

Physikalisch- Technische Bundesanstalt




Richtlinie **Kalibrieren von Geräten und Normalen**
DKD-R 4-2 **für die Rauheitsmesstechnik**

Blatt 3 **Kalibrierung von Normalen mit periodischen**
 Profilen in horizontaler Richtung mit
 Tastschnittgeräten

Ausgabe 07/2011

<http://dx.doi.org/10.7795/550.20170629DE>



	Kalibrieren von Geräten und Normalen für die Rauheitsmesstechnik – Blatt 3 http://dx.doi.org/10.7795/550.20170629DE	DKD-R 4-2 Blatt 3	
		Ausgabe:	07/2011
		Revision:	0
		Seite:	2 / 20

Deutscher Kalibrierdienst (DKD)

Im DKD sind Kalibrierlaboratorien von Industrieunternehmen, Forschungsinstituten, technischen Behörden, Überwachungs- und Prüfinstitutionen seit der Gründung 1977 zusammengeschlossen. Am 03. Mai 2011 erfolgte die Neugründung des DKD als *technisches Gremium* der PTB und der akkreditierten Laboratorien.

Dieses Gremium trägt die Bezeichnung Deutscher Kalibrierdienst (DKD) und steht unter der Leitung der PTB. Die vom DKD erarbeiteten Richtlinien und Leitfäden stellen den Stand der Technik auf dem jeweiligen technischen Fachgebiet dar und stehen der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkkS) für die Akkreditierung von Kalibrierlaboratorien zur Verfügung.

Die akkreditierten Kalibrierlaboratorien werden von der DAkkS als Rechtsnachfolgerin des DKD akkreditiert und überwacht. Sie führen Kalibrierungen von Messgeräten und Maßverkörperungen für die bei der Akkreditierung festgelegten Messgrößen und Messbereiche durch. Die von ihnen ausgestellten Kalibrierscheine sind ein Nachweis für die Rückführung auf nationale Normale, wie sie von der Normenfamilie DIN EN ISO 9000 und der DIN EN ISO/IEC 17025 gefordert wird.

Kontakt:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)


DKD-Geschäftsstelle

Bundesallee 100 38116 Braunschweig

Postfach 33 45 38023 Braunschweig

Telefon Sekretariat: (05 31) 5 92-8021

Internet: www.dkd.eu

	Kalibrieren von Geräten und Normalen für die Rauheitsmesstechnik – Blatt 3 http://dx.doi.org/10.7795/550.20170629DE	DKD-R 4-2 Blatt 3	
		Ausgabe:	07/2011
		Revision:	0
		Seite:	3 / 20

Zitiervorschlag für die Quellenangabe:


Richtlinie DKD-R 4-2 Kalibrieren von Geräten und Normalen für die Rauheitsmesstechnik, Blatt 3 Kalibrierung von Normalen mit periodischen Profilen in horizontaler Richtung mit Tastschnittgeräten, Ausgabe 07/2011, Revision 0, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. DOI: 10.7795/550.20170629DE

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt und unterliegt der Creative Commons Nutzerlizenz CC by-nc-nd 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/>). In diesem Zusammenhang bedeutet „nicht-kommerziell“ (NC), dass das Werk nicht zum Zwecke der Einnahmenerzielung verbreitet oder öffentlich zugänglich gemacht werden darf. Eine Nutzung seiner Inhalte für die gewerbliche Verwendung in Laboratorien ist ausdrücklich erlaubt.



Autoren: Fachausschuss *Länge* des DKD

Herausgegeben von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) für den Deutschen Kalibrierdienst (DKD) als Ergebnis der Zusammenarbeit der PTB mit dem Fachausschuss *Länge* des DKD.

	Kalibrieren von Geräten und Normalen für die Rauheitsmesstechnik – Blatt 3 http://dx.doi.org/10.7795/550.20170629DE	DKD-R 4-2 Blatt 3	
		Ausgabe:	07/2011
		Revision:	0
		Seite:	4 / 20


Vorwort

DKD-Richtlinien sind Anwendungsdokumente zu den Anforderungen der DIN EN ISO/IEC 17025. In den Richtlinien werden technische, verfahrensbedingte und organisatorische Abläufe beschrieben, die den akkreditierten Kalibrierlaboratorien als Vorbild zur Festlegung interner Verfahren und Regelungen dienen. DKD-Richtlinien können zum Bestandteil von Qualitätsmanagementhandbüchern der Kalibrierlaboratorien werden. Durch die Umsetzung der Richtlinien wird die Gleichbehandlung der zu kalibrierenden Geräte in den verschiedenen Kalibrierlaboratorien gefördert und die Kontinuität und Überprüfbarkeit der Arbeit der Kalibrierlaboratorien verbessert.

Die DKD-Richtlinien sollen nicht die Weiterentwicklung von Kalibrierverfahren und -abläufen behindern. Abweichungen von Richtlinien und neue Verfahren sind im Einvernehmen mit der Akkreditierungsstelle zulässig, wenn fachliche Gründe dafür sprechen.


Kalibrierungen der akkreditierten Laboratorien geben dem Anwender Sicherheit für die Verlässlichkeit von Messergebnissen, erhöhen das Vertrauen der Kunden und die Wettbewerbsfähigkeit auf dem nationalen und internationalen Markt und dienen als messtechnische Grundlage für die Mess- und Prüfmittelüberwachung im Rahmen von Qualitätssicherungsmaßnahmen.

Die vorliegende Richtlinie wurde im Rahmen des Fachausschusses *Länge* erstellt und vom Vorstand des DKD genehmigt.

	Kalibrieren von Geräten und Normalen für die Rauheitsmesstechnik – Blatt 3 http://dx.doi.org/10.7795/550.20170629DE	DKD-R 4-2 Blatt 3	
		Ausgabe:	07/2011
		Revision:	0
		Seite:	5 / 20

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	5
1 Anwendungsbereich.....	6
2 Begriffe und Definitionen	7
2.1 Begriffe aus Normen	7
2.2 Hier verwendete Begriffe und Abkürzungen	8
3 Messeinrichtung	8
4 Umgebungsbedingungen	8
5 Kalibrierung.....	8
5.1 Kalibrierfähigkeit des Normals.....	8
5.2 Vorbereitende Tätigkeiten	9
5.2.1 Reinigung.....	9
5.2.2 Überprüfung des Tastschnittgerätes.....	9
5.2.3 Kalibrierung der horizontalen Achse des Tastschnittgerätes	9
5.3 Messbedingungen.....	9
5.4 Messungen am zu kalibrierenden Normal	9
5.5 Auswertung	10
5.6 Zusammenfassung des Kalibriervorgangs.....	10
5.7 Inhalt des Kalibrierscheins.....	10
6 Messunsicherheit	12
6.1 Modell	12
6.2 Unsicherheitskomponenten	12
6.2.1 Unsicherheitskomponenten im Detail	13
6.2.1.1 Rückführung	
6.2.1.2 Messposition	
6.2.1.3 Messpunkt Abstand	
6.2.1.4 Rauschen	
6.2.1.5 Welligkeit	
6.2.1.6 Bogenbewegung	
6.3 Kombinierte Unsicherheit	17
6.4 Tabelle der Unsicherheitskomponenten	17
6.5 Vereinfachung	18
7 Zitierte Normen und weitere Bezüge	19

