

2 Normen, Toleranzen, Passungen und Technische Oberflächen

Normen stellen in einer industrialisierten Gesellschaft ein wichtiges Element dar, das neben Patenten und Lizenzen auch im Feld von Innovationen, neuen Produkten und Dienstleistungen zum Wirtschaftswachstum beiträgt. Sie fördern die Standardisierung von Produkten, die dann in großen Stückzahlen preiswert hergestellt werden können. Wichtig ist dabei die Kenntnis, dass sich die Normung nicht auf jedes Teil eines technischen Systems, sondern im Wesentlichen auf die Schnittstellen und gegebenenfalls auf die Bezeichnung bezieht (Beispiel E-Motor). Damit sind die Produkte weltweit austauschbar, trotzdem bleibt für Innovationen und damit für die Differenzierung der Wettbewerber untereinander genügend Raum.

In Deutschland ist die Normung eine Aufgabe der Selbstverwaltung der an der Normung interessierten Kreise. Das Deutsche Institut für Normung e.V. (DIN) bietet dazu die Plattform, wo sich Hersteller, Verbraucher, Wissenschaftler etc., d. h. jedermann, der ein Interesse an der Normung hat, zusammenfinden können, um den Stand der Technik zu ermitteln und unter Berücksichtigung neuer Erkenntnisse in Deutschen Normen niederzuschreiben.

Die Globalisierung bedingt harmonisierte Normen. Daher hat die internationale Normung Vorrang vor der nationalen. Viele Normen werden daher sofort im internationalen Rahmen erstellt. Sie sind gekennzeichnet durch die Abkürzung ISO. Sicherlich geprägt durch die Stärke des deutschen Maschinenbaus existieren auch noch viele nationale Normen, die aber zunehmend auf die internationale Ebene gehoben werden.

Ein Beispiel für die internationale Normung sind die Normzahlen (ISO 3, ISO 497). Dagegen sind die Normen für Toleranzen, Passungen und technische Oberflächen, wie die Bezeichnungen erkennen lassen, zunächst in Deutschland erstellt und dann international übernommen worden (z. B. DIN ISO 286, DIN ISO 1132, DIN EN ISO 1302, DIN EN ISO 4287, DIN EN ISO 4288). Gerade die Toleranzen, Passungen und Kenngrößen für die Oberflächenbeschaffenheit verdeutlichen eindrucksvoll die Bedeutung der Normung. Die meisten Teile werden einzeln und auch örtlich getrennt hergestellt. Dennoch müssen sie gepaart die Funktionsfähigkeit des technischen Systems ohne Nacharbeit gewährleisten. Dies ist nur möglich, wenn die für die Funktion und die unvermeidbaren Fertigungsabweichungen notwendigen Toleranzen, Passungsangaben und Angaben zur Oberflächenbeschaffenheit weltweit gleich verstanden und interpretiert werden. Da die Ingenieure die Verantwortung

für die Funktion und damit für die Zeichnungseintragung haben, ist die diesbezügliche Wissensvermittlung ein grundlegendes Ausbildungsziel, das hier durch einige Übungsbeispiele unterstützt werden soll.

2.1 Verständnisfragen zu Toleranzen und Passungen und zur Normung

1. Was ist eine Maßtoleranz?

Eine Maßtoleranz ist die zulässige Abweichung vom Nennmaß, z. B.: $\varnothing 24 \pm 0,1$.

2. Was ist ein Abmaß?

Ein Abmaß ist die Differenz zwischen einem Maß und dem Nennmaß.

3. Was ist eine Spielpassung?

Bei einer Spielpassung ist das obere Abmaß der Welle (Innenteil) stets kleiner als das untere Abmaß der Bohrung (Außenteil), z. B.: $\varnothing 24 \text{ H7/g6}$.

4. Was ist eine Presspassung?

Bei einer Presspassung ist das untere Abmaß der Welle stets größer als das obere Abmaß der Bohrung, z. B.: $\varnothing 24 \text{ H7/s6}$.

5. Was ist eine Übergangspassung?

Bei einer Übergangspassung entsteht je nach Istmaßen von Bohrung und Welle beim Fügen entweder ein Spiel oder ein Übermaß, z. B.: $\varnothing 24 \text{ H7/k6}$.

