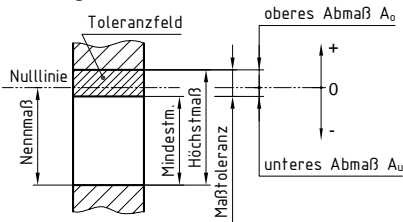


Allgemeines zu Toleranzen, Begriffsdefinitionen

Mit der Festlegung der Toleranzen durch den Konstrukteur werden entscheidend die Fertigungsverfahren und die Fertigungskosten beeinflusst. Deshalb gilt:
Herstellung von Werkstücken nur so genau wie nötig und nicht wie möglich!

Grundbegriffe nach DIN ISO 286



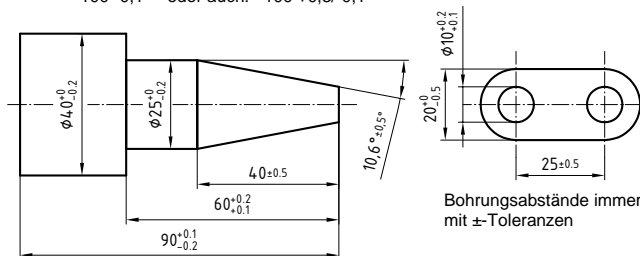
Toleranzeintragung in Zeichnungen

Grenzabmaße mit zugehörigem Vorzeichen stehen vorzugsweise in etwas kleinerer Schrift (2,5mm) hinter der Maßzahl (Schriftgröße 3,5mm), das obere Abmaß hochgesetzt, das untere Abmaß tiefgesetzt (symmetrisch zur Nulllinie liegende Toleranzzonen mit ±). Die Ziffer Null als Grenzabmaß kann entfallen.

Beispiele: $100^{+0,3}_{-0,1}$ $100^{+0,2}_0$ $100^{+0,2}$ $100 \pm 0,3$

alternative Toleranzeintragung nach ISO (wird wegen hohem Platzbedarf auf der Zeichenfläche kaum in der Praxis verwendet):

$100^{+0,3}_{-0,1}$ oder auch: $100 +0,3/-0,1$



Bohrungsabstände immer mit ±-Toleranzen

ISO-System für Toleranzfelder und Passungen

In DIN ISO 286 sind die Abmaße nach einem bestimmten System abgestuft und bezeichnet, um die Austauschbarkeit der Teile und eine wirtschaftliche Konstruktion und Fertigung weiter zu optimieren. Ein Passmaß wird danach durch die Angabe von Nennmaß und Toleranzklasse bestimmt, z.B. $\phi 30 H7$. Bei der Toleranzklasse bestimmt der Buchstabe die Lage zur Nulllinie und die Zahl die Größe des Toleranzfeldes.

Grundlage der ISO-Toleranzfelder ist der Grundtoleranzfaktor i:

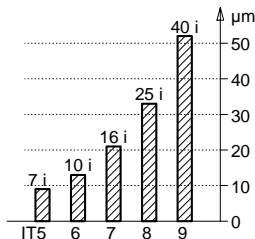
$$i = 0,45 \sqrt[3]{D} + 0,001 D \quad (\text{mit } D \text{ in mm, } i \text{ in } \mu\text{m})$$

Die ISO-Grundtoleranzen IT ergeben sich jeweils als Vielfache von i, d.h. für große Nennmaße D errechnen sich größere zulässige Toleranzen, was in etwa auch der Maschinengenauigkeit in der Praxis entspricht.

Für die praktische Arbeit mit ISO-Toleranzfeldern benutzt man Tabellen mit abgestuften Nennmaßbereichen und gerundeten Toleranzwerten.

Beispiel für ISO-Grundtoleranzen im Nennmaßbereich >18 bis 30 mm:

$i = 1,3 \mu\text{m}$ für geometrischen Mittelwert $D = \sqrt[3]{18 \cdot 30} = 23,24 \text{ mm}$ dieses Nennmaßbereichs



Vorzugsweise Anwendung der Toleranzreihen:

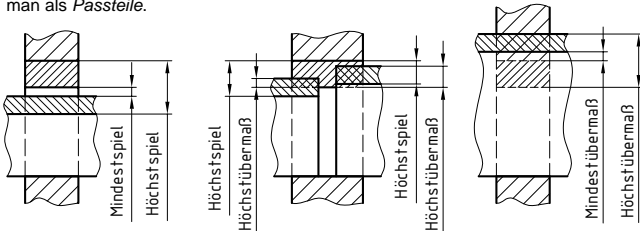
- IT0 ... IT7 für Lehren
- IT5 ... IT13 für Passungen in der üblichen Fertigung
- IT14 ... IT18 grobe Toleranzen für spanlose Formgebung

Die Lage der Toleranzzone (das Grundabmaß) wird durch einen Buchstaben gekennzeichnet. Das Grundabmaß ist das Abmaß, das näher an der Nulllinie liegt. Das Grundabmaß 0 (null) erhält den Buchstaben H (Einheitsbohrung), bzw. h (Einheitswelle). Kennbuchstaben von H bzw. h aus in Richtung Anfang des Alphabets ergeben mehr Spiel, zum Ende des Alphabets hin zunehmendes Übermaß.

Grundabmaße werden für die praktische Arbeit genauso wie Grundtoleranzen aus Norm-Tabellen abgelesen.

Passungen

Die Beziehung zwischen zwei zusammengefügte Formelementen bezeichnet man als *Passung* (meist Rundpassungen aus Bohrung und Welle, aber auch Flachpassungen). Werkstücke, die für eine Passung vorgesehen sind, bezeichnet man als *Passteile*.



