



Toleranzen

Stoffsammlung

Inhaltsverzeichnis

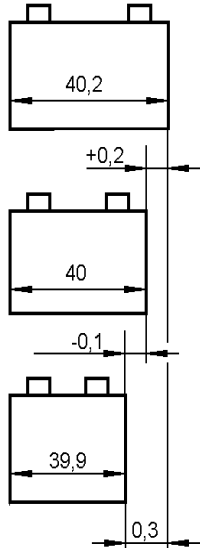
Toleranzen.....	2	Übergangspassung.....	6	Glättungstiefe R_p	10
Begriffe.....	2	Übermaßpassung.....	6	mittlere Glättungstiefe R_{pm}	10
Formeln.....	2	Passungssysteme.....	6	Materialanteile t_p	10
Tolerierungsarten.....	2	Einheitsbohrung H	6	Abbott-Kurve (Materialanteilkurve).....	10
Abmaßtolerierung.....	2	Einheitswelle h	6	Zusammenhang zw. den Kennwerten.....	10
Allgemeintoleranzen.....	2	bevorzugte Toleranzen.....	6	Oberflächenprüfverfahren.....	11
Toleranzen.....	3	Passungsauswahl.....	7	Erreichbare Rauheit bei der Fertigung.....	11
Zweck.....	3	TabB „Passungsauswahl“.....	7	Einflüsse auf die Oberflächengüte.....	11
Begriffe.....	3	Passungsauswahl bei Wälzlagern (radial).....	7	Form- und Lagetoleranzen.....	12
Formeln.....	3	Umfangslast.....	7	Formtoleranzen.....	12
Toleranzangaben.....	3	Punktlast.....	7	Minimum-Prinzip.....	12
Abmaßtolerierung.....	3	Fest- und Loslager.....	7	Geradheit, Ebenheit.....	12
Allgemeintoleranzen.....	3	andere Lagerungen.....	7	Neigung.....	12
ISO-Toleranzsystem.....	3	schwimmende Lagerung.....	7	Rundheit, Zylinderform.....	12
statistische Tolerierung.....	4	angestellte Lagerung.....	7	Lagetoleranzen.....	12
Begründung für statistische Tolerierung.....	4	Oberflächen.....	8	Parallelität.....	12
Wie gibt man statistische Toleranzen an?...4	4	Wirkung auf.....	8	Winkelprüfung.....	12
Auswirkungen.....	4	Tastschnittverfahren.....	8	Konzentrität.....	12
Auswahl von Toleranzen.....	4	Gestaltabweichungen.....	8	Koaxialität.....	12
Passungen.....	6	Grenzwellenlänge λ_c (Cut-Off).....	8	Koaxialität / Konzentrität.....	13
Aufgaben.....	6	Oberflächenkenngößen.....	9	Rundlauf.....	13
Begriffe.....	6	Rautiefe R_t	9	Planlauf.....	13
Höchstpassung.....	6	Maximale Rautiefe R_{max}	9	Prüfung.....	13
Mindestpassung.....	6	Gemittelte Rautiefe R_z	9	Lehren.....	13
Passungsarten.....	6	Arithmetischer Mittenrauwert R_a	9	Zylinderformprüfgeräte.....	13
Spießpassung.....	6	Vergleich $R_a \leftrightarrow R_z$	9	Koordinatenmessgeräte.....	13
				Allgemeintoleranzen.....	13

Literaturverzeichnis

- Decker 2009: Decker et al., Maschinenelemente, München 2009
Dutschke 1996: Wolfgang Dutschke, Fertigungsmesstechnik, Stuttgart 1996
EuroTabM: diverse, Tabellenbuch Metall, Haan-Gruiten
EuroTabM32: Ulrich Fischer ua., Tabellenbuch Metall, 1982
HJTabKfz: Elbl, Föll, Schüler, Tabellenbuch Fahrzeugtechnik, Stuttgart
Hoeschen/Hesser 33: Axel Czaya ua., Technisches Zeichnen, Berlin 2011
Jorden 2009: Walter Jorden, Form- und Lagetoleranzen, München 2009
Roloff/Matek 1995: Matek et al., Maschinenelemente, Braunschweig 1995
Sander 1989: Manfred Sander, Oberflächenmesstechnik für den Praktiker, Göttingen 1989
Skolaut 2014: Werner Skolaut (Hrsg.), Maschinenbau - Ein Lehrbuch für das ganze Bachelor-Studium, Berlin Heidelberg 2014
Steinhilper 2007 II: Albers u.a., Konstruktionselemente des Maschinenbaus 2, Berlin 2007

**Toleranzen**

geben den Bereich an, in dem ein Maß liegen darf.
Toleranzen sind nötig, weil zu genaue Fertigung zu teuer und auch nicht nötig ist.

Begriffez.B. Legosteine Breite $40^{+0,2}_{-0,1}$  G_o Größt-, Höchstmaß

es, ES oberes Abmaß

N Nennmaß

ei, EI unteres Abmaß

 G_u Kleinst-, Mindestmaß

T Toleranz

Formeln

$$G_o = N + ES$$

$$40,2 = 40 + 0,2$$

$$T = G_o - G_u$$

$$0,3 = 40,2 - 39,9$$

$$G_u = N + EI$$

$$39,9 = 40 + (-0,1)$$

$$T = ES - EI$$

$$0,3 = 0,2 - (-0,1)$$

Tolerierungsarten**Abmaßtolerierung** z.B. $10 \pm 0,1$

leicht lesbar, (zu) vielseitig

Allgemeintoleranzen z.B. Maß 30
Maße ohne Toleranzangabe nach
DIN ISO 2768m**Vertiefung**

für BVJ

ca 90' Zeitbedarf

AM Legosteine, Schraube

- 1) Wie genau kann man ein Maß des AM fertigen?
 - 2) Warum fertigt man nicht grundsätzlich so genau wie möglich?
 - 3) Warum lässt man den Hersteller nicht so billig wie möglich produzieren?
- Dann lässt er seine Maschine laufen und verschleißt bis der Sechskant rund ist.

Grün = Farbe für Beispiele**[EuroTabM], [HJTabKfz]18 S.312 „Toleranz“**

Im Zuge der Europäisierung der Normen wurden in den letzten Jahren die genormten Begriffe geändert. Da in der Praxis alle Begriffe durcheinander verwendet werden, müssen die Schüler alle Begriffe passiv verstehen. Es ist mir gleich, welche Begriffe sie aktiv verwenden.

Die in beiden aktuellen TabB verwendeten Begriffe sind unterstrichen.

HTFKWM1 S.287ff verwendet für die Grenzmaße G_s/G_u und G_i/G_e statt G_o und G_u . Die Indizes stehen für Superieure und Inferieure, aber die Bedeutung des G ist unklar.

Eselsbrücke: Innenmaße (z.B. Bohrungen) sind meist etwas größer als Außenmaße (z.B. Wellen), deshalb verwendet man dafür Großbuchstaben.

Für Außenmaße verwendet man bei Abmaßen und ISO-Toleranzen Kleinbuchstaben (ei = ecarte inferieure bzw. es = ecarte superieure) und bei Innenmaßen Großbuchstaben (EI, ES).

Vorzeichen beachten

- 4) Wie berechnet man G_o , G_u und T im allgemeinen Fall?

- 1) **Ültg:** Die Tolerierungsart aus dem Leitbeispiel

In praktischen Zeichnungen selten angewendet?

Der Konstrukteur ist in der Wahl der Toleranz nicht eingeschränkt. Da aber z.B. bei Bohrungen für jedes Toleranzfeld eine spezielle Reibahle nötig ist, kann dies teuer werden.

- 2) **Ültg:** Welche Toleranzen haben die Maße der Zeichnung, die nicht toleriert sind

Für allgemeine Maße, die keine besondere Toleranz erfordern

AB Übungen zu Toleranzen (Legosteine)

Quellen:
[Sander 1989]



Toleranzen

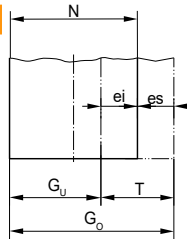
= zulässige Abweichung vom Nennmaß
= Spielraum für die Fertigung

Zweck

weil zu genaue Teile zu teuer sind und
zu ungenaue Teile nicht funktionieren

Begriffe

Beispiel Welle $\varnothing 40^{+0,2}_{-0,1}$



40 N Nennmaß

40,2 G_o oberes Grenzmaß, Größt-, Höchstmaß

39,9 G_u unteres Grenzmaß, Kleinst-, Mindestmaß

+0,2 es, ES oberes (Grenz-)Abmaß, (veraltet: A_o)

-0,1 ei, EI unteres (Grenz-)Abmaß, (veraltet: A_u)

Großbuchstaben für Innenmaße u.u.

