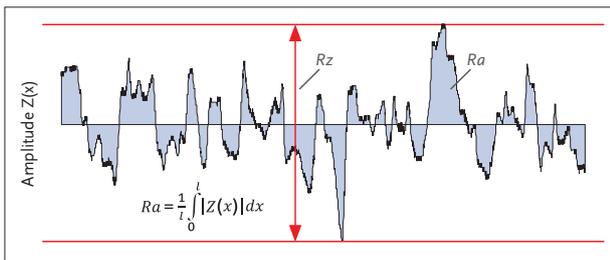


# Der Weg zu zuverlässigen Rauheitskennwerten

Die Textur der Oberfläche ist eine der wesentlichen Eigenschaften mechanisch gefertigter Teile. Sie bestimmt nicht nur deren Aussehen, sondern auch funktionelle Eigenschaften wie Reibung, Schmierverhalten oder Laufruhe. Entsprechend wichtig ist auch eine zuverlässige Messung der Kenngrößen der Oberflächen. In einem internationalen Messvergleich unter der Führung des METAS haben 17 nationale Metrologieinstitute ihre Kompetenz auf dem Gebiet der Oberflächenmessung nachgewiesen.

**RUDOLF THALMANN**

Konstruktionszeichnungen enthalten fast immer Angaben zur geforderten Oberflächentextur. Sie geben damit meist auch das Bearbeitungsverfahren und die Eigenschaften des für die Bearbeitung verwendeten Werkzeugs vor: Sehr feine Oberflächen müssen poliert, geläppt oder fein geschliffen werden, bei gröberen reicht beispielsweise Drehen, Fräsen oder allenfalls nur Schruppen. Oberflächeneigenschaften sind konform zu den geltenden ISO-Normen zu spezifizieren. Diese definieren, je nach Funktion, eine ganze Reihe von Rauheits-, Welligkeits- und Profilkenngrößen.



1: Die gebräuchlichsten Rauheitskenngrößen sind Ra und Rz. Der Mittenrauwert Ra ist der arithmetische Mittelwert der absoluten Profilamplituden  $Z(x)$  wobei  $l$  die Länge des gemessenen Profils ist. Die Rautiefe Rz ist eine Spitzenkenngröße und bezeichnet die Summe der höchsten Profilspitze und des tiefsten Profiltales.

Neben den erwähnten Amplitudenkenngrößen sind in der Norm ISO 4287 [1] auch Abstandskenngrößen definiert, die v.a. bei der Charakterisierung periodischer Bearbeitungsspuren etwa bei gedrehten Teilen ihre Anwendung finden.

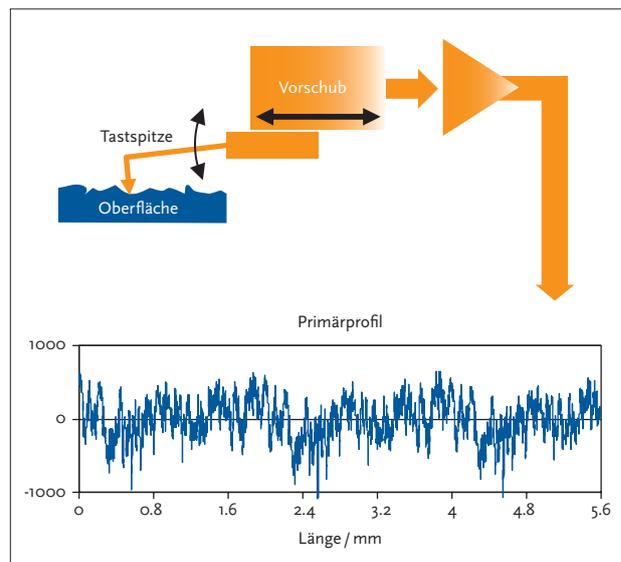
**Genau normierte Messverfahren**

Die relevanten ISO-Normen geben genau vor, wie gemessen wird und wie die Kenngrößen aus den gemessenen Profildaten berechnet werden. Sie definieren auch die Eigenschaften der Messgeräte, deren Kalibrierung und die Eigenschaften der zur Kalibrierung verwendeten Normale. Gemessen werden die Oberflächenkenngrößen in der industriellen Fertigung mit Tastschnittgeräten, vom einfachen Handgerät bis zum hochpräzisen Laborgerät. Das Messprinzip ist einfach und einem Grammophon ähnlich: Mit einem rauscharmen Vorschubgerät wird eine Diamant-Tastspitze mit normiertem Radius über die Oberfläche gezogen. Das Signal der Auslenkung wird digital als Profil aufgezeichnet. Daraus werden anschliessend nach Filterung die Kenngrößen errechnet (Abbildung 2).

