



MORE LIGHT



Rauheit sicher bestimmen
Oberflächenkenngrößen
in der Praxis

Oberflächenmessung mit Jenoptik

Die Oberflächenbeschaffenheit eines Werkstücks spielt überall dort eine Rolle, wo sie eine definierte technische Aufgabe hat. Sie muss demnach möglichst eindeutig definiert werden. Dies geschieht mithilfe genormter Oberflächenkenngrößen.

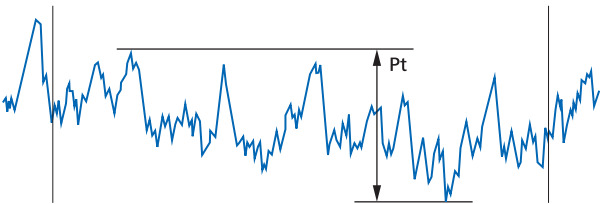
Dieses Faltblatt gibt einen Überblick über die wichtigsten Begriffe, Normen und Kenngrößen der Oberflächenmesstechnik.

Mit einem breiten Spektrum an Oberflächenmessgeräten bieten wir Ihnen vielfältige Auswertemöglichkeiten an unterschiedlichen Einsatzorten – sei es im Labor oder in der Fertigung.

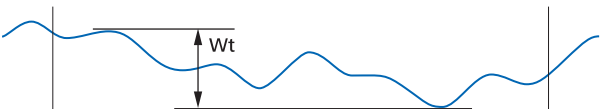
Ein besonders wichtiger Aspekt bei der Oberflächenmessung ist die kontinuierliche Überwachung auf bestmögliche Genauigkeit. In unserem DAkKS-DKD-Kalibrierlabor kalibrieren wir Ihre angelieferten Normale für verschiedene Rauheitskenngrößen. Für nicht akkreditierte Kenngrößen stellen wir Ihnen einen einfacheren Werkskalibrierschein aus.

Aufgliederung einer Oberfläche

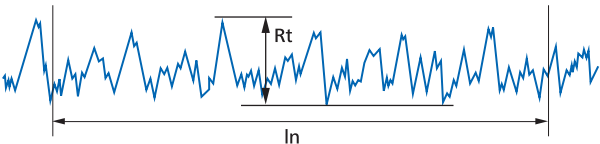
Ungefiltertes P-Profil



Gefiltertes W-Profil



Gefiltertes R-Profil



Oberflächenprofile – Gesamthöhe des Profils

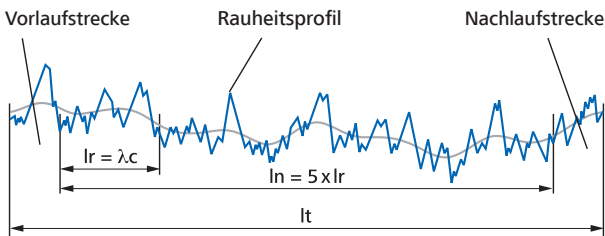
Mit dem Tastschnittverfahren wird das Profil einer Oberfläche zweidimensional erfasst.

Das ungefilterte Primärprofil (P-Profil) ist das tatsächlich gemessene Oberflächenprofil. Durch dessen Filterung nach DIN EN ISO 11562/DIN EN ISO 16610-21 entstehen das Welligkeitsprofil (W-Profil) und das Rauheitsprofil (R-Profil). Bestimmende Größe für die Grenze zwischen Welligkeit und Rauheit ist die Grenzwellenlänge λ_c (Cut-off).

Nach DIN EN ISO 4287 gelten alle Kenngrößendefinitionen sowohl für das Rauheits- als auch das Primär- und Welligkeitsprofil. Die Kennzeichnung des Profiltyps erfolgt durch die Großbuchstaben P, R oder W.

Die Gesamthöhe P_t , W_t bzw. R_t des jeweiligen Profiltyps ist die maximale Höhe zwischen der höchsten Spitze und des tiefsten Tals des Profils der Messstrecke.

Messstrecken – Grenzwellenlänge



Die Taststrecke l_t ist die Gesamtlänge der Tasterbewegung während des Tastvorgangs. Sie ist größer als die Messstrecke l_n , um mit dem Profilfilter das Rauheitsprofil bilden zu können.