0,3 T Toleranz

Formeln

$$G_o = N + ES = 40,2 = 40 + \quad G_u = N + EI = 39,9 = 40 + (-0,1)$$

$$T = G_o - G_u = 0,3 = 40,2 - 39,9 \quad T = ES - EI = 0,3 = 0,2 - (-0,1)$$

Toleranzangaben

Abmaßtolerierung z.B. $10 \pm 0,1$

leicht lesbar, (zu) vielseitig

Allgemeintoleranzen z.B. Maß 30
Schriftfeld DIN ISO 2768m

→ TabB

DIN 2768 (neu) DIN 7168 (veraltet)
f, m, g, sg f, m, c, v (Toleranzklassen)

Bedeutung der Abkürzung der Toleranzklassen nur im Notfall anschreiben

für Maße ohne besondere Funktion

ISO-Toleranzsystem z.B. 30h6

30 Nennmaß

h6 Toleranzklasse

6 Toleranzgrad

gibt die Größe der Toleranz abhängig vom Nennmaß an
und ist ein Maß für Fertigungsaufwand und Kosten
(unabhängig vom Nennmaß !)

h Lage der ISO-Toleranzfelder

Großbuchstaben für Innenmaße, z.B. Bohrungen

Kleinbuchstaben für Außenmaße, z.B. Wellen

- H/h beginnen beim Nennmaß Richtung Spiel
- JS/js sind symmetrisch zum Nennmaß

Merkmale des ISO-Toleranzsystems

- Funktion und Aufwand (Preis) sind gut erkennbar
- gewollt eingeschränkte Auswahl
⇒ rationellere Fertigung

z.B. Schlüssel im Schlüsselloch; Deckel auf Faserstift

FO Schließzylinder, Schließzylinder aus Türschloss ausbauen lassen

3) Wie sorgt man dafür, dass die Teile zueinander passen?

4) Wie genau kann man ein Maß des Beispiels fertigen?

5) Warum fertigt man nicht grundsätzlich so genau wie möglich?
zu teuer

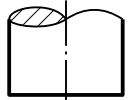
6) Warum lässt man Hersteller nicht so billig wie möglich produzieren?
Dann laufen die Maschinen bis z.B. ein Sechskant rund ist.

[EuroTabM], [HJTabKfz] „Toleranz“

TA Offline

7) Hinweise zum technischen Zeichnen, je nach Kenntnisstand und verfügbarer Zeit als Erklärung während des Skizzierens des TA oder als Wiederholungsfragen

Wellen werden mit einer Freihandlinie geschnitten (früher Bruchschleife) und alle Durchmessermaße werden mit $\varnothing$ gekennzeichnet (früher nur, wenn die Form nicht als Kreis erkennbar war). Maßpfeile schlank, Mittellinie schmale Strichpunktlinie, Maßlinien und Maßhilfslinien schmale Volllinien, nur sichtbare Kanten als breite Volllinien.



veraltete Darstellung einer Welle mit Bruchlinie

Im Zuge der Europäisierung der Normen wurden in den letzten Jahren die genormten Begriffe geändert. Da in der Praxis alle Begriffe durcheinander verwendet werden, müssen die Schüler alle Begriffe passiv verstehen. Es ist mir gleich, welche Begriffe sie aktiv verwenden.

Die in beiden aktuellen TabB verwendeten Begriffe sind unterstrichen.

Eselsbrücke: Innenmaße (z.B. Bohrungen) sind meist etwas größer als Außenmaße (z.B. Wellen), deshalb verwendet man dafür Großbuchstaben.

Für Außenmaße verwendet man bei Abmaßen und ISO-Toleranzen Kleinbuchstaben (ei, es) und bei Innenmaßen Großbuchstaben (EI, ES). (ei = écart inférieure bzw. es = écart supérieure [Roloff/Matek 1995] oder extreme inferior / superior [Decker 2009]) Vorzeichen beachten!

8) Wie berechnet man G_o, G_u und T im allgemeinen Fall?

9) Ültg: die Tolerierungsart aus dem Leitbeispiel

In praktischen Zeichnungen selten angewendet?

Der Konstrukteur ist in der Wahl der Toleranz nicht eingeschränkt. Da aber z.B. bei Bohrungen für jedes Toleranzfeld eine spezielle Reibhahle und ein spezieller Grenzlehndorn nötig sein kann, kann die Wahlfreiheit des Konstrukteurs teuer werden.

10) Ültg: Welche Toleranzen haben Maße, die nicht toleriert sind

Für allgemeine Maße, die keine besondere Toleranz erfordern. Freimaßtoleranzen?

[EuroTabM], [HJTabKfz] „(Allgemein-)Toleranzen“

Erstmalige Arbeit mit dem Tabellenbuch: Hinweis auf Inhalts-, Stichwort- und DIN-Nummern-Verzeichnis; Seite suchen lassen, Frage nach Toleranzklassen f, m, c, v. Auch hier Europäisierung der Normen, jetzt in Englisch (fine, middle, coarse, very coarse); früher deutsch (fein, mittel, grob, sehr grob (saugrob :-))

Die Toleranzen der Normen unterscheiden sich nur in den Klassen v / sg bei N > 120mm.

Allgemeintoleranzen sind zu unflexibel, Abmaßtolerierung zu aufwendig und zu vielseitig! Weitere Möglichkeit der Tolerierung siehe Zeichnung. Mbm: keine Herleitung

[EuroTabM] „Toleranzklassen“

11) Bedeutung von 30h6 = 30-0,013+0; Ablesebeispiele aus dem TabB

12) Vergleiche die Toleranzen k6, j6, J6 usw. für das Nennmaß 30mm.

13) Vergleiche die Toleranz mit den IT-Grundtoleranzen

[EuroTabM] „Grundtoleranzen“

14) Welche qualitative und wirtschaftl. Aussage macht der Toleranzgrad?

15) Welche Info bietet der Buchstabe?

FO Lage der ISO-Toleranzfelder

TG nur bei ausreichender Zeit:

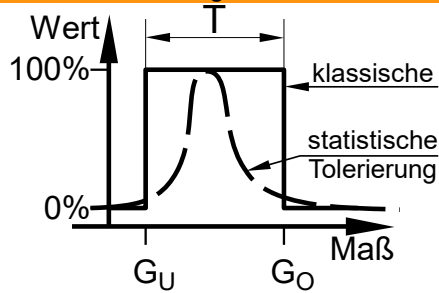
Tragen Sie alle Toleranzen (Nennmaß 10mm, Toleranzklasse 6) in ein Diagramm (y-Achse Abmaße von -30µm bis +30µm, Nulllinie = Nennmaß, x-Achse Toleranzfeldlage A (a) bis Z (z) ein.

An der Zahl kann man Aufwand und Kosten ablesen, an dem Buchstaben die Funktion. Toleranzklassen AA ... ZZ und 0 ... 12 decken die kleinen Toleranzen weitgehend ab.

Warum sind im TabB nur einige Toleranzen abgedruckt, darunter einige fett ⇒ Fußnote „Die fett gedruckten Toleranzklassen ... sollen bevorzugt verwendet werden“. Durch die Einschränkung der verwendeten Toleranzen werden z.B. nicht alle möglichen Bohrungen für Konstruktionen verwendet, dadurch benötigt man weniger Bohrer und Lehren.



statistische Tolerierung



Begründung für statistische Tolerierung

- Wenn man an der Toleranzgrenze fertigt,
- Funktionsqualität ist nicht optimal.
 - geringe Störung kann zu Ausschuss führen.
 - nur teure 100%-Prüfungen verhindert Ausschuss

Klassische Toleranzen sind weiterhin gültig für Einzelteil aber nicht mehr ausreichend für Serienfertigung

Wie gibt man statistische Toleranzen an?

- Man verwendet weiterhin die alten Toleranzangaben und verlangt zusätzlich 6- σ -Fertigung, d.h.
- Mittelwert $\mu \pm 3 \times$ Standardabweichung σ müssen innerhalb der Toleranz liegen
 - 8-, 10-, 12-, ... -Sigma sind möglich

Auswirkungen

- Toleranz darf nicht mehr beliebig ausgenutzt werden
- Hersteller muss in der Fertigung regelmäßig Stichproben nehmen ($\rightarrow$ Qualitätsregelkarte QRK)
- QRK kann Eingangsprüfung des Kunden ersetzen
- QRK dokumentieren Sorgfalt im Sinne des Produkthaftungsgesetzes ($\rightarrow$ Beweislastumkehr!)

