

Grundlagen Maschinenbau

Kapitel 1: Fertigungstechnik

6.1.2010

Das vorliegende Skriptum ist ein Exkurs aus dem Lehrbuch „Fachkunde Metall“ und beinhaltet das Stoffgebiet, welches im Unterricht vorgetragen wird und soll dem/der Schüler/in eine begleitende Hilfe für das vorgetragene Fach sein. Das Skriptum wird ständig erweitert, bearbeitet und dem Unterricht angepasst. Die jeweils neueste Version ist auf dem Moodle-Lernserver abgelegt und nur für Schüler mit dem Unterrichtsfach GMB auf der HTL Mössingerstraße in Klagenfurt zugänglich.

Gerhard Kukutschki

Kapitel 1: Fertigungstechnik

1.5. Fügen

Unter Fügen versteht man das Verbinden von Einzelteilen. Diese Verbindungen können, je nach Fügeart, wieder voneinander gelöst werden bzw. bleiben unlösbar miteinander verbunden (siehe Abbildung 1). Jedenfalls aber können diese miteinander verbundenen Teile Drehmomente und Kräfte übertragen.

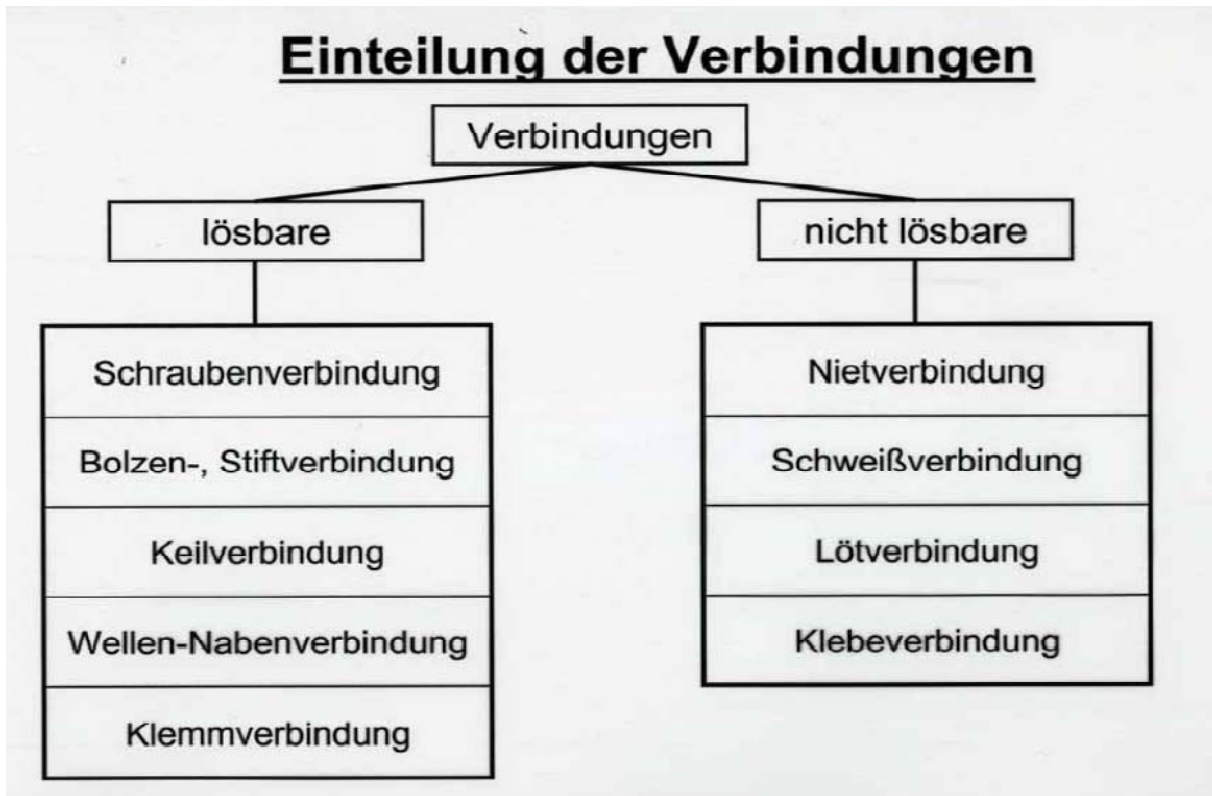


Abbildung 1, Einteilung der Verbindungen

Nach der Wirkungsart unterscheidet man folgende Fügeverfahren:

- Formschlüssiges Fügen
- Kraftschlüssiges Fügen
- Vorgespannt formschlüssiges Fügen
- Stoffschlüssiges Fügen (Kleben, Löten, Schweißen)

1.5.1. Formschlüssiges Fügen

Beim formschlüssigen Fügen sind die Werkstücke durch ineinander passende Formen miteinander verbunden. Beispielsweise überträgt die Passfeder das Drehmoment einer Welle.

Formschlüssige Verbindungen können hergestellt werden mittels:

- Passfedern

- Keilwellen
- Passschrauben
- Stiften
- Bolzen
- Nieten

1.5.2. Kraftschlüssiges Fügen

Beim kraftschlüssigen Fügen werden die Kräfte und Momente durch Reibungskräfte übertragen, die durch das Aufeinanderpressen von Bauteilen entstehen. Die Reibungskraft F_R ist dabei das Produkt aus der senkrecht auf die Reibfläche wirkende Normalkraft F_N und der Reibungszahl μ . Die Reibungszahl hängt wiederum von der Werkstoffpaarung, der Oberflächenbeschaffenheit, dem Schmierzustand etc. ab.