Spielpassung

Übergangspassung

Übermaßspassung oder Presspassung

Aus den Abmaßen der Einzelteile ergibt sich die Art der Passung. Spiel oder Übermaß können wie folgt berechnet werden:

- Höchstspiel = (Höchstmaß der Bohrung) - (Mindestmaß der Welle)
- Mindestspiel = (Mindestmaß der Bohrung) - (Höchstmaß der Welle)
- Höchstübermaß = (Höchstmaß der Welle) - (Mindestmaß der Bohrung)
- Mindestübermaß = (Mindestmaß der Welle) - (Höchstmaß der Bohrung)

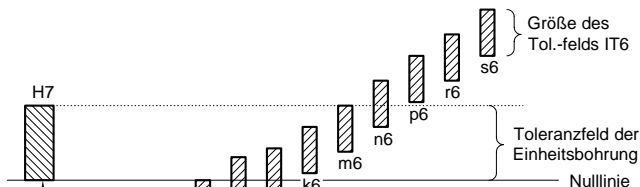
Eine wirtschaftliche Forderung bei der Massenfertigung ist, dass die Teile einbaufertig und austauschbar sind. Daher wurden Passsysteme entwickelt, die die unendliche Vielfalt von Abmaßen an Passteilen einschränken und für die Anwendung vereinfachen.

Passsystem Einheitsbohrung: Alle Bohrungen eines Nenndurchmessers haben eine Toleranzzone an der Nulllinie mit unterem Abmaß 0. Die Passungsart wird durch die Abmaße der Welle bestimmt.

Passsystem Einheitswelle: Alle Wellen eines Nenndurchmessers haben eine Toleranzzone an der Nulllinie mit oberem Abmaß 0. Die Passungsart wird durch die Abmaße der Bohrung bestimmt.

Merkregel: Einheitsbohrung und Einheitswelle haben eine Toleranzzone von der Nulllinie aus in Richtung Spiel.

Aus wirtschaftlichen Gründen ist das System Einheitsbohrung meist vorzuziehen, da für die Fertigung der Bohrung nur wenige Reibahlen und Grenzlehrdorne bereitgestellt werden müssen. Die Fertigung beliebiger Aussendurchmesser erfordert keine Spezialwerkzeuge.



Maßstäbliche Darstellung des Passsystems Einheitsbohrung mit Nenn-Ø 20 mm. Bohrung in Qualität IT7, alle Wellen IT6. Die Passungsart ergibt sich durch Kombination des Toleranzfeldes H7 der Bohrung mit den unterschiedlichen Toleranzfeldern der Welle.

Die Buchstaben JS bzw. js kennzeichnen ein zur Nulllinie symmetrisches Toleranzfeld.

Allgemein gilt für das System Einheitsbohrung:
Wellen mit Grundabmaß a ... h ergeben eine Spielpassung,
Wellen mit Grundabmaß j,k,m,n ergeben eine Übergangspassung,
Wellen mit Grundabmaß p ... z ergeben eine Übermaßspassung.

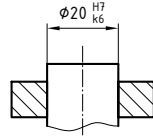
Analog für das System Einheitswelle:
Bohrungen mit Grundabmaß A ... H ergeben eine Spielpassung,
Bohrungen mit Grundabmaß J,K,M,N ergeben eine Übergangspassung,
Bohrungen mit Grundabmaß P ... Z ergeben eine Übermaßspassung.

Merkregel: Bei "P" beginnt "P"resspassung.

Da sich eine hohe Genauigkeit an Außenkonturen leichter herstellen lässt als in Hohlräumen, gilt für ein wirtschaftliches Optimum, dass bei Passungen die Welle um 1 Qualitätsstufe besser als die Bohrung gewählt wird. D.h. eine Passung H8/f7 ist billiger herzustellen als H7/f8. Und der Einspareffekt bei H8/f8 wäre so gering, dass derartige Passungen nicht üblich sind.

Beispiel 1: $\varnothing 20$ H7/k6

Aus der Buchstabenkombination H/k erkennt man:
 Passungssystem = Einheitsbohrung,
 Passungsart = Übergangspassung



Die Grundtoleranzen und Grundabmaße werden in der Praxis aus Normtabellen abgelesen (Grundtoleranzfaktor i dient zur Ableitung der Tabellenwerte):
 Grundtoleranz der Bohrung IT7 = 21 μm
 Grundtoleranz der Welle IT6 = 13 μm
 Grundabmaß der H-Bohrung: 0 μm (nicht ablesen, weiß man!)
 Grundabmaß der k-Welle: +2 μm

Daraus folgen die Grenzabmaße:

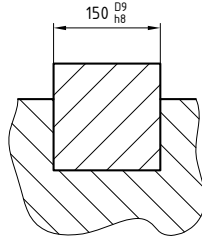
Bohrung: $A_u = \pm 0 \mu\text{m}$ $A_o = +21 \mu\text{m}$ bzw. $\varnothing 20_{-0}^{+0,021}$

Welle: $A_u = +2 \mu\text{m}$ $A_o = +15 \mu\text{m}$ bzw. $\varnothing 20_{+0,002}^{+0,015}$

max. Spiel = 20,021 - 20,002 = 0,019 mm
 max. Übermaß = 20,015 - 20,000 = 0,015 mm

Beispiel 2: 150 D9/h8

Aus der Buchstabenkombination D/h erkennt man:
 Passungssystem = Einheitswelle,
 Passungsart = Spielpassung



Grundtoleranz für Innenmaß IT9 = 100 μm
 Grundtoleranz für Außenmaß IT8 = 63 μm
 Grundabmaß für D-Innenmaß: +145 μm
 Grundabmaß für h-Außenmaß: 0 μm

Daraus folgen die Grenzabmaße:

Innenmaß: $A_u = +145 \mu\text{m}$ $A_o = +245 \mu\text{m}$ bzw. $150_{+0,145}^{+0,245}$

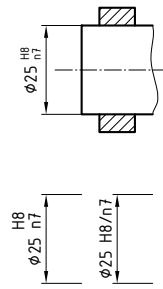
Außenmaß: $A_u = -63 \mu\text{m}$ $A_o = \pm 0 \mu\text{m}$ bzw. $150_{-0,063}^0$

max. Spiel = 150,245 - 149,937 = 0,308 mm
 min. Spiel = 150,145 - 150,000 = 0,145 mm

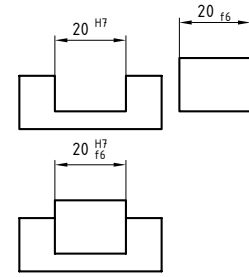
Beispiel 3: 80 P7/f6

Bei solchen ungewöhnlichen Passungen kann aus der Buchstabenkombination nicht auf die Passungsart geschlossen werden, d.h. die Grenzmaße müssen getrennt ermittelt und gegenübergestellt werden.