Vertiefung

Für TG: Auch Winkel-, Radien, Form- und Lagetoleranzen zeigen

Auswahl von Toleranzen

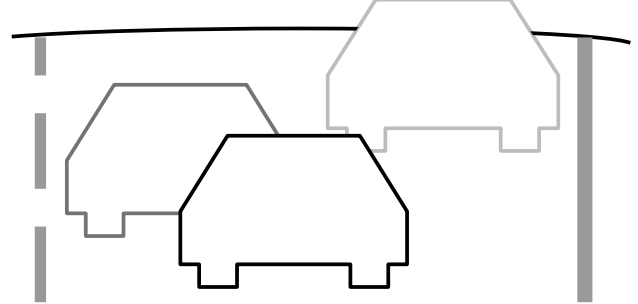
Bei der Auswahl der Toleranzen muss geprüft werden, ob sie fertigungs-, funktions- und prüfgerecht sind. Toleranz muss so groß sein, dass sie die Fertigungstoleranz und die Messunsicherheit umfassen kann.

- 1) *Klassische Toleranzen kennen nur die Qualität 0% und 100%. Alle herkömmlichen Tolerierungssysteme gehen davon aus, dass ein Teil innerhalb der Toleranzen seine Funktion zu 100% und außerhalb der Toleranzen zu 0% erfüllt. (Schüler im 1. Lehrjahr haben Schwierigkeiten, dies zu begreifen.)*

- 2) *Diagramm vorgeben, Qualitätskurve entwickeln*

Leitbeispiel: Fahrzeug auf Straße

Animiertes GIF: <https://ulrich-rapp.de/stoff/statistik/index.htm#spc>



Ein Fahrzeug (Fertigungsprozess) sollte nicht die ganze Fahrbahnbreite (Toleranz) ausnutzen.

- 3) *Wie reagieren Sie, wenn das Fahrzeug vor Ihnen Schlangenlinien fährt und die ganze Fahrbahnbreite ausnützt? Es verlässt seine Spur nicht! $\rightarrow$ Hoffentlich halten Sie einen großen Abstand ein*

Taguchi weist jedem Maß eine Qualität zu, die abhängig vom Abstand des Maßes zu einem Mittelwert ist. Für die Tolerierung könnte z.B. Verteilungsart, Mittelwert und Standardabweichung gefordert werden. Dieses System toleriert zwar einzelne Ausreißer, erlaubt aber kein Los an der Toleranzgrenze. Dieses Verfahren entspricht eher modernen Fertigungs- und QS-Verfahren ohne wesentliche Beeinträchtigung der Qualität des Gesamtsystems. Versuche, Mittelwert und Streuung in Zeichnungen anzugeben, haben sich nicht durchgesetzt.

Toleranz_TA_Toleranz.odt

Das ProdHaftG macht einen Hersteller verschuldensunabhängig (!) haftbar, wenn sein Produkt einen körperlichen Schaden verursacht. Er kann sich der Haftung unter bestimmten Umständen entziehen, z.B. indem er nachweist, dass er nach dem Stand der Technik produziert hat (= Sorgfalt). Im Gegensatz zu anderen Haftungen muss aber nicht mehr der Verbraucher nachweisen, dass der Hersteller einen Fehler gemacht hat, sondern umgekehrt (= Beweislastumkehr). Mit diesem Gesetz, das D übrigens von der EU 'aufgezwungen' wurde, soll verhindert werden, dass sich Hersteller hinter der Beweislast für die Opfer verschancen (Contergan, Xyladecor, giftige Lederschutzmittel, Lipobay, ...). Dieselben Auswüchse bekämpft das US-Recht mit 'punitive damages': Die Beweislast bleibt zwar beim Opfer, aber wenn es Erfolg hat, sind die Strafen so exorbitant hoch, dass für die Hersteller vorsorgliche Vermeidungsmaßnahmen billiger kommen.

Produkthaftungsgesetz_AB (hier nicht vertiefen)

AB Übungen zu Toleranzen und Passungen für TG
Text: SPC_Einführung_TX

QZ 8/1999 S.1018

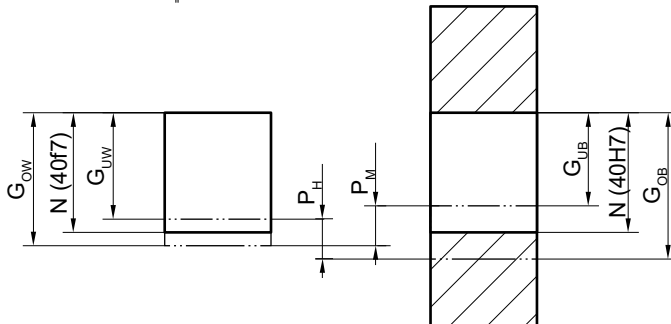
DIN EN ISO 14253-1 Messunsicherheit / Fertigungstoleranz

**Passungen**

= Kombination aus zwei Toleranzen

Aufgaben

- Führungen
- Pressverbindungen
- Abdichten
- Austauschbarkeit

Begriffez.B. $\varnothing 40H7f7$ Innenmaß $\varnothing 40H7$,
Außenmaß $\varnothing 40f7$ **Höchstpassung**

$$P_H = G_{OB} - G_{UW} = ES - ei$$

Mindestpassung

$$P_M = G_{UB} - G_{OW} = EI - es$$

Passungsarten**Spielpassung**

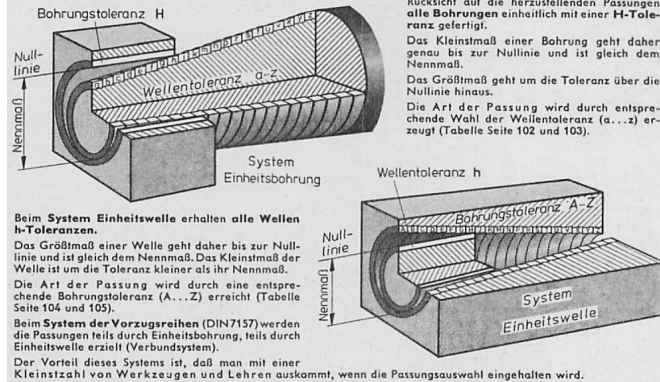
$$0 < P_M < P_H$$

Übergangspassung

$$P_M < 0 < P_H$$

Übermaßpassung

$$P_M < P_H < 0$$

Überleitung**Passungs-Systeme****Passungssysteme****AB erarbeiten:**

Problemstellung: Schlüssel soll im Schloß leicht laufen, Geg: $PM = ..$ und $PH = ..$
Wähle geeignete Passung, suche Werk- und Prüfzeuge aus dem Werkzeugkatalog

Darstellung nach [EuroTabM32] S.100 oder [Skolaut 2014] S.777

Einheitsbohrung H (meist angewendet)

benötigt weniger Werkzeuge und Lehren für Bohrungen

Einheitswelle h (selten angewendet)

wenn mehrere Elemente auf eine Welle passen sollen

bevorzugte Toleranzen

im TabB fett gedruckt

zur Einsparung von Werkzeug und Lehren

Vertiefung**zB: Schlüssel im Schlüsselloch; Deckel auf Faserstift**

- 1) *Ültg: Maßtoleranz für sich alleine ist zwar für die Fertigung wichtig, aber für die Funktion muss man meist 2 Toleranzen betrachten (vgl. Schlüsselloch und Schlüssel; Faserstift und Deckel).*

Wie nennt man zwei passende Toleranzen? $\Rightarrow$ Passung

Die Bauteile des hydropneumatischen Niveaueingleiches von Citroen wurden bis ca. 1970 durch Klassieren, d.h. durch Messen und Sortieren, zugeordnet.

Wird heute (2008) noch bei Einspritzdüsen für Dieselmotoren gemacht (Heinzmann ??) Normierte Passungssysteme wurden während des WKI eingeführt (DIN 1 Zylinderstift).

= Welle $\varnothing 40f7$ / Bohrung $\varnothing 40H7$. Schreibweise $\varnothing 40H7f7$ auf einer Zeile ist für CAD zulässig, sonst steht das Innenmaß oben (Eselsbrücke für Großschreibung: das Innenmaß ist meist größer)

$$40H7 = 40 + 0,025; 40f7 = 40 - 0,025 - 0,050$$

$$4H7 = 4 + 0,010; 4f7 = 4 - 0,006 - 0,016$$

Innenmaß Bohrung oder Schlüsselloch groß, Außenmaß Welle oder Schlüssel

Zeichnung vereinfacht ohne Nennmaß und Abmaße.

Hinweise zum Zeichnen: die Schraffur symbolisiert die Riefen einer Säge und kennzeichnet virtuell geschnittenen Flächen. Schmale Strich - zwei - Punktklinien werden für Grenzstellungen (Türgriff unten in betätigter Stellung) oder benachbarte Werkstücke verwendet.

Im [EuroTabM] werden die Begriffe Höchstspiel P_{SH} , Mindestspiel P_{SM} , Höchstübermaß P_{OH} und Mindestübermaß P_{OM} verwendet. Da sie mit denselben Formeln berechnet werden, erkennt man Übermaß am negativen Vorzeichen. Ich führe diese Begriffe nicht ein, weil Sie keine zusätzliche Aussage bieten und nur verwirren.