	Kalibrieren von Geräten und Normalen für die Rauheitsmesstechnik – Blatt 3 http://dx.doi.org/10.7795/550.20170629DE	DKD-R 4-2 Blatt 3	
		Ausgabe:	07/2011
		Revision:	0
		Seite:	6 / 20

1. Anwendungsbereich

Die Länge in Richtung des Vorschubs (x-Achse) wird in vielen Tastschnittgeräten aufgrund einer als konstant angenommenen Vorschubgeschwindigkeit und eines festgelegten Abtastintervalls bestimmt. Für eine Kalibrierung der horizontalen Achse muss daher eine Rückführungskette zur Längeneinheit aufgebaut werden. Dieses Blatt 3 der Richtlinie beschreibt, wie horizontale Kenngrößen wie RS_m auf Oberflächennormalen mit regelmäßigem Profil vom Typ C entsprechend DIN EN ISO 5436-1 (im Sprachgebrauch „Geometriennormale“) kalibriert werden. Dieser Vorgang entspricht dem dritten Schritt der in Abb. 1 dargestellten Rückführungskette. Die so kalibrierten Normale werden dazu genutzt, die horizontale Achse von Tastschnittgeräten zu kalibrieren. Dieser Schritt wird in Blatt 4 der Richtlinie 4-2 beschrieben. Durch die Weitergabe der Längeneinheit mit verkörperten Normalen wird beim Kalibrieren die gesamte Messkette des Gerätes von der Tastspitze bis zur Anzeige eingeschlossen.

Mitgeltende Normen und Regelwerke

JCGM 100: 2008	Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement, September 2008
DAkkS-DKD-3	Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen, 2010
DKD-R 4-2 Blatt 1	Kalibrieren von Geräten und Normalen für die Rauheitsmesstechnik Blatt 1: Kalibrieren von Normalen für die Rauheitsmesstechnik

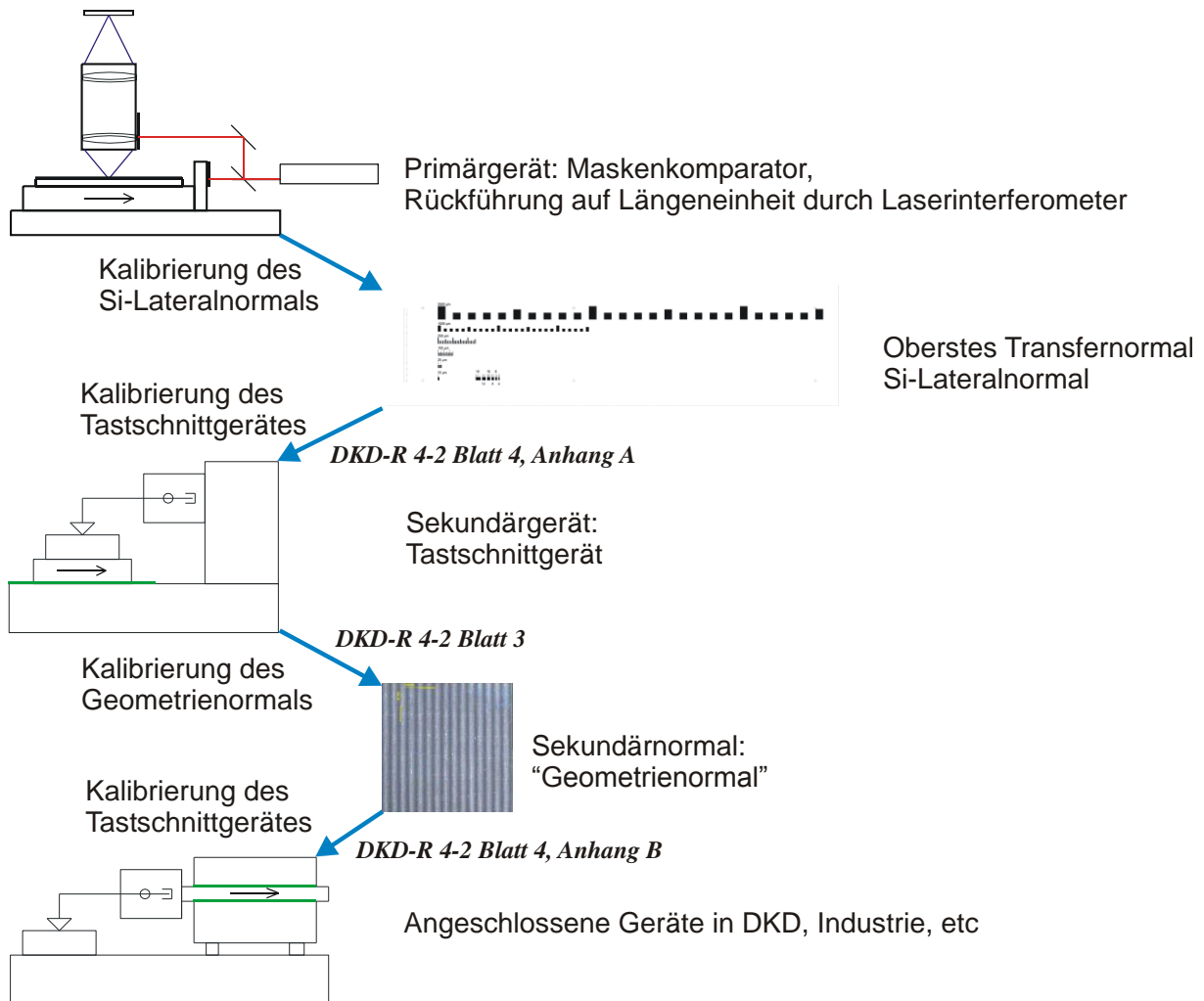


Abb. 1: Weitergabe der Längeneinheit in horizontaler Richtung bei der Rauheitsmessung


2. Begriffe und Definitionen

2.1 Begriffe aus Normen

Begriffe für die Charakterisierung von Oberflächenmessgeräten werden aus DIN EN ISO 3274 und ISO/DIS 25178-601 übernommen, Definitionen von Oberflächenkenngrößen aus DIN EN ISO 4287 verwendet und Messbedingungen werden entsprechend DIN EN ISO 4288 angegeben. Angaben für die Kalibrierung von Tastschnittgeräten werden entsprechend DIN EN ISO 12179 gemacht.

