

Bearbeitung von Stahloberflächen:

Schleifen und Bürsten, gemessen mit dem Rhopoint TAMS

Auswertung eines Stahl-Probensatzes, geschliffen mit den Körnungen K36 bis K600, mit und ohne Bürstschritt

Zusammenfassung

Ein Satz Stahlproben, geschliffen mit Körnungen von K36 (am gröbsten) bis K600 (am feinsten) und teilweise anschließend gebürstet (D), wurde mit dem Rhopoint TAMS gemessen. Das Messinstrument bildet jedes Messfeld in 3D ab und liefert flächenhafte Höhenwerte, einen wahrnehmungsbezogenen Quality-Wert und die Höhenkarten.

Die Messungen zeigen:

- **TAMS unterscheidet jede Schleifstufe.** Über die trockene Reihe K36 bis K400 sinkt Sa von 4,76 auf 2,12 μm , Quality steigt von 91,7 auf 95,8. Die Messungen benachbarter Körnungen überlappen sich nie; der kleinste Schritt (K320 zu K400) beträgt 0,31 μm .
- **Bürsten ist deutlich sichtbar.** Bei K240, K320 und K400 senkt es Sa um 54,6 %, 65,9 % und 64,6 % und erhöht Quality um 2,9, 3,1 und 2,9 Punkte. Gebürstetes K400 (Sa 0,75 μm) entspricht nass geschliffenem K600 (0,79 μm).
- **Bürsten senkt die gesamte Höhenverteilung, nicht nur die Spitzen.** Sk, Spk und SvK sinken um 53 bis 71 %; die Form der Materialanteilkurve bleibt gleich (Strukturen ab etwa 0,8 mm).
- **Nach dem Bürsten spielt die Ausgangskörnung kaum eine Rolle.** K320 D und K400 D unterscheiden sich in Sa um weniger als 0,1 μm , innerhalb der Streuung.
- **Die Schleifspuren verlaufen in einer Richtung.** Die Anisotropie nimmt mit feinerer Bearbeitung ab: Rz quer zu Rz längs sinkt von 2,4 (K36) auf 1,3 (K600 D).
- **TAMS eignet sich gut für die Prozesskontrolle matter und satinierter Stahloberflächen.** Es misst jede Zwischenstufe, zeigt die Ursache in den Karten und bewertet auf einer Skala. Für die Abnahme gebürsteter Oberflächen sollte die Quality-Skala durch eine visuelle Rangfolge an Ihren Proben bestätigt werden.

Bitte beachten Sie

- **Probenbezeichnungen.** K36 ist die gröbste, K600 die feinste Körnung. D: erst geschliffen, dann gebürstet. „Nass geschliffen“: K600 mit nassem Papier.
- **Richtung der Werte.** Niedrigere Werte von Sa, Sq, Sz und Rz bedeuten eine glattere, höhere Quality (0 bis 100) eine besser aussehende Oberfläche.
- **Keine Tastschnittwerte.** Die TAMS-Werte (0,8) werden nach einem Gauß-Tiefpass mit 0,8 mm Grenzwellenlänge berechnet. Sie beschreiben Strukturen von etwa 0,8 mm bis zur Größe des Messfelds; feine Rauheit unter etwa 0,4 mm trägt nicht bei. Sie dürfen weder mit Ra-Werten aus dem Tastschnittverfahren noch mit Tabellen zur Zuordnung von Körnung und Ra verglichen werden.
- **Streuung und Probensatz.** Jeder Probenzustand wurde zweimal gemessen; Unterschiede innerhalb der Streuung beider Messungen sind nicht aussagekräftig. Die Ergebnisse gelten nur für diesen Probensatz und sind keine Spezifikationswerte.

Proben und Methode

Angabe	Wert
Messinstrument	Rhopoint TAMS
Proben	10 Probenzustände mit je 2 Messungen (20 Messungen)
Probenzustände	Trockenschliff K36, K180, K240, K320, K400; die Körnungen K240, K320, K400 und K600 zusätzlich nach dem Schleifen gebürstet (D); K600 nass geschliffen
Messfeld	672 x 388 Pixel zu je 0,037 mm = 24,9 x 14,4 mm
Instrumentwerte	Sa, Rax und Ray (0,8 mm), Quality und Waviness; Höhen in μm , Längen in mm
Weitere Auswertung	Flächenhafte, funktionale, räumliche und Rillenrichtungs-Parameter nach ISO 25178, aus den Höhenkarten jeder Messung neu berechnet
Statistik	Mittelwert der beiden Messungen je Probenzustand; die Streuung der beiden Messungen wird herangezogen, wo Unterschiede zwischen Probenzuständen klein sind

Überprüfung der Auswertung. Sa, Rax und Ray, aus den Höhenkarten mit dem Filter der TAMS-Software neu berechnet, reproduzieren die Instrumentwerte bei allen 20 Messungen auf 0,1 % genau, die Bänder 1 bis 5 mm und 1 bis 10 mm auf 4 %. Das bestätigt, dass die Berechnung des Instruments nachvollzogen ist; es belegt nicht, dass die TAMS-Amplituden genau sind. Die Werte beschreiben Strukturen von etwa 0,8 mm bis zur Größe des Messfelds (etwa 25 x 14 mm); feine Rauheit unter etwa 0,4 mm trägt nicht bei.

Feinere Strukturen, etwa die einzelnen Kratzer der feineren Körnungen, werden von diesen Werten daher nicht beschrieben.

