätigungsfeld von Grenzflächenphysikern ist, diesen Effekt auf technische Oberflächen zu übertragen. Während bei der benetzbaren Oberfläche die Schmutzpartikel von den Wassertropfen überschwemmt und auf der Oberfläche liegen bleiben, kennt die Natur selbstreinigende Oberflächen, wie z.B. bei der Lotusblume den sogenannten Lotus-Effekt. Dieser beruht auf der Ausbildung einer extrem feinen und rauen Oberflächenstruktur. Die Spitzen dieser bürstenähnlichen Oberfläche sind extrem fein im Nanometerbereich und zusätzlich mit einem wasserabweisenden Wachs versehen. Diese Struktur stellt eine vollständig wasserabweisende Oberfläche dar. Auf ihr rollen die Wassertropfen kugelförmig ab, wobei sie die Schmutzpartikel mitnehmen (Abb. 16).

The Lotus-Effect®

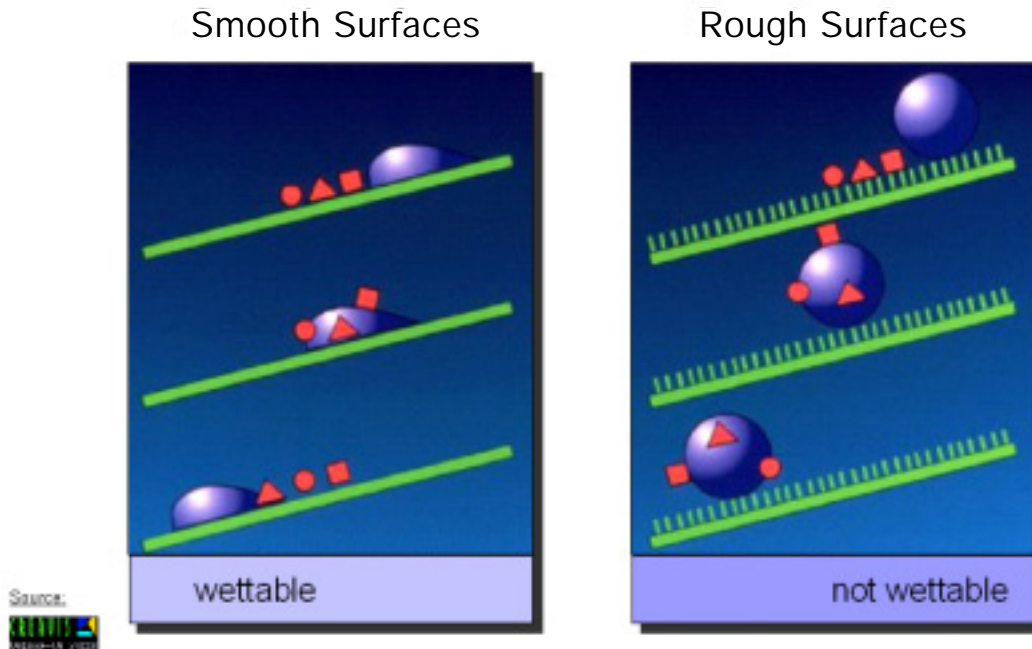


Abb. 16: Lotus-Effekt

Derartig feine Strukturen lassen sich nach heutigem Stand zwar im Labor, jedoch nicht großtechnisch auf reinen metallischen Oberflächen herstellen. Der Selbst-Reinigungseffekt wirkt nur in Verbindung mit Wasser, wäre also für eine Außenanwendung gut geeignet. Im Innenbereich jedoch aufgrund des hohen Wasserbedarfs für die Reinigung problematisch. Lacke und Folien mit dem angenäherten Lotus-Effekt befinden sich für Außenanwendungen z. T. in der Markteinführung. An fertigen Einzelobjekten aus Keramiken wurden durch nanoskalige Beschichtungen ebenfalls lotuseffekt-ähnliche Oberflächen erzeugt. Diese Oberflächen sind sehr empfindlich gegen mechanische Beanspruchung.

Zusammenfassung

Es wurde gezeigt, dass durch ein anspruchgerechtes "Oberflächendesign" das Korrosionsverhalten, das Reflexionsverhalten und die Schmutzempfindlichkeit der Oberflächen nichtrostender Stähle beeinflusst und optimiert werden können. Wir haben uns hier mit Aspekten beschäftigt, die für die Anwendung nichtrostender Stähle in der Architektur bedeutsam sind. Wir hoffen, dass unser Vortrag dazu beiträgt, die Attraktivität nichtrostender Stähle in der Architektur zu steigern. Die aufgezeigten Möglichkeiten sollen dazu anregen, weitere Anwendungen für diese exzellente Werkstoffgruppe zu erschließen.