

Physikalisch- Technische Bundesanstalt



DKD

**Directriz
DKD-R 4-2**

Hoja 3

**La calibración de instrumentos y
patrones para la medición de la
rugosidad**

**Calibración de patrones con perfiles periódicos
en dirección horizontal mediante instrumentos de
contacto con palpador**

Edición 7/2011

<https://doi.org/10.7795/550.20220503>



	<p>La calibración de instrumentos y patrones para la medición de la rugosidad – Hoja 3</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20220503</p>	DKD-R 4-2 Hoja 3	
		Edición:	07/2011
		Revisión:	0
		Página:	2 / 21

Deutscher Kalibrierdienst (DKD) – Servicio Alemán de Calibración

Constituido en 1977, el DKD reúne a laboratorios de calibración de empresas industriales, de institutos de investigación, de autoridades técnicas, así como de instituciones de inspección y ensayo. El 3 mayo de 2011, se realizó la constitución del nuevo DKD como Organismo Técnico del PTB y de los laboratorios acreditados.

Este organismo se denomina *Deutscher Kalibrierdienst* (DKD, por sus siglas en alemán) y está bajo la dirección del PTB. Las directrices y guías elaboradas por el DKD representan el estado de la técnica en los respectivos campos técnicos y están a la disposición del organismo de acreditación alemán (*Deutsche Akkreditierungsstelle GmbH, DAkkS*) para la acreditación de laboratorios de calibración.

Los laboratorios de calibración acreditados son acreditados y supervisados por la DAkkS como sucesora legal del organismo de acreditación del DKD. Realizan calibraciones de dispositivos de medición y de medidas materializadas para las magnitudes y rangos de medida establecidos durante la acreditación. Los certificados de calibración emitidos por estos laboratorios sirven como prueba de la trazabilidad a los patrones nacionales, tal como lo exige la familia de normas DIN EN ISO 9000 y la norma DIN EN ISO/IEC 17025.

Contacto:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB)

Oficina del DKD

Bundesallee 100 D-38116 Braunschweig

Apartado de correos D-38023 Braunschweig

Teléfono: +49 531 5 92-8021

Internet: www.dkd.eu

	<p>La calibración de instrumentos y patrones para la medición de la rugosidad – Hoja 3</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20220503</p>	DKD-R 4-2 Hoja 3	
		Edición:	07/2011
		Revisión:	0
		Página:	3 / 21

Sugerencia para citar la fuente:

Directriz DKD-R 4-2 La calibración de instrumentos y patrones para la medición de la rugosidad, Hoja 3 Calibración de patrones con perfiles periódicos en dirección horizontal mediante instrumentos de contacto con palpador, Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Braunschweig y Berlin. DOI: 10.7795/550.20220503

Esta obra, incluyendo cada una de sus partes, está protegida por derechos del autor y está sujeta a la licencia de usuario CC by-nc-nd 3.0 (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/de/>). En este contexto, la expresión “no comercial” (NC) significa que la obra no debe ser distribuida o puesta a disposición del público con el fin de generar ingresos. La explotación de los contenidos para el uso comercial en los laboratorios está expresamente permitida.



Autores: Los miembros del Subcomité Técnico *Longitud*.

Publicado por el Servicio Alemán de Calibración (DKD), bajo los auspicios del Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) y como resultado de la cooperación entre el PTB y los laboratorios de calibración acreditados junto con el Comité Técnico *Longitud*.

	<p>La calibración de instrumentos y patrones para la medición de la rugosidad – Hoja 3</p> <p>https://doi.org/10.7795/550.20220503</p>	DKD-R 4-2 Hoja 3	
		Edición:	07/2011
		Revisión:	0
		Página:	4 / 21

Prefacio

Las Directrices del DKD son documentos de uso o aplicación en conformidad con los requisitos de la norma DIN EN ISO/IEC 17025. Las Directrices describen procesos técnicos, de procedimiento y de organización que sirven a los laboratorios de calibración acreditados como modelo para el establecimiento de procedimientos y reglamentos internos. Las Directrices del DKD pueden formar parte de los manuales de gestión de la calidad de los laboratorios de calibración. La implementación de las directrices garantiza que los dispositivos que han de ser calibrados se traten de forma igual en los distintos laboratorios de calibración y ayuda a mejorar la continuidad y la verificabilidad del trabajo de los laboratorios de calibración.

Las Directrices del DKD no deben impedir la continuidad del desarrollo de los métodos y de los procesos de calibración. Cuando existen motivos técnicos que lo justifiquen y de acuerdo con el organismo de acreditación, se permiten desviaciones respecto de las Directrices, así como la aplicación de métodos nuevos.

Las calibraciones realizadas por laboratorios acreditados proporcionan al usuario la seguridad de obtener resultados de medición fiables, aumentan la confianza de los clientes y la competitividad en el mercado nacional e internacional. Además, sirven de base metrológica para el control de los equipos de medición y ensayo en el marco de las medidas de control de calidad.

La presente Directriz ha sido elaborada por el Comité Técnico *Longitud* y aprobada por la Junta Directiva del DKD.

Índice

1. Ámbito de aplicación	6
2. Términos y definiciones.....	7
2.1 Términos procedentes de normas.....	7
2.2 Términos y abreviaturas utilizados aquí	7
3. Equipo de medición.....	8
4. Condiciones ambientales	8
5. Calibración	8
5.1 Aptitud del patrón a ser calibrado	8
5.2 Actividades preparatorias.....	8
5.2.1 Limpieza.....	8
5.2.2 Inspección del rugosímetro con palpador de contacto.....	9
5.2.3 Calibración del eje horizontal del rugosímetro con palpador de contacto	9
5.3 Condiciones de medición	9
5.4 Mediciones en el patrón a calibrar.....	9
5.5 Evaluación	10
5.6 Resumen de la calibración	11
5.7 Contenido del certificado de calibración	11
6. Incertidumbre de medida.....	12
6.1 Modelo	12
6.2 Componentes de la incertidumbre.....	12
6.2.1 Componentes de la incertidumbre, en detalle	13
6.3 Incertidumbre combinada.....	17
6.4 Tabla de los componentes de la incertidumbre	17
6.5 Simplificación	18
7. Normas citadas y otras referencias	19

1. **Ámbito de aplicación**

La longitud en la dirección del avance (eje x) se determina en muchos instrumentos de contacto con palpador asumiendo una velocidad de avance constante y a base de un intervalo de muestreo fijo. Para la calibración del eje horizontal, por lo tanto, se debe establecer una cadena de trazabilidad a la unidad de longitud. Esta hoja 3 de la Directriz describe la calibración de parámetros horizontales como RSm en patrones de superficie con perfil regular del tipo C según la norma DIN EN ISO 5436-1 (en lenguaje común “patrones de geometría”). Este proceso corresponde al tercer paso de la cadena de trazabilidad mostrada en la Figura 1. Los patrones así calibrados se utilizan para la calibración del eje horizontal de los instrumentos de contacto con palpador. Este paso se describe en la Hoja 4 de la Directriz 4-2. A través de la diseminación de la unidad de longitud mediante patrones incorporados, se incluye toda la cadena de medición -desde la punta de palpado a la pantalla- durante la calibración.