Die Indices W und B stehen für Bohrung und Welle.

Bild und Beispiel aneinander anpassengrößte Bohrung - kleinste Welle; $\varnothing 40: 0,075\mu m$; $\varnothing 4: 0,026$ kleinste Bohrung - größte Welle, $\varnothing 40: 0,025\mu m$; $\varnothing 4: 0,006\mu m$

auch: positive Passung

auch: negative Passung; veraltet, aber leichter verständlich: Presspassung

FO Übungen zu Passungen

Vertiefung

→ [EuroTabM] „JSP-Passungen“, System Einheitsbohrung, z.B. 100H7

Zur Bohrung H7 sind verschiedene Wellentoleranzen vorgeschlagen, die Spiel-, Übergangs- und Übermaßpassungen führen.

- 1) Wozu wählt man welche Passung?

→ [EuroTabM] „Passungsempfehlungen, Passungsauswahl“

- 2) Hier sind auch die Begriffe Einheitsbohrung und Einheitswelle eingetragen. Wie unterscheiden sich die Systeme?

Bei Einheitsbohrung hat die Bohrung immer eine H-Toleranz; die Funktion der Passung wird über die Toleranz der Welle eingestellt. Bei Einheitswelle hat die Welle immer eine h-Toleranz.

- 3) Welchen Vorteil haben diese Systeme?

Es werden weniger Toleranzen benötigt → weniger Werk- und Prüfzeuge – weniger Kosten

- 1) Unterschiede in den Passungssystemen?

→ [EuroTabM] „ISO-Passungssystem“

- 2) Ein Ausbilder lässt jede der angezeigten Passungen herstellen! Wie viele Werkzeuge benötigt man im System Einheitswelle?

1 Drehmeißel + 25 Bohrer

- 3) Wie viele Werkzeuge benötigt man im System Einheitsbohrung?

1 Bohrer + 1 Drehmeißel → Einheitsbohrung ist unbedingt zu bevorzugen!

Alle Bohrungen erhalten die Toleranzfeldlage H, die Funktion der Passung wird über die Toleranz der Welle eingestellt.

FO ISO-Passungssystem

Die Welle erhält die Toleranzfeldlage h, die Bohrungen werden angepasst

z.B. Lager, aufgeschraubtes oder axial bewegliches Zahnrad

[EuroTabM] „Passungen“

- 4) Auch bei Einheitswelle und Einheitsbohrungen gibt es noch zu viele Möglichkeiten, $\Rightarrow$ deshalb soll man einige bevorzugen (im Tabellenbuch fett gedruckt).

AB Übungen zu Toleranzen und Passungen Seite 2

Android-App Iso-Toleranzen von Daniel Zurhausen

Beispiel: 70H7f6

Warum ändert sich die Grafik des Innenmaßes, wenn man das Außenmaß ändert? Maßstab passt sich an.

Warum bekommt im TabB die Welle die kleinere Toleranz? Bei Wellen leichter herzustellen.

Toleranz_TA_Passung.odt



Passungsauswahl

TabB „Passungsauswahl“

B)

Ültg: Bei Wälzlager ist der Passungsvorschlag abhängig von Lagerart (Axial, Radial) und Lastfall (Umfangslast, Punktlast). Axiallager betrachten wir hier nicht, die Verhältnisse sind ähnlich wie bei Radiallager. Was bedeutet und bewirkt der Lastfall (Umfangs- oder Punktlast)?

- 1) Nennen Sie ein Beispiel am Fahrrad für umlaufende / feststehende Welle / Achse. Wo tritt Umfangslast / Punktlast auf?
- 2) Welche Passungen schlägt das TabB vor?
- 3) Um welche Passungsart handelt es sich?

FO Lage der ISO-Toleranzfelder

- 4) Welche Wirkung haben Umfangs/Punktlast?
- 5) Warum ist die eher lockere / festere Passung notwendig?

Die Lagerschalen von Wälzlager sind in so etwas ähnlichem wie H bzw. h-Toleranzen genormt (SkF Hauptkatalog 1984-12, S.53ff, Bild S.71).

FO oder AM Schließzylinder

A: Welche Toleranzen wählt man für die Passung Grundkörper zum Schließzylinder? ⇒

[EuroTabM] „Passungsauswahl“; FO Lage der ISO-Toleranzfelder

Vorschläge für Passungen mit Merkmalen abhängig von der Anwendung.

C)

- 1) Warum wählt man nicht der Einfachheit halber für alle Passungen Spielpassungen, die leichter zu montieren sind?

FO Balkenbrücke

- 2) Wie verändert sich die Brücke im Wechsel der Jahreszeiten, wie muss die Veränderung aufgefangen werden.

⇒ Spielpassungen sind leichter zu montieren, Übergangspassungen verhindern Wandern des Ringes, außerdem stützen sie die Lagerschale besser ab.

FO verschiedenen Lagerungen (Maschinenelemente)

Passungsauswahl bei Wälzlager (radial)

z.B.

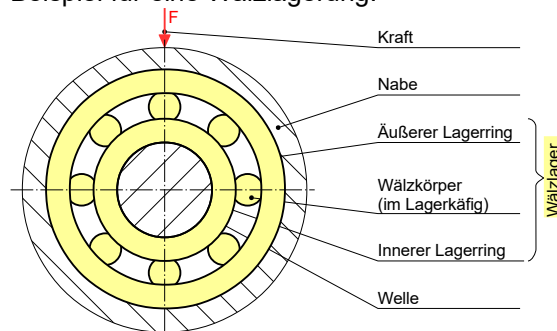
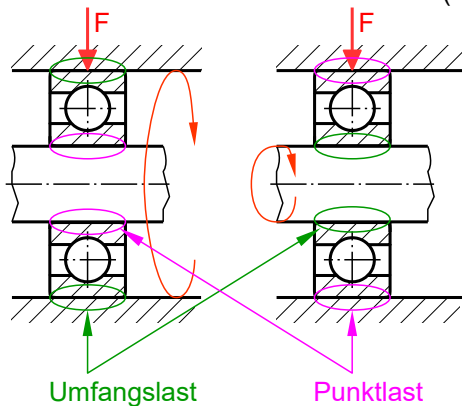
Fahrradachse

Tretkurbelwelle

Lastfall Nabe dreht

Welle dreht (Last steht)

Beispiel für eine Wälzlagerung:



Hinweis: Geradzählige Mengen von Wälzkörpern sind nicht unbedingt üblich, aber leichter zu zeichnen.

Umfangslast

⇒Übergang / Übermaß

Die Last wandert über dem Umfang weil fester Sitz erforderlich ist



neigt zum Wandern (Fressen)

Punktlast

⇒Spiel .. Übergang

Die Last bleibt an derselben Stelle und bewirkt eine punktuelle Formänderung weil loser Sitz ausreichend ist (leichter montierbar, geeignet für Loslager)



stillstehende Kerbe hält

Fest- und Loslager

Jede Lagerung enthält 1 Festlager (axial fest), alle anderen Lager müssen Loslager (axial beweglich) sein.

Loslager sind

- in sich axial verschieblich (z.B. Nadellager) oder lose gelagert =
- Spiel- oder Übergangspassung bei der Punktlast

Allgemeine Regel

Jede Konstruktion muss Längenänderungen der Bauteile aushalten können

Umlaufende Kanten bei Rikula

Darstellung [Skolaut 2014] einbauen

andere Lagerungen

schwimmende Lagerung

- mit großem axialen Spiel
- „Anschlag“ links und rechts
- nicht für wechselnde Axialkräfte geeignet

angestellte Lagerung

- mit kleinem axialen Spiel: X- oder O-Anordnung
- für Schrägkugel- oder Kegelrollenlager erforderlich

Übungen

AB Passungsauswahl bei Wälzlager

Skizze einer Lagerung, Bilder mit Beispielen für umlaufende Wellen u.a. (umlaufende Welle: Eisenbahn, Tretkurbelwelle; stehende Welle: Kfz; Fahrradachse)

Einleitung: TabB Auswahl von Passungen

Ültg: unbekannte Begriffe siehe Arbeitsblatt, gleichzeitig Unterscheidung Welle, Achse usw.

→ [Hoischen/Hesser 33] S.324

→ [Steinhilper 2007 II] S.156

→ [Skolaut 2014] S.900 nennt schwimmende Lagerung auch Stützlagerung

- Elastomerlager – Brücke über die Wiese zw. Lörrach und Tumringen

-

Fest-Loslager FO Bauarten

Fest-Loslager AB Seilwinde

Los- und Festlager, Umfangs- und Punktlast in den Lagerbeispielen bestimmen, geeignete Passungen wählen.

