



AUSWAHLVERFAHREN FÜR FUNKTIONSRELEVANTE OBERFLÄCHENKENNGRÖSSEN

# Kenngrößenschiedsrichter entscheiden lassen

Noch immer werden in Entwicklung und Konstruktion Oberflächenkenngrößen festgelegt, ohne die Oberflächenfunktionen zu beachten. Die Oberflächenmesstechnik kann ein Verfahren bereitstellen, das die begründete Auswahl und Festlegung funktionsrelevanter Kenngrößen beim Design der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit unterstützt.

Christian Beck und René Pleul, Chemnitz

Die Qualität von technischen Oberflächen, wie tribologisch beanspruchte Flächen, Dichtflächen, Schichtgrundflächen, elektrische Kontaktflächen und Strömungsflächen, wird wesentlich von der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit bestimmt. Dabei wird zwischen Formabweichungen, Oberflächenwelligkeit und Oberflächenrauheit unterschieden, die das Funktionsverhalten der Oberflächen unterschiedlich beeinflussen und auch unterschiedliche Entstehungsursachen im Herstellungsprozess haben.

In der Entwicklung und Konstruktionsphase technischer Produkte werden diejenigen Oberflächenkenngrößen festgelegt und als Zielgrößen dem Fertigungsprozess vorgegeben, die das Funktionsverhalten bestmöglich charakterisieren.

Das Problem dabei ist, diese Kenngrößen in der kaum noch überschaubaren Vielfalt und Vielzahl [1, 2] von Rauheits-, Welligkeits-, Primärprofil- und Topografiegrößen zu finden (Bild 1).

Häufig werden in den technischen Dokumentationen nur Rauheitskenngrößen, wie der arithmetische Mittenrauwert Ra oder die gemittelte Rauheitsprofilhöhe Rz angegeben, ohne Zusammenhänge zur Oberflächenfunktion zu berücksichtigen. In der Stahl- und Eisenindustrie wird z. B. die Rauheit von gewalzten Stahlblechoberflächen seit Jahren mit dem arithmetischen Mittenrauwert Ra und der Spitzenzahl R<sub>Pc</sub> charakterisiert [5].

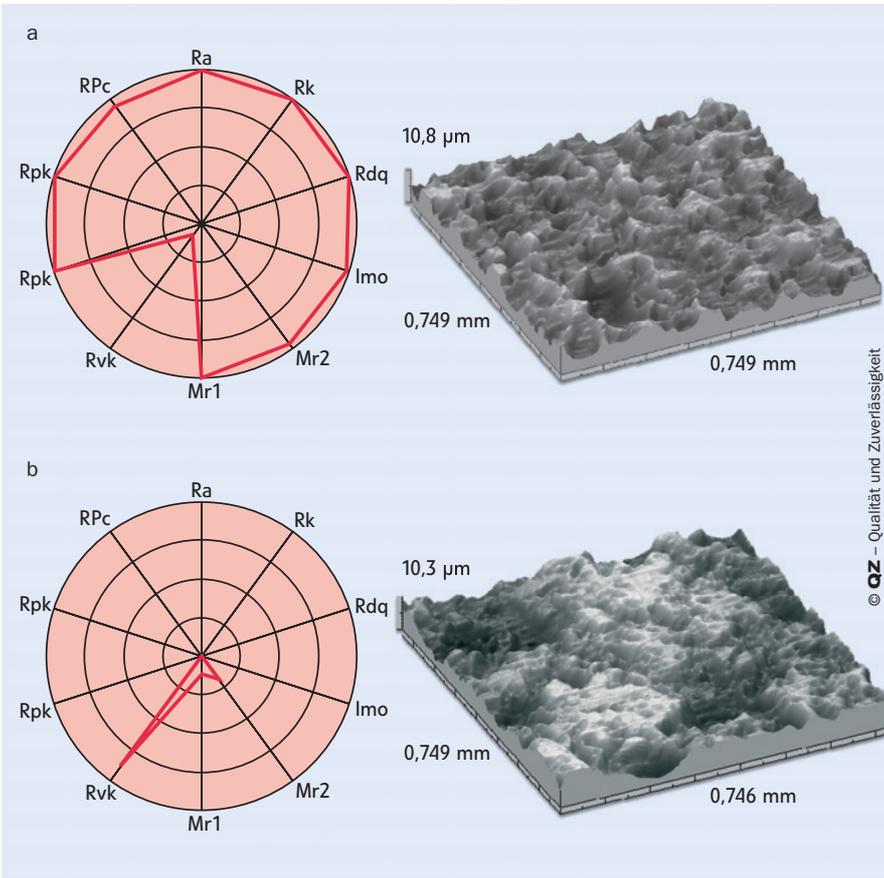
Falls funktionsbezogene Oberflächenkenngrößen erforderlich sind, legt man technisch-physikalische Modelle für Oberflächenfunktionen zugrunde, wie z. B. das Modell eines Rückfördermechanismus bei drallbehafteten Dichtflächen, ein Kontaktgeometriemodell bei tribologisch beanspruchten Verschleißflächen oder bei Reflexionsflächen ein Spiegelfacettenmodell. Bekannte oder neu definierte Oberflächenkenngrößen werden in das Modell einbezogen. Es werden damit aufwändige Modellversuche durchgeführt und Korre-

