

## Einfluß der geometrischen Feingestalt auf die Maßbestimmung an technischen Maßverkörperungen

F. Lüdicke, W. Wöger

Die Oberflächengüte von maßverkörpernden Flächen hat entscheidenden Einfluß auf die Unsicherheit einer Maßbestimmung. Erfolgt die Maßbestimmung durch Antastung mit Kugeln, sind an rauhen Oberflächen Antastungen an zufällig höher und tiefer gelegenen Stellen möglich (Bild 2.5.16). Der dadurch hervorgerufene quantitative Beitrag zur Meßunsicherheit bei der Maßbestimmung war bisher unbekannt.

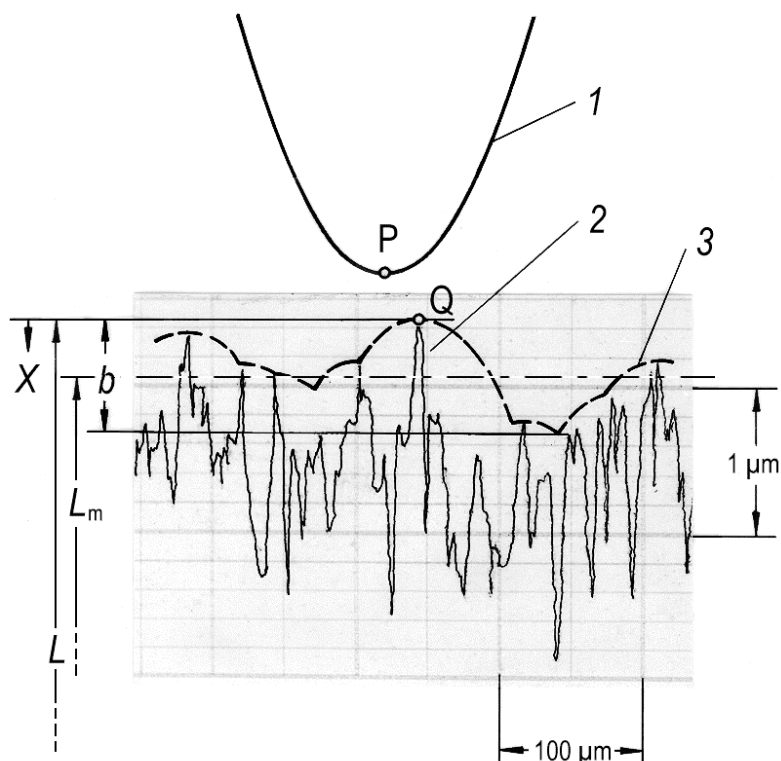


Bild 2.5.16: Rauheitsmeßprofil, Hüllprofil und im gleichen Maßstab dargestellte für Längenmessungen verwendete Antastkugel sowie Darstellung der Bestimmung der Spannweite  $b$  des Hüllprofils

- 1 Antastkugel, 2 Teil eines Tastschnittes, Geschliffene Stahlfläche mit  $R_a = 0,30 \mu\text{m}$  und  $R_z = 2,5 \mu\text{m}$ , 3 mit 1 aufgenommenes Hüllprofil, Bahn des Punktes P;  
 $b$  Spannweite des Hüllprofils, Projektion des Hüllprofils in Tastschnittrichtung,  $b = f(d)$ ,  $L$  größter meßbarer Abstand zweier paralleler technischer Flächen,  $L_m$  mittlerer Abstand der Flächen,  $X$  Koordinate der Antasthöhe

Für geschliffene Stahlflächen ist auf der Grundlage von umfangreichen meßtechnischen Untersuchungen eine entsprechende Unsicherheitsabschätzung durchgeführt worden. Tabelle 2.5.16 gibt den Zusammenhang zwischen der mittleren Spannweite  $\bar{b}$  des Hüllprofils (siehe Bild 2.5.16) und den Rauheitsmeßwerten  $R_z$  und  $R_a$  (ISO 4287) an. Die Untersuchungen haben ergeben, daß die

Spannweite  $b$  des Hüllprofils jeweils zwischen den Grenzen  $\bar{b} \pm \bar{b}/2$  schwankt. Sie ist abhängig vom gewählten Kugeldurchmesser. Daher wird auch der Abstand zweier technischer Flächen vom Durchmesser der Antastkugel beeinflusst. Während sich der höchste Profilpunkt auch mit größten Kugeldurchmessern antasten läßt ( $b \rightarrow 0$ , siehe Bild 2.5.16, Punkt Q), sind die tieferen Punkte nur mit entsprechend kleineren Kugeln erreichbar ( $b \rightarrow R_z$ ).

$R_a$ in $\mu\text{m}$	$d$ in mm			$R_z$ in $\mu\text{m}$	$d$ in mm		
	1	6	30		1	6	30
0,1	0,4	0,3	0,2	1	0,3	0,3	0,2
0,2	0,8	0,6	0,5	2	0,7	0,6	0,5
0,3	1,2	0,9	0,8	3	1,2	1,0	0,8
0,4	1,6	1,3	1,0	4	1,7	1,4	1,1
0,5	1,9	1,6	1,3				

Tabelle 2.5.16: Werte der mittleren Spannweiten  $\bar{b}$  des Hüllprofils an geschliffenen Stahlebenen

$R_a$  Mittenrauhwert (ISO 4287),  $R_z$  gemittelte Rauhtiefe,  $d$  Durchmesser der Antastkugel

Bei der Ermittlung der Meßunsicherheit [1] des Abstandes zweier geschliffener planparalleler Stahlflächen 1 und 2 (z.B. an einem Quader) ist zu berücksichtigen, daß weder die Spannweiten  $b_1$  und  $b_2$  der jeweiligen Hüllprofile genau bekannt sind noch die Antasthöhen  $X_1$  und  $X_2$ , für die  $0 \leq X_i \leq b_i$  gilt ( $i=1,2$ ).