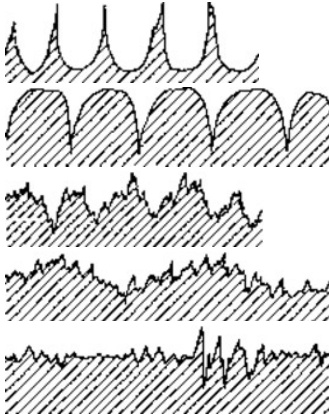
Toleranz_TA_Passung.odt



Oberflächen

Wirkung auf

ca 90' Zeitbedarf

verschleißt anfangs schnell:
Einlaufverhalten, Passung

hohe Tragfähigkeit

Reibung, Schmierung,
Griffigkeit

Korrosion, Ermüdung

Haftgrund für Beschich-
tung, Dichtheit

Tastschnittverfahren

Einziges genormtes Verfahren, liefert das Istprofil
Vergleiche Plattenspieler

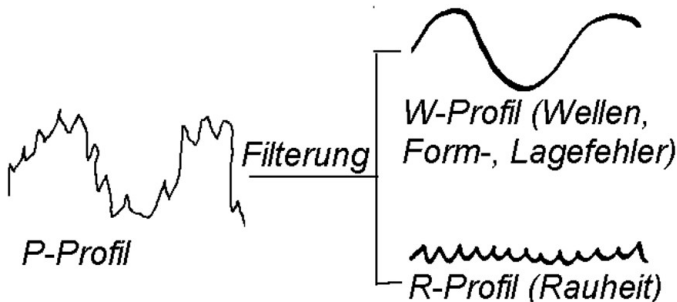
Gestaltabweichungen

1.+2. Ordnung: Form- und Lagefehler, Wellen
Drehmaschine in Schwingung

3.+4. Ordnung: Rauheit

Rauigkeit ist aus Rillen, Riefen, Schuppen und Kuppen zusam-
gesetzt, z.B. durch Spanbildung bei harten Werkstoffen (Stauben und
abreißen), durch Vorschub der Schneide (Rillen = Spur neben Spur)

5.+6. Ordnung: Gefüge, Gitter

wird nicht behandelt, ist zu fein, wird von normalen Geräten nicht auf-
genommenOberflächenbeschädigungen (Risse, Kratzer, Dellen)
müssen gesondert beurteilt werden.Grenzwellenlänge λ_c (Cut-Off)trennt R- und W-Profil und hat großen Einfluss auf das
Messergebnis

Vertiefung

AM Nockenwelle

1) Erforderliche Eigenschaften an den Laufflächen: außen hart, innen zäh,
glatt. Wie ist die Oberfläche zu erzielen?

FO gehobte Oberfläche

⇒ Rauheitskenngrößen sind erforderlich.

2) Welche Funktionen hat eine Werkstückoberfläche?

3) Wie beeinflussen die Oberflächenprofile diese Funktionen?

spitzkammig

rundkammig

kurzwellig

Zylinderkopf und Motorblock benötigen Rauheiten von 10 .. 20µm, damit die Zylinderkopf-
dichtungen einhaken können und nicht zu stark wandern.

langwellig

aperiodisch

Aufgaben von Oberflächen

Oberflächen haben auch die Aufgabe, sich ineinander zu verhaken, wie das Beispiel Zylind-
derkopf zeigt. Obwohl Zylinderköpfe mit hohen Vorspannungen montiert werden, schwim-
men sie im Betrieb auf der Zylinderkopfdichtung. Es werden Dichtspaltschwingungen bis zu
5 µm bei Pkw und 15 µm bei Nfz gemessen. Deshalb müssen Zylinderkopf und Zylinder-
block Rauheiten von 10 bis 20 µm aufweisen, damit sie sich in der Dichtung verhaken und
ein Rausschieben der Dichtung verhindern. [Kraftband 5/95 S.214]

1) Welches universelle Prüfmittel für Oberflächen kennen Sie?

FO Tastschnittverfahren

Ergibt nur eine Linie, belastet die Oberfläche.

1)) Aufnahme der Messgröße, Gestaltabweichung

FO Straße

2 Gestaltabweichungen gibt es auch auf Werkstückoberflächen. Wie kom-
men sie zustande

FO Gestaltabweichung in 6 Ordnungen nach DIN4760

⇒ Oberflächen sind die Überlagerung aller Ordnungen (Wellenlängen).

Gestaltabweichung ist die Überlagerung verschiedener Profile; andere Überlagerungen ver-
gleichbare Wasser, Musik, elektromagnetische Wellen

Bild siehe EuroM S...

Die Gestaltabweichungen 5.+6. Ordnung werden von Oberflächenprüfgeräten nicht erfasst.
Die Gestaltabweichungen 1.-4. Ordnung werden durch Filter getrennt.

In der Oberflächenprüftechnik spielen die 3. und 4. Ordnung eine Rolle.

Die Filterung findet entweder mechanisch durch Kufen (für tragbare Geräte) oder elektro-
nisch mit Hoch- und Tiefpass statt (vergleiche Frequenzweichen von Lautsprecherboxen).
Die Grenzwellenlänge λ_c (Cut-Off) ist gleichzeitig die Länge der Einzelmessstrecken l_s .

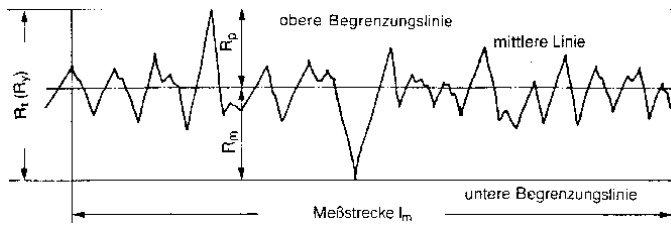
Video Oberflächen 1



Oberflächenkenngrößen

Rautiefe R_t

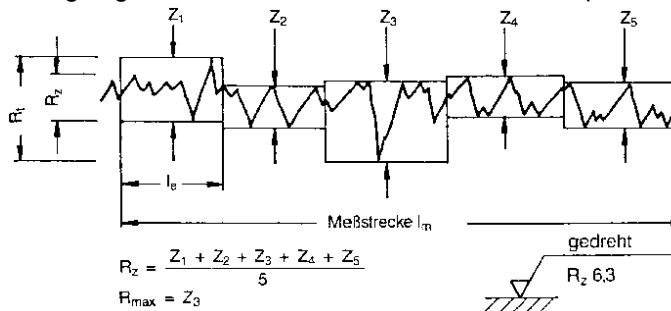
leicht verfälscht durch Profilausreißer



Maximale Rautiefe R_{tmax}

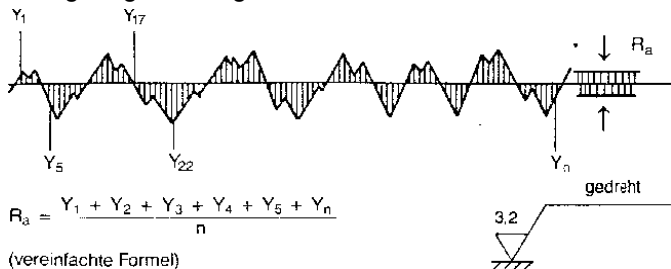
Gemittelte Rautiefe R_z

geeignet, wenn Profilausreißer keine Rolle spielen



Arithmetischer Mittenrauwert R_a

geringe Aussagekraft



Vergleich $R_a \leftrightarrow R_z$

	R_a	R_z
Verbreitung	weltweit	nur Europa
Messgerät	einfach	weniger einfach
Streuung der Messwerte	gering	weniger gering
Ermittlung aus Profildia-gramm	nicht möglich	möglich
Aussagefähigkeit	gering	gut
Tauglichkeit zur Ausreißerfassung	nicht möglich	näherungsweise
Messung Flächen < 0,5mm	nicht möglich	möglich

(DIN 4762-1960)

- anfällig gegen Profilausreißer, auch wenn diese nicht funktionsentscheidend (z.B. bei Dichtsitzen) sind.
- entspricht dem Abstand von der höchsten Profilerhebung bis zum tiefsten Tal innerhalb der Messstrecke l_m
- soll nicht mehr angewendet werden, da keine genormten Messbedingungen vorliegen.
- wenn sie in Zeichnungen noch vorgefunden werden, soll wertgleich R_z verwendet werden.