lationen zwischen den Oberflächenkenngrößen und den Funktionseigenschaften ermittelt. Bei unzureichenden Korrelationen werden neue modellspezifische Oberflächenkenngrößen definiert. Damit nimmt die Kenngrößenvielfalt weiter zu.

Das vorgestellte Verfahren zur Festlegung funktionsrelevanter Oberflächenkenngrößen geht davon aus, dass in den Normen und Industrierichtlinien sowie in der Fachliteratur seit langem in ungewöhnlich großer Anzahl Oberflächenkenngrößen und -kennfunktionen für die zwei- und dreidimensionale Charakterisierung der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit enthalten sind, die den funktionellen Anforderungen in unterschiedlicher Weise Rechnung tra-

Oberflächenfunktion	Oberflächenkenngrößen DIN EN ISO 4287, SEP 1940, VDA 2007 ...				Oberflächenherstellung
	Rt	RΔq	Wt	Sq	
Verschleiß	Rz	Lo	WDc	Ssk	Werkzeug - Geometrie - Verschleiß - ...
Reibung	Rmax	Rmr (c)	Pt	Sku	
Schmierung	R	Rpk	Dt	Sp	Maschine - Vorschub - Schnittgeschwindigkeit - Spantiefe - ...
Reflexionsvermögen	Rq	Rk	Sdq	Sv	
Festigkeit	Rsk	Rvk	Ssc	St	
Dichtheit	Rku	AKF	Sdr	Sz	
...	RSm	λq	Str	u. v. a. m.	
	RPc	Rq	Sa		
<b>Produktqualität</b>	<b>Oberflächenmessung</b>				<b>Prozessqualität</b>

Bild 1. Technische Oberfläche – Bindeglied zwischen Funktion und Fertigung



© QZ – Qualität und Zuverlässigkeit

**Bild 2. Kaltbandoberflächen und Kenngrößenmuster von a) fehlerfrei und b) fehlerhaft umformbaren Karosseriebauteilen**

gen. Nahezu alle Kenngrößen sind in den Oberflächenmessgeräten verfügbar.

Der Ablauf des Verfahrens in vier Schritten [3] kann am Beispiel der Auswahl von Oberflächenkenngrößen für die Charakterisierung der Umformbarkeit von Stahlfeinblechen mit stochastischen EDT (Electrical Discharge Texturing)-Oberflächenstrukturen dargestellt werden.

Voraussetzung ist, dass Funktionsoberflächen in einer statistisch repräsentativen Anzahl als Objekte (Bauteiloberflächen) vorliegen, die für den betrachteten Funktionsfall eine unterschiedliche Ausprägung der Oberflächenfunktion, z. B. ein gutes und schlechtes Funktionsverhalten aufweisen.

**Daten akquirieren**

Die Funktionsoberflächen werden in einem Funktionsmerkmalsraum bewertet. Die Bewertung erfolgt durch Zuordnung von Informationen über das Funktionsverhalten der vorliegenden Objektflächen entweder qualitativ anhand von Funktionsklassen aus Qualitätsanalysen unter Nutzung von Expertenwissen und

visueller Wahrnehmungen oder quantitativ mit Messwerten für die physikalischen Funktionseigenschaften. Damit wird eine Klassierung der Objektflächen nach ihrer Funktionsausprägung vorgenommen.