Otras normas y reglamentos aplicables

JCGM 100: 2008	Evaluation of measurement data – Guide to the expression of uncertainty in measurement, September 2008 (Evaluación de los datos de medición - Guía para la expresión de la incertidumbre en la medición, septiembre de 2008)
DAkS-DKD-3	Angabe der Messunsicherheit bei Kalibrierungen, 2010 (Especificación de la incertidumbre de medida en las calibraciones, 2010)
DKD-R 4-2	Kalibrieren von Geräten und Normalen für die Rauheitsmesstechnik Blatt 1: Kalibrieren von Normalen für die Rauheitsmesstechnik (La calibración de instrumentos y patrones para la medición de la rugosidad Hoja 1: La calibración de patrones para la metrología de rugosidad)

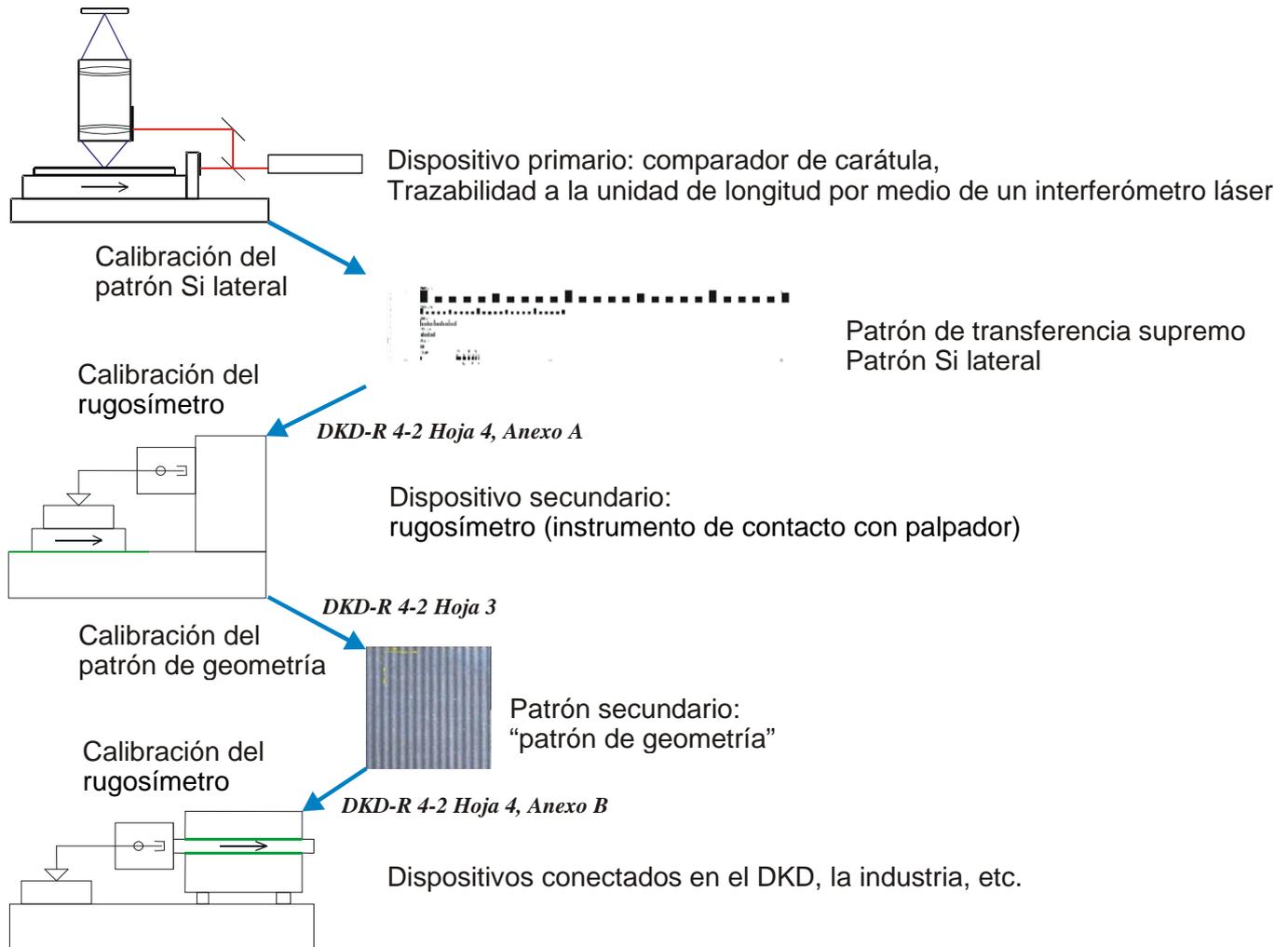


Figura 1: La disseminación de la unidad de longitud en dirección horizontal en la medición de la rugosidad

2. Términos y definiciones

2.1 Términos procedentes de normas

Términos para la caracterización de los instrumentos de medición de superficie se toman de la DIN EN ISO 3274 e ISO / DIS 25178 a 601, las definiciones de parámetros de la superficie de la norma DIN EN ISO 4287 y las condiciones de medición se especifican en conformidad con la norma DIN EN ISO 4288. Especificaciones para la calibración de los instrumentos de contacto con palpador se hacen de acuerdo con la norma DIN EN ISO 12179.