Eintragung von ISO-Passungen in technische Zeichnungen: Merkregel: B"o"hrung erhält Gr"o"ßbuchstaben und steht "o"ben.



alternative Bemaßungsmöglichkeiten nach DIN



Passungsbemaßung am Beispiel einer Linearpassung

Beispiele für Passungen:

Übermaßpassungen (Presspassungen)

H7/r6 Montage mit Hilfe einer Hydraulikpresse oder durch Erwärmen des Außenteils (thermische Dehnung)

H6/t5 Montage mit Hilfe einer Hydraulikpresse **und** durch Erwärmen des Außenteils, praktisch nicht mehr demontierbar

Übergangspassungen

H7/m6 genormter Passstift in Bohrung (gefertigt mit Reibahle), Montage durch Einschlagen mit leichten Hammerschlägen

K8/h7 Achse aus kaltgezogenem, genormtem Rundstahl (Einheitswelle !)

Spielpassungen

H7/g6 Schiebeseit ohne merkliches Spiel, kann mit der Hand verschoben werden

H8/e7 einfaches Gleitlager mit etwas Spiel für Schmierfett

H11/h11 einfache, sehr billige Steckverbindung mit wenig Spiel (fertig gekaufte, genormte Bolzen in mit Standard-Spiralbohrer hergestellter Bohrung)

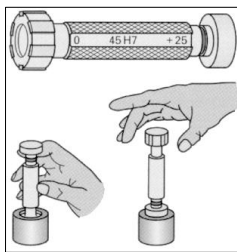
Überprüfen der Toleranzeinhaltung

Bei der Fertigung dürfen die Grenzabmaße weder über- noch unterschritten werden. Das Idealmaß ist immer in der Mitte der Toleranzzone, das Ausnutzen der Toleranzzone ist jedoch zulässig!

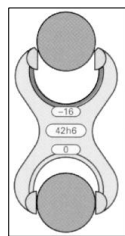
Die Einhaltung der Toleranzzone wird mit geeigneten Messmitteln überprüft, bei Einzelfertigung mit Messschieber oder Mikrometerschraube oder in aufwändigen Fällen auf dem 3D-Koordinatenmesstisch. In der Serienfertigung erfolgt die Kontrolle mit Hilfe von festen Grenzlehren mit Gut- und Ausschusseite:

- Grenzlehndorne für Innenmaße
- Grenzrachenlehren für Außenmaße

Die Gutseite überprüft jeweils das Abmaß, das bei der Fertigung zuerst erreicht wird: unteres Abmaß bei Innenmaßen, oberes Abmaß bei Außenmaßen.



Grenzlehndorn
(Gutseite hier links)



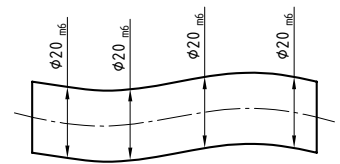
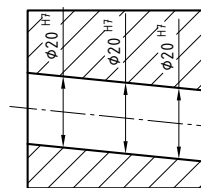
Grenzrachenlehre
(Gutseite hier unten)

Z.B. entspricht die Gutseite eines Lehndorns dem kleinsten zulässigen Durchmesser und muss sich in die Bohrung einführen lassen. Wenn die Gutseite noch nicht passt, kann nachgearbeitet werden, wenn sich auch die Ausschusseite mit dem maximal zulässigen Durchmesser einführen lässt, wurde zu viel Material abgenommen (endgültig Ausschuss).

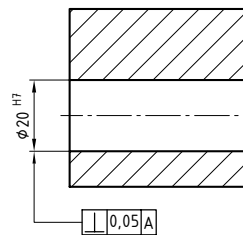
Verantwortlich für die Einhaltung der Toleranzen ist nicht die Abteilung Qualitätssicherung, sondern der Facharbeiter, der die Teile herstellt. Um bei Serienfertigung ein allmähliches Abweichen vom Idealmaß überhaupt festzustellen, muss das Ergebnis der Fertigung möglichst unmittelbar kontrolliert werden, z.B. bei jedem 10. Teil. Auf diese Weise werden zunehmender Werkzeugverschleiß, Erwärmung und thermischer Verzug des Maschinenbetts und andere Einflüsse rechtzeitig erkannt, und es können Gegenmaßnahmen eingeleitet werden, um das gefertigte Maß wieder in die Mitte der Toleranzzone zu bringen.

Form- und Lagetoleranzen

Die bisher behandelten Abmaße und Toleranzen betreffen nur lineare Maßabweichungen, z.B. $\varnothing 20$ H7/m6, gemessen an einer beliebigen Stelle des Werkstücks. Für die Funktion ist aber oft auch die Einhaltung von Form- und Lagetoleranzen notwendig.

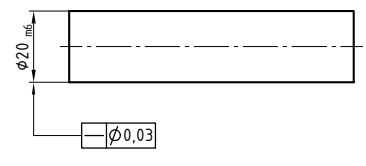


Auch wenn in diesem übertrieben dargestellten Beispiel die Maßhaltigkeit (z.B. überprüfbar mit Mikrometerschraube) stets eingehalten ist, sind die Teile unbrauchbar. Im Fall der Bohrung muss durch eine Lagetoleranz die Lage der Bohrung definiert werden, der verbogene Bolzen benötigt eine Formtoleranz.