In Bild 2 werden zur vereinfachten Darstellung zwei repräsentative EDT-Kaltbandoberflächen gezeigt, die bei gleichen Werkstoffeigenschaften unter gleichen konstanten technologischen Bedingungen im Presswerk bei der Herstellung von Karosserieteilen unterschiedliche Umformeigenschaften aufweisen. Während die Fertigungslose mit der in Bild 2a dargestellten Oberflächenbeschaffenheit eine gute Verformbarkeit zeigten, ist die Oberfläche in Bild 2b repräsentativ für Tiefziehteile mit definierten Fehlern, wie Rissbildung beim Umformen.

Im Beispiel wurde lediglich eine qualitative Einteilung der Objekte in die Klassen gut umformbar (fehlerfrei) und schlecht umformbar (fehlerhaft) durchgeführt. Werden Streifenziehversuche zur Ermittlung der Umformbarkeit durchgeführt, könnte für jedes Untersuchungsobjekt eine konkrete quantitative Werte-

belegung des Funktionsvektors z. B. anhand von Messwerten für die Kontaktnormalspannung  $\sigma_{nmax}$  und die Reibzahl  $\mu$  erfolgen.

Die geometrische Oberflächenbeschaffenheit der nach unterschiedlicher Funktionsausprägung klassierten Oberflächen wird mit einem Oberflächentastschnittgerät gemessen, sodass für die unterschiedlichen Funktionsklassen digitale Repräsentationen von Oberflächenmesswerten vorliegen.

**Parameter bilden**

Es werden alle genormten und weitere Oberflächenkenngrößen als Träger der funktions- und nicht funktionswirksamen Gestaltmerkmale berechnet. Die Oberflächenkenngrößen bilden den die Oberflächengestalt beschreibenden Merkmalsraum. Dabei wird jedes Objekt im Merkmalsraum durch die Zahlenwerte der Oberflächenkenngrößen als Merkmalsvektor repräsentiert.

Die untersuchten EDT-Kaltbandoberflächen haben einen ausgeprägten stochastischen und anisotropen Charakter, sodass insbesondere Rauheitskenngrößen hinsichtlich ihrer Aussagekraft über das Funktions- (Umform-) Verhalten untersucht werden müssen. Berechnet wurden alle genormten Kenngrößen des Rauheitsprofils und der Materialanteilkurve sowie weitere Kenngrößen, die die Abbildung der Spitzen- und Talausprägung der EDT-Krater auf der Bandoberfläche beschreiben.

**Kenngrößen selektieren**

Die im Funktionsmerkmalsraum vorgenommene Klassierung der Objekte in funktionsbeschreibende Klassen wird mit den berechneten Oberflächenkenngrößen im Oberflächenkenngrößenraum nachvollzogen. Die Funktionsklassen werden im Oberflächenkenngrößenraum abgebildet. Dabei wird durch eine schrittweise Selektion der Oberflächenkenngrößen derjenige funktionsbeschreibende Gestaltklassifikator gebildet, der die beste Unterscheidung der Funktionsklassen im Oberflächenkenngrößenraum ermöglicht.

Die nach ihrer Trennfähigkeit im vorliegenden Funktionsfall geordnete Pareto-Darstellung der Kenngrößen ist ein Ergebnis der KenngrößenSelektion (Bild 3).

Da mit der Wahl des Klassifikators zugleich die Auswahl der zur Klassenunterscheidung geeignetsten Oberflächen-



kenngößen bestimmt und die Klassengrenzen, d. h. für die ausgewählten Oberflächenkenngößen die Toleranzgrenzen festgelegt werden, ist die verwendete



**Bild 3. Paretodarstellung der selektierten Oberflächenkenngößen**

Klassifikationsmethode von Bedeutung.

In Bild 4 sind für die den Funktionsklassen gut und schlecht umformbar zugeordneten Umformteile Ergebnisse der Kenngößenselektion dargestellt. Gezeigt werden die Ähnlichkeitsbeziehungen der Oberflächen in der Projektionsebene ausgewählter Kenngößen im Oberflächenkenngößenraum.

Die in Bild 2 dargestellten Kenngößenmuster als „Kenngößen-Spinnennetze“ bieten eine zusätzliche Information über gute und schlechte Oberflächenfunktion.