2.2 Términos y abreviaturas utilizados aquí

R_{z0}	Ruido de fondo del instrumento
W_{t0}	Perfil ondulado del patrón respecto a la distancia medida ln
L	Longitud del brazo de palanca que lleva la punta de palpado
H	Altura del palpador
RSm_n	RSm del patrón de referencia utilizado para establecer la trazabilidad (de su certificado de calibración)

	La calibración de instrumentos y patrones para la medición de la rugosidad – Hoja 3 https://doi.org/10.7795/550.20220503	DKD-R 4-2 Hoja 3	
		Edición:	07/2011
		Revisión:	0
		Página:	8 / 21

$RSm(referencia)$ Parámetro actual medido en el patrón de referencia

$RSm(objeto)$ Parámetro medido en el objeto a calibrar

Δx Distancia entre los puntos de medida

l Longitud del perfil: parte de la distancia medida incluido en la evaluación de RSm

n Número de los elementos del perfil que se han incluido en la evaluación de RSm

σ pendiente del perfil en el paso de cero

p Longitud de onda de los elementos de perfil

3. Equipo de medición

El dispositivo de medición para la aplicación de la presente Directriz es un rugosímetro con palpador de contacto según la norma DIN EN ISO 3274. La superficie del patrón debe ser alineada paralelamente a la dirección de avance. El sistema de coordenadas se introduce en la Fig. 5.

4. Condiciones ambientales

El cambio de temperatura durante la medición debería ser inferior a $\pm 0,5$ K.

La temperatura absoluta durante la medición se debe mantener entre 18 °C y 25 °C y debe ser indicada en el certificado de calibración.

Gradientes de temperatura causados, por ejemplo, por la luz solar directa deben evitarse.

Las perturbaciones debido a las vibraciones deben ser tan baja que Rz es < 30 nm, cuando la rugosidad se mide en un buen vidrio plano óptico (planicidad $\leq \lambda/10$).

5. Calibración

Para la calibración horizontal del patrón, se determina el valor característico RSm . Describe la distancia media de los elementos de perfil que están colocados como picos y valles claramente definidos sobre los patrones definidos en capítulo 1. Las consideraciones realizadas para RSm se aplican igualmente a PSm .

5.1 Aptitud del patrón a ser calibrado

El patrón debe cumplir con las siguientes condiciones:

- El patrón debe ser plano, lo cual se compruebe mediante una inspección visual.
- La longitud total del perfil y la longitud de los elementos de perfil en la dirección de la medición deben cumplir con las condiciones de medición expuestas en la norma DIN EN ISO 4288.
- Perpendicular a la dirección de medición, el patrón debe ser lo suficientemente ancho para poder realizar el número necesario de mediciones desplazadas lateralmente.

5.2 Actividades preparatorias

5.2.1 Limpieza

El patrón se puede limpiar con un paño de microfibras humedecido con isopropanol. La dirección de limpieza debe ser paralela a las ranuras.

	La calibración de instrumentos y patrones para la medición de la rugosidad – Hoja 3 https://doi.org/10.7795/550.20220503	DKD-R 4-2 Hoja 3	
		Edición:	07/2011
		Revisión:	0
		Página:	9 / 21

5.2.2 Inspección del rugosímetro con palpador de contacto

El eje z del dispositivo debe ser comprobado midiendo, por ejemplo, una ranura de un patrón de ajuste (DIN EN ISO 5436-1 tipo A) o un patrón de geometría (tipo C). El valor de indicación de una variable característica vertical como, por ejemplo, Pt o d en el tipo A o Rz en el tipo C no deberá diferir en más de 1% del valor calibrado del patrón.

Para la determinación de la incertidumbre de medida de la medición actual se debe determinar, entre otras cosas, el ruido de fondo del dispositivo. Para ello, Rz_0 debe ser determinada cinco veces. Esto se realiza en un vidrio plano libre de arañazos y bajo las mismas condiciones aplicadas en la calibración del patrón a calibrar.

5.2.3 Calibración del eje horizontal del rugosímetro con palpador de contacto

Se debe garantizar la calibración del eje x del dispositivo. En este contexto, hay que proceder conforme a la directriz DKD-R 4-2, Hoja 4. Se determina el valor medio $RSm(\text{referencia})$ en un patrón de referencia horizontal; esto se hace bajo las mismas condiciones de medición (λ_c) como en el patrón a calibrar. Al calibrar el eje horizontal, se procede de la misma manera que en la calibración del patrón de referencia, es decir siguiendo el mismo plan de puntos de medición. Con el resultado, se determina un factor de corrección $C = \frac{RSm_n}{RSm(\text{referencia})}$ para

las mediciones posteriores de parámetros horizontales.

5.3 Condiciones de medición

El radio de la punta de palpado debe ser de 2 μm a 5 μm , la distancia de los puntos de medición debe ser $\leq 0,5 \mu\text{m}$. La velocidad de avance debe ser $\leq 0,5 \text{ mm/s}$.

5.4 Mediciones en el patrón a calibrar

En el patrón hay que distribuir al menos 12 recorridos de palpado. Los recorridos de palpado deberían utilizar sólo alrededor del 80% de la longitud o anchura del patrón. Los planes de puntos de medición, que se muestran en la Fig. 2 como ejemplos, también consideran los siguientes aspectos:

- la repetibilidad del dispositivo,
- las desviaciones de los elementos de perfil de la forma ideal,
- la incertidumbre en el posicionamiento de los puntos de medición con respecto a la utilización futura del patrón.

Además de estas mediciones, se determina todavía el perfil ondulado del patrón mediante una medición de Wt_0 para calcular la incertidumbre de medida. Esta medición de Wt_0 se lleva a cabo paralelamente a las pistas del plano de puntos de medición sobre la superficie plana circundante del patrón. Si el patrón no contiene superficies planas, Wt_0 puede ser determinado en un recorrido de palpado con $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$ en el centro del plan de puntos de medición. Debido al efecto de filtrado limitado, se mantiene una pequeña parte del perfil de rugosidad sinusoidal que aumenta el valor de Wt_0 . La relación de tamaño que normalmente existe entre la rugosidad adicional y Wt_0 , y el pequeño coeficiente de sensibilidad de Wt_0 permiten este procedimiento.