2.2 Hier verwendete Begriffe und Abkürzungen

R_{z0}	Grundrauschen des Gerätes
W_{t0}	Welligkeit des Normal über der Messstrecke l_n
L	Länge des Hebelarmes, an dem sich die Tastspitze befindet
H	Höhe des Tasters
RSm_n	RSm des zur Rückführung benutzen Bezugsnormals (aus dessen Kalibrierschein)

	Kalibrieren von Geräten und Normalen für die Rauheitsmesstechnik – Blatt 3 http://dx.doi.org/10.7795/550.20170629DE	DKD-R 4-2 Blatt 3	
		Ausgabe:	07/2011
		Revision:	0
		Seite:	8 / 20

$RSm(Bezug)$ Aktuell am Bezugsnormal gemessene Kenngröße

$RSm(Objekt)$ Am zu kalibrierenden Messobjekt gemessene Kenngröße

Δx Messpunktabstand

l Profillänge: Teil der Messstrecke, der in die Auswertung von RSm einbezogen wurde

n Anzahl der Profilelemente, die in die Auswertung von RSm einbezogen wurden

σ Steigung des Profils im Nulldurchgang

p Wellenlänge der Profilelemente

3. Messeinrichtung

Die Messeinrichtung für die Durchführung dieser Richtlinie ist ein Tastschnittgerät entsprechend DIN EN ISO 3274. Die Oberfläche des Normals muss sich parallel zur Vorschubrichtung ausrichten lassen. Das Koordinatensystem ist in Abb. 5 eingetragen.

4. Umgebungsbedingungen

Die Temperaturänderung während der Messung soll kleiner als $\pm 0,5$ K sein.

Die absolute Temperatur während der Messung soll zwischen 18 °C und 25 °C liegen und muss im Kalibrierschein angegeben werden.

Temperaturgradienten z.B. durch direkte Sonneneinstrahlung müssen vermieden werden.

Störungen durch Vibrationen müssen so gering sein, dass $Rz < 30$ nm ist, wenn die Rauheit auf einem guten optischen Planglas (Ebenheit $\leq \lambda/10$) gemessen wird.

5. Kalibrierung

Für die horizontale Kalibrierung des Normals wird die Kenngröße RSm ermittelt. Sie beschreibt den mittleren Abstand der Profilelemente, die als regelmäßige klar definierte Berge und Täler auf den im Kapitel 1 definierten Normalen angeordnet sind. Die für RSm angestellten Betrachtungen gelten genauso für PSm .

5.1 Kalibrierfähigkeit des Normals

Das Normal muss folgende Bedingungen einhalten:

- Das Normal soll nach Augenschein eben sein.
- Gesamtlänge des Profils und Länge der Profilelemente in Messrichtung müssen die Messbedingungen in DIN EN ISO 4288 erfüllen.
- Das Normal muss senkrecht zur Messrichtung so breit sein, dass die nötige Anzahl seitlich versetzter Messungen durchgeführt werden kann.


5.2 Vorbereitende Tätigkeiten

5.2.1 Reinigung

Das Normal kann mit einem weichen Mikrofaser-Tuch gereinigt werden, das mit Isopropanol angefeuchtet ist. Die Wischrichtung muss parallel zu den Rillen sein.

5.2.2 Überprüfung des Tastschnittgerätes

Die z-Achse des Gerätes muss überprüft werden, indem z.B. eine Rille eines Einstellnormals (DIN EN ISO 5436-1 Typ A) bzw. ein Geometrienormal (Typ C) gemessen wird. Der

	Kalibrieren von Geräten und Normalen für die Rauheitsmesstechnik – Blatt 3 http://dx.doi.org/10.7795/550.20170629DE	DKD-R 4-2 Blatt 3	
		Ausgabe:	07/2011
		Revision:	0
		Seite:	9 / 20

Anzeigewert einer vertikalen Kenngröße wie z.B. P_t oder d beim Typ A bzw. R_z beim Typ C darf um nicht mehr als 1 % vom kalibrierten Wert des Normal abweichen.

Zur Bestimmung der Messunsicherheit der aktuellen Messung muss u.a. das Grundrauschen des Gerätes bestimmt werden. Dazu wird fünfmal auf einer kratzerfreien Stelle eines Planglases R_{z0} unter denselben Messbedingungen bestimmt, die bei dem zu kalibrierenden Normal angewendet werden.

5.2.3 Kalibrierung der horizontalen Achse des Tastschnittgerätes

Die Kalibrierung der x-Achse des Gerätes muss sichergestellt sein. Dabei ist entsprechend DKD-R 4-2, Blatt 4 zu verfahren. An einem horizontalen Bezugnormal wird der Mittelwert $RSm(Bezug)$ mit denselben Messbedingungen (λ_c) wie auf dem zu kalibrierenden Normal bestimmt. Bei der Kalibrierung der horizontalen Achse ist nach dem gleichen Messstellenplan zu verfahren, nach dem das Bezugnormal kalibriert wurde. Mit dem Ergebnis wird ein

Korrekturfaktor $C = \frac{RSm_n}{RSm(Bezug)}$ für die nachfolgenden Messungen horizontaler Kenngrößen festgelegt.

5.3 Messbedingungen

Der Tastspitzenradius soll 2 μm bis 5 μm betragen, der Messpunktastand soll $\leq 0,5 \mu\text{m}$ sein. Die Vorschubgeschwindigkeit soll $\leq 0,5 \text{ mm/s}$ sein.

5.4 Messungen am zu kalibrierenden Normal

Es sind mindestens 12 Taststrecken auf dem Normal zu verteilen. Die Taststrecken sollten nur etwa 80 % der Länge bzw. Breite des Normal ausnutzen. Die Messstellenpläne, die in Abb. 2 als Beispiele gezeigt werden, berücksichtigen außerdem folgende Aspekte:

- Wiederholpräzision des Gerätes,
- Abweichungen der Profilelemente von der idealen Gestalt,
- Unsicherheit in der Positionierung der Messstellen in Hinblick auf die spätere Nutzung des Normal.

Neben diesen Messungen wird zur Berechnung der Messunsicherheit noch die Welligkeit des Normal durch eine Messung von \bar{W}_{t0} bestimmt, die parallel zu den Spuren des Messstellenplans auf der umgebenden Planfläche des Normal durchgeführt wird. Wenn das Normal keine Planflächen enthält, kann \bar{W}_{t0} auch an einer Taststrecke mit $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$ in der Mitte des Messstellenplans bestimmt werden. Aufgrund der begrenzten Filterwirkung des Wellenfilters bleibt dabei ein kleiner Teil des sinusförmigen Rauheitsprofils erhalten, der den Wert von \bar{W}_{t0} vergrößert. Die Größenrelation, die erfahrungsgemäß zwischen der zusätzlichen Rauheit und \bar{W}_{t0} besteht und der kleine Sensitivitätskoeffizient von \bar{W}_{t0} gestatten diese Vorgehensweise.