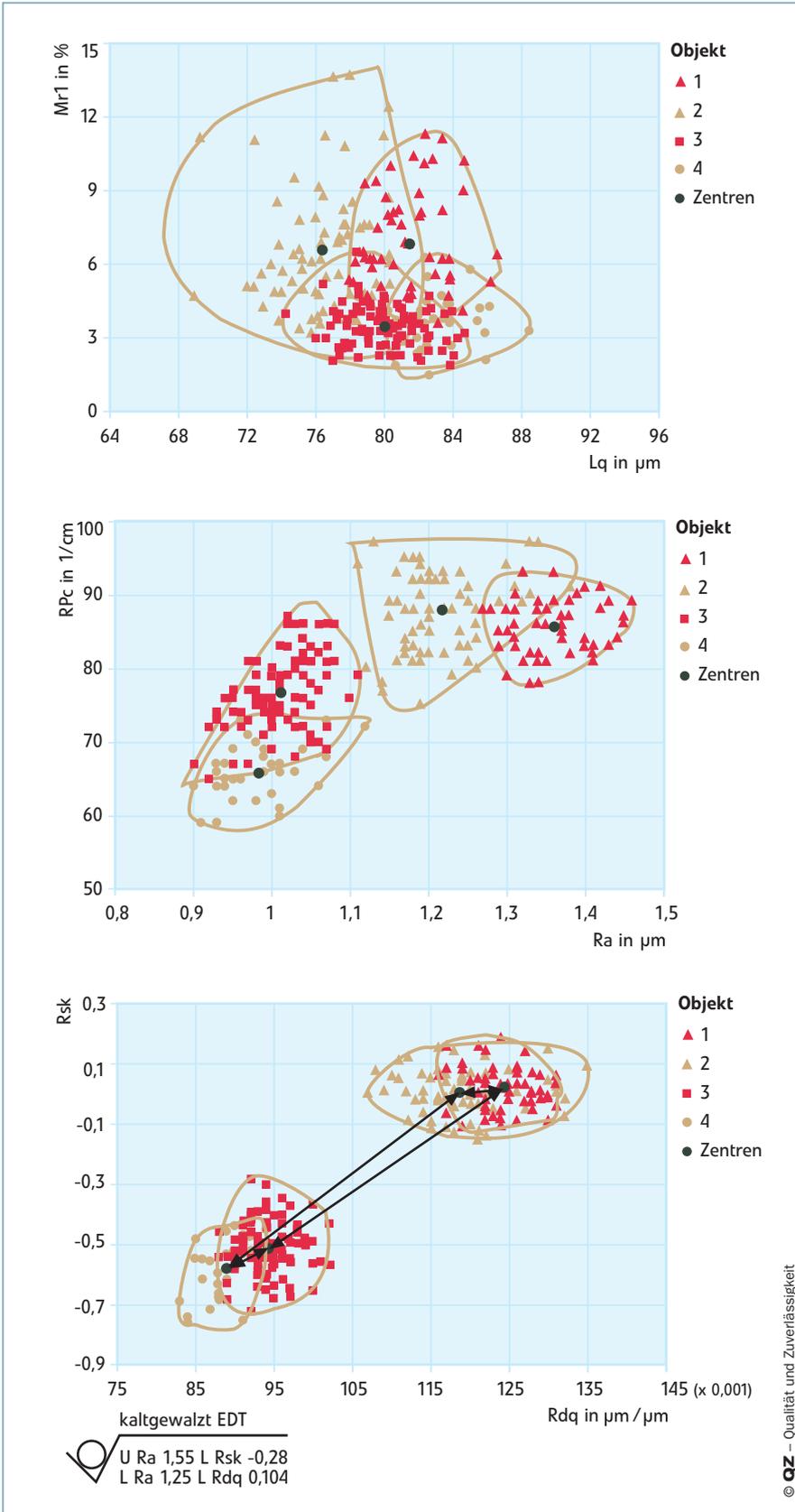
Während die Oberflächenkenngößen Korrelationslänge  $L_q$  und Materialanteil  $Mr_1$  des Rauheitsprofils nicht in der Lage sind, die Klassen guter und schlechter Funktion der EDT-Stahlfeinblechoberflächen zu trennen, zeigen die Oberflächenkenngößen arithmetischer Mittenrauwert  $R_a$  und Spitzenzahl  $R_{Pc}$  des Rauheitsprofils bereits Ansätze einer Unterscheidungsfähigkeit (Bild 4).