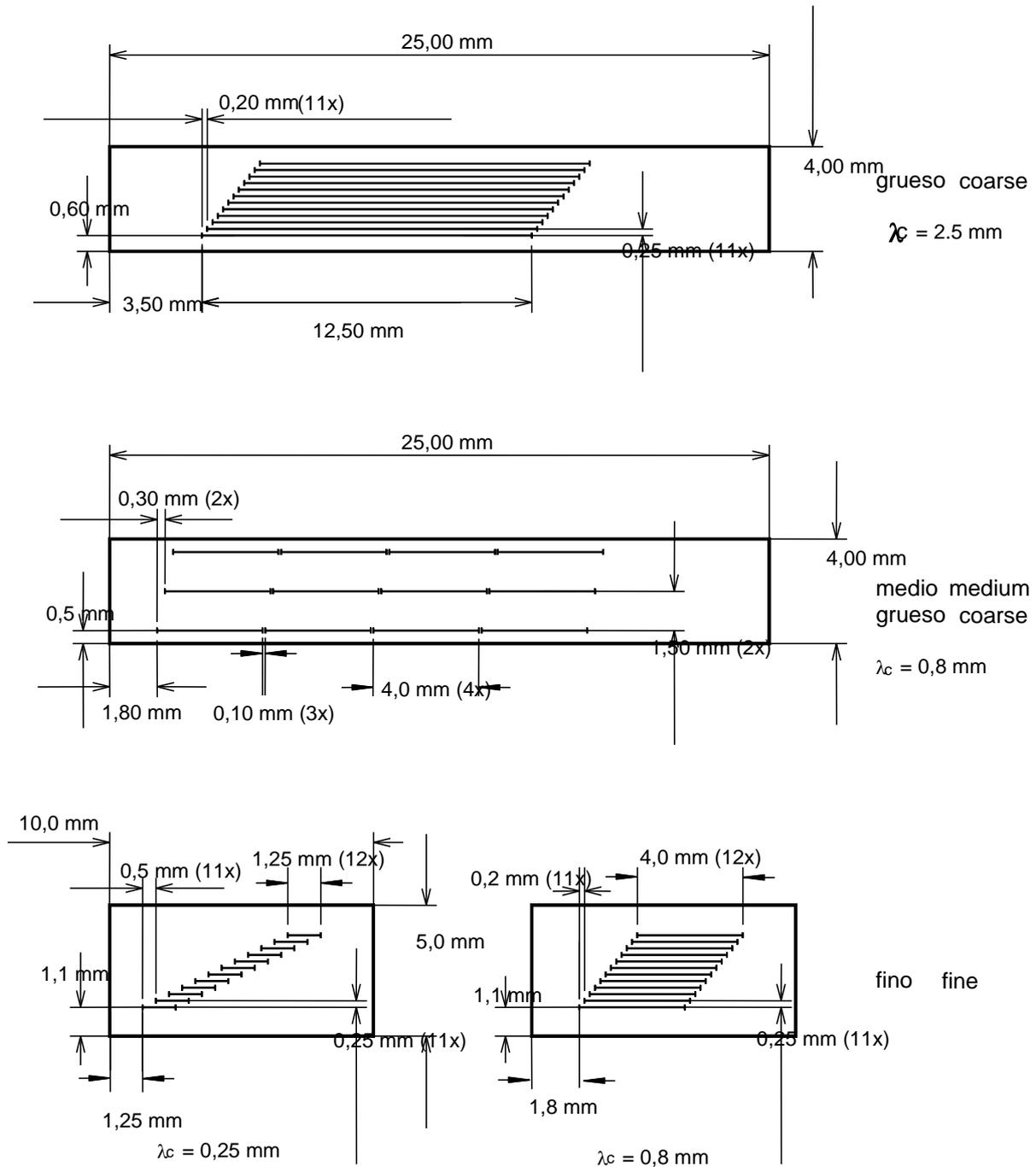


Figura 2: Planos de puntos de medición para patrones de geometría del tipo C (DIN EN ISO 5436-1)

5.5 Evaluación

- El valor medio $RSm(referencia)$ se determina a partir de las mediciones en el patrón de referencia y, en su caso, se identifica un factor de corrección $C = RSm_n / RSm(referencia)$ para las mediciones subsiguientes. RSm_n se obtiene del certificado de calibración del patrón de referencia.

	La calibración de instrumentos y patrones para la medición de la rugosidad – Hoja 3 https://doi.org/10.7795/550.20220503	DKD-R 4-2 Hoja 3	
		Edición:	07/2011
		Revisión:	0
		Página:	11 / 21

- El valor medio de $RSm(objeto)$, la desviación estándar, el mínimo y el máximo se determinan a partir de las 12 mediciones realizadas en el patrón a calibrar. Los resultados de medición forman parte del certificado de calibración.
- De las 5 mediciones en el vidrio plano se deriva un valor medio Rz_0 . El resultado se necesita para el cálculo de la incertidumbre de medida.

5.6 Resumen de la calibración

Objetivo	Actividad	Objeto utilizado	Resultado
Ruido de fondo del dispositivo	Medir Rz cinco veces, promediar	Vidrio plano	Rz_0 para la cálculo de la incertidumbre de medida
Calibración horizontal del instrumento	Medir RSm conforme al plano de puntos de medición	Patrón de referencia horizontal	Calibración comprobada o factor de corrección C determinado
Rizado del objeto de medición	medir Wt	Área plana del objeto de medición	Wt_0 para la cálculo de la incertidumbre de medida
Período medio del objeto de medición	Medir RSm doce veces, promediar	Superficie de medición del objeto de medición	Resultado de medición de $RSm(Objeto)$

Tabla 1: Resumen de las actividades de calibración

5.7 Contenido del certificado de calibración

El certificado de calibración debe incluir los siguientes datos y resultados de medición:

- Fecha
- Temperatura
- Lugar de instalación del dispositivo de medición
- Tipo del objeto a calibrar conforme a la nomenclatura en la norma DIN EN ISO 5436-1
- Dispositivo utilizado y sus componentes esenciales, tales como unidad básica, unidad de avance, palpador
- Condiciones de medición (filtro, velocidad de palpado, punta de palpado, fuerza de contacto, distancia de los puntos de medición)
- Patrón de referencia utilizado y la fecha de su última calibración (se puede omitir en los certificados de calibración DKD)
- Plan de puntos de medida o referencia bibliográfica correspondiente
- Descripción de la evaluación o referencia bibliográfica correspondiente
- Valor medio de RSm , la desviación estándar, la incertidumbre, mínimo y máximo (o rango)

6. Incertidumbre de medida

6.1 Modelo

Se añaden los cuadrados de las incertidumbres estándar de las magnitudes de influencia que afectan a la incertidumbre del valor característico RSm y se multiplica la suma por el factor de cobertura K que garantiza una probabilidad de cobertura del 95%.

Según la definición establecida en la norma DIN EN ISO 4287

$RSm = \frac{1}{n} \cdot \sum_i \Delta x_i$, donde i es el número del i -ésimo elemento de perfil de la longitud Δx_i . Dado

que los elementos de perfil colindan entre sí sin problemas, RSm se puede definir también a través de la longitud del perfil l .