Die Kalibrierung der Tastschnittgeräte erfolgt mit Oberflächennormalen. Dazu gehören insbesondere Rillennormale zur Einstellung oder Überprüfung der Tasterempfindlichkeit sowie periodische und aperiodische Raunormale zum Kalibrieren und Validieren des Gesamtgerätes. Die Raunormale verkörpern spezifische Oberflächenkenngrößen und müssen sehr homogen sein, um reproduzierbare Messungen zu ermöglichen. Solche Normale werden durch akkreditierte Kalibrierstellen und nationale Metrologieinstitute kalibriert und gewährleisten die Rückführbarkeit auf nationale Normale und damit auf international abgestützte Realisierungen der SI-Einheiten.

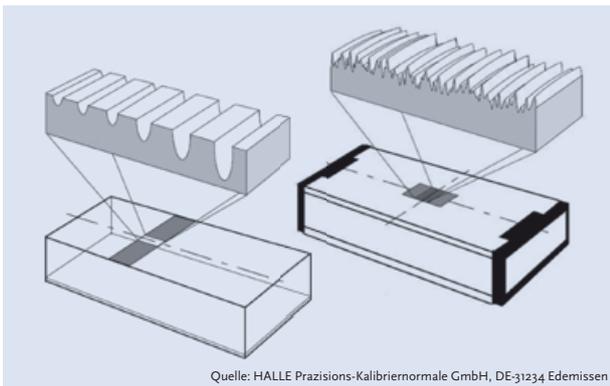
**Kompetenznachweis durch Vergleichsmessungen**

Der Kompetenznachweis eines Labors zum Erbringen von Kalibrierdienstleistungen erfolgt unter anderem durch die Teilnahme an Messvergleichen. Das METAS hat als Pilotlabor einen Messvergleich zur Kalibrierung von Oberflächennormalen durchgeführt. Dies ist einer der acht Schlüsselvergleiche, die im Rahmen des CIPM MRA auf dem Gebiet der Längentechnik regelmässig wiederholt werden. Teilgenommen haben dreizehn Metrologieinstitute aus Europa, drei aus Asien und je eines aus Südafrika und Südamerika. Die Messungen erstreckten sich vom Februar 2013 bis Dezember 2014.



2: Prinzip eines Tastschnittgerätes zur Erfassung des Oberflächenprofils und Berechnung der Rauheitskenngrößen.

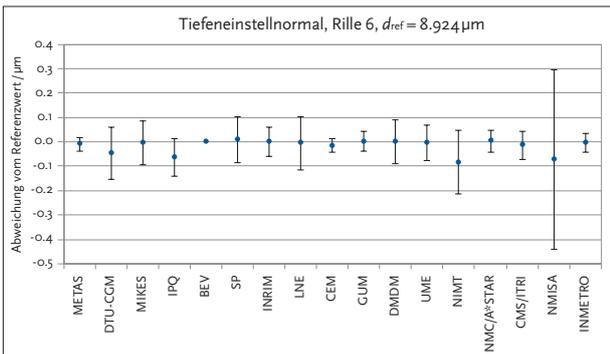
Gegenstand des Vergleichs war ein Rillennormal, auf dem die Profiltiefe von 6 Rillen zu bestimmen war, und vier Raunormale, je zwei mit einem periodischen und einem aperiodischen Profil, auf denen die beiden oben erwähnten Rauheitskenngrößen  $R_a$  und  $R_z$  sowie weitere Kenngrößen bestimmt werden mussten (Abbildung 3). Zusätzlich wurden zwei soft gauges verschickt; das sind Datensätze, wie sie zur Validierung der Software zur Berechnung der Oberflächenkenngrößen verwendet werden. Diese soft gauges mussten anstelle der Messdaten in die Geräte der teilnehmenden Labors eingelesen werden, um daraus die Parameter zu berechnen.



Quelle: HALLE Präzisions-Kalibriernormale GmbH, DE-31234 Edemissen

3: Links: Tiefeneinstellnormal (Rillennormal) zur Kalibrierung der Empfindlichkeit des Messtasters. Rechts: Aperiodisches Raunormal.