Die beste Abbildung der funktionalen Ähnlichkeitsstruktur im Oberflächenkenngößenraum und eine ausgeprägte Trennfähigkeit der für konkrete Umformbedingungen ermittelten Funktionsklassen gut und schlecht umformbar zeigen dagegen die Oberflächenkenngößen Schiefe  $R_{sk}$  und mittlere quadratische Steigung  $R_{dq}$  des Rauheitsprofils.

Es zeigt sich, dass eine gute Verformbarkeit bei EDT-Stahlfeinblechen mit den vorliegenden Werkstoffeigenschaften und Umformbedingungen bei  $R_a$ -Werten zwischen 1,25 und 1,55  $\mu m$  und Spitzenzahlen zwischen 80 und 95 Peaks/cm zu vermuten ist. Eine klare Entscheidung hinsichtlich des Umformverhaltens ermöglicht dagegen die Verwendung der Oberflächenkenngößen  $R_{sk}$  und  $R_{dq}$ , die in eine funktionsbezogene Oberflächenangabe einbezogen werden.

Bei annähernd gleichen  $R_a$ -Werten weisen Oberflächenprofile mit negativen Zahlenwerten für die Schiefe eine plateauartige Form im Senkrechtschnitt auf. Kleine Zahlenwerte für die mittlere quadratische Profilsteigung  $R_{dq}$  bedeuten flache Steigungs- und Neigungswinkel im Oberflächenprofil. Beide Eigenschaften der EDT-Oberflächentextur beeinflussen unter den vorliegenden praktischen Bedingungen die Umformbarkeit negativ.

Mit Hilfe des Auswahlverfahrens können für unterschiedlichste Oberflächenfunktionen aus einer repräsentativen Menge von Funktionsoberflächen  $\blacktriangleright$



**Bild 4.** Darstellung der Trennfähigkeit ausgewählter Oberflächenkenngrößen: Korrelationslänge Lq und Materialanteil Mr1 des Rauheitsprofils

funktionsgerechte Oberflächenangaben und Kundenanforderungen festgelegt werden.

Effektiv wird die Vorgehensweise, wenn das Verfahren direkt in die Oberflächenmesstechnik integriert ist. □

**Literatur**

- 1 Nowicki, B.: Multiparameter representation of surfaces roughness. Wear 102 (1985), S. 161-176, Elsevier B.V., Amsterdam
- 2 Kedziora, H.-J.; Parsons, F.; Tabenkin, A.: Industrielle Probleme mit der Zunahme und Erweiterung von Parametern für die Oberflächengestalt. XI. Internationales Oberflächenkolloquium 02.-03.2.2004 in Chemnitz, Tagungsband
- 3 Beck, C.; Pleul, R.: Verfahren zur Auswahl funktionsrelevanter Oberflächenkenngrößen. XI. Internationales Oberflächenkolloquium 02.-03.2.2004 in Chemnitz, Tagungsband
- 4 VDI/VDE 2601: Anforderungen an die Oberflächengestalt zur Sicherung der Funktionstauglichkeit spanend hergestellter Flächen. Zusammenstellung der Kenngrößen. (1991)
- 5 SEP 1940/ prEN10049:2000: Messung des arithmetischen Mittenrauhwertes Ra und der Spitzenzahl R<sub>Pc</sub> an kaltgewalzten Flacherzeugnissen aus Stahl mit stochastischen Rauheitsstrukturen.
- 6 Beck, C.; Ester, J.: Mehrkriterielle Fähigkeitsbewertung. OR Spektrum (1998) 20, S.179-187, Springer Verlag, Heidelberg

**Autoren**

**Doz. Dr.-Ing. habil. Christian Beck**, geb. 1943, ist seit 1992 Leiter der Bereiche Fertigungsmesstechnik und Forschung am Institut für Management und Fertigungsmesstechnik der TEQ GmbH in Chemnitz, Dozent und Unternehmensberater.

**Dipl.-Ing. (FH) René Pleul**, geb. 1973, ist seit 1999 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Management und Fertigungsmesstechnik der TEQ GmbH in Chemnitz, Dozent und Consultant.

**Kontakt**

**Dr. Christian Beck**  
**T 03 71/5 30 95-0**  
**beck@teq.de**

© QZ – Qualität und Zuverlässigkeit