Was die Parameter bedeuten

Parameter	Was er beschreibt	So lesen Sie ihn
Sa (μm)	Mittlere Höhenabweichung der gefilterten Oberfläche (Strukturen ab etwa 0,8 mm) von ihrer Mittelebene; die wichtigste Höhenkennzahl	Niedriger = glatter
Sq (μm)	Quadratischer Mittelwert der Höhenabweichung; wie Sa, gewichtet aber hohe Spitzen und tiefe Täler stärker	Niedriger = glatter; immer etwas über Sa
Sz (μm)	Höhe vom höchsten Spitzenpunkt bis zum tiefsten Tal in der ausgewerteten Fläche	Niedriger = glatter; einzelne Extremwerte beeinflussen ihn stark
Rax, Ray (μm)	Mittlere Höhenabweichung entlang einer Linie in horizontaler Richtung (entlang der Schleifspuren) und in vertikaler Richtung (quer dazu)	Ray größer als Rax = quer zu den Schleifspuren rauer als längs

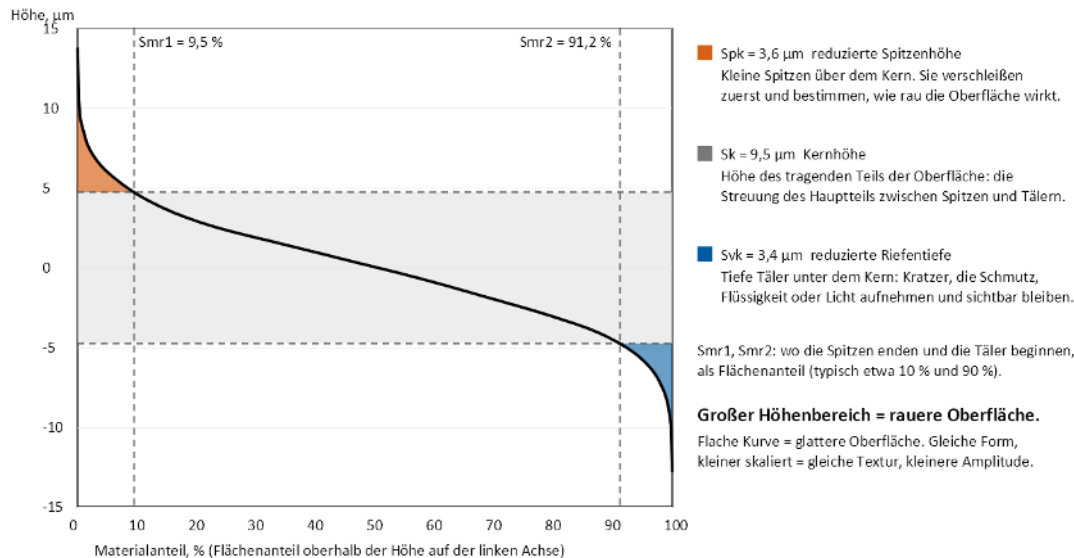
Parameter	Was er beschreibt	So lesen Sie ihn
Quality (0 bis 100)	TAMS-Bewertung, wie gut die Oberfläche auf einen Betrachter wirkt	Höher = besser
Waviness	TAMS-Wert für die langwelligere Struktur der Oberfläche	Niedriger = glatter
Ssk	Symmetrie der Höhenverteilung	0 = Spitzen und Täler ausgeglichen; positiv = Spitzen überwiegen; negativ = Täler überwiegen
Sku	Steilheit (Spitzigkeit) der Höhenverteilung	3 = zufällige Oberfläche vom Gauß-Typ; über 3 = einige extreme Spitzen oder Täler; unter 3 = gleichmäßig verteilte Höhen
Sk, Spk, Svk (µm)	Kernhöhe, reduzierte Spitzenhöhe und reduzierte Riefentiefe aus der Materialanteilkurve (siehe unten)	Niedriger = glatter
Smr1, Smr2 (%)	Flächenanteil, bei dem die Spitzen enden (Smr1) und die Täler beginnen (Smr2)	Typisch etwa 10 % und 90 %; Änderungen zeigen eine Änderung der Kurvenform
Sal (mm)	Korrelationslänge: der Abstand, über den die Oberfläche sich selbst noch ähnelt	Länger = breitere, glattere Strukturen
Str (0 bis 1)	Texturaspektverhältnis	Nahe 0 = stark gerichtete Linien; nahe 1 = in allen Richtungen gleich
Rillenwinkel (Grad)	Richtung der Schleifspuren gegenüber der horizontalen Achse der Karte	0 = horizontale Linien
Richtungs-konzentration (0 bis 1)	Wie stark eine Richtung die Textur dominiert	1 = eine einzige Richtung; 0 = keine Vorzugsrichtung
Rz längs / quer zur Rillenrichtung (µm)	Typische Spitze-Tal-Höhe eines Linienprofils (Mittelwert über 2,5-mm-Abschnitte), längs oder quer zu den Schleifspuren	Niedriger = glatter
Rz-Verhältnis	Rz quer zur Rillenrichtung geteilt durch Rz längs zur Rillenrichtung	1 = kein Unterschied zwischen den Richtungen; größer = stärker gerichteter Charakter
RSm quer zur Rillenrichtung (mm)	Mittlerer Abstand der Struktur entlang einer Linie quer zu den Schleifspuren	Größer = breitere Strukturen

Die Materialanteilkurve (Abbott-Firestone-Kurve)

So entsteht sie. Alle Höhenwerte der ausgewerteten Fläche werden vom höchsten zum niedrigsten sortiert. Die Kurve trägt jede Höhe über dem Flächenanteil auf, der oberhalb dieser Höhe liegt.

Das linke Ende der Kurve sind die höchsten Punkte der Oberfläche, das rechte Ende die tiefsten Täler, und die Mitte ist der Hauptteil der Oberfläche.

So liest man die Materialanteilkurve (Abbott-Firestone) - Beispiel: K240 geschliffen, eine Messung



Materialanteilkurve einer K240-Messung mit den daraus abgelesenen Parametern.