6. Was sind Normungsinstitute?

- 1. DIN → Deutsches Institut für Normung e.V.
- 2. ISO → International Organization for Standardization

7. Was sind Normungsarten?

- 1. DIN → reine deutsche Norm
- 2. DIN EN → europäische Norm, als deutsche Norm übernommen
- 3. DIN ISO → internationale Norm, als deutsche Norm übernommen
- 4. DIN EN ISO → internationale Norm, als europäische und deutsche Norm übernommen

8. Was sind Normzahlen?

Normzahlen sind vereinbarte, gerundete Glieder einer dezimalgeometrischen Reihe, z. B.: bei R5 ist $q = \sqrt[5]{10} = 1,6 \rightarrow 1\, 1,6\, 2,5\, 4\, 6,3\, 10\ldots$

9. Welche Tolerierungsgrundsätze gibt es?

1. Unabhängigkeitsprinzip nach DIN ISO 8015: Jede Maß-, Form- und Lagetoleranz wird unabhängig voneinander eingehalten. Das bedeutet für ein toleriertes Maß, dass nur alle örtlichen Istmaße innerhalb der Grenzmaße liegen müssen.
2. Hüllprinzip nach DIN 7167: Der Grundsatz nach den Hüllbedingungen besagt, dass das wirkliche Formelement innerhalb der Paarungslänge die geometrisch ideale Hülle mit Maximum-Minimum-Maß nicht durchbrechen darf.

2.2 Toleranzberechnung von Wellensitzen

Die in Abb. 2.1 dargestellte Welle ist im Gehäuse drehbar gleitgelagert. Die Passungen an den Funktionsstellen *a* bis *e* sind nach dem ISO-Passungssystem Einheitsbohrung (Bohrungen H7) ausgeführt.

Skizzieren Sie für die Passungen *a* bis *e* die Lage der Toleranzfelder von Welle und Bohrung zueinander und berechnen Sie die charakteristischen Kennwerte (Spiele bzw. Übermaße).

Lösung

Siehe Abb. 2.2.

a)

$$U_g = EI - es = 0 - 50 = -50\,\mu\text{m}$$

$$U_k = ES - ei = 25 - 34 = -9\,\mu\text{m}$$

b)

$$S_g = ES - ei = 25 - (-50) = 75\,\mu\text{m}$$

$$S_k = EI - es = 0 - (-25) = 25\,\mu\text{m}$$

c)

$$S_g = ES - ei = 25 - (-25) = 50\,\mu\text{m}$$

$$S_k = EI - es = 0 - 0 = 0\,\mu\text{m}$$

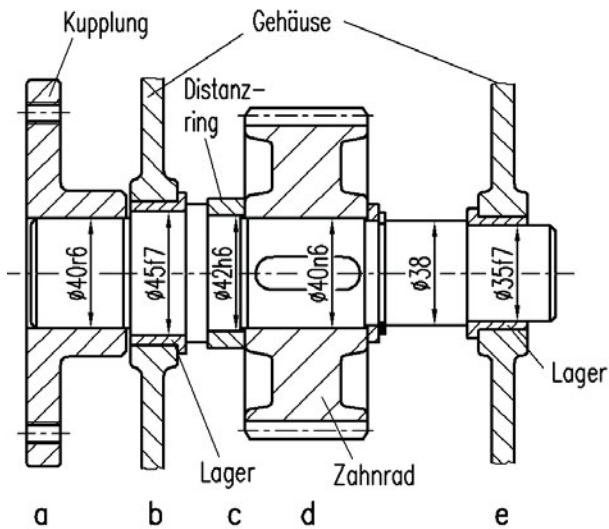


Abbildung 2.1. Getriebewelle

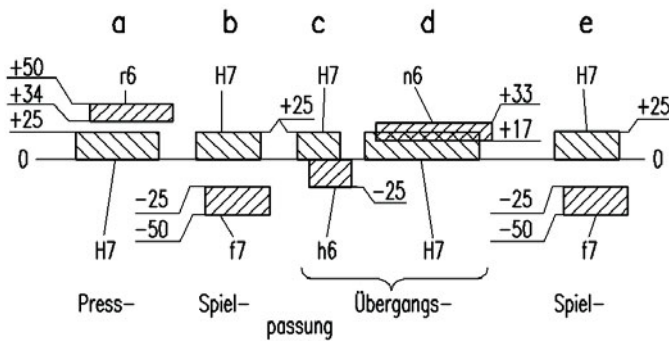


Abbildung 2.2. Toleranzfeldlagen und Abmaße

d)

$$S_g = ES - ei = 25 - 17 = 8 \mu\text{m}$$

$$U_g = EI - es = 0 - 33 = -33 \mu\text{m}$$

e)

$$S_g = ES - ei = 25 - (-50) = 75 \mu\text{m}$$

$$S_k = EI - es = 0 - (-25) = 25 \mu\text{m}$$

2.3 Toleranzen einer Zahnradbefestigung

Abbildung 2.3 zeigt die formschlüssige Befestigung eines Zahnrades auf einer Welle.