Mit Ausnahme von R_t , $R_{mr}(c)$ und R_{Pc} sind die Rauheitskenngrößen innerhalb einer Messstrecke l_n definiert. Ermittelt werden sie jedoch als Mittelwert aus fünf Einzelmessstrecken l_r .

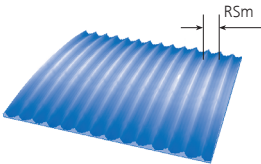
Die Einzelmessstrecke l_r entspricht der Grenzwellenlänge λ_c .

Wahl der Grenzwellenlänge des Filters (Cut-off) nach

Die Grenzwellenlänge wird, abhängig von der Werkstückoberfläche, entweder nach dem Riefenabstand oder den zu erwartenden Rauheitswerten gewählt. Gleichzeitig sind damit die Gesamtmessstrecke und die zugehörige Taststrecke gemäß

Periodische Profile

z.B. Drehen, Fräsen



Messbedingungen

lr	Einzelmessstrecke
ln	Messstrecke
lt	Taststrecke
λ_c	Grenzwellenlänge
λ_s	Kurzwelliges Profilfilter
r_{tip}	Tastspitzenradius
ΔX	Digitalisierungsabstand ¹⁾

RSm (mm)			$\lambda_c = lr$ (mm)	ln (mm)	lt (mm)
> 0,013	...0,04	→	0,08	0,4	0,48
> 0,04	...0,13	→	0,25	1,25	1,5
> 0,13	...0,4	→	0,8	4	4,8
> 0,4	...1,3	→	2,5	12,5	15
> 1,3	...4	→	8	40	48

Anwendungsbeispiel

Bei einem periodischen Profil kommt der mittlere Rillenabstand der Rauheitsprofilelemente RSm zum Einsatz. Bei einem RSm, der zwischen 0,4 und 1,3 mm liegt, ergeben sich die folgenden Messbedingungen:

$$\lambda_c = 2,5 \text{ mm} / ln = 12,5 \text{ mm} / lt = 15 \text{ mm} / r_{tip} = 5 \text{ } \mu\text{m} / \lambda_s = 8 \text{ } \mu\text{m}.$$

* Bei $Rz \leq 2 \text{ } \mu\text{m}$ beträgt der Tastspitzenradius $2 \text{ } \mu\text{m}$, bei $Rz > 2 \text{ } \mu\text{m}$ beträgt er $5 \text{ } \mu\text{m}$. Der Messpunktabstand liegt bei höchstens $0,5 \text{ mm}$.

Messbedingungen für Motifkenngrößen nach DIN EN

A* (mm)	B* (mm)	Taststrecke (mm)
0,02	0,1	0,64
0,1	0,5	3,2
0,5	2,5	16
2,5	12,5	80

* Wenn nicht anders angegeben, gelten die Vorzugswerte $A = 0,5 \text{ mm}$ und $B = 2,5 \text{ mm}$. Die vereinbarte Grenze

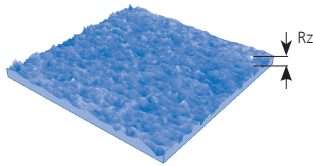
DIN EN ISO 4288:1998 und DIN EN ISO 3274:1998

den Normen verbindlich festgelegt. Abweichungen sind dann erforderlich, wenn das Werkstück die geforderte Taststrecke nicht zulässt. Siehe Zeichnungseintragungen.

¹⁾ Der Digitalisierungsabstand ist ebenfalls genormt. Dieser wird von den meisten Rauheitsmessgeräten automatisch eingestellt.

Aperiodische Profile

z.B. Schleifen, Erodieren



r_{tip} (μm)	λ_s (μm)		R_a (μm)	R_z (μm)
2	2,5	←	> (0,006) ...0,02	> (0,025) ...0,1
2	2,5	←	> 0,02 ...0,1	> 0,1 ...0,5
2 oder 5 *	2,5	←	> 0,1 ...2	> 0,5 ...10
5	8	←	> 2 ...10	> 10 ...50
10	25	←	> 10 ...80	> 50 ...200