Lagetoleranz: Rechtwinkligkeit
 Die Achse des Zylinders $\varnothing 20$ muss zwischen zwei parallelen, zur Bezugsfläche und zur Pfeilrichtung senkrechten Ebenen vom Abstand 0,05 mm liegen.

Lagetoleranzen begrenzen zulässige Abweichungen von der idealen Lage mehrerer Elemente zueinander, von denen meist eines als Bezug festgelegt wird.



Formtoleranz: Geradheit
 Die Achse des Zylinders $\varnothing 20$ muss in einer zylindrischen Toleranzzone mit $\varnothing 0,03$ mm liegen.

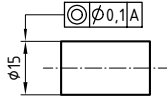
Formtoleranzen begrenzen die zulässige Abweichung eines Elements von seiner geometrisch idealen Form. (Hier kein Bezugselement notwendig.)

Eine Form- und Lagetoleranz besteht aus folgenden Elementen:

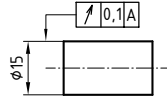
Toleranzrahmen: rechteckiger Rahmen, in 2 oder mehr Kästchen unterteilt. Der Rahmen enthält ein Symbol für die zu tolerierende Eigenschaft, die Größe der Toleranzzone und eventuell die Angabe des Bezugslements.

Toleriertes Element: wird mit Pfeil senkrecht dazu gekennzeichnet. Wird der Bezugs Pfeil in Verlängerung der Maßlinie gezeichnet, bezieht sich die Toleranz auf die Achse oder die Mittellinie des bemaßten Elementes. Bei einem Versatz zwischen Maßlinie und Bezugs Pfeil wird die Linie oder Fläche toleriert.

Beispiel:



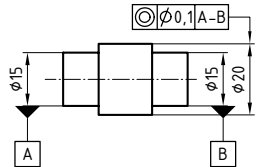
toleriert wird die Achse des Zylinders $\varnothing 15$, z.B. bei Koaxialität



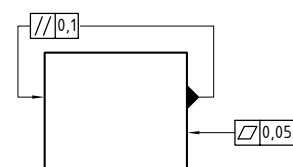
toleriert wird die Fläche des Zylinders $\varnothing 15$, z.B. bei Rundlauf

Toleranzzone: Größe der Toleranzzone in mm; entweder als lineare Ausdehnung der Toleranzzone (Abstand zweier paralleler Toleranzebenen) oder als \varnothing eines Toleranzzylinders

Bezug: meist durch Großbuchstaben (A,B,C,...) im dritten Feld des Toleranzrahmens gekennzeichnet. Die Definition des Bezugslements erfolgt mit einem ausgefüllten Bezugsdreieck, meist in Verlängerung der Maßlinie (d.h. Bezugslement ist die Achse oder Mittellinie). Der Bezugsbuchstabe entfällt, wenn der Toleranzrahmen auf einfache Weise mit dem Bezugsdreieck verbunden werden kann.



Die Achse des Zylinders mit $\varnothing 20$ ist innerhalb einer Toleranzzone mit $\varnothing 0,1$ mm koaxial zur Achse zwischen den zylindrischen Absätzen A und B (Lagersitze). Der Toleranzzylinder ist ideal ausgerichtet an der Achse A-B.



Die linke Fläche ist innerhalb zweier Toleranzebenen mit 0,1 mm Abstand parallel zur rechten Ebene. Die beiden Toleranzebenen sind ideal parallel zur Bezugsfläche. Zusätzlich ist hier auch die Ebenheit der Bezugsfläche toleriert (innerhalb 0,05mm).

Allgemeintoleranzen

Für **jedes** in einer Fertigungszeichnung angegebene Maß muss eine zulässige Toleranz definiert sein. Wenn für ein Maß keine Toleranz angegeben ist, gelten die Allgemeintoleranzen nach DIN ISO 2768 (Ausnahmen: Klammermaße und theoretische Maße in eckigen Rahmen).

Für Längen-, Radien- und Winkelmaße sind 4 Toleranzklassen definiert: f (fein) - m (mittel) - c (grob, engl. coarse) - v (sehr grob, engl. very coarse).

Für Form- und Lageabweichungen sind 3 Toleranzklassen definiert: H (fein) - K (mittel) - L (grob).

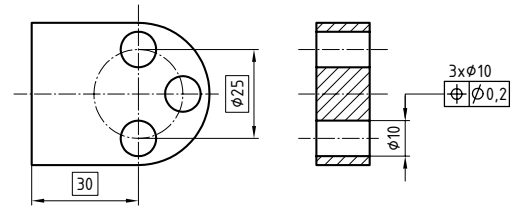
Durch die Wahl einer bestimmten Toleranzklasse soll lt. DIN die "werkstattübliche Genauigkeit" berücksichtigt werden. Auf moderne Zerspanungsmaschinen mit einer Maschinengenauigkeit von etwa $\pm 0,03$ mm (bzw. ISO-Qualität 7) oder besser trifft das nicht mehr ganz zu!

Die für ein Teil geltenden Allgemeintoleranzen müssen im Schriftfeld einer jeden Fertigungszeichnung definiert sein. Meist ist diese wichtige Information im Firmenschriftkopf bereits vordruckt.

Z.B. bedeutet die Angabe "ISO 2768 - mK" :
Längen über 30 bis 120 mm: $\pm 0,3$ mm (Geradheit und Ebenheit $\pm 0,2$ mm)
Radien und Fasenhöhen bis 3 mm: $\pm 0,2$ mm
Winkel mit Schenkellängen über 10 bis 50 mm: $\pm 30'$

DIN ISO 2768 gilt für durch Zerspanung oder Umformung gefertigte Maße in Fertigungszeichnungen und ist für Zusammenstellungszeichnungen ohne Bedeutung. Für Rohteilabmessungen wie z.B. bei Kunststoffformteilen, Gussteilen oder Gesenkschmiedestücken gelten andere, ebenfalls genormte Allgemeintoleranzen.