(DIN 4768)

- ist kleiner oder gleich R_t
- ist die größte Einzelrautiefe R_t aus 5 aufeinanderfolgenden Einzelmessstrecken l_e

(DIN 4768/1)

- ist der Mittelwert aus den Einzelrautiefen von 5 aufeinander folgenden Einzelmessstrecken l_e (= Grenzwellenlänge λ_c (Cut-Off))
- R_z (auch: R_z -DIN) ist nicht zu verwechseln mit R_z -ISO (Gemittelte Rautiefe oder Zehnpunkthöhe ISO 468-1982 und ISO 4287/1-1984). R_z -ISO ist ebenfalls ein Mittelwert aus den 5 höchsten und 5 tiefsten Punkten, unterscheidet innerhalb der Bezugstrecke l_m aber keine Einzelmessstrecken, sein Zahlenwert ist deshalb größer oder gleich R_z -DIN. Die Abweichung beträgt in der Praxis allgemein nicht mehr als 10%. R_z -ISO wird häufig in Ostblockländern angewandt.
- daneben gibt es andere Messgrößen wie die Grundrautiefe R_{3z} (Daimler-Benz Werksnorm)

- soll verwendet werden, wenn einzelne Profilausreißer keine Rolle spielen (z.B. Lager-, Gleitflächen, Presssitze, Messflächen). Dies trifft in der Praxis meist zu.

(DIN 4768, ISO 4287/1)

- ist der arithmetische Mittenwert aller Abweichungen y des Rauheitsprofils von der mittleren Linie innerhalb der Messstrecke l_m .
- entspricht theoretisch der Höhe eines Rechteckes mit der Länge l_m und dem Flächeninhalt der schraffierten Fläche.
- Center Line Average CLA (englischsprachige Länder) und Arithmetical Average AA (USA) in Mikro-Inch und die Rauheitsklassen N1 bis N12 nach DIN/ISO 1302 (CH) entsprechen R_a und sind in den entsprechenden Ländern neben R_z weit verbreitet.

- Die Aussagefähigkeit von R_a ist gering. Durch die Bildung des Mittelwertes der Abweichungen bleiben Profilausreißer weitgehend unberücksichtigt, spitz- und rundkämmige Profile werden nicht unterschieden.

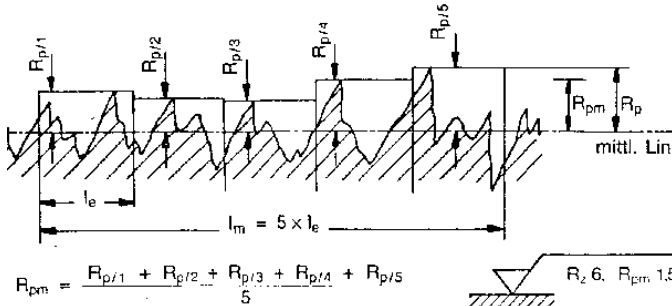
Vertiefung

Video Oberflächen 2



Glättungstiefe R_p

mittlere Glättungstiefe R_{pm}

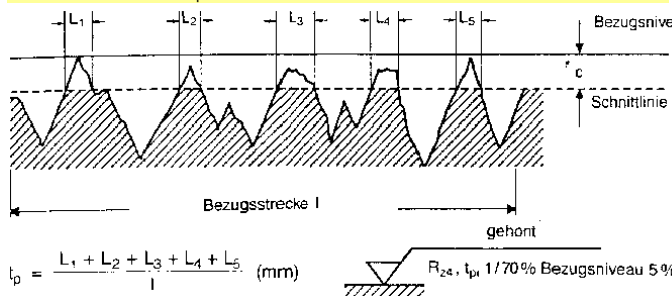


im Vergleich mit R_z aussagekräftig für Funktionsflächen:

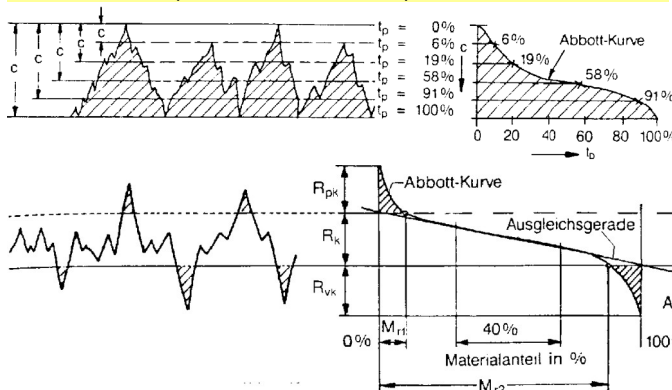
$\frac{R_p}{R_z} > 0,5$ spitzkämmig, starker Verschleiß

$\frac{R_p}{R_z} < 0,5$ rundkämmig, gutes Tragverhalten

Materialanteile t_p



Abbott-Kurve (Materialanteilkurve)



Zusammenhang zw. den Kennwerten

Profilbild	P_t	R_{max}	R_z	R_a	R_p	t_{pi}	t_{pa}	Traganteilkurve (Abbott-Kurve)
	1	1	1	0,25	0,2	75%	75%	
	1	1	1	0,25	0,8	15%	15%	
	1	1	1	0,2	0,2	85%	85%	
	1	1	1	0,2	0,8	20%	20%	
	1	1	0,4	0,08	0,15	88%	88%	
	1	1	0,4	0,08	0,85	7%	7%	
	1	1	1	0,2	0,5	25%	25%	
	1	1	1	0,3	0,8	36%	36%	
	1	0,5	0,4	0,1	0,2	85%	17%	

(DIN 4768)

(angelehnt an DIN 4768)

- Die Glättungstiefe R_p ist der Abstand von der mittleren Linie bis zur höchsten Profilerhebung. R_{pm} ist der Mittelwert aus 5 aufeinanderfolgenden Glättungstiefen.
- es bestehen keine genormten Messbedingungen.
- ist ein relativ aussagekräftiger Funktions-Oberflächenkennwert und gibt Aussagen über das Gebrauchsverhalten einer Oberfläche, zB bei Lager- und Gleitflächen, Schrumpffähigkeit bei Schrumpfsitzen, Lackierfähigkeit und dgl. Kleine Glättungstiefe verglichen mit R_z ($R_{pm}/R_z < 0,5$) deutet auf massige Kuppen und schmale Täler hin, d.h. gutes Verschleißverhalten. Große Werte in bezug auf R_z ($R_{pm}/R_z > 0,5$) deuten auf Profilerkaltung und lassen auf ungünstiges Verschleißverhalten schließen.

(DIN 4762 / ISO 4287/1), früher Traganteil

- ist das prozentuale Verhältnis des in einer bestimmten Schnitlinie $>c$ geschnittenen Profils zur Bezugsstrecke l in %.
- genormte Messbedingungen liegen nicht vor, für die Interpretation des Kennwertes muss deshalb die Länge der Messstrecke und die Lage der Bezugsstrecke angegeben werden. t_p kann durch R_k , M_{r1} und M_{r2} ersetzt werden (siehe unten).
- t_{pa} wird aus dem P-Profil, t_{pi} wird aus dem Rauheitsprofil ermittelt.

- ist eine grafische Umsetzung der t_p -Liste
- gibt ein besonders aussagekräftiges Bild über den Aufbau des Oberflächenprofils. Aus dem Kurvenverlauf kann das zu erwartende Funktionsverhalten, zB Einlaufverhalten eines Motorkolbens, bewertet werden. Ist die Kurve flach abfallend, so handelt es sich um ein fülliges Profil mit gutem Verschleißverhalten. Eine steil abfallende Kurve lässt auf zerklüftetes Profil und starken Verschleiß schließen.

Die folgenden Kenngrößen sind aus der Abbott-Kurve abgeleitet und haben den Vorteil, dass auch die Profilform bewertet wird. Basis ist eine Ausgleichsgerade, die im mittleren Bereich der Abbott-Kurve die geringste Abweichung von der Kurve hat (Ermittlung siehe DIN 4776).

- R_k Kernrautiefe ist die Tiefe des Rauheitsprofils ohne Spitzen und Riefen. Sie gibt Aufschluss auf die Rautiefe nach dem Einlaufen eines Gleitlagers, Motorzylinders oä. R_k ist häufig aussagekräftiger als R_z .
- R_{pk} Reduzierte Spitzenhöhe gibt Aussagen über das Einlaufverhalten.
- R_{vk} Reduzierte Riefentiefe trifft Aussagen über das zu erwartende Ölrückhaltevermögen für die Schmierung.
- M_{r1} , M_{r2} größter/kleinsten Materialanteil des Kernprofils treffen Aussagen über die Traganteile nach dem Einlaufen.
- "Hochbelastete Gleit- oder Wälzlagerflächen sollten ein plateauartiges Profil haben mit kleinem Spitzensbereich, einem hohen Materialanteil (Traganteil) im Kernbereich und ausreichend hohen Riefen im Kernbereich" (EuroM52 S.30)

Oberflächenkennwerte stehen nicht in mathematischem Zusammenhang zueinander. So schwankt das Verhältnis R_a / R_z zwischen 1:3 und 1:20. Verfahrensabhängige Richtwerte sind in DIN 4768T1 aufgeführt.

Rundkämmige Profile (1. Zeile) sind für Tragflächen besonders geeignet und werden durch Feinbearbeitung (Feinschleifen, Läppen, Honen) erzeugt.