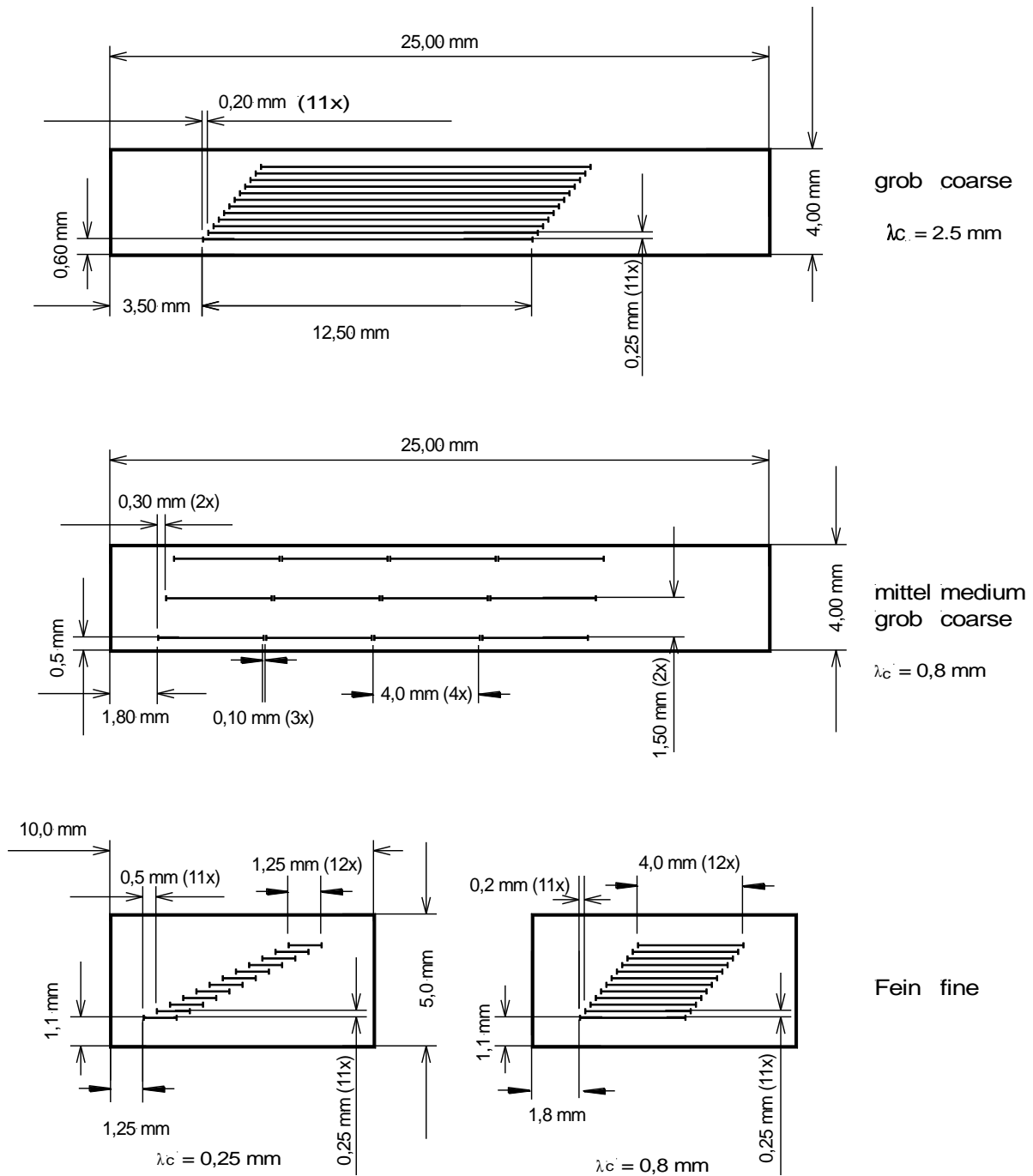



Abb. 2: Messstellenpläne für Geometriennormale vom Typ C (DIN EN ISO 5436-1)

5.5 Auswertung

- Aus den Messungen am Bezugsnormal wird der Mittelwert $RSm(Bezug)$ bestimmt und ggf. ein Korrekturfaktor $C = RSm_n / RSm(Bezug)$ für die nachfolgenden Messungen ermittelt. RSm_n wird aus dem Kalibrierschein des Bezugsnormals entnommen.

	Kalibrieren von Geräten und Normalen für die Rauheitsmesstechnik – Blatt 3 http://dx.doi.org/10.7795/550.20170629DE	DKD-R 4-2 Blatt 3	
		Ausgabe:	07/2011
		Revision:	0
		Seite:	11 / 20

- Aus den 12 Messungen auf dem zu kalibrierenden Normal wird der Mittelwert von $RSm(\text{Objekt})$, Standardabweichung, Minimum und Maximum bestimmt. Die Messergebnisse sind Bestandteil des Kalibrierscheins.
- Aus den 5 Planglasmessungen wird ein Mittelwert Rz_0 bestimmt. Das Ergebnis wird für die Berechnung der Messunsicherheit benötigt.

5.6 Zusammenfassung des Kalibriervorgangs


Ziel	Tätigkeit	Verwendeter Gegenstand	Ergebnis
Grundrauschen des Gerätes	5x Rz messen, mitteln	Planglas	Rz_0 für Messunsicherheitsberechnung
Horizontale Geräte-Kalibrierung	RSm entsprechend Messstellenplan des Bezugsnormals messen	Bezugs-Horizontalnormal	Kalibrierung überprüft oder Korrekturfaktor C bestimmt
Welligkeit des Messobjektes	Wt messen	Planbereich des Messobjektes	Wt_0 für Messunsicherheitsberechnung
Mittlere Periode des Messobjektes	12x RSm messen, mitteln	Messfläche des Messobjektes	Messergebnis von $RSm(\text{Objekt})$

Tabelle 1: Zusammenfassung der Kalibriertätigkeiten

5.7 Inhalt des Kalibrierscheins

Der Kalibrierschein muss folgende Angaben und Messergebnisse enthalten:

- Datum
- Temperatur
- Aufstellort des Messgerätes
- Typ des Kalibriergegenstandes entsprechend der Nomenklatur in DIN EN ISO 5436-1
- Verwendetes Messgerät und seine wesentlichen Komponenten wie Grundgerät, Vorschubeinheit, Taster
- Messbedingungen (Filter, Tastgeschwindigkeit, Tastspitze, Antastkraft, Messpunkt-abstand)
- Verwendetes Bezugsnormal und das Datum seiner letzten Kalibrierung (kann bei bei DKD-Kalibrierscheinen entfallen)
- Messstellenplan oder entsprechender Literatur-Bezug
- Beschreibung der Auswertung oder entsprechender Literatur-Bezug
- Mittelwert von RSm , Standardabweichung, Messunsicherheit, Minimum und Maximum (oder Range)

	Kalibrieren von Geräten und Normalen für die Rauheitsmesstechnik – Blatt 3 http://dx.doi.org/10.7795/550.20170629DE	DKD-R 4-2 Blatt 3	
		Ausgabe:	07/2011
		Revision:	0
		Seite:	12 / 20

6. Messunsicherheit

6.1 Modell

Die Standardunsicherheiten der Einflussgrößen, die die Unsicherheit des Kennwertes RSm beeinflussen, werden quadratisch addiert und die Summe mit dem Erweiterungsfaktor K multipliziert, der eine Überdeckungswahrscheinlichkeit von 95% gewährleistet. Entsprechend der Definition in der DIN EN ISO 4287 ist

$RSm = \frac{1}{n} \cdot \sum_i \Delta x_i$, wobei i die Nummer des i -ten Profilelements der Länge Δx_i ist. Da sich die Profilelemente nahtlos aneinander anschließen, lässt sich RSm auch über die Profillänge l definieren.