Eine andere Definition des Bezugslements findet man bei der Positionstoleranz:



Die exakte Lage der Bohrungen wird hier durch eingerahmte, theoretische Maße gegeben. Relativ zu dieser theoretischen Position muss die Achse jeder der 3 Bohrungen innerhalb eines Toleranzzylinders $\varnothing 0,2$ liegen.

Weitere Form- und Lagetoleranzen: siehe entsprechende Nachschlagewerke.

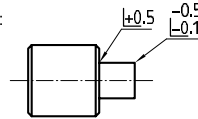
Anmerkung: Die Beschreibung eines Werkstücks ist mit Maßen und Maßtoleranzen allein nicht möglich. Das ist auch in Fachkreisen häufig unbekannt! Die Eintragung der zusätzlich notwendigen Form- und Lagetoleranzen ist mit Abstand das Schwierigste beim Erstellen einer Fertigungszeichnung. Untersuchungen haben ergeben, dass 80% aller Zeichnungen nicht vollständig und eindeutig sind! Die Problematik der Form- und Lagetoleranzen wird dadurch noch erschwert, dass die Einhaltung dieser Toleranzen oft nur mit großem Aufwand mit Hilfe einer 3D-Koordinatenmessmaschine überprüft werden kann.

Definition von Werkstückkanten

Der Kantenzustand an fertigen Teilen ist nie so ideal rechteckig, wie dies zeichnerisch dargestellt wird:

Außenkanten weisen nach der Fertigung einen überstehenden Grat auf und werden meist entgratet. An Innenkanten bildet sich die Form des Werkzeugs ab, z.B. der Radius der Schneidplatte. Wenn es nicht notwendig ist, die Kanten durch Radien, Freistiege oder Fasen genauer zu definieren, wird lediglich der maximal zulässige Abtrag durch Entgraten von Außenkanten oder der maximal zulässige Übergang an Innenkanten angegeben (Details siehe ISO 13715).

Beispiel:

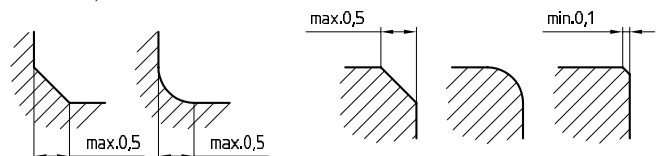


Merkregel:

"+": Im Vergleich zur theoretisch rechteckigen Ecke ist mehr Material vorhanden.
"-": Von der theoret. rechteckigen Ecke wurde zusätzlich Material abgetragen.

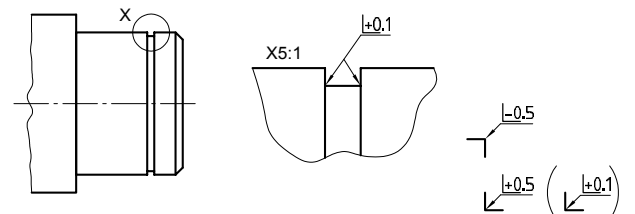
Bedeutung: Innenkante mit Übergang bis maximal 0,5 mm Kantenabstand

Außenkante gratfrei mit Abtragung im Bereich von 0,1 bis 0,5 mm



Die Form des Übergangs bzw. der Abtragung ist dadurch nicht weiter festgelegt.

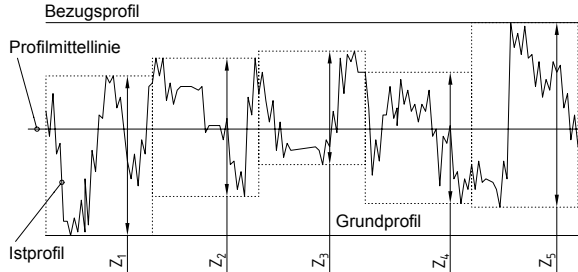
Oft werden für alle oder überwiegend alle Kanten eines Werkstücks gleiche Zustände gefordert. Dann genügt die einmalige Eintragung der Angaben, meist in der Nähe des Schriftfeldes.



Einführung und Begriffsdefinitionen

Um die Oberflächenrauheit überhaupt in technischen Zeichnungen eintragen zu können, muss sie durch eine Messgröße zahlenmäßig erfasst werden können. Bei der Rauheit ist diese Messgröße nicht so eindeutig zu definieren wie z.B. bei der Länge. Daher existieren unterschiedliche Messgrößen für die Oberflächenrauheit.

Die wichtigsten Messgrößen können mit einem Tastschnittgerät erfasst werden. Dabei gleitet eine Abtastnadel (ähnlich der Diamantnadel eines alten Plattenspielers) die Oberfläche entlang einer geraden Messstrecke ab und erzeugt ein elektrisches Eingangssignal für einen Auswertecomputer.



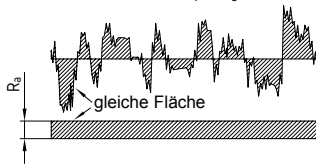
Rautiefe R_t : Abstand zwischen Grundprofil und Bezugsprofil (tiefstes Tal bis höchster Berg). In alten Fachbüchern noch zu finden, unterliegt großen Streuungen, ist technisch kaum relevant und wird daher nicht mehr verwendet!