Für jeden Anwendungsfall sollte die geeignete Kenngröße ausgewählt werden, da ihre Aussagekraft sehr unterschiedlich ist. Beispiele:

- für Dichtflächen R_{max} statt R_a , da R_a keine Ausreißer (= Undichtheit) erfasst.
- für porige Oberflächen ist R_a günstiger als R_{max} oder R_z .
- für Gleitlagerflächen ist R_z geeigneter, möglichst zusammen mit t_p bzw. R_k (Traganteil und Öltaschen).



Oberflächenprüfverfahren

Vergleichsmuster

Planglasplatte

Tastschnittverfahren

Dutschke, Fertigungsmesstechnik einarbeiten

Optisches Tastsystem

(Fokusdetektorverfahren, Fokussierverfahren)

Lichtschnittverfahren

Interferenzmikroskop

Interferometrische Verfahren

Streulichtverfahren

(Pneumatisches Tastsystem)

Raster-Tunnel-Mikroskop

Erreichbare Rauheit bei der Fertigung

R_z und R_a von Oberflächen

Einflüsse auf die Oberflächengüte

"Nagelprobe": Sicht- und Tastvergleich ermöglicht eine Genauigkeit zwischen $2\mu\text{m}$ und 30%; für jedes Bearbeitungsverfahren sind spezielle Vergleichsmuster nötig.

AB Tastschnittverfahren

AM Vergleichsmuster Sicht- und Tastvergleich

Genormtes Verfahren zur Oberflächenprüfung.

z.Zt. das einzige Verfahren, das zur Berechnung diverser Kennwerte taugt.

Messbare Abweichungen $0,01\mu\text{m}$ bis $1000\mu\text{m}$

Berechnung nur aus 2-dimensionalem Profilschnitt vom $0,4$ bis 40mm Länge. bei mechanisch bearbeiteten Oberflächen ergibt ein Tastspitzenradius von $5\mu\text{m}$ eine Messunsicherheit $R_z < 1\mu\text{m}$, da der Öffnungswinkel meist $> 120^\circ$ ist. Feinere Oberflächen und Risse können damit nicht erfasst werden.

Geräte sind empfindlich, Rüst- und Messzeit beträgt ca. 15s.

Die Abtastung erfolgt mit einer Diamantnadel (vgl. Plattenspieler), vielseitig einsetzbar, nicht geeignet für Folien, Rissprüfung, Prüfung von Flächen, während der Fertigung.

Vorschub von Hand oder maschinell.

Filterung des R-Profiles elektronisch (Höhen-/ Tiefenregler) oder über Gleitkufe. Grenzwellenlänge λ_c (Cutoff) ist ein Maß für die Grenze zwischen R- und W-Profil. Es muss größer sein als der Rillenabstand, aber möglichst klein, um Formabweichungen auszuschließen. Einstellbar am Tastschnittgerät, Auswahl nach DIN 4768T1, Auszug siehe Perthometer: Definitionen, Oberflächenmessgrößen.

Einfachere Geräte erstellen Ausdruck wie z.B. in Reichard9 552, aufwendigere Geräte mit Computer und Bildschirm (Perthometer 58P). Flexible Auswertung auch auf dem PC unter Windows möglich (Perthen-Profilmanager), Anpassung an neue Messgrößen (ausländisch, Normänderung) möglich.

FO Vergleich Tastspitze Diamant / Laser

Prinzip wie Tastschnitt mit fokussiertem Licht statt Nadel. Es wird die Fokussierung eines Laserstrahles auf der Oberfläche mit LEDs gemessen und der Abstand zur Oberfläche mechanisch nachjustiert. Die Bewegung wird induktiv aufgenommen. bessere Horizontalauflösung ergibt meist größere Werte (Leuchtfleck $\varnothing$: ca. $1\mu\text{m}$).

Eignet sich für weiche und empfindliche Oberflächen, gewinnt an Bedeutung. [Dutschke, Fertigungsmesstechnik, 1996]

· Oberfläche wird schräg mit Licht bestrahlt und unter dem Mikroskop betrachtet. Für reflektierende Oberflächen mit Rautiefen von 2 bis 20pm . 3-dimensionale Erfassung, Kennwerte können nicht ermittelt werden. [Reichard9 547]

Gewinnt in der Messung von Schichtdicken oder in Verbindung mit Bildbearbeitungssystemen wieder an Bedeutung und eignet sich eher zur Formprüfung [Dutschke, Fertigungsmesstechnik, 1996]

Reichard9 547: Erzeugt optische Höhenschichtlinien unter dem Interferenzmikroskop Für reflektierende Oberflächen mit Rautiefen von $0,3$ bis 2pm . 3-dimensionale Erfassung, Kennwerte können nicht ermittelt werden.

FO Interferometrische Oberflächenaufnahme (Spektrum der Wissenschaft 09/91, S.50ff)

Weiterentwicklung des Interferenzverfahrens: Computer wertet Höhenschichtlinien aus bewegten Aufnahmen aus und erzeugt Profildarstellung. Daraus sind beliebige Kennwerte ermittelbar (Spektrum der Wissenschaft 09/91, S.50ff, Optische Interferometrie an Oberflächen)

Oberfläche wird fokussiert beleuchtet und der Anteil Licht gemessen, der reflektiert wird. Der optische Rauheitswert SN hat keinen Bezug zu R_z oa.

Eignet sich nur für die Messung ähnlich strukturierter Oberflächen (Serienfertigung) [Dutschke, Fertigungsmesstechnik, 1996].

War ein Versuch in den 80er Jahren, Perthen hat den Vertrieb inzwischen eingestellt.

Hat im Labor schon Oberflächen im nm-Bereich gemessen, sehr aufwendig [Dutschke, Fertigungsmesstechnik, 1996].

EuroTabM

anhand EuroTabM37 S95 "Oberflächenwerte"

- logarithmische Teilung
- li: erfahrener Facharbeiter, re: Azubi
- gut gefräst besser als schlecht gehont
- Honen bei Ra extra gut, weil wenig Ausreißer
- Vergleich Ra, Rz S94, Oberflächenangaben



Form- und Lagetoleranzen

siehe EuroM52 S.41ff

Form- und Lageprüfungen gehören zu den schwierigsten und kostspieligsten Prüfungen in der Fertigungsmesstechnik

Formtoleranzen

beschreiben die Form einer Fläche.

Flachformtoleranzen, Rundformtoleranzen, Profilformtoleranzen

Minimum-Prinzip

Das Element ist so auszurichten, dass die Abweichungen minimal sind. Grafisch kann die Auswertung nach Augenmaß vorgenommen werden.

Geradheit, Ebenheit

Symbol:

Prüfverfahren: Haarlineal, Prüfplatte, Planglasplatte, Spanndraht, optische Achsen, Führungen mit Messtaster (Tastschnittverfahren)

Beispiel: Haarlineal, Führung für Werkzeugmaschinen, Fluchtung

Neigung

Symbol:

Prüfverfahren: Richtwaagen

Beispiel: Aufstellen und Ausrichten von Maschinen

Rundheit, Zylinderform

Definition: Die Umfangslinie jedes Querschnittes muss in einem Kreisring von der Breite $t=0,02$ enthalten sein.

Symbol:

Prüfverfahren: Zweipunktmessung, Dreipunktmessungen mit Prismen und Messtastern, Kreisführungen (Rundführungen)

Die Rundheit kann mit den üblichen Werkstattprüfverfahren nur näherungsweise geprüft werden, da die Abweichungen meist unbekannt und unregelmäßig sind.

Beispiel Zylinderform: Säulenführung

Lagetoleranzen

beschreiben die Lage zweier aufeinander bezogener Elemente.

Richtungstoleranzen, Ortstoleranzen, Laufstoleranzen

Parallelität

Symbol:

Prüfverfahren: Prüfplatte mit anzeigendem Messgerät

Beispiel:

Winkelprüfung

Symbol:

Prüfverfahren: Universalwinkelmesser, feste Winkel, Sinuslineal

Beispiel:

Konzentrität

Definition: Konzentrität bezieht sich auf den Mittelpunkt von Kreisen und wird in der Ebene gemessen.

Symbol:

Prüfverfahren:

Beispiel:

- Innen- und Außenform einer Unterlagscheibe

Koaxialität

Definition: Koaxialität bezieht sich auf den Mittelpunkt von räumlichen Formelementen (Zylinder) und wird räumlich geprüft.

Symbol:

Prüfverfahren:

Beispiel: Drehteile, die zur Bearbeitung der zweiten Seite umgespannt wurden.