$RSm = \frac{1}{n} \cdot (x_e - x_a) = \frac{1}{n} \cdot l$, wobei die Profillänge l der Abstand zwischen dem Anfangspunkt (x_a) und Endpunkt (x_e) des ausgewerteten Teils der Messstrecke ist.

Für die Unsicherheit von RSm ist

$$u^2(RSm) = \frac{1}{n^2} [u^2(x_e) + u^2(x_a) + u^2(l)].$$

Die Unsicherheiten für den Start- und Endpunkt sind die gleichen, $u(x_a) = u(x_e) = u(x_i)$, so dass die Unsicherheit

$$u^2(RSm) = \frac{1}{n^2} \cdot [2 \cdot u^2(x_i) + u^2(l)] \text{ ist.} \quad \text{Gl. 1}$$

Die betrachteten x_a und x_e liegen so weit auseinander, dass sie durch das λ_s -Filter nicht korreliert werden. Durch das Welligkeitsfilter wiederum ist die Unsicherheit der Punkte des R-Profils praktisch gleich der Punkte des ungefilterten Profils (Bezug: /1/). Daher gelten diese Betrachtungen sowohl für RSm als auch für PSm .

Anmerkung

Nach der Überarbeitung der ISO 4287 im Jahr 2011 wird RSm aus einem Profildatensatz über die Messstrecke in Vorwärts- und in Rückwärtsrichtung ausgewertet und aus beiden Auswertungsrichtungen der Mittelwert gebildet. Die Vor- und Rückwärtsauswertungen sind miteinander korreliert, gleichzeitig gibt es eine doppelte Anzahl von auszuwertenden Profilelementen, so dass sich an der statistischen Betrachtung der Profilelemente nichts ändert. Die Messunsicherheit nach neuer RSm -Definition kann gegenüber der alten Definition einen kleineren Wert ergeben, da es bei der Zählung der Profilelemente in der Messstrecke weniger wegfallende Profilelemente gibt als bisher bei den Zählungen in den Einzelmessstrecken.

6.2 Unsicherheitskomponenten

Für die Positionsabweichungen der Punkte ist das folgende Modell gültig:


$$\Delta x_i = x_o + x_w + x_b + x_{dig}.$$

Die Einflussgrößen im Einzelnen:

- x_o Rauschen in der x-Position durch Rauschen des Antastsystems in vertikaler Richtung,
- x_w Positionsabweichung durch die Welligkeit W_{t_0} des Normalen,
- x_b Abweichung durch Bogenbewegung,
- x_{dig} Unsicherheit in der Festlegung eines Profilelementes aufgrund des Messpunkt- abstandes.

Für die Länge l der Messstrecke gilt das Modell

$$l = l_r + l_g.$$

	Kalibrieren von Geräten und Normalen für die Rauheitsmesstechnik – Blatt 3 http://dx.doi.org/10.7795/550.20170629DE	DKD-R 4-2 Blatt 3	
		Ausgabe:	07/2011
		Revision:	0
		Seite:	13 / 20

l_r richtige Länge

l_g Abweichung durch unbekannte Spitzenposition in Vorschubrichtung

6.2.1 Unsicherheitskomponenten im Detail

6.2.1.1 Rückführung

Diese Komponente beschreibt die Unsicherheit der Weitergabe der Längeneinheit an die horizontale Achse des Gerätes. Sie enthält:

1. Die Unsicherheit des horizontalen Skalierungsfaktors, der während der Gerätekalibrierung durch die Bestimmung von RSm über die Profillänge $l = n \cdot RSm$ an einem Bezugsnormal ermittelt wird. Neben der Längeneinheit wird also die Unsicherheit des Bezugsnormals $u(RSm_n)$ weitergegeben, die in dessen Kalibrierschein ausgewiesen ist.
2. Es muss berücksichtigt werden, dass die Messposition auf dem Bezugsnormal während der Kalibrierung des Instrumentes eine andere sein kann als während der Kalibrierung des Bezugsnormals. Ein Schätzwert für die Unsicherheit wird aus der Standardabweichung ermittelt, die sich aus der Messung von RSm über die Profillänge $l = n \cdot RSm$ an den m_i Positionen ergibt, an denen das Bezugsnormal laut Kalibrierschein kalibriert wurde.

$$u^2(l_r) = n^2 \cdot u^2(RSm_n) + \frac{n^2}{m_i} \cdot s^2(RSm(Bezug))$$

Beide Varianzen haben eine gaußförmige Wahrscheinlichkeitsverteilung.

6.2.1.2 Messposition

Die unvollständige Kenntnis über die Position der Profillänge l auf dem Messobjekt enthält eine zufällige und eine systematische Komponente.

$$u^2(l_g) = u_s^2(l_g) + u_t^2(l_g)$$

Ein Schätzwert für den zufälligen Teil ist die Standardabweichung des Mittelwertes von m_i Messungen der Profillänge l mit der Annahme einer Gaußschen Wahrscheinlichkeitsverteilung.

$$u_s^2(l_g) = \frac{n^2}{m_i} \cdot s^2(\overline{RSm(Objekt)})$$

Der systematische Teil ergibt sich aus dem Einfluss des Temperaturunterschiedes zwischen Kalibrierung und Nutzung des Bezugsnormals. Der Wärmeausdehnungskoeffizient α des Trägermaterials kann zwar berücksichtigt werden um eine geänderte Länge auszurechnen, aber die Unsicherheit $u(\alpha)$ und der Temperaturunterschied ΔT müssen als Unsicherheitsquellen für RSm berücksichtigt werden. Die Wahrscheinlichkeitsverteilung ist rechteckförmig.

$$u_t^2(l_g) = \frac{1}{12} \cdot (\Delta T \cdot u(\alpha) \cdot l)^2$$

6.2.1.3 Messpunktastand

Der Nulldurchgang des Signals zur Lokalisierung eines Profilelementes kann nur mit einer Abweichung bis zu $\pm \Delta x / 2$ festgestellt werden. Die daraus entstehende Unsicherheit hat eine