$RSm = \frac{1}{n} \cdot (x_e - x_a) = \frac{1}{n} \cdot l$, donde la longitud del perfil l es la distancia entre el punto de partida

(x_a) y el punto final (x_e) de la parte evaluada del recorrido de medición.

En cuanto a la incertidumbre de RSm , se aplica la siguiente ecuación:

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

Las incertidumbres para los puntos inicial y final son los mismos, $u(x_a) = u(x_e) = u(x_i)$, por lo que la incertidumbre es

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

Los x_a y x_e considerados están tan alejados el uno del otro que no están correlacionados por el filtro λ_s . Debido al filtro de ondulación, la incertidumbre de los puntos del perfil R es prácticamente igual a los puntos del perfil sin filtrar (referencia: /1/). Por lo tanto, estas consideraciones se aplican tanto a RSm como a PSm .

Nota

Después de la revisión de la norma ISO 4287 en 2011, RSm se evalúa a partir de un conjunto de datos del perfil del recorrido de medición en dirección hacia adelante y hacia atrás, y el valor medio se forma a partir de las dos direcciones de evaluación. Las evaluaciones hacia adelante y hacia atrás se correlacionan entre sí; al mismo tiempo hay un doble número de elementos de perfil a ser evaluados, de modo que no se cambia la observación estadística de los elementos de perfil. La incertidumbre de medida según la nueva definición de RSm puede resultar en un valor más pequeño en comparación con la antigua definición, ya que al contar los elementos de perfil en el recorrido de medición hay menos elementos de perfil a ser omitidos que anteriormente en las longitudes de muestreo individuales.

6.2 Componentes de la incertidumbre

El siguiente modelo es válido para las desviaciones de posición de los puntos:

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

Las cantidades de influencia, en detalle:

- x_o ruido en la posición x debido al ruido en la dirección vertical del sistema de contacto,
- x_w desviación de la posición debido a la ondulación W_{t_0} del patrón,
- x_b desviación por el movimiento en forma de arco,
- x_{dig} incertidumbre en la determinación de un elemento de perfil debido a la distancia entre los puntos de medición.

El siguiente modelo se aplica a la longitud l del recorrido de medición

$$l = l_r + l_g$$

l_r longitud correcta

l_g desviación debida a una posición desconocida de la punta de palpado en dirección de avance

6.2.1 Componentes de la incertidumbre, en detalle

6.2.1.1 Trazabilidad

Este componente describe la incertidumbre de la transferencia de la unidad de longitud al eje horizontal del dispositivo. Contiene:

1. La incertidumbre del factor de escala horizontal, que se determina durante la calibración del dispositivo mediante la determinación de RSm mediante la longitud del perfil $l = n \cdot RSm$ en un patrón de referencia. Entonces, además de la unidad de longitud, es la incertidumbre del patrón de referencia $u(RSm_n)$ que se transmite y que está indicada en su certificado de calibración.
2. Se debe considerar que la posición de medición en el patrón de referencia durante la calibración del instrumento puede ser diferente a la posición de medición durante la calibración del patrón de referencia. Un valor estimado de la incertidumbre se determina a partir de la desviación estándar que resulta de la medición de RSm a través de la longitud de perfil $l = n \cdot RSm$ en las posiciones m_t en las que el patrón de referencia se ha calibrado de acuerdo con el certificado de calibración.

$$u^2(l_r) = n^2 \cdot u^2(RSm_n) + \frac{n^2}{m_t} \cdot s^2(RSm(\text{referencia}))$$

Ambas varianzas tienen una distribución de probabilidad gaussiana.

6.2.1.2 Posición de medición

El conocimiento incompleto de la posición de la longitud del perfil l en el objeto de medición contiene un componente aleatorio y un componente sistemático.

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

Un valor estimado para la parte aleatoria es la desviación estándar del valor medio de las mediciones m_t de la longitud del perfil l con la suposición de una distribución de probabilidad gaussiana.

$$u_s^2(l_g) = \frac{n^2}{m_t} \cdot s^2(\overline{RSm(\text{objeto})})$$

La parte sistemática resulta de la influencia de la diferencia de temperatura entre la calibración y el uso del patrón de referencia. Es cierto que el coeficiente de dilatación térmica α del material de soporte se puede tomar en cuenta para calcular una longitud modificada, pero la incertidumbre $u(\alpha)$ y la diferencia de temperatura ΔT deben ser consideradas como fuentes de incertidumbre para RSm . La distribución de probabilidad es rectangular.

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

6.2.1.3 Distancia de los puntos de medición

El paso por cero de la señal para localizar un elemento de perfil sólo puede determinarse con una desviación de hasta $\pm \Delta x / 2$. La incertidumbre resultante tiene una distribución uniforme con Δx como margen. La varianza de esta contribución a una sola posición es entonces

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

6.2.1.4 Ruido

Debido a la pendiente del perfil durante el paso a través de la línea de cero, un ruido vertical conduce a una incertidumbre en la medición horizontal (véase Figura 3). Por lo tanto, se aplica el siguiente modelo para x_0 . Si el ruido vertical se caracteriza por Rz_0 , entonces $x_0 = \frac{Rz_0}{\sigma}$.

Aquí, $\sigma = Pt \cdot \frac{\pi}{p}$ es la pendiente de perfil en el paso por cero del perfil sinusoidal, y p es la longitud de onda de un elemento de perfil. Suponiendo una distribución de probabilidad rectangular,

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

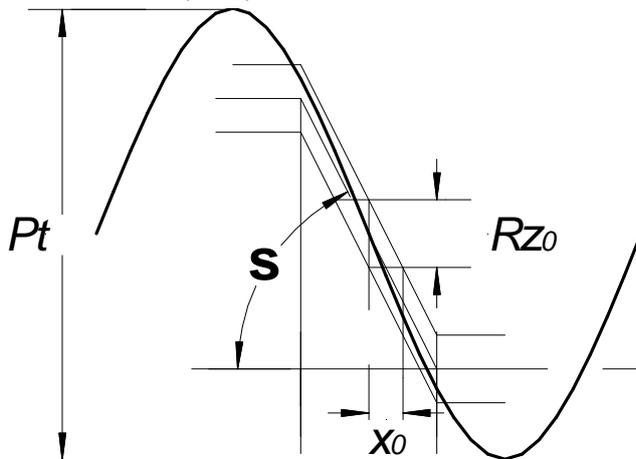


Figura 3: Influencia del ruido de fondo sobre los elementos de perfil

6.2.1.5 Ondulación

Debido al perfil ondulado de la superficie del patrón, la línea central se encuentra con los elementos de perfil adyacentes a diferentes alturas (véase Figura 4).