Aus den Messergebnissen und deren Unsicherheit wurde für jede Kenngröße und jedes Normal ein Referenzwert ermittelt. Der Referenzwert wurde aus dem Mittelwert der einzelnen Werte, gewichtet mit der jeweiligen Messunsicherheit, berechnet,



4: Vergleichsresultate für Rillentiefe  $d$  der tiefsten Rille des Tiefeneinstellnormals. Unsicherheitsbalken für mit  $k = 2$  erweiterte Messunsicherheit.

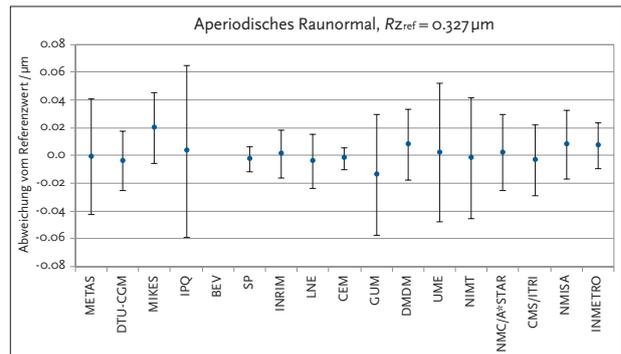
und zwar nach Ausschluss derjenigen Resultate, die statistisch nicht mit den übrigen konsistent waren. Anschliessend wurde der Grad der Übereinstimmung, der sogenannte  $En$ -Wert, aller Laborwerte mit dem jeweiligen Referenzwert bestimmt:

$$En = \frac{x_i - x_{ref}}{2\sqrt{u^2(x_i) - u^2(x_{ref})}}$$

wobei  $x_i$  der Wert des Labors  $i$  und  $x_{ref}$  der Referenzwert ist,  $u(x_i)$  und  $u(x_{ref})$  sind die dazugehörigen Standardunsicherheiten. Ein Wert  $En < 1$  bedeutet eine innerhalb der erweiterten Messunsicherheit befriedigende Übereinstimmung. Zusätzlich wurde für jede Kenngröße eine Grafik mit den Abweichungen vom Referenzwert aller Labors und den Messunsicherheitsbalken erstellt. Stellvertretend für die Resultate der insgesamt 24 Kenngrößen sind nachfolgend zwei in den Abbildungen 4 und 5 wiedergegeben.

**Insgesamt befriedigende Übereinstimmung**

Von den insgesamt 395 berichteten Einzelresultaten wiesen 32 einen  $En$ -Wert  $> 1$  auf, also eine unbefriedigende Übereinstimmung aus. 11 von 17 Labors hatten mindestens einen unbefriedigenden Wert. Knapp die Hälfte dieser abweichenden Werte wurde auf einem Raunormal gemessen, dessen Oberfläche relativ empfindlich ist und nach dem Messvergleich deutliche Gebrauchsspuren aufwies, was zu Ausreissern führen kann. Nachdem der erste Berichtsentwurf den Teilnehmern verschickt wurde, haben einige Labors nach Gründen für ihre Abweichungen gesucht und korrigierende Massnahmen ergriffen. Mit diesen konnte die Zahl der unbefriedigenden Resultate von 32 auf 20 reduziert werden, was weniger als 5% der Einzelmesswerte entspricht und zumindest statistisch im vertretbaren Rahmen liegt. Die Resultate des METAS lagen durchwegs weit innerhalb der deklarierten Messunsicherheit.



5: Vergleichsresultate für den Spitzenrauwert  $R_z$  des aperiodischen Raunormals. Unsicherheitsbalken für mit  $k = 2$  erweiterte Messunsicherheit.

**Referenzen**

[1] EN ISO 4287:1998, Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren – Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit  
 [2] EURAMET.L-K8.2013, Calibration of surface roughness standards, [http://kcdb.bipm.org/appendixB/KCDB\\_ApB\\_info.asp?cmp\\_idy=1287&cmp\\_cod=EURAMET.L-K8.2013&prov=exalead](http://kcdb.bipm.org/appendixB/KCDB_ApB_info.asp?cmp_idy=1287&cmp_cod=EURAMET.L-K8.2013&prov=exalead)

Kontakt:  
 Dr. Rudolf Thalmann, Bereichsleiter Länge, Optik und Zeit  
 rudolf.thalmann@metas.ch  
 +41 58 387 03 85