Was sie zeigt

- **Amplitude.** Der von der Kurve überspannte Höhenbereich zeigt, wie rau die Oberfläche ist. Eine flache Kurve gehört zu einer glatten Oberfläche, eine Kurve mit großem Höhenbereich zu einer rauhen.
- **Form.** Die Enden der Kurve zeigen die Spitzen (Spk, oben links) und die Täler (Svk, unten rechts), die Mitte zeigt den Kern (Sk). Eine Oberfläche mit wenigen hohen Spitzen über einem großen Kern hat ein steiles oberes Ende; eine Oberfläche mit tiefen, einzelnen Kratzern hat ein steiles unteres Ende.
- **Prozesseinflüsse.** Ein Prozess, der die Spitzen abträgt und ein flaches, tragendes Plateau hinterlässt, etwa Einlaufen oder Plateauhonen, zeigt sich als stark abgeflachtes linkes Ende: ein kleines Spk im Vergleich zu Sk und ein größeres Smr1.
- **Vergleich.** Zwei Kurven gleicher Form, aber unterschiedlicher Größe zeigen dieselbe Textur bei unterschiedlicher Amplitude.

In diesem Bericht:

Die Kurven aller Probenzustände (Abbildung im Abschnitt zu den funktionalen Parametern) sind maßstäblich skalierte Kopien voneinander.

Bürsten macht die Kurve flacher, ohne ihre Form zu ändern: Kern, Spitzen und Täler werden alle kleiner.

Ergebnisse

Geschliffene Proben

Körnung	Sa (µm)	Rax (µm)	Ray (µm)	Quality	Waviness
K36	4,76	4,55	4,74	91,7	2,49
K180	3,88	3,56	3,85	92,7	2,18
K240	2,90	2,56	2,88	94,7	1,58
K320	2,43	2,28	2,39	95,4	1,38
K400	2,12	2,03	2,09	95,8	1,25
K600 nass geschliffen	0,79	0,72	0,67	98,8	0,37

Geschliffen und gebürstet (D)

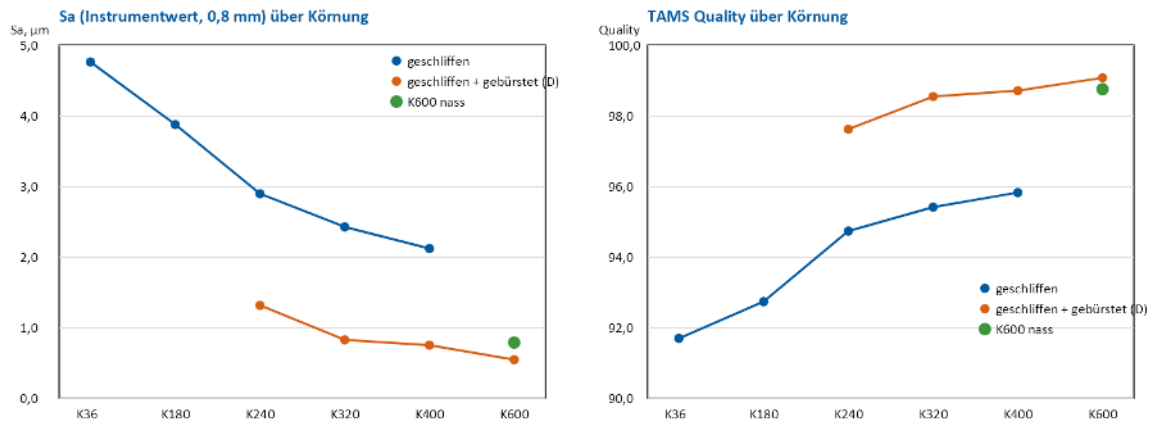
Körnung	Sa (µm)	Rax (µm)	Ray (µm)	Quality	Waviness
K240 D	1,31	1,14	1,28	97,6	0,71
K320 D	0,83	0,69	0,76	98,5	0,44
K400 D	0,75	0,65	0,69	98,7	0,39
K600 D	0,54	0,51	0,42	99,1	0,28

Wirkung des Bürstens

Körnung	Sa geschliffen auf D (µm)	Änderung Sa	Quality geschliffen auf D	Änderung Waviness
K240	2,90 auf 1,31	-54,6 %	94,7 auf 97,6	-54,8 %
K320	2,43 auf 0,83	-65,9 %	95,4 auf 98,5	-68,2 %
K400	2,12 auf 0,75	-64,6 %	95,8 auf 98,7	-69,1 %

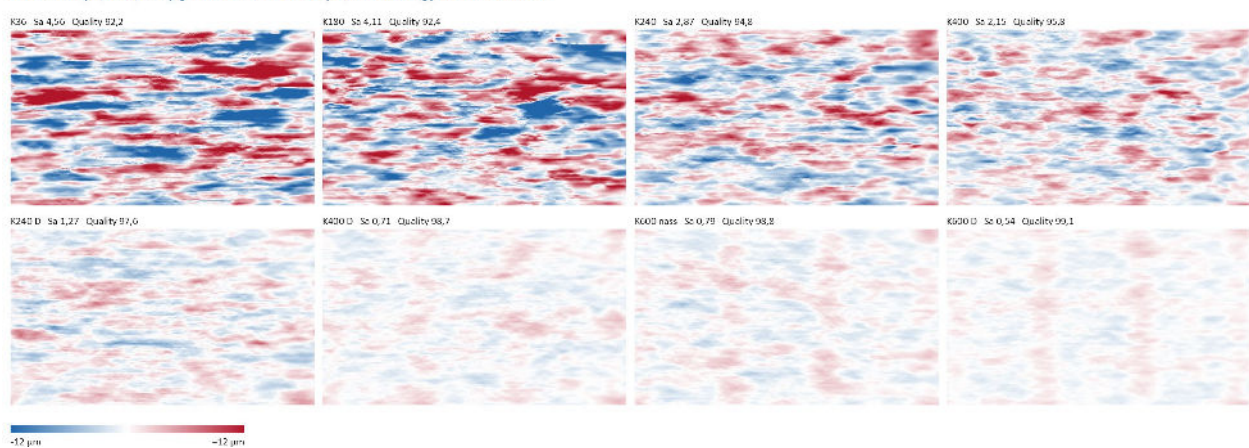
K600 D gegenüber K600 nass geschliffen (ein anderer Prozess):

Sa 0,54 µm gegenüber 0,79 µm, 30,8 % niedriger.