Gemittelte Rautiefe R_z : die Gesamtmessstrecke wird in 5 gleiche Einzelstrecken aufgeteilt, R_z ist der arithmetische Mittelwert der 5 Einzelrautiefen Z_i ,

$$R_z = (Z_1 + \dots + Z_5) / 5$$

Maximale Rautiefe R_{max} : Maximalwert aus den 5 Einzelrautiefen $Z_1 \dots Z_5$

Mittenrauwert R_a : arithmetisches Mittel der absoluten Profilabweichungen innerhalb der Gesamtmessstrecke, gleichbedeutend mit der Höhe eines Rechtecks, das flächengleich ist mit den Flächen zwischen Profilmittellinie und Istprofil.



R_a ist der heute überwiegend verwendete Rauheitswert.

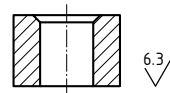
Rauheitsangaben in technischen Zeichnungen

Die Oberflächen eines Werkstücks weisen eine durch den Fertigungsprozess erzeugte Rauheit auf. In jeder Fertigungszeichnung müssen zulässige Werte dafür angegeben werden. Diese Rauheitsangaben haben praktisch einen engen Zusammenhang mit den geforderten Maßtoleranzen, sind prinzipiell aber davon unabhängig und werden stets getrennt davon eingetragen.

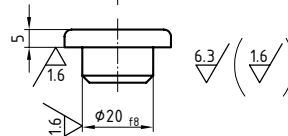
Grundregel: Oberflächenangaben legen zum Teil auch die Bearbeitungsverfahren und damit die Fertigungskosten fest. Deshalb gilt wie bei Toleranzen, dass nicht mehr Qualität gefordert werden darf, als für die Funktion erforderlich ist!

a) b) c) d) $\frac{3,2}{\sqrt{}} = Ra_{3,2} = \sqrt{Ra_{3,2}}$ e) Rz_{25}

- Grundsymbolsymbol: Fertigungsverfahren ist freigestellt
- Grundsymbolsymbol mit Querstrich: spanabhebendes Fertigungsverfahren
- Grundsymbolsymbol mit Kreis: spanabhebende Bearbeitung nicht zulässig, bzw. die Oberfläche bleibt im Anlieferzustand
- spanabhebende Bearbeitung mit Mittenrauwert $R_a = \max. 3,2 \mu m$
Die drei unterschiedlichen Darstellungsweisen für R_a -Werte geben die chronologische Entwicklung der maßgeblichen ISO 1302 wieder. Heute praxisüblich ist noch die linke Schreibweise für R_a , siehe auch nachfolgende Beispiele. Die rechte Darstellung entspricht dem aktuellen Stand der Normung.
- spanabhebende Bearbeitung mit gemittelter Rautiefe $R_z = \max. 25 \mu m$. Auch alle anderen noch möglichen Rauheitsmessgrößen werden an dieser Stelle des Rauheitssymbols eingetragen.

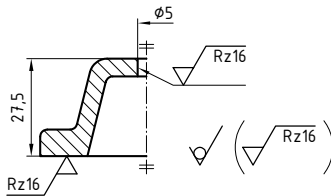


Beispiel 1: Teil mit allseitig gleicher Oberflächenbeschaffenheit (hier $R_a \max. 6,3 \mu m$ mit beliebigem Fertigungsverfahren):
Rauheitssymbol neben dem Teil, oder in der Nähe des Schriftfelds.

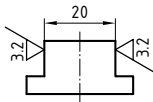


Beispiel 2: Teil mit überwiegend gleicher Oberfläche. Oberflächen, die von der allgemeinen Vorgabe ($R_a \max. 6,3 \mu m$) abweichen, müssen alle mit den entsprechenden Rauheitssymbolen gekennzeichnet werden.

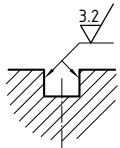
- Bemaßung und Oberflächenangabe werden stets zusammen in die gleiche Ansicht eingetragen.
- Rauheitsangaben sind lesbar von unten oder von rechts. Das Symbol selbst wird so gedreht, dass es aus Bearbeitungsrichtung an die Oberfläche, bzw. an die dazugehörige Maßhilfslinie zeigt (nie von der Materialseite her!).



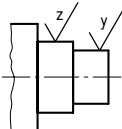
Beispiel 3: Die Oberflächen dieses Werkstücks bleiben überwiegend unbearbeitet (häufig bei Guss- und Schmiedeteilen).
- Bei Platzmangel wird das Oberflächensymbol mit einer Hinweislinie mit der betreffenden Kante verbunden.



Beispiel 4: Symmetrische Flächen erhalten jeweils ein eigenes Oberflächenzeichen, bei Rotationskörpern (Beispiel 2) darf nur ein Oberflächenzeichen am Umfang stehen.



Beispiel 5: Verzweigte Hinweislinie auf mehrere gleichartige Flächen.



Beispiel 6: Vereinfachte Eintragung der Oberflächenangaben mit Kleinbuchstaben z, y, x, ... und Erklärung der Symbole. Nur üblich bei umfangreichen Oberflächenangaben, die viel Platz beanspruchen (hier z.B. mit genauer Vorschrift des Herstellungsverfahrens).

drallfrei geschliffen

$$y = Ra_{0,4}$$
 gehont

$$z = Rz_{0,63}$$

Welcher R_a -Wert ?

DIN 4766 enthält Anhaltswerte, welche gemittelten Rautiefen R_z mit verschiedenen Fertigungsverfahren erreichbar sind. Rauheitsangaben in R_a sind heute vorzuziehen, es gibt jedoch keinen mathematischen Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen Rauheitsmessgrößen. Als Anhaltswert gilt folgendes:

- $R_a 0,4$ gute geschliffene Qualität
- $R_a 1,6$ fein geschliffen (Drehen oder Fräsen)
- $R_a 3,2$ typischer Wert für gedreht / gefräst
- $R_a 12,5$ geschruppt mit groben Riefen

Rauheitsangaben in alten Zeichnungen

Früher war eine messtechnische Erfassung und computergestützte Auswertung von Rauheitsprofilen kein allgemein verfügbarer Standard. Daher erfolgte die Oberflächenbeurteilung nicht nach messbaren Größen, sondern nur gefühlsmäßig, bzw. mit dem bloßen Auge. Die darauf basierenden Zeichnungsangaben werden heute nicht mehr verwendet, sind aber auf alten Zeichnungen noch zu finden:



gleichmäßige, gut aussehende Fläche, meist spanlos hergestellt



Je mehr Dreiecke (bis 4) angegeben wurden, um so glatter.