Der Zusammenhang zwischen Reibungskraft, Reibungszahl und Normalkraft lautet also:

$$F_R = \mu \cdot F_N$$

Die Reibungskraft wird also größer, wenn die Reibungszahl steigt (raue Oberfläche etc.) oder die Normalkraft erhöht wird (oder beides). Die Reibungszahl bei Schienenfahrzeugen, die zwischen den Schienen und den Rädern wirkt, beträgt etwa 0,3. Jedenfalls aber ist festzuhalten, dass die Reibungskraft immer der Bewegungsrichtung entgegen wirkt.

Kraftschlüssige Verbindungen sind:

- Schraubenverbindungen
- Klemmverbindungen
- Kegelverbindungen
- Einscheibenkupplungen

Press- und Schnappverbindungen

Zu den kraftschlüssigen Verbindungen gehören auch die sogenannten Press- und Schnappverbindungen.

Pressverbindungen können beispielsweise durch Einpressen bzw. Schrumpfen hergestellt werden. Beim Längseinpressen werden die Bauteile z.B. mit Hilfe einer Presse gefügt. Eine typische Anwendung des Längseinpressens ist das Einpressen eines Wälzlagertringes in ein Gehäuse. Eine Pressverbindung kann auch durch das sogenannte Schrumpfen erreicht werden: das Außenteil wird erwärmt, dehnt sich also aus, das Innenteil kann ohne nennenswerten Kraftaufwand eingeschoben werden. Nach dem Erkalten schrumpft das Außenteil, eine Pressverbindung durch Schrumpfen ist entstanden. Gleichermaßen kann z.B. auch das Innenteil durch Unterkühlung in ein vorgewärmtes Außenteil verbracht werden (Beispiel: Wälzlager auf -70° in einer speziellen Tiefkühltruhe gekühlt, Lagerdeckel auf 100° erwärmt). Tiefere Temperaturen können z.B. durch Einlagern in flüssigem Stickstoff (bis -190°C) erreicht werden, hier ist aber Vorsicht geboten, denn manche Werkstoffe verhalten sich bei diesen tiefen Temperaturen brüchig wie Glas. Dieser Vorgang des Abkühlens des Innenteils hat nach dem Aufwärmen ein Dehnen zur Folge.