Wie groß ist das durch diese Aneinanderreihung mehrerer tolerierter Bauteile mögliche kleinste bzw. größte Axialspiel des Zahnrades?

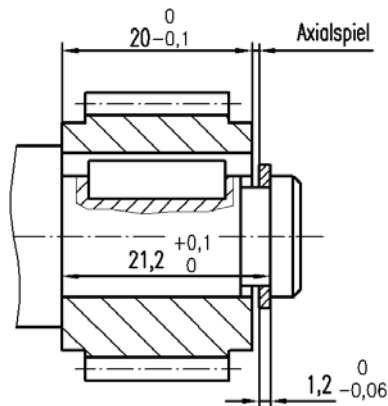


Abbildung 2.3. Zahnrad mit Passfederverbindung, axiale Befestigung durch Sicherungsring

Lösung

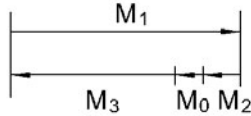
$$M_1 = 21,2^{+0,1}_0 \text{ mm}$$

$$M_2 = 1,2^0_{-0,06} \text{ mm}$$

$$M_3 = 20^0_{-0,1} \text{ mm}$$

Für das Schlussmaß gilt definitionsgemäß

$$M_0 = C_0 \pm \frac{T_0}{2} .$$

**Abbildung 2.4.** Maßkette

Aus der abgebildeten Maßkette folgt:

$$M_1 = M_3 + M_0 + M_2$$

$$M_0 = M_1 - M_2 - M_3$$

und für die Schlussmaßtoleranz

$$T_0 = T_1 + T_2 + T_3$$

Das Toleranzmittenmaß C_0 resultiert aus der Maßkette

$$C_0 = C_1 - C_2 - C_3$$

Die Mittenmaße lauten wie folgt

$$C_1 = 21,25 \text{ mm}$$

$$C_2 = 1,17 \text{ mm}$$

$$C_3 = 19,95 \text{ mm}$$

und damit

$$C_0 = 21,25 - 1,17 - 19,95$$

$$C_0 = 0,13 \text{ mm}$$

Die Schlusstoleranz berechnet sich zu

$$T_0 = 0,1 + 0,06 + 0,1$$

$$T_0 = 0,26$$

und daraus das Schlussmaß

$$M_0 = 0,13 \pm 0,13 \text{ mm}$$

Das kleinste Axialspiel beträgt demnach

$$\underline{M_{0\min} = 0}$$

und das größte Axialspiel

$$\underline{M_{0\max} = 0,26 \text{ mm}}$$

2.4 Verständnisfragen zu Technischen Oberflächen

1. Welche Aufgaben haben die Profilfilter λ_s , λ_f und λ_c ?

Lösung: Das Profilfilter λ_s filtert sehr kurze Wellenlängen aus (Abb. 2.5). Durch die Anwendung des Profilfilters λ_s auf das gemessene Gesamtprofil wird das Primärprofil oder P-Profil erhalten, welches die Ausgangsbasis für das Welligkeits- und das Rauheitsprofil darstellt. Das Profilfilter λ_c trennt aus dem Primärprofil die langwelligen Profilanteile ab, so dass dann das Rauheitsprofil (R-Profil) entsteht, aus dem die Rauheitskennwerte bestimmt werden.

Mit dem Profilfilter λ_f werden die sehr langwelligen Formabweichungen aus dem Primärprofil (P-Profil) abgespalten. Wird das Primärprofil mit dem Profilfilter λ_c und dem Profilfilter λ_f bearbeitet, entsteht das gefilterte Welligkeitsprofil (W-Profil).