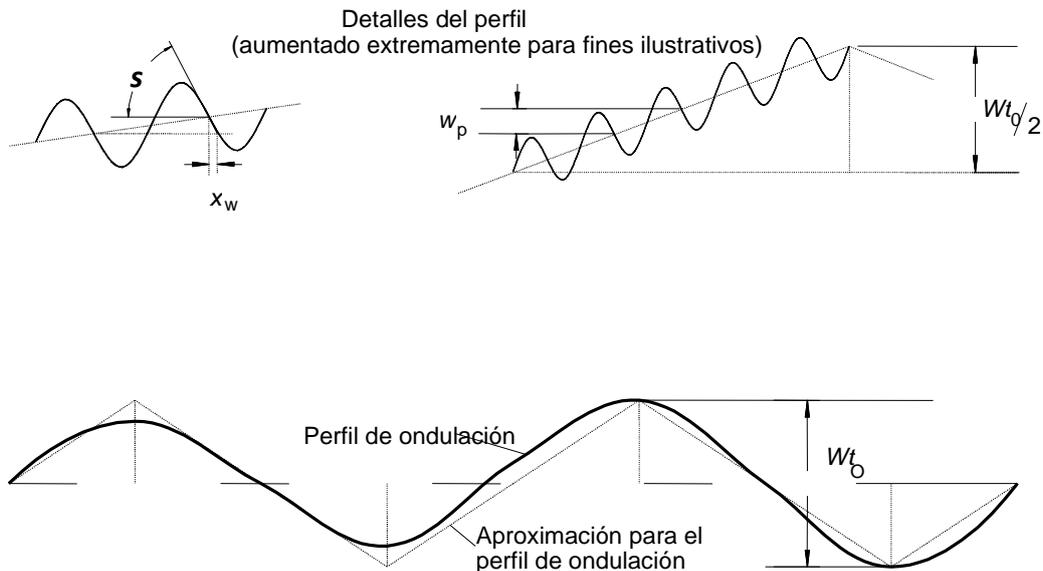


Figura 4: Influencia de la ondulación en los elementos de perfil

El desplazamiento lateral correspondiente del paso por cero es $x_w = \frac{w_p}{\sigma}$. Posteriormente se

calcula qué fracción de la ondulación del patrón afecta a la diferencia de altura de los elementos de perfil adyacentes. La experiencia demuestra que el perfil de ondulación contiene dos períodos que se aproximan de forma sinusoidal. El perfil se divide en aproximadamente 40 elementos de perfil. Pieza por pieza linealizado por triángulos, el perfil de ondulación se compone de ocho triángulos de la altura $Wt_0/2$, cada uno con una longitud de cinco elementos de perfil. Entonces, la diferencia máxima en altura de los elementos del perfil

adyacentes w_p es una quinta parte de $Wt_0/2$, pues $w_p = \frac{1}{10} \cdot Wt_0$. Asumiendo una distribución

rectangular, la varianza para el desplazamiento del paso por cero es

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

6.2.1.6 Movimiento del arco

En muchos instrumentos utilizando el método de palpado por contacto, el mecanismo de transmisión del movimiento de la punta de palpado al transductor de desplazamiento es el movimiento angular de una palanca (longitud L). El movimiento vertical forzado por el contacto con la superficie está conectado a un movimiento arqueado de la punta de palpado en dependencia del cambio en altura dz . (Véase Figura 5). En ello, la palanca frente a la superficie puede estar inclinada en un ángulo que, en la Figura 5, corresponde al ángulo medio

$\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}$. Sin limitación respecto a la generalidad, α_2 también puede ser cero (brazo de

palanca en la posición inicial en línea paralela al eje x).

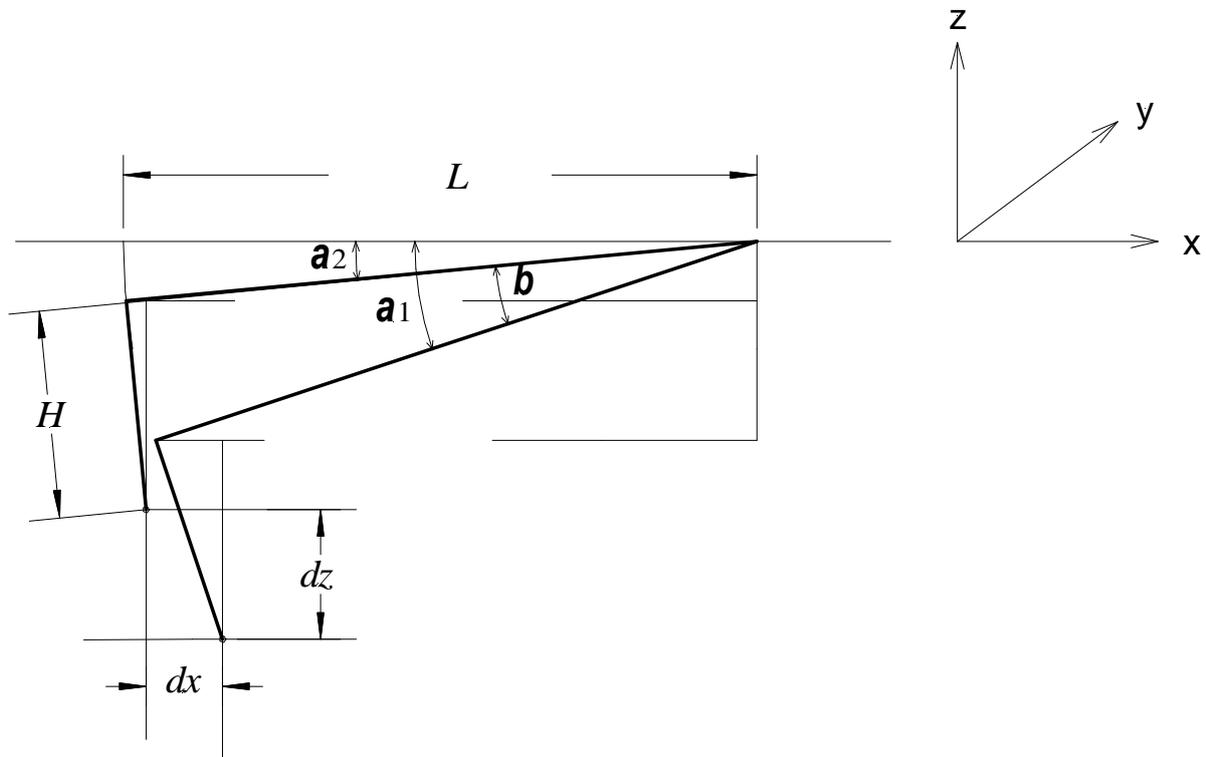


Figura 5: Influencia del movimiento de arco

El movimiento de la punta de palpado, que se desvía por la altura dz , es la combinación de la rotación del extremo del brazo de palanca en un arco circular por el ángulo β y una inclinación del eje de la punta de palpado de la longitud H desde el ángulo α_1 al ángulo α_2 . El componente horizontal resultante del movimiento de la punta de palpado es