Verkürzte Regelmessstrecke

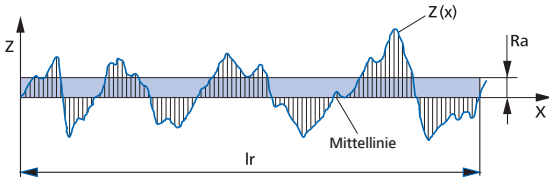
Wenn die tatsächlich mögliche Taststrecke auf der Werkstückoberfläche für l_t nicht ausreicht, wird entsprechend die Anzahl der Einzelmessstrecken verringert und in der Zeichnung angegeben. Wenn die tatsächlich verfügbare Taststrecke kleiner als eine Einzelmessstrecke ist, wird anstelle von R_t oder R_z die Gesamtprofilhöhe P_t des Primärprofils ausgewertet.

ISO 12085

Messstrecke (mm)	λ_s (μm)	Tastspitzenradius (μm)
0,64	2,5	$2 \pm 0,5$
3,2	2,5	$2 \pm 0,5$
16	8	5 ± 1
80	25	10 ± 2

A bestimmt in diesem Fall, dass die ermittelten AR-Kenngrößen immer kleiner als 0,5 mm sind.

Ra nach DIN EN ISO 4287

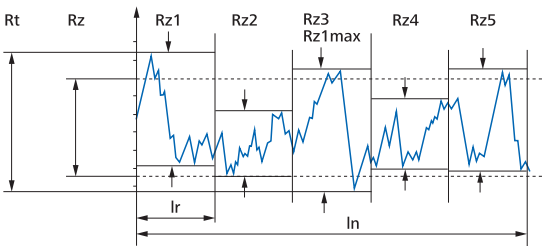


Ra – arithmetischer Mittenrauwert

Ra ist der arithmetische Mittenrauwert aus den Beträgen aller Profilwerte. Die Aussagekraft von Ra ist relativ gering, da er unempfindlich gegenüber Spitzen und Riefen reagiert.

$$Ra = \frac{1}{lr} \int_0^{lr} |Z(x)| dx$$

Rz, Rz1max, Rt nach DIN EN ISO 4287



Rz – gemittelte Rautiefe

Mittelwert der fünf Rz-Werte aus den fünf Einzelmessstrecken lr.

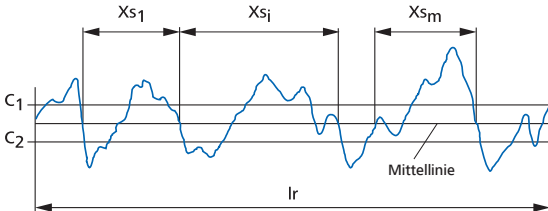
Rz1max – maximale Rautiefe (DIN EN ISO 4287:1997)

Größter Rz-Wert aus den fünf Einzelmessstrecken lr.

Rt – Gesamthöhe des Rauheitsprofils

Rt ist der Abstand zwischen der höchsten Spitze und des tiefsten Tals des Profils der Gesamtmessstrecke ln.

RSm nach DIN EN ISO 4287

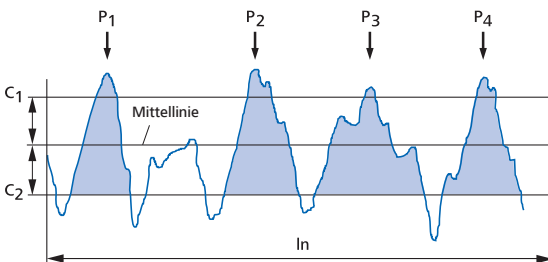


RSm – mittlerer Rillenabstand

RSm ist der arithmetische Mittelwert der Breite der Profilelemente des Rauheitsprofils innerhalb der Einzelmessstrecke und erfordert die Festlegung von Zählschwellen (c_1 , c_2) passend zur Funktion der Oberfläche. Wenn nicht anders festgelegt, soll der Betrag der vertikalen Zählschwellen jeweils 10% vom Rz betragen.