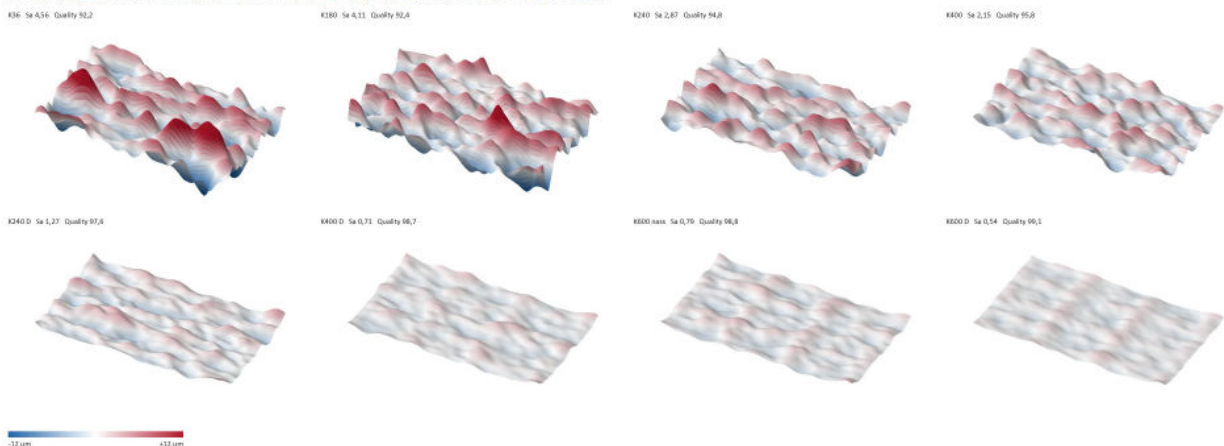
Sa und TAMS Quality über der Körnung; Mittelwert zweier Messungen je Probenzustand.

Höhenkarten (24,9 x 14,4 mm), gemeinsame Farbskala $\pm 12 \mu\text{m}$, erste Messung jedes Probenzustands



Höhenkarten, erste Messung jedes Probenzustands, gemeinsame Farbskala $\pm 12 \mu\text{m}$. Geschliffene Proben zeigen langgestreckte horizontale Schleifspuren-Strukturen; gebürstete Proben sind auf derselben Skala nahezu flach.

3D-Topografie (24,9 x 14,4 mm), erste Messung jedes Probenzustands; Gauß-Tiefpass (Sigma 0,30 mm), Höhenüberhöhung 250-fach, Farbskala $\pm 12 \mu\text{m}$



3D-Topografie derselben acht Messungen aus einem gemeinsamen Blickwinkel mit gemeinsamer Farbskala ($\pm 12 \mu\text{m}$) und 250-facher Höhenüberhöhung. Nur zur Darstellung: Die Höhendaten sind über 4×4 Pixel ($0,148 \text{ mm}$) gemittelt und mit einem Gauß-Filter (Sigma $0,30 \text{ mm}$) geglättet, um feine Linienstrukturen zu unterdrücken. Die Glättung behält 72 bis 80 % der mittleren absoluten Höhe, sodass die dargestellten Amplituden niedriger sind als die gemessenen; alle Werte in diesem Bericht stammen aus den ungeglätteten Daten. Geschliffene Proben (obere Reihe) zeigen Rücken und Täler entlang der Schleifrichtung, deren Tiefe von K36 bis K400 abnimmt. Gebürstete Proben (untere Reihe) sind niedrig und glatt.

Flächenhafte Parameter und Schleifparameter aus den Höhenkarten

Die folgenden Parameter werden aus den Höhenkarten des Instruments für jede Messung berechnet; die Tabellen zeigen den Mittelwert der beiden Messungen. Die Sa-Werte entsprechen den oben genannten Instrumentwerten.

Methode

- **Oberfläche:** wie in der TAMS-Software: Gauß-Tiefpass mit 0,8 mm Grenzwellenlänge (ISO 16610-21) in einem Schritt auf die gesamte Karte angewendet, Mittelwert abgezogen, keine Ebene abgezogen und kein Randbeschnitt.
- **Flächenhafte Parameter** folgen ISO 25178-2: Sa, Sq, Ssk, Sku, Sz sowie die Materialanteil-Parameter Sk, Spk, Svk, Smr1 und Smr2 (40%-Fenster).
- **Räumliche und Rillenrichtungs-Parameter:** Sal und Str aus der Autokorrelationsfunktion (Abklingschwelle 0,2); Rillenwinkel und Richtungskonzentration aus dem Richtungs-Leistungsspektrum. Der Rillenwinkel ist die Richtung der Schleifspuren gegenüber der horizontalen Achse der Karte. Die Richtungskonzentration reicht von 0 (keine Vorzugsrichtung) bis 1 (eine einzige Richtung).
- **Profilparameter:** Rz (2,5 mm Messstrecke) längs und quer zur Rillenrichtung sowie RSm quer zur Rillenrichtung.