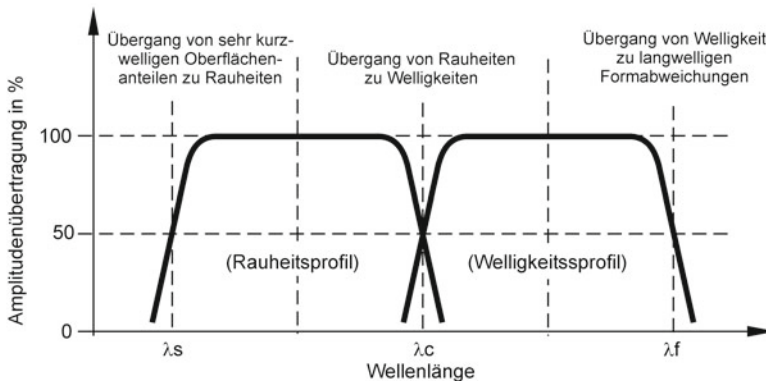


Abbildung 2.5. Profilfilterung bei der Tastschnittmessung

2. Welche Filtergröße λ_c sollte bei $R_z 0,05$; $R_a 0,08$; $R_z 6,0$ und $R_{Sm} 1,0$ gewählt werden?

Lösung: Bei $R_z 0,05$ sollte nach DIN EN ISO 4288 das Profilfilter $\lambda_c = 0,08 \text{ mm}$, bei $R_a 0,08$ das Profilfilter $\lambda_c = 0,25 \text{ mm}$, bei $R_z 6$ das Profilfilter $\lambda_c = 0,8 \text{ mm}$ und bei $R_{Sm} 1,0$ das Profilfilter $\lambda_c = 2,5 \text{ mm}$ verwendet werden.

3. Was ist der Unterschied zwischen der Mess- und der Taststrecke?

Lösung: Die Messstrecke l_n besteht nach DIN EN ISO 4288 in der Regel aus 5 Einzelmessstrecken l_r ($l_n = 5 l_r$). Es können jedoch auch mehr oder weniger Einzelmessstrecken verwendet werden. Die Einzelmessstrecken liegen normalerweise hintereinander (Abb. 2.6). Die Länge der Einzelmessstrecke l_r entspricht der Grenzwellenlänge (cut off) des Profilfilters λ_c ($l_r = \lambda_c$).

Um das Messsignal unter Berücksichtigung des Filters auswerten zu können, wird eine Vorlaufstrecke l_1 und eine Nachlaufstrecke l_2 benötigt, deren Länge jeweils der halben Länge einer Einzelmessstrecke entspricht ($l_1 = l_2 = l_r/2$). Die Taststrecke l_t besteht demzufolge aus Vorlauf-, Mess- und Nachlaufstrecke ($l_t = l_1 + l_n + l_2 = 6 l_r$, wenn $l_n = 5 l_r$).

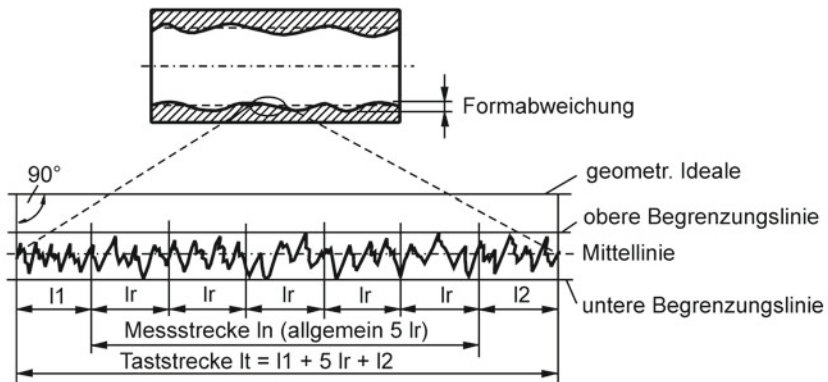


Abbildung 2.6. Taststrecke, Messstrecke und Einzelmessstrecken zur Erfassung der Oberflächenkennwerte

4. Was bedeutet die 16%-Regel und was die Höchstwert-Regel?

Lösung: Anforderungen an die Beschaffenheit von Oberflächen werden als Toleranzgrenzen angegeben. Für den Vergleich von gemessenen Kenngrößen mit festgelegten Toleranzgrenzen können nach DIN EN ISO 4288 zwei unterschiedliche Regeln genutzt werden, und zwar die 16%-Regel und die Höchstwert-Regel.

Wenn die 16%-Regel angewendet wird, liegt eine Oberfläche innerhalb der Toleranz, wenn die vorgegebenen Anforderungen, die durch einen oberen Grenzwert einer Rauheitskenngröße und/oder einen unteren Grenzwert einer Rauheitskenngröße festgelegt werden, von nicht mehr als 16% aller gemessenen Werte der gewählten Kenngröße über- und/oder unterschritten werden. Wenn das Rauheitskennzeichen keinen Anhang „max“ enthält, wird die 16%-Regel eingesetzt (z. B. Rz 4,0).