$$RSm = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m X_{s_i}$$

RPC nach DIN EN 10049/DIN EN ISO 4287

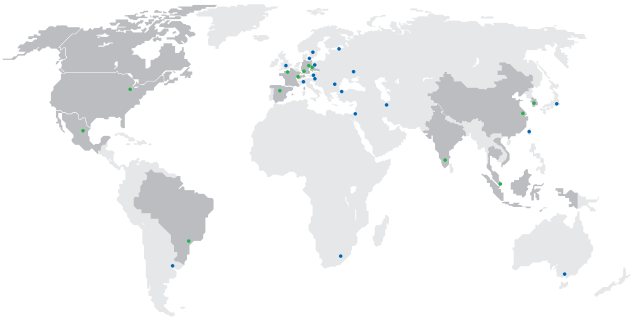


RPC – normierte Spitzenzahl

RPC entspricht der Anzahl lokaler Spitzen, die nacheinander eine obere Schnittlinie c_1 und eine untere Schnittlinie c_2 überschreiten. Die Spitzenzahl wird unabhängig von der gewählten Messstrecke auf eine Länge von 10 mm bezogen.

Wir unterstützen Sie weltweit.

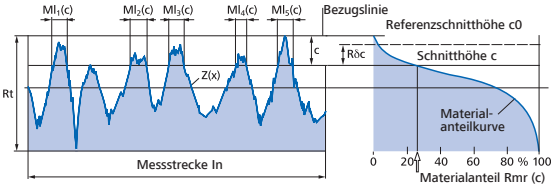
Unsere qualifizierten Mitarbeiter sind auf der ganzen Welt im Einsatz. Mit unseren Standorten und Vertriebspartnern in den wichtigsten Industriestaaten sind wir direkt bei Ihnen vor Ort, um Sie als zuverlässiger Partner optimal zu unterstützen.



Besuchen Sie uns auf YouTube.

JENOPTIK Industrial Metrology Germany GmbH | Alte Tuttlinger Straße 20
78056 Villingen-Schwenningen | Deutschland | T +49 7720 602-0
F +49 7720 602-444 | metrology@jenoptik.com | www.jenoptik.de/messtechnik

Rmr(c) nach DIN EN ISO 4287

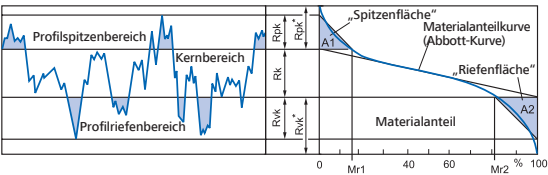


Rmr(c) – Materialanteil des Profils

Rmr gibt an, welchen Anteil die summierte, im Material verlaufende Strecke relativ zur Messstrecke einnimmt (in %). Der Vergleich wird in der vorgegebenen Schnitthöhe c und der Gesamtmessstrecke ln ausgeführt. Die Materialanteilkurve gibt den Materialanteil als Funktion der Schnitthöhe an.

$$Rmr(c) = \frac{100}{ln} \sum_{i=1}^n M_i(c) = \frac{M(c)}{ln} [\%]$$

Rk, Rpk, Rvk, Mr1, Mr2 nach DIN EN ISO 13565-2



Rk – Kernrautiefe

Tiefe des Rauheitskernprofils.

Rpk – reduzierte Spitzenhöhe

Gemittelte Höhe der aus dem Kernprofil herausragenden Spitzen.

Rpk* – höchste Profilspitzenhöhe (nicht in dieser Norm)

Rvk – reduzierte Riefentiefe

Gemittelte Tiefe der vom Kern in das Material hineinragenden Riefen.

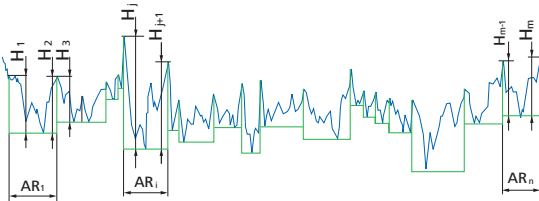
Rvk* – tiefste Profiliriefentiefe (nicht in dieser Norm)

Mr1, Mr2 – Materialanteil

Kleinster (Mr1) und größter (Mr2) Materialanteil (in %) an den Grenzen des Rauheitskernbereichs.