Gleichverteilung mit Δx als Spanne. Die Varianz dieses Beitrags zu einer Einzelposition ist dann

$$u^2(x_{dig}) = \frac{1}{12} (\Delta x)^2.$$

6.2.1.4 Rauschen

Aufgrund der Steigung des Profils beim Durchgang durch die Nulllinie führt ein vertikales Rauschen zu einer Unsicherheit in der horizontalen Messung (S. Abb. 3). Daher gilt das nachfolgend skizzierte Modell für x_0 . Wenn das vertikale Rauschen durch Rz_0 charakterisiert

wird, ist $x_0 = \frac{Rz_0}{\sigma}$. Hier ist $\sigma = Pt \cdot \frac{\pi}{p}$, die Profilsteigung im Nulldurchgang des Sinus-Profiles

und p die Wellenlänge eines Profilelementes. Unter der Annahme einer rechteckförmigen Wahrscheinlichkeitsverteilung ist

$$u^2(x_0) = \frac{1}{12} \cdot \left(\frac{Rz_0}{\sigma} \right)^2.$$

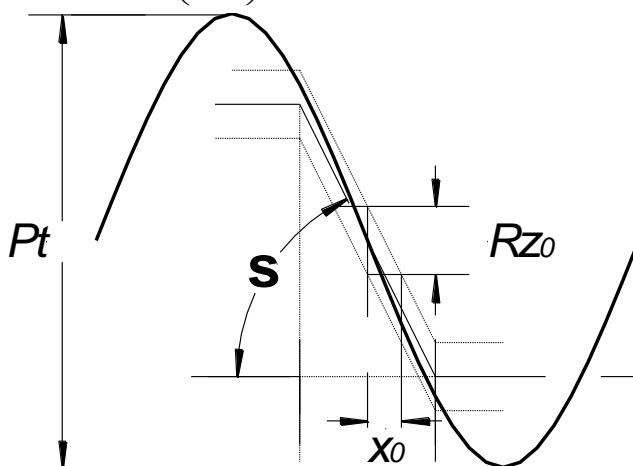


Abb. 3: Einfluss des Grundrauschens auf die Profilelemente

6.2.1.5 Welligkeit

Durch Welligkeit der Normaloberfläche trifft die Mittellinie benachbarte Profilelemente in verschiedenen Höhen (Siehe Abb. 4).

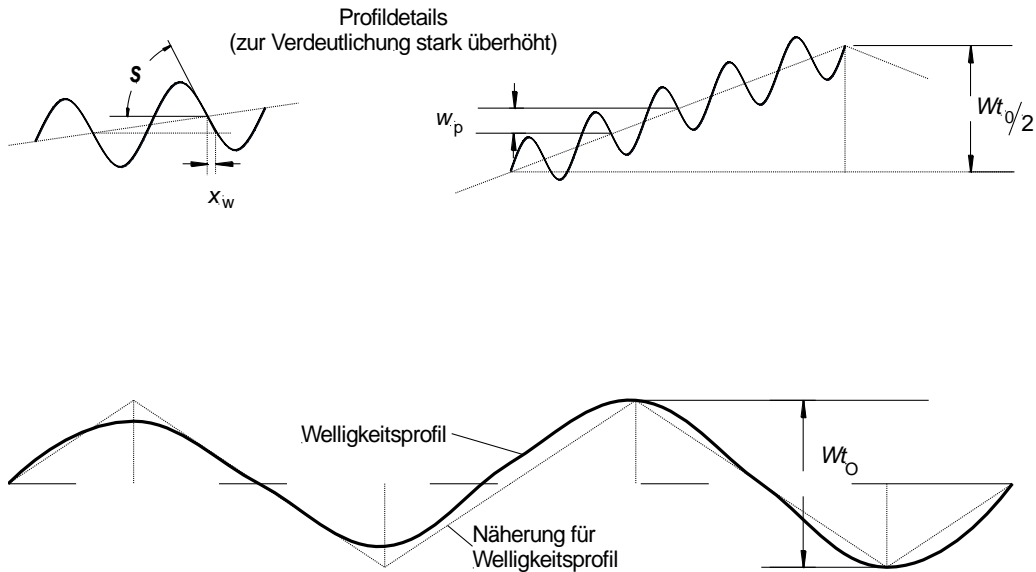


Abb. 4: Einfluss der Welligkeit auf die Profilelemente

Die damit verbundene seitliche Verschiebung des Nulldurchganges ist $x_w = \frac{w_p}{\sigma}$. Nachfolgend wird abgeschätzt, welcher Anteil der Welligkeit des Normalen sich auf den Höhenunterschied benachbarter Profilelemente auswirkt. Erfahrungsgemäß enthält das Welligkeitsprofil zwei Perioden, die als sinusförmig angenähert werden. Das Profil verteilt sich auf ca. 40 Profilelemente. Durch Dreiecke stückweise linearisiert besteht das Welligkeitsprofil aus acht Dreiecken der Höhe $Wt_0 / 2$, die jeweils fünf Profilelemente lang sind. Dann ist der maximale

Höhenunterschied benachbarter Profilelemente w_p ein Fünftel von $Wt_0 / 2$, also $w_p = \frac{1}{10} \cdot Wt_0$.

Unter Annahme einer Rechteckverteilung ist die Varianz für die Verschiebung des Nulldurchganges

$$u^2(x_w) = \frac{1}{12} \cdot \left(\frac{Wt_0}{10 \cdot \sigma} \right)^2.$$

6.2.1.6 Bogenbewegung

In vielen Tastschnittgeräten ist der Übertragungsmechanismus von der Tastspitzenbewegung zum Wegaufnehmer die Winkelbewegung eines Hebels (Länge L). Die durch den Oberflächenkontakt erzwungene vertikale Bewegung ist mit einer bogenförmigen Bewegung der Tastspitze in Abhängigkeit von der Höhenänderung dz verbunden. (Siehe Abb. 5). Dabei kann der Hebel gegenüber der Oberfläche um einen Winkel geneigt sein, der in Abb. 5 dem mittleren Winkel $\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$ entspricht. Ohne Beschränkung der Allgemeinheit kann α_2 auch null sein (Hebelarm in der Ausgangsposition parallel zur x-Achse).