Der unbekannte Wert der oberen Grenze  $b_i$  liegt im Bereich  $\bar{b}_i \pm \bar{b}_i/2$ . Dieser Information entspricht nach [1] eine Rechteckverteilung über diesen Grenzen. Wäre bekannt, daß  $b_i = \bar{b}_i$  gilt, so wäre die Standardunsicherheit  $X_i$  nach [1] durch  $\bar{b}_i/\sqrt{12}$  gegeben. Weil aber  $\bar{b}_i$  nur ein Schätzwert für  $b_i$  ist, muß sich die ungenaue Kenntnis von  $b_i$  in einer größeren Standardunsicherheit von  $X_i$  äußern. Mittels wahrscheinlichkeitstheoretischer Überlegungen wurde gezeigt, daß der beste Schätzwert  $x_i$  für  $X_i$  durch  $x_i = \bar{b}_i/2$  gegeben ist, wobei sich die beigeordnete Standardunsicherheit von  $X_i$  zu  $u(x_i) = \bar{b}_i/3$  ergibt.

Wird der Abstand  $A$  zweier gegenüberliegender Antastpunkte gemessen, um z.B. den größten meßbaren Abstand  $L$  zu ermitteln, so ist das Modell  $L = A + X_1 + X_2$  zu betrachten, wobei die Eingangsgrößen  $A$  und  $X_i$  unabhängig sind. Für  $A$  erhält man aus der Messung das Meßergebnis  $a$  und die Standardmeßunsicherheit  $u(a)$ . Somit folgt das Meßergebnis [1]

$$l = a + x_1 + x_2 = a + (\bar{b}_1 + \bar{b}_2)/2$$

für  $L$ , und die beigeordnete Standardmeßunsicherheit ist dann

$$u(l) = \sqrt{u^2(a) + u^2(x_1) + u^2(x_2)} = \sqrt{u^2(a) + (\bar{b}_1^2 + \bar{b}_2^2)/9} .$$

Das folgende Beispiel vermittelt eine Größenvorstellung des Einflusses der Rauheit auf die Maßbestimmung. Für  $R_{a1} = R_{a2} = 0,3 \mu\text{m}$  und einen Tastkugeldurchmesser  $d = 6 \text{ mm}$  ergibt sich aus Tabelle 2.5.16  $\bar{b} = \bar{b}_1 = \bar{b}_2 = 0,9 \mu\text{m}$ . Nach dem gewählten Modell muß der Meßwert  $a$  um  $0,9 \mu\text{m}$  korrigiert werden, um einen Schätzwert für die Länge zu erhalten. Außerdem ist der dem Hüllprofil zuzuschreibende Unsicherheitsanteil ( $k=2[1]$ ) bezüglich  $l$  zu berücksichtigen:

$$2 \cdot \sqrt{(\bar{b}_1^2 + \bar{b}_2^2)}/9 = 0,85 \mu\text{m} \approx 0,9 \mu\text{m}$$

Dieses Beispiel zeigt, daß der Einfluß der geometrischen Feingestalt auf die Unsicherheit der Maßbestimmung viel größer ist als bisher angenommen wurde. Die Untersuchungen haben ergeben, daß bei technischen Maßverkörperungen der Einfluß rauher Oberflächen meist größer als die Unsicherheit der Längenmessung selbst ist.

Hier endet der im Jahresbericht 1998 der PTB auf den Seiten 243 und 244 veröffentlichte Bericht. Neuere Untersuchungen haben gezeigt, daß der Einfluß der Mikrotopographie von geschliffenenen Stahlflächen auf die Unsicherheit der Längenmessung sogar noch größer ist. Tabelle 1 zeigt neue Ergebnisse.

$d$	$R_a =$ 0,1 $\mu\text{m}$	$R_a =$ 0,2 $\mu\text{m}$	$R_a =$ 0,3 $\mu\text{m}$	$R_a =$ 0,4 $\mu\text{m}$
1 mm	0,6 $\mu\text{m}$	1,2 $\mu\text{m}$	1,9 $\mu\text{m}$	2,6 $\mu\text{m}$
2 mm	0,5 $\mu\text{m}$	1,1 $\mu\text{m}$	1,6 $\mu\text{m}$	2,2 $\mu\text{m}$
6 mm	0,5 $\mu\text{m}$	0,9 $\mu\text{m}$	1,4 $\mu\text{m}$	1,8 $\mu\text{m}$
10 mm	0,4 $\mu\text{m}$	0,8 $\mu\text{m}$	1,2 $\mu\text{m}$	1,6 $\mu\text{m}$

Tabelle 1 Einfluß des Mittenrauhwertes  $R_a$  und des Durchmessers  $d$  der Antastkugel auf das arithmetische Mittel  $\bar{b}$  der Spannweite  $b$  des Hüllprofils an einer ebenen geschliffenen Stahlfläche (ISO 4287)

[1] ISO 1995 *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement*  
(Geneva: International Organisation for Standardization)