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

En caso de un patrón ideal, esta desviación permanece igual para cada elemento de perfil y, por lo tanto, no tendrá ningún efecto sobre un parámetro de distancia horizontal como RSm . Sin embargo, en caso de un patrón con desviaciones de planicidad, dz representa el cambio en altura entre elementos de perfil adyacentes debido a la ondulación.

En el capítulo 6.2.1.5, el cambio en la altura de los elementos de perfil adyacentes debido a la ondulación local se estimó como $u(w_p) = \frac{1}{10} \cdot Wt_0$. El error de arco asociado conduce a una

incertidumbre en la dirección x ; partiendo de la hipótesis de una distribución de probabilidad rectangular, esta incertidumbre asciende a

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

6.3 Incertidumbre combinada

Si los componentes de la incertidumbre del capítulo 6.2.1 se utilizan en la ecuación 1, entonces

$$u^2(RSm) = \frac{1}{n^2} \cdot \left\{ n^2 \cdot u^2(RSm_n) + \frac{n^2}{m_t} \cdot s^2(RSm(referencia)) + \frac{n^2}{m_t} \cdot s^2(\overline{RSm(objeto)}) \right\} +$$

$$\frac{1}{12} \cdot (\Delta T \cdot u(\alpha) \cdot l)^2 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} (\Delta x)^2 + \frac{1}{12} \cdot \left(\frac{Rz_0}{\sigma} \right)^2 + \frac{1}{12} \cdot \left(\frac{Wt_0}{10 \cdot \sigma} \right)^2 + \right.$$

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

$$u^2(RSm) = u^2(RSm_n) + \frac{1}{m_t} \cdot s^2(RSm(referencia)) + \frac{1}{m_t} \cdot s^2(\overline{RSm(objeto)}) +$$

$$\frac{1}{12} \cdot (\Delta T \cdot u(\alpha) \cdot RSm_n)^2 + \frac{1}{6 \cdot n^2} (\Delta x)^2 + \frac{1}{6 \cdot n^2} \cdot \left(\frac{Rz_0}{\sigma} \right)^2 + \frac{1}{6 \cdot n^2} \cdot \left(\frac{Wt_0}{10 \cdot \sigma} \right)^2 +$$

$$\frac{1}{6 \cdot n^2} \cdot \left(\frac{Wt_0}{10} \right)^2 \cdot \left[\frac{H}{L} + \tan\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right) \right]^2$$

Ecuación 2

Tabla 2 muestra, a modo de ejemplo, los componentes de la incertidumbre en la calibración de un patrón de geometría con un período de $RSm = 200 \mu m$ y una amplitud de $Pt = 10 \mu m$ de acuerdo con la ecuación 2 con valores típicos.

6.4 Tabla de los componentes de la incertidumbre

Capítulo	Denominación breve	Determinado por	Valores de entrada Valor de muestra	Método Distribución	Varianza /nm ²
6.2.1.1	Patrón de referencia	$u^2(RSm_n)$	$u(RSm_n) = 2 \text{ nm}$	B Gauss	4
6.2.1.1	Posición de calibración	$\frac{1}{m_t} \cdot s^2(RSm(referencia))$	$s(RSm(referencia)) = 50 \text{ nm}, m_t = 12$	A Gauss	208
6.2.1.2	Estadística objeto	$\frac{1}{m_t} \cdot s^2(\overline{RSm(objeto)})$	$s(\overline{RSm(objeto)}) = 50 \text{ nm}, m_t = 12$	A Gauss	208
6.2.1.2	Temperatura objeto	$\frac{1}{12} \cdot (\Delta T \cdot u(\alpha) \cdot RSm_n)^2$	$\Delta T = 3 \text{ K}$ $u(\alpha) = 1 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$	B Rectángulo	0,03
6.2.1.3	Distancia de los puntos de medición	$u^2(x_{dig}) = \frac{1}{6 \cdot n^2} \cdot (\Delta x)^2$	$n = 40$ $\Delta x = 500 \text{ nm}$	B Rectángulo	26
6.2.1.4	Ruido	$\frac{1}{6 \cdot n^2} \cdot \left(\frac{Rz_0}{\sigma} \right)^2$	$Rz_0 = 10 \text{ nm}$ $\sigma = 0,314$	A Rectángulo	0,1
6.2.1.5	Ondulación	$\frac{1}{6 \cdot n^2} \cdot \left(\frac{Wt_0}{10 \cdot \sigma} \right)^2$	$Wt_0 = 20 \text{ nm}$	A Rectángulo	0,02

Capítulo	Denominación breve	Determinado por	Valores de entrada Valor de muestra	Método Distribución	Varianza /nm ²
6.2.1.6	Movimiento del arco	$\frac{1}{6 \cdot n^2} \cdot \left(\frac{Wt_0}{10}\right)^2 \cdot \left[\frac{H}{L} + \tan\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right)\right]^2$	$L = 10 \text{ mm}$ $H = 1,5 \text{ mm}$ $\tan\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right) = 0,3$	B Rectángulo	≈ 0
6.2.1.6	Movimiento del arco	$\frac{1}{6 \cdot n^2} \cdot \left(\frac{Wt_0}{10}\right)^2 \cdot \left[\frac{H}{L} + \tan\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right)\right]^2$	$L = 10 \text{ mm}$ $H = 1,5 \text{ mm}$ $\tan\left(\frac{\alpha_1 + \alpha_2}{2}\right) = 0,3$	B Rectángulo	≈ 0
6.3	$u^2(RSm)$	Suma de las varianzas			446,15
6.1	$u(RSm)$				21 nm
6.1	$U(RSm)$	$2 \cdot u(RSm)$	$K=2$		42 nm
	$U_{rel}(RSm)$	$U(RSm) / RSm$			$2 \cdot 10^{-4}$

Tabla 2: Compilación de las componentes de la incertidumbre con valores de muestras

Los coeficientes de sensibilidad son todos iguales a 1.