Werden Anforderungen mit der Höchstwert-Regel geprüft, darf keiner der gemessenen Werte der Kenngröße der zu prüfenden Oberfläche den festgelegten Wert überschreiten. Hierzu werden die Rauheitskenngrößen mit dem Anhang „max“ am Rauheitskurzzeichen gekennzeichnet (z. B. Rzmax 4,0).

5. Was bedeutet Ra1 1,5; Ra3 2,0; Rz6 3,0; Rz 3,0; Rqmax 1,0; U Rz 4,0 und L Rz 2,5; Rt 6,0 und Rpk4 1,5?

Lösung:

- Ra1 1,5 bedeutet, dass der arithmetische Mittelwert einer Einzelmessstrecke der zu prüfenden Oberfläche $< 1,5\mu\text{m}$ sein sollte. Es gilt die 16%-Regel, bei der 16% aller gemessenen Ra-Werte der zu prüfenden Oberfläche oberhalb des angegebenen Grenzwertes liegen dürfen.
- Ra3 2,0 bedeuten, dass der Mittelwert der arithmetischen Mittelwerte von 3 Einzelmessstrecken $< 2,0\mu\text{m}$ sein sollte. Es gilt die 16%-Regel.
- Rz6 3,0 bedeutet, dass der Mittelwert der größten Profilhöhen von 6 Einzelmessstrecken $< 3,0\mu\text{m}$ sein sollte. Es gilt die 16%-Regel.
- Rz3,0 bedeutet, dass der Mittelwert der größten Profilhöhen von 5 Einzelmessstrecken $< 3,0\mu\text{m}$ sein sollte. Es gilt die 16%-Regel.
- Rqmax 1,0 bedeutet, dass der Mittelwert der quadratischen Mittelwerte von 5 Einzelmessstrecken $< 1,0\mu\text{m}$ sein sollte. Es gilt die Höchstwert-Regel, d. h. keiner der gemessenen Rq-Werte der zu prüfenden Oberfläche darf den festgelegten Grenzwert überschreiten.
- U Rz 4,0 und L Rz 2,5 haben folgende Bedeutung:
Für die obere Toleranzgrenze des Rauheitsprofils wird hier der Mittelwert der größten Profilhöhen von 5 Einzelmessstrecken in Höhe von $4,0\mu\text{m}$ gewählt. Als untere Toleranzgrenze gilt hier der Mittelwert der größten Profilhöhen von 5 Einzelmessstrecken in Höhe von $2,5\mu\text{m}$. Das Rauheitsprofil sollte zwischen diesen beiden Werten liegen. Sowohl bei der oberen als auch bei der unteren Toleranzgrenze gilt die 16%-Regel.
- Rpk4 1,5 bedeutet, dass die reduzierte Spitzenhöhe von 4 Einzelmessstrecken $< 1,5\mu\text{m}$ sein sollte. Es gilt die 16%-Regel.

6. Bei welchen Bedingungen entsteht eine negative Schiefe Rsk?

Lösung: Ein Rauheitsprofil mit einer negativen Schiefe ($R_{sk} < 0$) bzw. einer links-schiefen Amplitudendichtekurve, bei der die Kurve entsprechend Abb. 2.7b) nach rechts steil abfällt und bei der sich das Maximum oberhalb der mittleren Linie befindet, tritt häufig bei Profilen mit plateauartiger Oberfläche mit ausgeprägten Profiltaltiefen auf, z. B. nach dem Läppen. Auch nach dem Einlauf mit Einlaufverschleiß oder bei Verschleiß während des Betriebes kann beispielsweise eine Oberfläche mit einer ursprünglich normal verteilten Amplitudendichtekurve mit einer ursprünglichen Schiefe von $R_{sk} = 0$ eine negative Schiefe ($R_{sk} < 0$) bekommen.

7. Welches Oberflächenprofil ruft eine flach abfallende und welches eine steil abfallende Materialanteilkurve hervor? Welche Oberfläche ist höher belastbar?