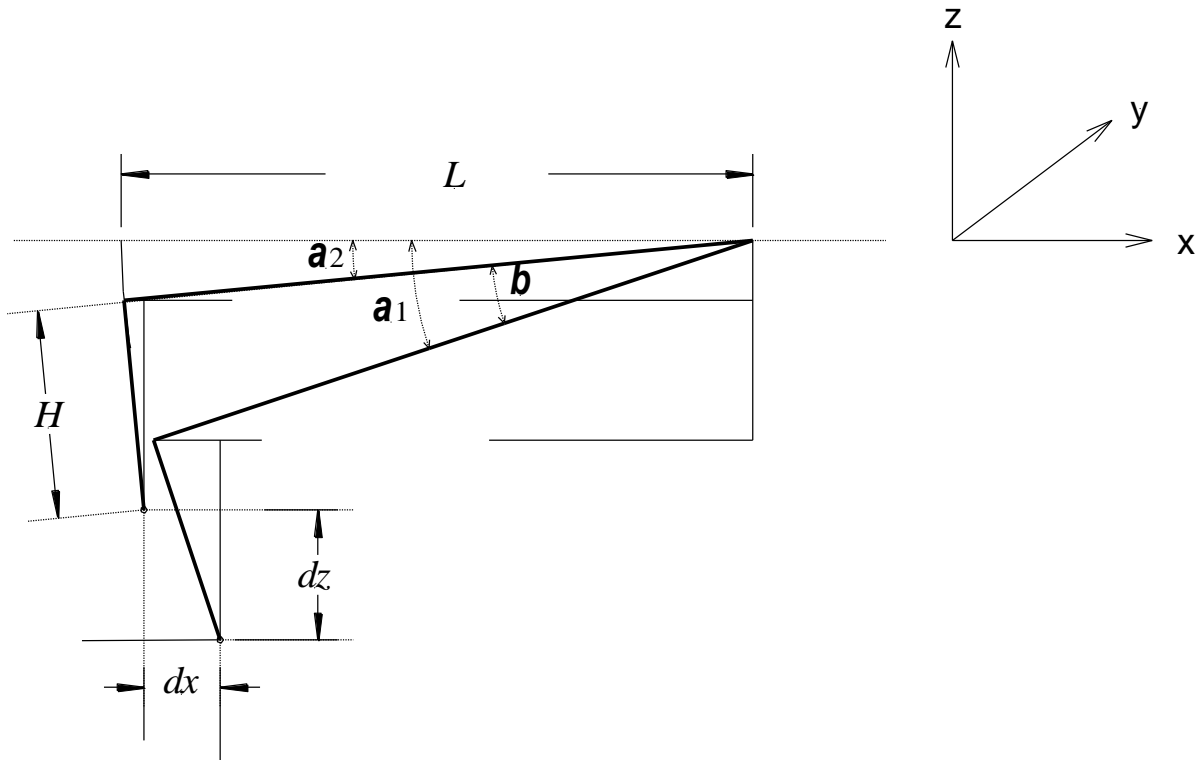


Abb. 5: Einfluss der Bogenbewegung

Die Bewegung der Tastspitze, die um die Höhe dz ausgelenkt wird, ist die Kombination aus der Drehung des Hebelarmes auf einem Kreisbogen um den Winkel β und einer Kippung der Tastspitzenachse der Länge H vom Winkel α_1 zum Winkel α_2 . Die resultierende horizontale Komponente der Tastspitzenbewegung ist

$$dx = \left[\frac{H}{L} + \tan\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right) \right] \cdot dz.$$

Für ein ideales Normal ist diese Abweichung dieselbe für jedes Profilelement und würde somit keine Auswirkung auf eine horizontale Abstandskenngröße wie RS_m haben. Jedoch für ein Normal mit Ebenheitsabweichungen stellt dz die Höhenänderung zwischen benachbarten Profilelementen durch Welligkeit dar.

Die Höhenänderung benachbarter Profilelemente durch lokale Welligkeit wurde in Kap. 6.2.1.5 zu $u(w_p) = \frac{1}{10} \cdot Wt_0$ abgeschätzt. Der damit verbundene Bogenfehler führt zu einer

Unsicherheit in x-Richtung, die unter der Annahme einer rechteckförmigen Wahrscheinlichkeitsverteilung

$$u^2(x_b) = \frac{1}{12} \cdot \left(\frac{Wt_0}{10}\right)^2 \cdot \left[\frac{H}{L} + \tan\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right)\right]^2 \text{ beträgt.}$$

6.3 Kombinierte Unsicherheit


Werden die Unsicherheitskomponenten aus Kapitel 6.2.1 in Gleichung 1 eingesetzt, ist

$$\begin{aligned}
 u^2(RSm) &= \frac{1}{n^2} \cdot \left\{ n^2 \cdot u^2(RSm_n) + \frac{n^2}{m_t} \cdot s^2(RSm(Bezug)) + \frac{n^2}{m_t} \cdot s^2(\overline{RSm(Objekt)}) + \right. \\
 &\quad \left. \frac{1}{12} \cdot (\Delta T \cdot u(\alpha) \cdot l)^2 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} (\Delta x)^2 + \frac{1}{12} \cdot \left(\frac{Rz_0}{\sigma} \right)^2 + \frac{1}{12} \cdot \left(\frac{Wt_0}{10 \cdot \sigma} \right)^2 + \right. \right. \\
 &\quad \left. \left. \frac{1}{12} \cdot \left(\frac{Wt_0}{10} \right)^2 \cdot \left[\frac{H}{L} + \tan\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right) \right]^2 \right) \right\} \\
 u^2(RSm) &= u^2(RSm_n) + \frac{1}{m_t} \cdot s^2(RSm(Bezug)) + \frac{1}{m_t} \cdot s^2(\overline{RSm(Objekt)}) + \\
 &\quad \frac{1}{12} \cdot (\Delta T \cdot u(\alpha) \cdot RSm_n)^2 + \frac{1}{6 \cdot n^2} (\Delta x)^2 + \frac{1}{6 \cdot n^2} \cdot \left(\frac{Rz_0}{\sigma} \right)^2 + \frac{1}{6 \cdot n^2} \cdot \left(\frac{Wt_0}{10 \cdot \sigma} \right)^2 + \\
 &\quad \frac{1}{6 \cdot n^2} \cdot \left(\frac{Wt_0}{10} \right)^2 \cdot \left[\frac{H}{L} + \tan\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right) \right]^2 \qquad \qquad \qquad \text{Gl. 2}
 \end{aligned}$$

In Tabelle 2 sind beispielhaft die Unsicherheitskomponenten bei der Kalibrierung eines Geometrienormals mit einer Periode von $RSm = 200 \mu\text{m}$ und einer Amplitude von $Pt = 10 \mu\text{m}$ entsprechend Gleichung 2 mit typischen Werten zusammengestellt.

6.4 Tabelle der Unsicherheitskomponenten

Kap.	Kurzbezeichnung	Bestimmt durch	Eingangsgrößen Beispielwert	Methode Verteilg.	Varianz /nm ²
6.2.1.1	Bezugsnormal	$u^2(RSm_n)$	$u(RSm_n) = 2 \text{ nm}$	B Gauß	4
6.2.1.1	Kalibrierposition	$\frac{1}{m_t} \cdot s^2(RSm(Bezug))$	$s(RSm(Bezug)) = 50 \text{ nm}, m_t = 12$	A Gauß	208
6.2.1.2	Statistik Objekt	$\frac{1}{m_t} \cdot s^2(\overline{RSm(Objekt)})$	$s(RSm(Objekt)) = 50 \text{ nm}, m_t = 12$	A Gauß	208
6.2.1.2	Temperatur Objekt	$\frac{1}{12} \cdot (\Delta T \cdot u(\alpha) \cdot RSm_n)^2$	$\Delta T = 3 \text{ K}$ $u(\alpha) = 1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	B Rechteck	0,03
6.2.1.3	Messpunkt- abstand	$u^2(x_{dig}) = \frac{1}{6 \cdot n^2} \cdot (\Delta x)^2$	$n = 40$ $\Delta x = 500 \text{ nm}$	B Rechteck	26
6.2.1.4	Rauschen	$\frac{1}{6 \cdot n^2} \cdot \left(\frac{Rz_0}{\sigma} \right)^2$	$Rz_0 = 10 \text{ nm}$ $\sigma = 0,314$	A Rechteck	0,1
6.2.1.5	Welligkeit	$\frac{1}{6 \cdot n^2} \cdot \left(\frac{Wt_0}{10 \cdot \sigma} \right)^2$	$Wt_0 = 20 \text{ nm}$	A Rechteck	0,02