Bei den Schnappverbindungen wird die Elastizität der Werkstoffe, meist Kunststoffe oder Federstahl, ausgenutzt. Mindestens ein Teil der Verbindung muss aus einem elastischen Werkstoff sein, der sich beim Fügen oder Lösen um die sogenannte Wulsthöhe verformen lässt. Bei Kunststoffen (Thermoplasten) können dabei kurzzeitig Dehnungen von etwa 12 % erreicht werden. Man unterscheidet zwischen lösbaren und unlösbaren Schnappverbindungen.

Beispiele für Schnappverbindungen sind z.B. Rohrverbindungen dünner Rohre oder Metallklipse im Automobilbau.

1.5.3. Vorgespannt formschlüssiges Fügen

Beim vorgespannt formschlüssigen Fügen erfolgt die Drehmomentübertragung zunächst kraftschlüssig. Beim Überschreiten der Reibungskraft wird z.B. das Drehmoment formschlüssig übertragen.

Vorgespannt formschlüssige Verbindungen sind z.B.:

- Keilverbindungen
- Stirnzahnverbindungen
- Kegolverbindungen mit Scheibenfedern

Als Beispiel sei hier die Verbindung zwischen einer Tretkurbel und der Antriebswelle eines Fahrrades gegeben: die beiden Enden der stählerne Antriebswelle bestehen aus je einem schlanken Vierkant Kegel mit einer stirnseitigen Gewindebohrung. Die beiden Tretkurbeln aus Aluminium erhalten durch das Festziehen der Schraube zunächst einen Kraftschluss durch die Kegolverbindung und in weiterer Folge einen Formschluss durch die Vierkante.

1.6. Toleranzen

Besonders in der Massenfertigung und auch zur Gewährleistung der Montierbarkeit von Bauteilen, unabhängig vom Hersteller, sind zulässige Abweichungen vom Nennmaß durch Toleranzen gekennzeichnet. Es wird zwischen Maß-, Form- und Lagetoleranzen unterschieden. Die Maßtoleranzen beziehen sich auf Längen- und Winkelmaße, die Form- und Lagetoleranzen auf die Form z.B. Rechtwinkeligkeit.

Eine hingegen Passung gibt die Beziehung von zwei zu fügenden Teilen an, die sich aus dem Maßunterschied der beiden Teile vor dem Fügen ergibt.

Dabei haben die zwei zu einer Passung gehörenden Passteile dasselbe Nennmaß mit vorgegebenen Toleranzen.

1.6.1. Grundbegriffe der Maßtoleranzen

Unter Nennmaß N versteht man das in der Zeichnung vom Konstrukteur genannte Maß, in bildlichen Darstellungen entspricht das Nennmaß der Nulllinie.

Die Größe der erlaubten oberen Abweichung ES bzw. unteren Abweichung EI vom Nennmaß wird Toleranz bzw. Toleranzfeld genannt. Bei Bohrungen werden Großbuchstaben und bei Wellen Kleinbuchstaben verwendet.

Toleranz der Bohrung	$T_B = ES - EI$
Toleranz der Welle	$T_W = es - ei$

Durch das obere und das untere Abmaß sind auch die Grenzmaße festgelegt d.h. das Höchstmaß und das Mindestmaß:

Höchstmaß	Bohrung	$G_{oB} = N + ES$
	Welle	$G_{oW} = N + es$
Mindestmaß	Bohrung	$G_{uB} = N + EI$
	Welle	$G_{uW} = N + ei$

Toleranzfelder können oberhalb, unterhalb oder beiderseits der Nulllinie liegen.