Höhenparameter

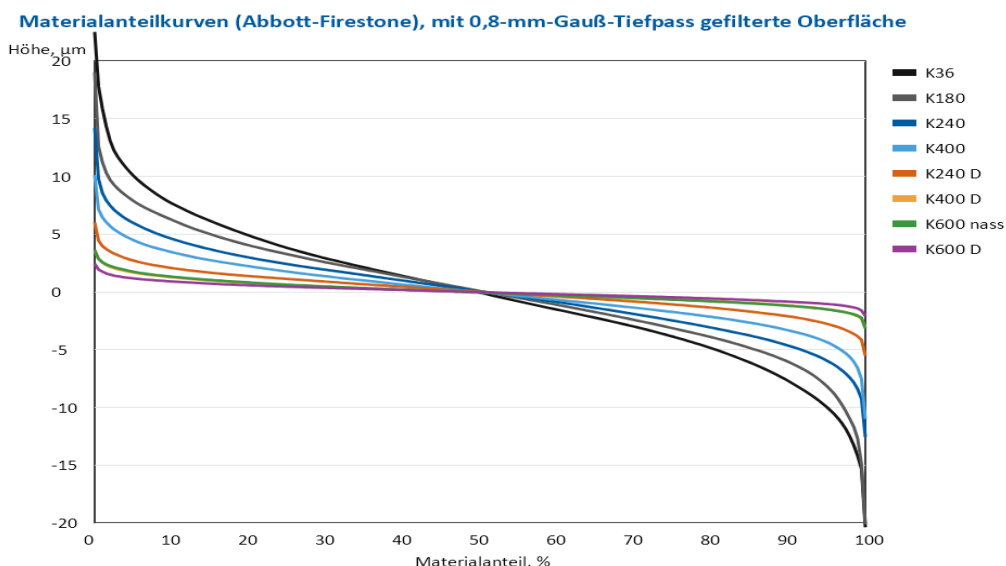
Probenzustand	Sa (µm)	Sq (µm)	Ssk	Sku	Sz (µm)
K36	4,76	6,08	0,13	3,34	42,9
K180	3,88	4,95	-0,17	3,55	39,1
K240	2,89	3,63	0,03	3,06	26,7
K240 D	1,31	1,65	0,02	3,06	11,5
K320	2,42	3,08	0,11	3,37	23,5
K320 D	0,83	1,05	0,17	3,12	7,4
K400	2,12	2,70	-0,01	3,40	21,1
K400 D	0,75	0,96	0,29	3,32	6,7
K600 nass geschliffen	0,79	0,99	0,34	3,15	6,8
K600 D	0,54	0,68	0,24	3,02	4,5

Sku bleibt für jeden Probenzustand zwischen 3,0 und 3,6, dem Wert einer zufälligen Oberfläche vom Gauß-Typ: Es fallen keine einzelnen tiefen Kratzer auf. Ssk liegt bei den geschliffenen Proben nahe null (-0,17 bis 0,13) und ist bei den gebürsteten und nass geschliffenen Proben ab K320 D positiv (0,17 bis 0,34); bei zwei Messungen je Probenzustand ist das nur ein Hinweis.

Funktionale Parameter (Materialanteilkurve)

Probenzustand	Sk (µm)	Spk (µm)	Svk (µm)	Smr1 %	Smr2 %	Spk/Sk	Svk/Sk
K36	14,64	6,86	6,08	11,4	89,4	0,47	0,42
K180	12,33	4,60	6,14	10,0	90,2	0,37	0,50
K240	9,46	3,66	3,46	9,3	90,3	0,39	0,37
K240 D	4,31	1,72	1,64	8,9	90,2	0,40	0,38
K320	7,76	3,48	3,08	10,3	90,5	0,45	0,40
K320 D	2,62	1,22	0,96	11,3	90,5	0,46	0,37
K400	6,76	2,82	2,94	10,6	90,6	0,42	0,43
K400 D	2,31	1,17	0,86	12,6	90,5	0,50	0,37
K600 nass geschliffen	2,51	1,17	0,78	11,7	91,9	0,47	0,31
K600 D	1,79	0,74	0,52	10,5	91,7	0,42	0,29

Körnung	Sk geschliffen auf D (µm)	Spk geschliffen auf D (µm)	Svk geschliffen auf D (µm)
K240	9,46 auf 4,31 (-54 %)	3,66 auf 1,72 (-53 %)	3,46 auf 1,64 (-53 %)
K320	7,76 auf 2,62 (-66 %)	3,48 auf 1,22 (-65 %)	3,08 auf 0,96 (-69 %)
K400	6,76 auf 2,31 (-66 %)	2,82 auf 1,17 (-59 %)	2,94 auf 0,86 (-71 %)



Materialanteilkurven (Abbott-Firestone) der ausgewerteten Oberfläche, Mittelwert zweier Messungen je Probenzustand.

Bürsten senkt Sk, Spk und Svk um annähernd denselben Anteil (53 bis 71 %). Spk/Sk (0,37 bis 0,50), Smr1 und Smr2 verändern sich nicht systematisch, und die Kurven in der Abbildung sind maßstäblich skalierte Kopien voneinander. Für Strukturen ab etwa 0,8 mm verringert Bürsten daher die Amplitude der gesamten Textur; es kappt die Spitzen nicht zu einem tragenden Plateau. Ob das auf feineren Skalen anders ist, lässt sich an diesen Werten nicht erkennen.

Rillenrichtungs- und räumliche Parameter

Probenzustand	Rillenwinkel (Grad)	Richtungskonzentration	Str	Sal (mm)	Rz längs (µm)	Rz quer (µm)	Rz-Verhältnis	RSm quer (mm)
K36	1,2	0,80	0,19	0,69	6,9	16,8	2,4	3,0
K180	-2,6	0,74	0,27	0,68	6,6	13,7	2,1	2,7
K240	3,3	0,73	0,22	0,68	5,0	9,8	2,0	2,9
K240 D	-0,9	0,78	0,18	0,68	2,2	4,4	2,0	2,7
K320	-1,5	0,64	0,37	0,74	4,5	8,1	1,8	3,0
K320 D	-2,4	0,56	0,29	0,95	1,5	2,5	1,6	2,9
K400	0,6	0,73	0,29	0,66	4,1	7,5	1,8	2,6
K400 D	-1,8	0,58	0,35	1,01	1,4	2,4	1,7	3,1
K600 nass geschliffen	7,0	0,49	0,58	1,05	1,6	2,2	1,4	3,0
K600 D	-7,2	0,34	0,22	1,22	1,1	1,4	1,3	2,7