	Kalibrieren von Geräten und Normalen für die Rauheitsmesstechnik – Blatt 3 http://dx.doi.org/10.7795/550.20170629DE	DKD-R 4-2 Blatt 3	
		Ausgabe:	07/2011
		Revision:	0
		Seite:	18 / 20

Kap.	Kurzbezeichnung	Bestimmt durch	Eingangsgrößen Beispielwert	Methode Verteilg.	Varianz /nm ²
6.2.1.6	Bogenbewegung	$\frac{1}{6 \cdot n^2} \cdot \left(\frac{Wt_0}{10}\right)^2 \cdot \left[\frac{H}{L} + \tan\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right)\right]^2$	$L = 10 \text{ mm}$ $H = 1,5 \text{ mm}$ $\tan\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right) = 0,3$	B Rechteck	≈ 0
6.2.1.6	Bogenbewegung	$\frac{1}{6 \cdot n^2} \cdot \left(\frac{Wt_0}{10}\right)^2 \cdot \left[\frac{H}{L} + \tan\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right)\right]^2$	$L = 10 \text{ mm}$ $H = 1,5 \text{ mm}$ $\tan\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right) = 0,3$	B Rechteck	≈ 0
6.3	$u^2(RSm)$	Summe der Varianzen			446,15
6.1	$u(RSm)$				21 nm
6.1	$U(RSm)$	$2 \cdot u(RSm)$	$K=2$		42 nm
	$U_{rel}(RSm)$	$U(RSm) / RSm$			$2 \cdot 10^{-4}$

Tabelle 2: Zusammenstellung der Messunsicherheitskomponenten mit Beispielwerten


Die Sensitivitätskoeffizienten sind alle gleich 1.

6.5 Vereinfachung

In Gleichung 2 können zur Vereinfachung der Rechnung die kleinsten Summanden vernachlässigt werden. Trotz ihres kleinen Wertes in Tabelle 2 gilt dies allerdings nicht für die Summanden „Bezugsnormal“ und „Messpunktastand“, die je nach vorliegendem Fall auch sehr viel größere Werte als in der Tabelle 1 annehmen können.

$$\begin{aligned}
 u^2(RSm) = & u^2(RSm_n) + \frac{1}{m_t} \cdot s^2(RSm(Bezug)) + \frac{1}{m_t} \cdot s^2(RSm(Objekt)) \\
 & + \frac{1}{6 \cdot n^2} (\Delta x)^2 + \frac{1}{6 \cdot n^2} \cdot \left(\frac{Rz_0}{\sigma}\right)^2
 \end{aligned}
 \tag{Gl. 3}$$

Da die vernachlässigten Anteile etwa 0,01 % Anteil an der Gesamtvarianz haben, sollte die Unsicherheit von RSm aufgerundet werden.

	Kalibrieren von Geräten und Normalen für die Rauheitsmesstechnik – Blatt 3 http://dx.doi.org/10.7795/550.20170629DE	DKD-R 4-2 Blatt 3	
		Ausgabe:	07/2011
		Revision:	0
		Seite:	19 / 20

7. Zitierte Normen und weitere Bezüge

Norm bzw. Bezug	Titel, Stichworte zum Inhalt
DIN 1319 - 3	Grundbegriffe der Messtechnik; Begriffe für die Messunsicherheit und für die Beurteilung von Messgeräten und Messeinrichtungen
DIN 1319 - 4	Grundbegriffe der Messtechnik; Behandlung von Unsicherheiten bei der Auswertung von Messungen
DIN 4768 (1974) (zurückgezogen)	Ermittlung der Rauheitskenngößen R_a , R_z , R_{max} mit elektrischen Tastschnittgeräten; Begriffe, Messbedingungen
DIN 4768 (1990) (zurückgezogen)	Ermittlung der Rauheitskenngößen R_a , R_z , R_{max} mit elektrischen Tastschnittgeräten; Begriffe, Messbedingungen
DIN V 32950 (04.97) ISO/TR 14638	Geometrische Produktspezifikation (GPS) Übersicht
DIN EN ISO 3274 (04.1998)	Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren Nenneigenschaften von Tastschnittgeräten
DIN EN ISO 4287 (10.98)	Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit
DIN EN ISO 4288 (04.1998)	Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren; Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit
DIN EN ISO 5436-1 (11.2000)	Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren; Normale; Teil 1 Maßverkörperungen
DIN EN ISO 5436-2 (2.2000)	Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren; Normale; Teil 2 Software-Normale
DIN EN ISO 11562 (09.98)	Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren Messtechnische Eigenschaften von phasenkorrekten Filtern
DIN EN ISO 12179 (11.2000)	Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren Kalibrierung von Tastschnittgeräten
DIN EN ISO 13565-1 (06.1998)	Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren; Oberflächen mit plateauartigen funktionsrelevanten Eigenschaften Teil 1: Filterung und allgemeine Messbedingungen
DIN EN ISO 13565-2 (04.1998)	Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren; Oberflächen mit plateauartigen funktionsrelevanten Eigenschaften Teil 2: Beschreibung der Höhe mittels linearer Darstellung der Materialanteilkurve
DAkS-DKD-3 (2010)	Messunsicherheit beim Kalibrieren
DKD-R 4-2 Blatt 2	Kalibrieren von Messgeräten und Normalen für die Rauheitsmesstechnik, Blatt 2: Kalibrieren des vertikalen Messsystems von Tastschnittgeräten
EA-4/02	Evaluation of the Uncertainty of Measurement in Calibration
/1/	M. Krystek: Einfluss des Wellenfilters auf die Unsicherheit eines Messergebnisses bei Rauheitsmessungen. Tagungsband der DIN-Tagung „GPS 99“, 5.-6.-Mai 1999, Mainz, S. 4-1 – 4-11. Beuth-Verlag, ISBN 3-410-14534-6
EAL-G20	Calibration of stylus instruments for measuring surface roughness, ed. 1, 1996.
ISO/DIS 25178-601	Geometrical product specification (GPS) — Surface texture : Areal — Part 601: Nominal characteristics of contact (stylus) instruments



Herausgeber:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Arbeitsgruppe Q.02 Deutscher Kalibrierdienst
Bundesallee 100
38116 Braunschweig

www.dkd.eu
www.ptb.de