6.5 Simplificación

En la Ecuación 2, los sumandos más pequeños pueden ser despreciados para simplificar el cálculo. Pero, a pesar de su valor pequeño en la Tabla 2, esto no se aplica a los sumandos "patrón de referencia" y "distancia de los puntos de medición", que también pueden adoptar valores mucho más grandes que en la Tabla 1, según el caso.

$$u^2(RSm) = u^2(RSm_n) + \frac{1}{m_t} \cdot s^2(RSm(\text{referencia})) + \frac{1}{m_t} \cdot s^2(RSm(\text{objeto})) + \frac{1}{6 \cdot n^2} (\Delta x)^2 + \frac{1}{6 \cdot n^2} \cdot \left(\frac{Rz_0}{\sigma}\right)^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

Dado que los componentes despreciados tienen una cuota de aproximadamente el 0,1% de la varianza total, la incertidumbre de RSm debería ser redondeada (hacia arriba).

7. Normas citadas y otras referencias

Norma o referencia	Título, palabras clave describiendo el contenido
DIN 1319 - 3	Grundbegriffe der Messtechnik; Begriffe für die Messunsicherheit und für die Beurteilung von Messgeräten und Messeinrichtungen (Conceptos básicos de la metrología: Condiciones para la incertidumbre de medida y para la evaluación de dispositivos y sistemas de medición)
DIN 1319 - 4	Grundbegriffe der Messtechnik; Behandlung von Unsicherheiten bei der Auswertung von Messungen (Conceptos básicos de la metrología: Tratamiento de las incertidumbres en la evaluación de las mediciones)
DIN 4768 (1974) (retirada)	Ermittlung der Rauheitskenngößen R_a , R_z , R_{max} mit elektrischen Tastschnittgeräten; Begriffe, Messbedingungen (La determinación de los parámetros de rugosidad R_a , R_z , R_{max} mediante instrumentos eléctricos de contacto con palpador; términos, condiciones de medición)
DIN 4768 (1990) (retirada)	Ermittlung der Rauheitskenngößen R_a , R_z , R_{max} mit elektrischen Tastschnittgeräten; Begriffe, Messbedingungen La determinación de los parámetros de rugosidad R_a , R_z , R_{max} mediante instrumentos eléctricos de contacto con palpador; términos, condiciones de medición)
DIN V 32950 (04.97) ISO/TR 14638	Geometrische Produktspezifikation (GPS) Übersicht (Especificación geométrica del producto / Cuadro de resumen)
DIN EN ISO 3274 (04.98)	Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren Nenneigenschaften von Tastschnittgeräten (Textura de la superficie: Método de palpado por contacto - Características nominales de los instrumentos de contacto con palpador)
DIN EN ISO 4287 (10.98)	Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit (Textura de la superficie: Método de palpado por contacto, denominaciones, definiciones y parámetros de la textura superficial)
DIN EN ISO 4288 (04.98)	Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren; Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit (Textura de la superficie: Método de palpado por contacto; normas y procedimientos para la evaluación de la textura de la superficie)
DIN EN ISO 5436-1 (11.2000)	Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren; Normale; Teil 1 Maßverkörperungen (Textura de la superficie: Método de palpado por contacto; patrones; parte 1 medidas materializadas)
DIN EN ISO 5436-2 (2.2000))	Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren; Normale; Teil 2 Software-Normale (Textura de la superficie: Método de palpado por contacto; patrones; parte 2 patrones de software)
DIN EN ISO 11562 (09.98)	Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren Messtechnische Eigenschaften von phasenkorrekten Filtern (Textura de la superficie: Método de palpado por contacto Características metrológicas de los filtros de fase correcta)
DIN EN ISO 12179 (11.2000)	Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren Kalibrierung von Tastschnittgeräten (Textura de la superficie: Método de palpado por contacto Calibración de instrumentos de contacto con palpador)
DIN EN ISO 13565-1 (06.98)	Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren; Oberflächen mit plateauartigen funktionsrelevanten Eigenschaften Teil 1: Filterung und allgemeine Messbedingungen (Textura de la superficie: Método de palpado por contacto; superficies con propiedades funcionales estratificadas Parte 1: Filtrado y condiciones de medición generales)

Norma o referencia	Título, palabras clave describiendo el contenido
DIN EN ISO 13565-2 (04.98)	<p>Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren; Oberflächen mit plateauartigen funktionsrelevanten Eigenschaften Teil 2: Beschreibung der Höhe mittels linearer Darstellung der Materialanteilkurve (Textura de la superficie: Método de palpado por contacto; superficies con propiedades funcionales estratificadas Parte 2: Descripción de la altura mediante una representación lineal de la curva de la parte de material)</p>
DAkKS-DKD-3 (2010)	<p>Angabe der Messunsicherheit beim Kalibrieren (Indicación de la incertidumbre de medida en las calibraciones)</p>
DKD-R 4-2 Blatt 2 (2007)	<p>Kalibrieren von Messgeräten und Normalen für die Rauheitsmesstechnik. Blatt 2: Kalibrieren des vertikalen Messsystems von Tastschnittgeräten. (La calibración de instrumentos y patrones para la medición de la rugosidad. Hoja 2: La calibración del sistema de medición vertical de los instrumentos de contacto con palpador.)</p>
WECC Doc. 19	<p>Guidelines for the Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibrations (“GUM”) (Guía para la expresión de la incertidumbre de medida en calibraciones (“GUM”))</p>
/1/	<p>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 (se trata de un tomo de congreso (actas de congreso); traducción del título: Influencia del filtro de onda a la incertidumbre de un resultado de medición en mediciones de rugosidad)</p>
EAL-G20	<p>Calibration of stylus instruments for measuring surface roughness, ed. 1, 1996. (Calibración de instrumentos de contacto con palpador para medir la rugosidad de la superficie)</p>
ISO/DIS 25178-601	<p>Geometrical product specification (GPS) — Surface texture: Areal — Part 601: Nominal characteristics of contact (stylus) instruments (Especificación geométrica del producto (GPS) - Textura superficial: Areal - Parte 601: Características nominales de los instrumentos de contacto)</p>



Publicado por:

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Deutscher Kalibrierdienst
Bundesallee 100
38116 Braunschweig

www.dkd.eu
www.ptb.de