1 Dreieck: geschruppt mit spürbaren Riefen



2 Dreiecke: geschliffen, mit bloßem Auge noch sichtbare Riefen

3 Dreiecke: feingeschliffen ohne sichtbare Riefen

4 Dreiecke: geläppt, gehont, poliert, z.B. Messflächen

Werkstoff

Jede Fertigungszeichnung muss im Schriftfeld die genaue Bezeichnung des Werkstoffs enthalten. Bei Stahlwerkstoffen gibt es hierfür genormte Abkürzungen, Handels- oder Markennamen werden eher selten verwendet (z.B. V2A-Stahl, oder bei Kunststoffen wie z.B. Teflon).

Stahl- und Eisenwerkstoffe

Die Bezeichnung erfolgt nach DIN EN 10027 entweder mit einem Kurznamen oder einer Werkstoffnummer. Diese Norm aus dem Jahr 1992 ersetzt die Kurznamen der bis dahin gültigen DIN. Die Werkstoffnummern bei Stahl sind gleich geblieben, bei Guss haben sich diese ebenfalls geändert. Da die alten Bezeichnungen nach der offiziell zurückgezogenen DIN 17006 wohl noch längere Zeit anzutreffen sein werden, werden sie auch in nachfolgenden Beispielen noch genannt.

neu	alt	Beschreibung
EN-GJL-200 (0.6020)	GG-20	Gusseisen mit lamellenartigen Graphiteinlagerungen, ("Grauguss") Mindestzugfestigkeit 200 N/mm ²
EN-GJS-500 (0.7060)	GGG-50	Gusseisen mit kugelförmigen Graphiteinlagerungen, ("Sphäroguss"), Mindestzugfestigkeit 500 N/mm ²
GE240 (1.0446)	GS-45	allgemeiner unlegierter Stahlguss, Streckgrenze 240 N/mm ² , Zugfestigkeit 450 N/mm ² (früher ca. 45 kp/mm ²)
S235 (1.0037)	St 37	allgemeiner Baustahl (structural steel) mit Streckgrenze 235 N/mm ² und Zugfestigkeit 370 N/mm ² (37 kp/mm ²)
E295 (1.0050)	St 50	Baustahl höherer Festigkeit (engineering steel) mit Streckgrenze 295 N/mm ² u. Zugfestigkeit 500 N/mm ²

Bei anderen Stahlsorten, die anstelle der mechanischen Eigenschaften die Legierungszusammensetzung im Kurznamen verschlüsselt haben, hat sich dieser Kurzname bisher nicht geändert, z.B.:

Kurzname	Beschreibung
C40 (1.0511)	unlegierter Vergütungsstahl mit 0,4% Kohlenstoffgehalt, für Wärmebehandlung (Vergüten = Härten + Anlassen) geeignet
42 CrMo 4 (1.7225)	niedriglegierter Vergütungsstahl mit 0,42% Kohlenstoffgehalt und etwa 1% Chrom
16 MnCr 5 (1.7131)	niedriglegierter Einsatzstahl mit 0,16% Kohlenstoff und etwa 1,25% Mangan, für Einsatzhärtung vorgesehen
X 12 CrNi 17 7 (1.4310)	hochlegierter, rostfreier Federstahl mit 0,12% Kohlenstoff, 17% Chrom und 7% Nickel

Die Werkstoffnummern sind nach dem Schema X.XXXX aufgebaut, wobei die erste Ziffer die Hauptgruppe definiert, z.B.:

0. = Roheisen, 1. = Stahl, 2. = Schwermetalle außer Fe, 3. = Leichtmetalle
Die vierstellige Sortennummer ist nach Nummerngruppen entsprechend den Legierungselementen strukturiert.

Meist werden durch Nachsetzzeichen die Eigenschaften des Werkstoffs noch im Detail spezifiziert. Solche Nachsetzzeichen gibt es für die Kurznamen und in völlig anderer Definition auch für die Werkstoffnummern.

z.B. beim Baustahl S235 (Werkstoffnummer 1.0037):

S235JR bedeutet nachgewiesene Kerbschlagarbeit 27J bei Raumtemperatur
1.0037.04 bedeutet Strangguss

Nicht-Eisen-Metalle

Die Benennung solcher Metalle mit Kurznamen wird in eigenen Normen geregelt. Diese bisher üblichen Kurznamen, die Aufschluss über die Legierungszusammensetzung geben, werden künftig zunehmend durch international genormte Werkstoffnummern ersetzt, die nicht nach dem oben genannten Nummernsystem der DIN EN 10027 aufgebaut sind.

Hier nur wenige Beispiele:

Kurzname	Beschreibung
CuSn8 (2.1030)	Kupfer mit 8% Zinn, Standardbronze für Gleitlagerbuchsen
AlCu4SiMg (EN AW-2014)	hochfeste Aluminium-Schmiedelegerung
MgAl8Zn1 (EN-MC21120)	Magnesiumlegierung für Druckgussteile

Formnormen für Halbzeuge

Der Werkstoff wird vom Stahlhandel (bzw. bei Großserien direkt vom Stahlwerk) in bestimmten Halbzeugformen geliefert, z.B. Rundmaterial, Vierkantprofile, Bleche, Rohre. Diese Halbzeuge werden erzeugt z.B. durch Warmwalzen, Kaltziehen, Strangpressen. Die Art und Form des verwendeten Halbzeugs kann zusätzlich zum Werkstoff in die Fertigungszeichnung eingetragen werden (entfällt bei Guss- und Schmiedeteilen), z.B.