- **Rillenrichtung.** Die Schleifspuren verlaufen bei allen geschliffenen Proben und bei K240 D bis K400 D entlang der horizontalen Achse der Karte (Rillenwinkel -2,6 bis +3,3 Grad). K600 nass geschliffen (7,0 Grad) und K600 D (-7,2 Grad) weichen leicht ab, und bei K600 D ist kaum noch eine Vorzugsrichtung vorhanden (Richtungskonzentration 0,34).
- **Anisotropie.** Die Richtungskonzentration sinkt von 0,80 (K36) auf 0,34 (K600 D) und das Verhältnis von Rz quer zu Rz längs von 2,4 auf 1,3. Feinere Bearbeitung und Bürsten machen die Oberfläche in diesem Maßstab isotroper. Beide Größen sind stabiler als Str, dessen zwei Messungen deutlich streuen (zum Beispiel K320 D 0,38 und 0,20); Str allein sollte daher nicht zur Rangfolge dieser Proben verwendet werden.
- **Korrelationslänge Sal.** 0,66 bis 0,74 mm bei allen geschliffenen Proben und bei K240 D, 0,95 bis 1,22 mm bei K320 D und feiner: Die feineren gebürsteten Oberflächen sind über größere Abstände glatt.
- **Rillenabstand.** RSm quer zur Rillenrichtung beträgt bei jedem Probenzustand 2,6 bis 3,1 mm, unabhängig von Körnung und Bürsten. Dieser Abstand folgt nicht dem Schleifkorn: Die Karten beschreiben die großräumigere Textur der Oberfläche, nicht die einzelnen Schleifkratzer.

Was sich über den Schleifprozess ableiten lässt und was nicht

- **Ableitbar:** Rillenrichtung, Grad der Anisotropie, Amplitude der Textur (S_a , S_q , S_z), Form der Höhenverteilung (S_{sk} , S_{ku} , S_k -Familie) und Korrelationslänge, je Probe und je Prozessstufe.
- **Nicht ableitbar:** Prozesseinstellungen wie Scheiben- oder Bandgeschwindigkeit, Vorschub, Anpressdruck oder Schnitttiefe sowie die Kratzergeometrie im Korngrößenmaßstab. Die erste Gruppe ist in einer Oberflächenmessung nicht enthalten; die zweite liegt unterhalb des Maßstabs, den diese Werte beschreiben (Strukturen feiner als etwa 0,4 mm). Die obigen Parameter sind Kennzahlen zum Vergleich von Prozessstufen, keine Prozesseinstellungen.

Was die Ergebnisse zeigen

1. **Die Körnungsreihe wird aufgelöst.** S_a und Waviness sinken und Quality steigt mit jeder feineren trockenen Körnung. Die mittleren S_a -Schritte betragen 0,88 μm (K36 zu K180), 0,98 μm (K180 zu K240), 0,47 μm (K240 zu K320) und 0,31 μm (K320 zu K400), und die beiden Messungen benachbarter Körnungen überlappen sich nie.
Bei zwei Messungen je Körnung ist das ein Hinweis, kein statistischer Beweis.
2. **Zwei Prozessbereiche.** K36 bis K400 senkt S_a um 55,5 %. K400 zu K600 nass geschliffen senkt es um weitere 62,9 %. Die nass geschliffene K600-Probe gehört zu einem anderen Prozess, nicht zur trockenen Reihe.
3. **Bürsten entspricht etwa zwei Körnungsstufen.** Es senkt S_a und Waviness und hebt Quality bei jeder Körnung über 97,5. Die Materialanteil-Parameter zeigen, dass es Spitzen und Täler gleichermaßen verkleinert.
4. **Die Ausgangskörnung verschwindet ab K320.** Nach dem Bürsten betragen die S_a -Unterschiede zwischen K240 D, K320 D, K400 D und K600 D 0,49 μm (K240 D zu K320 D), 0,07 μm (K320 D zu K400 D) und 0,21 μm (K400 D zu K600 D), berechnet aus den ungerundeten Werten. Nur der Schritt K240 zu K320 und der Schritt K400 zu K600 sind deutlich aufgelöst.
5. **Die Rillenrichtung und ihr Verlust sind messbar.** Die Schleifrichtung ist in den Karten sichtbar und wird durch die Richtungskonzentration und das R_z -Verhältnis quantifiziert. Das Verhältnis von R_{Sm} quer und längs zur Rillenrichtung, das Str beschreiben soll, steigt tendenziell von 0,37 (K36) auf 0,42 bis 0,51 bei den gebürsteten und nass geschliffenen Proben, im Einklang mit den anderen Anisotropiemaßen.

Veröffentlichte Arbeiten zur Einordnung

Veröffentlichte Arbeiten zu geschliffenem und gebürstetem Stahl stützen sich meist auf Ra-Werte aus dem Tastschnittverfahren und auf Tabellen zur Zuordnung von Körnung und Ra. Flächenhafte Daten (ISO 25178) zu gebürstetem Edelstahl nach Körnung haben wir nicht gefunden; ein direkter Vergleich mit veröffentlichten Werten ist daher nicht möglich. Drei Berührungspunkte gibt es:

- **Höhenverteilung.** Abrasiv geschliffene Oberflächen haben nach der Literatur eine nahezu normalverteilte Höhenverteilung [1]. Die geschliffenen Proben stimmen damit überein (Sku etwa 3, Ssk etwa 0).
- **Anisotropie.** Str wird als Verhältnis des Abstands quer zu den Bearbeitungsspuren zum Abstand längs dazu beschrieben [2]. Das hier berechnete Verhältnis der Profilabstände (0,37 bis 0,51) und die übrigen Anisotropiemaße zeigen bei feinerer Bearbeitung denselben Trend zu mehr Isotropie.
- **Vergleichbarkeit mit Tastschnittwerten.** TAMS-Werte und Tastschnitt-Ra unterscheiden sich in Messprinzip, Filterung und Messfläche und dürfen weder miteinander noch mit Tabellen zur Zuordnung von Körnung und Ra verglichen werden. Ein Vergleich erfordert Messungen beider Verfahren an denselben Proben.

Quellen:

[1] Bulaha et al., Studie zu flachgeschliffenen Oberflächen, 2015:

https://www.iitf.lbtu.lv/conference/proceedings2015/Papers/131_Bulaha.pdf.

[2] Bulaha et al., Research of Surface Roughness Anisotropy, 2017: <https://ortus.rtu.lv/science/en/publications/25401>.