Quellen: EuroTabM39 S.102 "Form- und Lagetoleranzen"; EuroM52 S.41ff; DIN-Taschenbuch 11, Berlin 1991, S.330ff

ca.' Zeitbedarf

AM Nockenwelle

Einarbeiten: [Jorden 2009]

EuroTabM50 S.102 "Form- und Lagetolerierung"

1) Cheopspyramide: $0,06^\circ$ durchschnittliche Abweichung von der Nord-Süd-Achse; 21/16 mm Ebenheitstoleranz der Fundamente bei einer Grundfläche von 230m im Quadrat, Fundamente weichen vom rechten Winkel um max. 2' ab. (Abweichende Angaben aus verschiedenen Quellen).

2) Unterschied Form- und Lagetoleranz ?

Die Ausrichtung kann auch rechnerisch nach Tschebyscheff, Gauss o.ä. erfolgen.

Hüllbedingung, Maximum-Material-Prinzip siehe DIN 11 S.372ff

Das Haarlineal muss lang genug sein. Mit dem Haarlineal erkennt man Abweichungen etwa ab $2\mu\text{m}$, größere Abweichungen können mit Fühlerlehren geprüft werden. Wird eine Fläche an mehreren Stellen geprüft, muss das Haarlineal jedesmal abgehoben werden, da Verschieben zu viel Verschleiß für die Prüffläche bedeutet.

Beim Prüfen mit der Prüfplatte wird der tolerierte Fläche auf ein Ebenheitsnormal (Hartgesteinplatte) und dann von unten mit einem Messtaster an möglichst vielen Stellen die Abweichung der Fläche gegenüber der Prüfplatte gemessen.

Planglasplatten benötigen hochwertige, polierte Oberflächen und werden z.B. zum Prüfen der Messflächen von Endmaßen und Messschrauben eingesetzt. Ein zwischen zwei Interferenzstreifen besteht ein Höhenunterschied von ca. $0,27\mu\text{m}$.

Tastschnittgeräte ähneln solchen für die Rauheitsmessung, haben aber Prüfspitzen mit größerem Durchmesser ($R1..20\text{mm}$).

[Dutschke 1996]: Verfahren zur Geradheitsmessung

Richtwaagen können senkrechte oder waagerechte Lagen bzw. geringe Abweichungen davon messen. Ihre Empfindlichkeit beträgt bis zu $0,01\text{mm}$ auf 1m Länge. Elektronische Richtwaagen haben einen größeren Messbereich von $0,02$ bis 2mm auf 1m Länge.

Zweipunktmessungen mit Messschrauben oder Messtastern geben bei Gleichdicken mit 3 Bogen keine Anzeigenänderungen

Dreipunktmessungen mit Prismen und Messtastern ergeben eine Anzeigenänderung, die vom Prismenwinkel und der Rundheitsabweichung (Bogenzahl) des Werkstückes abhängt und nicht immer direkt der Rundheitsabweichung entspricht. Bei einem 90° -Prisma entspricht die Anzeigenänderung bei einer Ellipse der Rundheitsabweichung, während bei Gleichdicken mit 3 oder 5 Bogen die Rundheitsabweichung nur halb so groß ist wie die Rundheitsabweichung. 108° -Prismen zeigen etwa die wirkliche Unrundheit an, haben sich in der Praxis aber nicht durchgesetzt, weil die Charakteristik der meist unregelmäßigen Formabweichung nicht bekannt sind.

Kreisführungen kann einfach durch Spannen zwischen Spitzen erreicht werden, aber nur bei gedrehten Teilen liegen die Zentrierbohrungen annähernd im Mittelpunkt der Form. Deshalb erfolgt nur eine Rundlaufprüfung. Außerdem haben selbst gute Zentrierbohrungen Kreisformabweichungen von etwa $2\mu\text{m}$.

- Einfache Messspindel mit Kunststofflager sind nicht hoch belastbar ($G<10\text{kg}$) erreichen Rundlaufabweichungen von $0,1\mu\text{m}$, Öl- und Luftlager erreichen sogar $0,015\mu\text{m}$. Rundheitsmessgeräte prüfen Werkstücke unabhängig von einer Zentrierung, das Werkstück muss vorher durch Verschieben ausgerichtet werden. Umlaufende Taster eignen sich auch für nicht rotationssymmetrische Teile (z.B. Zylinderblock). Filter trennen kurz- und langwellige Formabweichungen und filtern so z.B. aus Kolben für Verbrennungsmotoren die ovale Form heraus.

[Dutschke 1996] S.172: Bild

Beim Prüfen mit der Prüfplatte wird die Bezugsfläche auf ein Ebenheitsnormal (Hartgesteinplatte) gelegt und dann die tolerierte Fläche mit einem Messtaster an möglichst vielen Stellen die Abweichung der Parallelität gemessen.

Planparallelglasplatten werden zum Prüfen der Parallelität der beiden Messflächen einer Messschraube eingesetzt.

Universalwinkelmesser haben Nonien bis zu einer Ablesegenauigkeit von 5 (digital bis 1) Winkelminuten. Alle Winkel müssen rechtwinklig zu den Prüfflächen stehen (Pyramidalabweichung), es darf kein Lichtspalt zu sehen sein und Verschieben der Prüffläche auf dem Prüfling bewirkt hohen Verschleiß der scharfen Kanten.

Mit einem Sinuslineal kann man Winkelunterschiede bis zu $3..10^\circ$ einstellen.

Koaxial wird gemessen, wenn die Länge größer als der Durchmesser des Zylinders ist, Konzentrische wird gemessen, wenn die Länge eines Zylinders kleiner als sein Durchmesser ist.



Koaxialität / Konzentrität

Unterschied zum Rundlauf ?

Prüfverfahren: Konventionelle Prüfung von Koaxialität / Konzentrität ist nicht möglich, dabei wird immer der Rundlauf gemessen.

Rundlauf

Definition:

Symbol:

Prüfverfahren:

Beispiel:

- Eine Getriebewelle wird funktionsgerecht geprüft, indem die Lagerzapfen in Prismen gelagert werden, allerdings können Unrundheiten der Lagerzapfen das Ergebnis verfälschen. Prüfung bei Einspannung zwischen Spitzen ist einfacher.

Planlauf

Prüfung

Lehren

Positionieren (Anschlagflächen)

Spannen (Schnellspanner)

Prüfen (Fühlerlehren, Prüfstiften, eingebauten Messuhr o.ä.)

Zylinderformprüfgeräte

prüft nicht nur Kreis- und Zylinderform, sondern auch Geradheit, Planlauf, Ebenheit, Parallelität, Rundlauf, Konzentrität und Koaxialität.

Koordinatenmessgeräte

messen beliebige Oberfläche durch zahlreiche Messpunkte.

Weitere Formprüfungen anschließen

Gewinde, Verzahnungen, Kegel, Nocken, Turbinenschaufeln

Allgemeintoleranzen

Sind keine Form- oder Lagetoleranzen eingetragen, müssen alle Abweichungen innerhalb der Maßtoleranz (EuroM52 S.41 Bild 2), bzw. der Allgemeintoleranzen nach DIN 2768 liegen

Faustregel aus der Praxis:

Koaxial wird gemessen, wenn die Länge größer als der Durchmesser des Zylinders ist, Konzentrische wird gemessen, wenn die Länge eines Zylinders kleiner als sein Durchmesser ist.

Beispiel für Konzentrität: Innen- und Außenform einer Unterlagscheibe [Perthen IV-15]

Beispiel für Koaxialität: [Perthen IV-15]

Besonderheit: der Messwert ändert sich nicht, wenn Bezugs- und toleriertes Element getauscht werden.

Beispiel: Zahnradpumpe

Das Prüfverfahren ist durch die Zeichnungsangabe nicht vorgegeben.

Das Prüfverfahren kann sehr aufwendig sein. Oft führt man das räumliche Problem auf eine Ebene zurück, indem man definierte Linien an der Fläche prüft, zum Beispiel Geradheit und Kreisform (Rundheit) an Stelle der Zylinderform. Die Zylinderformabweichung lässt sich aber nicht exakt aus gemessenen Geradheits- und Rundheitsabweichung bestimmen. Eine vollständige und lückenlose Prüfung der Gestalt eines Werkstückes ist nicht möglich. Erst die Koordinatenmesstechnik erlaubt aus vielen Messpunkten ein numerisches Bild der Gestalt und auch der körperlich nicht vorhandenen Flächenelemente (z.B. Achsen) zu berechnen.

FO Lehre für Form- und Lagetoleranz

Spezielle Formprüfgeräte sind gewöhnlich genauer als Koordinatenmessgeräte (KMG), dafür sind KMG vielseitiger, z.B. auch für Zahnräder.

Tabelle der Allgemeintoleranzen für Form und Lage → EuroTabM39 S.104 "Allgemeintoleranzen"

In DIN 7168 wurden die Buchstaben R, S, T und U verwendet, in der neuen DIN 2768 sind es H, K und L. Die Toleranzen sind etwa um den Faktor 5 größer geworden.