Motif-Norm nach DIN EN ISO 12085

Das Prinzip der Motifnorm besteht darin, lokale Spitzen und Täler im Primärprofil zu suchen, und jeweils ein Tal mit den beiden nächsten vor- bzw. nachgelagerten Spitzen zu assoziieren, um ein Motif zu bilden. Mehrere iterative Kombinationen von jeweils zwei Motifs sorgen dafür, dass schließlich die wichtigsten Motifs berücksichtigt werden, deren Breite den Grenzwert A unterschreitet. Wenn nicht anders angegeben, gilt der Vorzugswert $A = 0,5 \text{ mm}$ (siehe Messbedingungen). Der Rauheitsgrenzwert spielt dabei eine ähnliche Rolle wie der Cut-off bei der Gaußfilterung. Es gilt generell die 16 %-Regel.



Die wichtigsten Motif-Rauheitskenngrößen:

R – Mittlere Tiefe der Rauheitsmotifs

Arithmetischer Mittelwert der Tiefen H_j der Rauheitsmotifs innerhalb der Messstrecke.

AR – Mittlere Teilung der Rauheitsmotifs

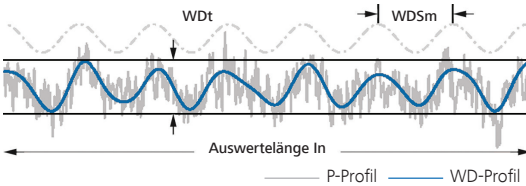
Arithmetischer Mittelwert der Längen AR_i der Rauheitsmotifs innerhalb der Messstrecke.

Rx – Maximale Tiefe der Profilunregelmäßigkeit

Die größte Tiefe H_j innerhalb der Messstrecke.

WDSm, WDt, WDC – Dominante Welligkeit nach VDA 2007

Das Primärprofil wird auf das Vorhandensein von keiner, einer oder zwei dominanten Wellenlängen analysiert. Durch Schmalbandfilterung des Primärprofils mit der gefundenen Wellenlänge wird das WD-Profil abgeleitet, das zur Berechnung der Kenngrößen herangezogen wird. Die Wahl der Messstrecke l_n erfolgt entweder nach DIN EN ISO 4288 wie bei einer Rauheitsmessung oder anhand der Zeichnungseintragung. Periodenlängen werden im Bereich $0,02 \text{ mm} \leq \text{WDSm} \leq l_n/5$ auf Dominanz untersucht. Um dominante Ausprägungen bei $\text{WDSm} > l_n/5$ zu erkennen, muss die Messstrecke vergrößert werden.

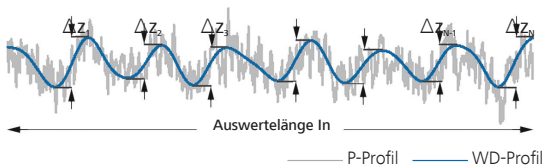


WDSm

Aus dem Amplitudenspektrum ermittelte mittlere horizontale Größe der Profilelemente (Mittlere Periodenlänge der dominanten Welligkeit).

WDt

Vertikale Differenz zwischen dem höchsten und tiefsten Punkt des WD-Profiles innerhalb der Auswertlänge.



WDC

Mittelwert aus den Höhen der Profilelemente innerhalb der Auswertlänge.

$$\text{WDC} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \Delta z_i$$

Bewertung der Messergebnisse

Laut DIN EN ISO 4288 soll die Oberflächenmessung dort vorgenommen werden, wo die höchsten Werte zu erwarten sind (visuelle Feststellung).

Höchstwertregel

Die Oberfläche wird als gut angenommen, wenn die gemessenen Werte einer Kenngröße den festgelegten Höchstwert nicht überschreiten. In diesem Fall wird die Kenngröße mit dem Zusatz „max“ gekennzeichnet, z.B. Rz1max.

16%-Regel

Wenn der Zusatz „max“ nicht angegeben ist, gilt die 16 %-Regel. Die Oberfläche wird als gut angenommen, wenn nicht mehr als 16 % der gemessenen Werte einer Kenngröße den festgelegten Höchstwert überschreiten.

Weitere Informationen zu dieser Regel finden sich in der Norm DIN EN ISO 4288:1997.