Eignung von TAMS zur Beurteilung der Stahloberflächenbearbeitung

Gut geeignet für die Prozesskontrolle matter und satinierter Stahloberflächen. Für die Abnahme einer fertigen gebürsteten Oberfläche bestätigen Sie die Quality-Skala an Ihren eigenen Proben.

Was dafür spricht

- Es unterscheidet alle trockenen Schleifstufen; nach dem Bürsten sind nur K320 D und K400 D nicht eindeutig zu trennen.
- Die beiden Messungen eines Probenzustands stimmen eng überein: Das K36-Paar streut in Sa um 8,4 % des Mittelwerts, die Paare K240 bis K400 deutlich weniger.
- Es misst matte und geschliffene Stufen direkt, bei denen Glanzmessgeräte an ihre Grenzen stoßen.
- Es liefert flächenhafte Höhenkarten, die das Schleifbild und seine Richtung zeigen, nicht nur ein einzelnes Linienprofil.

Was zu beachten ist

- Der Quality-Wert wurde für lackierte Oberflächen entwickelt; sein Bezug zu gebürstetem Stahl sollte an Ihren Proben bestätigt werden.
- Bei K320 bis K600 betragen die Sa-Unterschiede nur 0,1 bis 0,2 µm, nahe an der Streuung.
- Die TAMS-Amplituden sind nicht an einem Referenzinstrument überprüft und können wellenlängenabhängig abweichen; die Rangfolge der Proben zeigen die Daten.
- Eine gebürstete Oberfläche wird nach Strichrichtung und Gleichmäßigkeit beurteilt; dafür gibt es noch keine Toleranzwerte.

Anhang A: Übersicht der Oberflächentopografie

Dieser Anhang zeigt die gemessenen Höhenkarten aller zehn Probenzustände als isometrische 3D-Ansichten. Er veranschaulicht, was die Parameter in diesem Bericht beschreiben: Höhe, Richtung und Größe der Strukturen auf der Oberfläche.

So lesen Sie die Abbildungen

- **Eine Zeile je Probenzustand, zwei Versionen.** Jede Zeile zeigt die erste Messung eines Probenzustands in derselben isometrischen Ansicht in zwei Versionen: a) die Rohdaten-Höhenkarte, wie vom Instrument geliefert (nur die mittlere Höhe abgezogen, keine Filterung), und b) die gefilterte Höhenkarte. Beide Versionen verwenden denselben Blickwinkel, dieselbe Farbskala und dieselbe Höhenüberhöhung, sodass der Unterschied zwischen a) und b) allein auf der Filterung beruht. Die Schleifspuren verlaufen entlang der langen Seite des Messfelds von 24,9 x 14,4 mm.
- **Farbe bedeutet Höhe.** Die Regenbogenskala rechts neben jeder Abbildung gibt die Höhe über oder unter der Mittelebene in μm an: Blau ist ein Tal, Grün liegt nahe an der Mittelebene, Rot ist eine Spitze. Werte jenseits der Skalenenden werden in den Endfarben dargestellt.
- **Die beiden Abbildungen verwenden unterschiedliche Skalen.** Damit die feineren Oberflächen lesbar bleiben, verwendet Abbildung A1 eine Farbskala von -15 bis +15 μm und eine Höhenüberhöhung von 250-fach, und Abbildung A2 verwendet -6 bis +6 μm und 600-fach. Höhen dürfen zwischen den Abbildungen nur über die Skalenbalken verglichen werden, nicht nach dem Aussehen der Oberflächen. Der Vergleich auf einer gemeinsamen Skala ist die Höhenkartenabbildung im Abschnitt Ergebnisse.
- **Die gefilterte Version (b).** Die Höhendaten sind über 4 x 4 Pixel (0,148 mm) gemittelt und mit einem Gauß-Filter (Sigma 0,30 mm) geglättet, um feine Linienstrukturen zu unterdrücken. Der Filter behält 72 bis 80 % der mittleren absoluten Höhe, sodass die in b) gezeigten Amplituden niedriger sind als die gemessenen. Die Rohdaten-Version (a) zeigt den vollen Detailgrad der Karte, abgetastet mit 0,037 mm. Strukturen bis herab zu etwa 0,2 mm Periode können dort sichtbar sein; ihre Amplitude ist stark abgeschwächt und nicht quantitativ.
- **Bezug zu den Parametern.** Keine der beiden Versionen ist identisch mit der Oberfläche, die für die Parameterberechnung in diesem Bericht verwendet wurde (Gauß-Tiefpass 0,8 mm über die gesamte Karte, siehe Methode). Die Rohdaten-Version enthält feinere Strukturen als diese Oberfläche, die gefilterte Version weniger. Alle Werte in diesem Bericht stammen aus den ungefilterten Höhendaten und wurden wie in der Methode beschrieben ausgewertet.
- **Sa und Quality in den Zeilentiteln** sind die Instrumentwerte der dargestellten Messung und können geringfügig von den Mittelwerten in den Tabellen abweichen.

Die Ergebnisse beziehen sich auf den gemessenen Probensatz und sind keine Spezifikationswerte.