Lösung: Eine flach abfallende Materialanteilkurve weist auf ein fülliges, eine steil abfallende Kurve auf ein zerklüftetes Profil hin (Abb. 2.8). Die Oberfläche mit dem

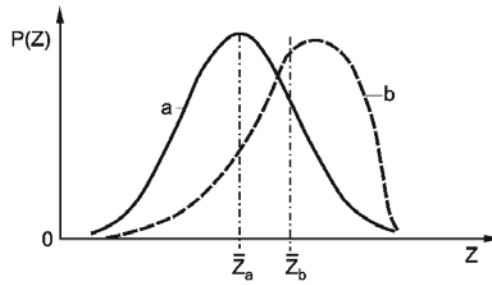


Abbildung 2.7. Amplitudendichtekurven a) Normalverteilung, b) Verteilung mit negativer Schiefe, $\bar{Z}_a$ und $\bar{Z}_b$ mittlere Linie für die Verteilung a) bzw. b)

fülligen plateauförmigen Profil ist höher belastbar, da die reale Kontaktfläche der untersuchten Oberfläche, die bei Kontakt mit einer Gegenfläche entsteht, größer ist und demzufolge die auftretenden realen Pressungen geringer sind.

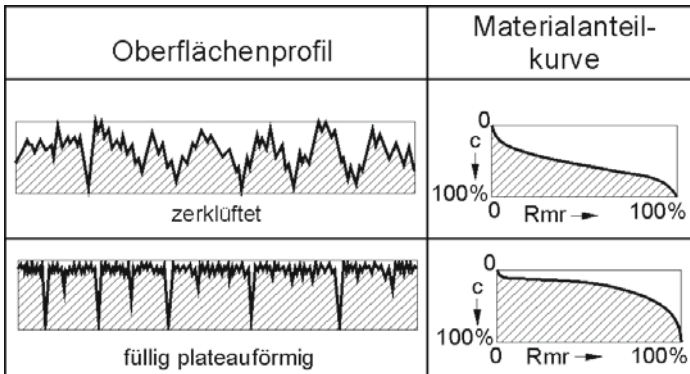


Abbildung 2.8. Oberflächenprofile a) zerklüftet, b) füllig plateauförmig

2.5 Bemaßung von Funktionsflächen

1. Wie wird eine Gleitfläche bemaßt?

Lösung: Für Gleitflächen sind in der Regel ein möglichst geringer Verschleiß und eine hohe Tragfähigkeit erwünscht. Dies kann mit plateauartigen Oberflächen (z. B. gehonte oder geläppte Oberflächen) realisiert werden. Günstig wären daher kleine zulässige Rpk- und Rp-Werte. Größere Rvk-Werte sind vorteilhaft für die Schmierstoffaufnahme.

Für die Oberflächenrauheitstolerierung von Gleitflächen ist auch der Rz-Wert in Kombination mit dem Rmr-Wert günstig. Die Rz-Werte sollten nach VDI-Richtlinie 2204 für Wellen und härtere Lagerwerkstoffe (z. B. Bronze) bei Rz 1 bis Rz 4 liegen, wobei die höheren Werte für große Wellendurchmesser und die niedrigen Werte für kleine Wellendurchmesser gelten. Für weiche Lagerwerkstoffe (z. B. Weißmetall) werden Rz1 bis Rz6 empfohlen.

Beispiele für Oberflächenangaben für Wellen in Gleitlagern:

1. Beispiel: Rpk 0,5; Rk 1 und Rvk 2,5
2. Beispiel: Rz 3,0 und Rmr (0,6) 60% (c0 5%)

2. Wie wird eine Dichtfläche bemaßt?

Lösung: Bei einer Dichtfläche können einzelne Rauheitsspitzen Undichtigkeit hervorrufen. Daher sind hier die Gesamthöhe des Rauheitsprofils der Messstrecke Rt und die Rauheitskennwerte Rpk und Rk aus der Materialanteilkurve zielführend. Damit die Oberfläche keine eigene Förderkomponente entwickelt und damit Undichtigkeit hervorruft, muss die Oberfläche in vielen Anwendungen drallfrei sein. So sollte eine Welle in dem Bereich, in dem ein Radialwellendichtring auf der Welle läuft, drallfrei sein und Rauheitskennwerte von Rz 1,0 bis Rz 4,0 und Rt-Werte < Rtmax 6,0 aufweisen.

Beispiel für Oberflächenangaben für eine Dichtfläche Welle/Radialwellendichtring: "Rtmax 4,0; Rpk 0,8 und Rk 1,2; drallfrei".

Konstruktionselemente des Maschinenbaus -
Übungsbuch

Mit durchgerechneten Lösungen

Sauer, B. (Hrsg.)

2011, XII, 361 S. 250 Abb., Softcover

ISBN: 978-3-642-16800-0