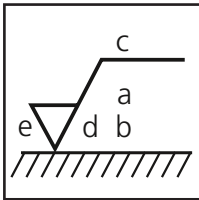
Sonderregelung VDA 2006

Die 16 %-Regel wird nicht angewendet. VDA 2006 geht davon aus, dass die Streuung der Kennwerte bei der Festlegung der Grenzwerte berücksichtigt wird. Es gilt generell die Höchstwertregel, auch ohne die Angabe des Index „max“ innerhalb der Bezeichnung. Die Anwendung des λ_s -Filters ist grundsätzlich nicht zugelassen.

Bei $Rz \leq 2 \mu\text{m}$ beträgt der Tastspitzenradius $2 \mu\text{m}$, bei $Rz > 2 \mu\text{m}$ beträgt er $5 \mu\text{m}$. Der Messpunktabstand liegt bei höchstens $0,5 \mu\text{m}$.

Der Kegelwinkel beträgt 60° oder 90° . Wenn nicht anders angegeben, beträgt der Kegelwinkel 90° .

Zeichnungseintragungen nach DIN EN ISO 1302:2002



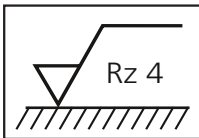
Angaben für Anforderungen

a Oberflächenkenngröße mit Zahlenwert in μm
b Zweite Anforderung (Oberflächenkenngröße in μm)

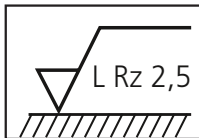
c Fertigungsverfahren

d Angabe der Rillenrichtung

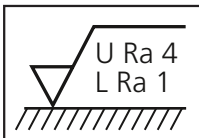
e Bearbeitungszugabe in mm



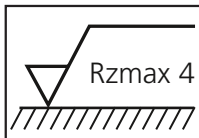
Materialabtragende
Bearbeitung;
 $Rz = \text{max. } 4 \mu\text{m}$



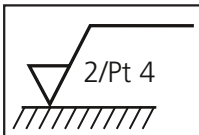
Materialabtragende
Bearbeitung; unterer
Grenzwert für Rz gefor-
dert; $Rz = \text{min. } 2,5 \mu\text{m}$



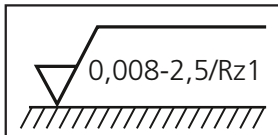
Materialabtragende
Bearbeitung; oberer und
unterer Grenzwert für
 Ra gefordert; $Ra = \text{min.}$
 $1 \mu\text{m}$ und $\text{max. } 4 \mu\text{m}$



Materialabtragende
Bearbeitung;
 $Rz = \text{max. } 4 \mu\text{m}$; es gilt
die Höchstwertregel



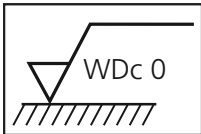
Materialabtragende
Bearbeitung; P-Profil,
Taststrecke = 2 mm;
 $Pt = \text{max. } 4 \mu\text{m}$



Materialabtragende Bearbeitung;
Übertragungscharakteristik entspricht
nicht dem Regelfall (vgl. Tabelle);
 $Rz = \text{max. } 1 \mu\text{m}$; Filterwahl
 $\lambda_s = 0,008 \text{ mm}$ und $\lambda_c = 2,5 \text{ mm}$

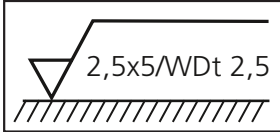
Zeichnungseintragungen nach VDA 2007 – Dominante Welligkeit

Fall 1: Keine dominante Welligkeit zugelassen



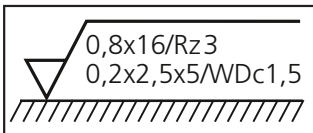
Materialabtragende
Bearbeitung; WDc 0
oder WDt 0: Keine
dominante Welligkeit
zugelassen

Fall 2: Dominante Ausprägungen sind bis zu einem oberen Grenzwert zugelassen



Materialabtragende Bearbeitung;
im Periodenbereich bis 2,5 mm
gilt WDt = max. 2,5 μm

Fall 3: Dominante Ausprägungen sind in einem oben oder beidseitig begrenzten Periodenlängenbereich zugelassen



Materialabtragende Bearbeitung;
Rz: die Messstrecke beträgt 12,5 mm
und $\lambda_c = 0,8$ mm; Rz = max. 3 μm ;
WDc: im Periodenbereich von 0,2 bis
2,5 mm gilt WDc = max. 1,5 μm