Abbildung A1: Geschliffene Proben (trocken)

Isometrische Ansicht des Messfelds von 24,9 x 14,4 mm, Rohdaten und gefiltert, Höhenüberhöhung 250-fach, Farbskala -15 bis +15 µm (Werte außerhalb werden in den Endfarben dargestellt)

K36 Sa 4,56 µm Quality 92,2

a) Rohdaten (ungefiltert)

b) Gefiltert

K180 Sa 4,11 µm Quality 92,4

K240 Sa 2,87 µm Quality 94,8

K320 Sa 2,38 µm Quality 95,2

K400 Sa 2,15 µm Quality 95,8

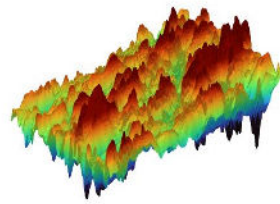
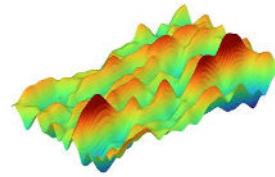
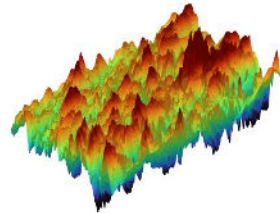
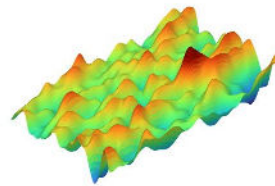
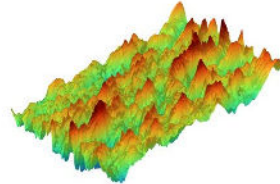
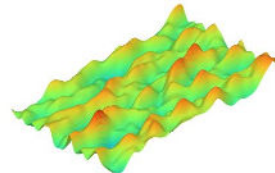
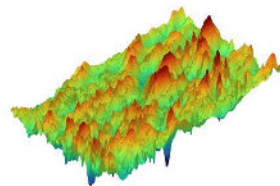
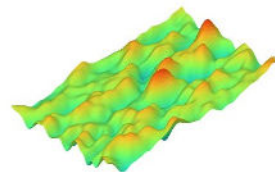
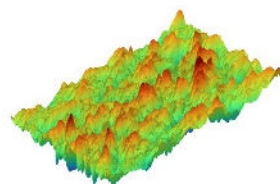
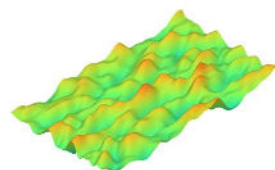
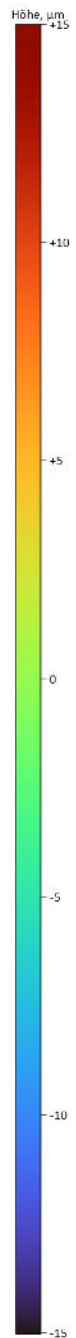


Abbildung A1: Isometrische Ansicht der trocken geschliffenen Proben K36 bis K400, a) Rohdaten und b) gefiltert, Farbskala -15 bis +15 µm, Höhenüberhöhung 250-fach. Rücken und Täler entlang der Schleifrichtung werden von K36 bis K400 niedriger; die Rohdaten-Karten zeigen deutlich mehr feine Spitzen als die gefilterten Karten.

Abbildung A2: Gebürstete (D) und nass geschliffene Proben

Isometrische Ansicht des Messfelds von 24,9 x 14,4 mm, Rohdaten und gefiltert, Höhenüberhöhung 600-fach, Farbskala -6 bis +6 μm (Werte außerhalb werden in den Endfarben dargestellt)

K240 D Sa 1,27 μm Quality 97,6

a) Rohdaten (ungefiltert)

b) Gefiltert

K320 D Sa 0,79 μm Quality 98,5

K400 D Sa 0,71 μm Quality 98,7

K600 nass geschliffen Sa 0,79 μm Quality 98,8

K600 D Sa 0,54 μm Quality 99,1

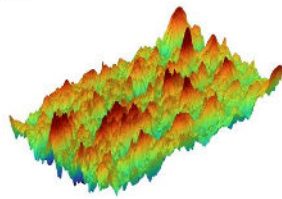
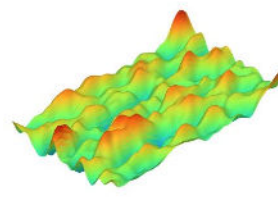
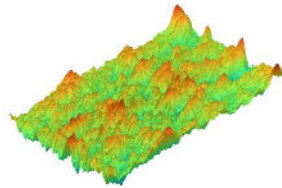
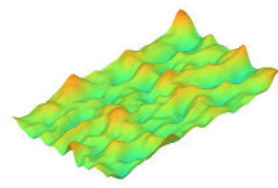
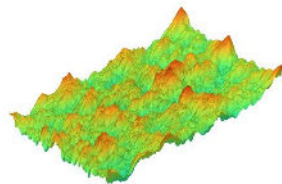
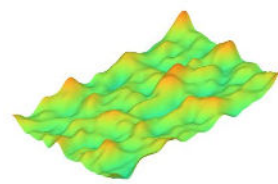
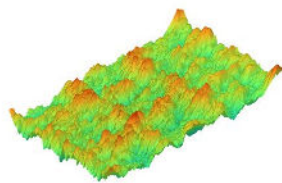
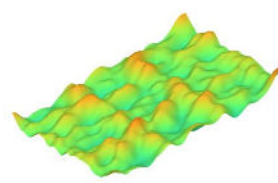
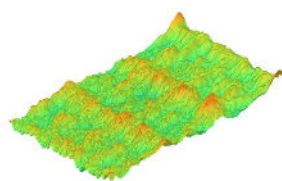
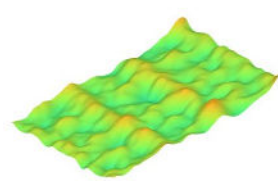
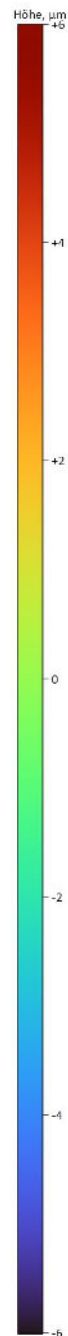


Abbildung A2: Isometrische Ansicht der gebürsteten Proben (D) und der nass geschliffenen K600-Probe, a) Rohdaten und b) gefiltert, Farbskala -6 bis +6 μm , Höhenüberhöhung 600-fach (andere Skala als in Abbildung A1). Die Oberflächen sind glatter und gleichmäßiger als die geschliffenen; K600 D ist am gleichmäßigsten.

Kontakt:

Europa: info@rhopointinstruments.de

Nord-, Süd- und Mittelamerika: sales@rhopointamericas.com

International und UK: sales@rhopointinstruments.com