Rund DIN 1013 - 24 - S235JR (warmgewalzter Rundstahl Ø24)

Blech EN 10029 - 80 Stahl EN 10025 - S235JR (warmgewalztes Blech, 80 dick)

I-Profil DIN 1025 - S235JR - I160 (warmgewalzter I-Träger, 160mm Nennhöhe)

Rohr DIN 2458 - 25x2 - S235JR (geschweißtes Rohr Außen-Ø 25, 2 dick)

Wärmebehandlung

Die metallographische Struktur und die Gebrauchseigenschaften von Stahl sind in weiten Grenzen durch eine Wärmebehandlung einstellbar. Je nach Ziel und Ausgangslegierung sind unterschiedliche Wärmebehandlungen möglich:

Vergüten: Das gesamte Bauteil wird im Härtereiofen über die Austenitisierungstemperatur (>800-900°C, je nach C-Gehalt) erwärmt und durch Abschrecken im Ölbad gehärtet. Die nach dem Härten vorliegende hohe Sprödigkeit wird durch Anlassen (Wiedererwärmen auf 500-700°C) reduziert. Durch die Anlasstemperatur kann die Gebrauchshärte eingestellt werden.

Randschichthärten: Vergütungsstähle, die nur in der Randzone hart und verschleißfest sein sollen, werden durch Gasbrenner (Flammhärtung), elektrisch (Induktivhärtung) oder mit Laser erhitzt und mit Wasserbrause abgeschreckt.

Einsatzhärten: Verfahren für Stähle mit geringem (<0,2%), für eine Härtung nicht ausreichendem Kohlenstoffgehalt. Die Teile werden in einer Gasatmosphäre, die atomaren Kohlenstoff freisetzt, bei ca. 950°C in der Randschicht aufgekohlt ("eingesetzt", bis ca. 1% C), durch Abschrecken gehärtet und anschließend angelassen (hier bei 150-180°C).

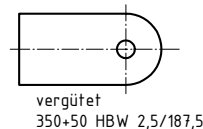
Nitrieren: Statt mit Kohlenstoff wird die Randschicht bei Temperaturen bis ca. 500°C mit Stickstoff angereichert (gute Maßbeständigkeit, da keine Gefügeumwandlung).

Die durch die Wärmebehandlung erreichten Härtewerte müssen in einer Fertigungszeichnung vorgegeben werden. Dafür gibt es mehrere, unterschiedlich genormte Härteprüfverfahren, die je nach Härte und Messstelle ausgewählt werden. Stets wird ein harter Prüfkörper mit definierter Kraft in die Oberfläche eingedrückt, der erzeugte Eindruck ist ein Maß für die vorliegende Härte.

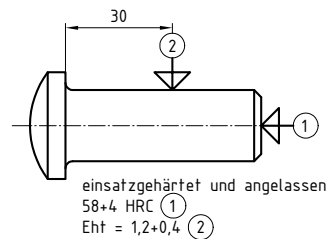
Messverfahren	Prüfkörper	Messwert	Anwendung
Brinellhärte HB	Hartmetallkugel (HBW) oder Stahlkugel (HBS)	Eindruckoberfläche	für weiche bis mittelharte Werkstoffe z.B. 350 HBW 5/750/20 SØ5, Prüfkraft 750kp = 7355 N, Einwirkdauer 20s
Rockwellhärte HRC	Diamantkegel	Eindrucktiefe	für harte Werkstoffe z.B. 59 HRC
Vickershärte HV	Diamantpyramide	Eindruckdiagonale	für Kleinlast- und Mikrohartprüfung z.B. 640 HV 0,1 Prüfkraft 0,1kp = 0,9807N

Eintragung der Wärmebehandlung in Fertigungszeichnungen

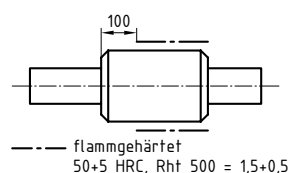
Das Ergebnis einer Härtung unterliegt im betrieblichen Alltag relativ großen Streuungen, daher größtmögliche, aber noch funktionsgerechte Toleranzen (hier ausschließl. "+" üblich) vorsehen. Die Angabe des Härteverfahrens und die zu erreichenden Härtewerte stehen entweder in der Nähe des Schriftfeldes oder zusammen mit dem Werkstoff im Schriftfeld. Da durch die Härteprüfung eine eventuell wichtige Funktionsfläche beschädigt wird, kann die Messstelle mit einem speziell dafür vorgesehenen Symbol (↯) versehen und bemastet werden.



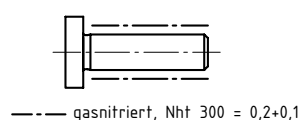
Beispiel 1: vergütet auf 350-400 Brinellhärte (im gesamten Materialquerschnitt, Prüfung der Oberflächenhärte an beliebiger Stelle des Bauteils gestattet, Kernhärte nur an Prüfteilen im Querschliff messbar).



Beispiel 2: Einsatzhärtung mit einer Randhärte von 58-62 Rockwell und einer Einsatzhärtungstiefe 1,2-1,6mm an der angegebenen Stelle der Zylindermantelfläche, Rockwell-Härteprüfdruck an der Stirnseite. (Eht kann nur im polierten Querschliff eines Prüfteiles gemessen werden.)



Beispiel 3: Flammhärtung auf 50-55 Rockwell Randhärte, Randhärte tiefe 1,5-2,0mm bei 500 HV Grenzhärte. Nur die gekennzeichneten Bereiche dürfen gehärtet werden!



Beispiel 4: gasnitriert auf eine Nitrierhärte tiefe von 0,2-0,3mm bei Grenzhärte 300 HV, die nicht zu härtenden Bereiche werden mit Spezialfarbe abgedeckt (Diffusionssperre).