1.6.2. ISO-Toleranzen

Prinzipiell können Toleranzen frei festgelegt werden, jedoch werden heute überwiegend ISO Toleranzen verwendet. Die Größe der Toleranz und ihre Lage zur Nulllinie werden verschlüsselt angegeben (siehe Abbildung 2). Für Innenmaße wie bei Bohrungen und Nuten wird das Grundabmaß mit Großbuchstaben gekennzeichnet (20H7), für Außenmaße wie bei Wellen und Passfedern wird das Grundabmaß mit Kleinbuchstaben gekennzeichnet (20h6).



Abbildung 2, ISO Bezeichnung einer Welle und einer Bohrung für das Nennmaß 20

Das Grundabmaß legt dabei die Lage der Toleranz zur Nulllinie fest, der Toleranzgrad weist auf die Größe der Toleranz hin (siehe Abbildung 3). In der DIN ISO 286 Teil 1 sind die Grundlagen und Begriffe für Toleranzen, Abmaße und Passungen festgelegt, wobei diese Norm nur Passungen zwischen zu paarenden kreiszylindrischen Formelementen (Durchmesser einer Welle oder Bohrung) bzw. zwei parallelen Passflächen eines Werkstückes (Breite einer Nut oder Dicke einer Feder) fest legt.

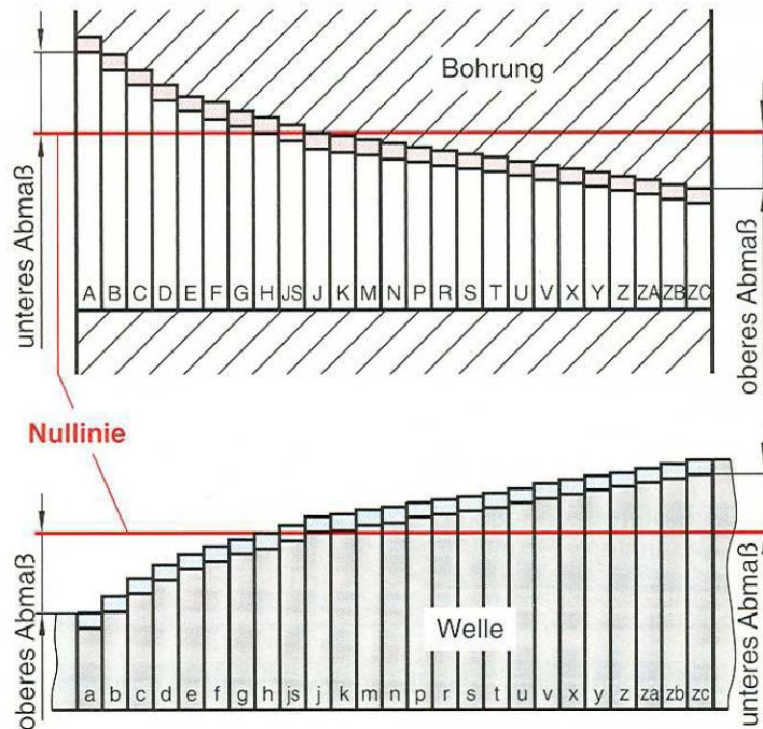


Abbildung 3, Lager der Toleranzfelder zur Nulllinie

Grundabmaße für Bohrungen (ES, EI) werden durch die Großbuchstaben A bis Z, Grundabmaße für Wellen (es, ei) durch die kleinen Buchstaben a bis z gekennzeichnet.

Für die Toleranzgrade 6 bis 11 werden die Z-Toleranzen für Bohrungen um die Toleranzfelder ZA, ZB, ZC erweitert. Analog werden die z-Toleranzen für Wellen mit den entsprechenden Kleinbuchstaben za, zc, zb erweitert. Sind oberes und unteres Abmaß gleich groß, liegt das Toleranzfeld symmetrisch zur Nulllinie. Diese Plus-Minus Toleranzen werden für Bohrungsmaße mit JS und für Wellenmaße mit js bezeichnet.

Die Großbuchstaben I, L, O, Q und W und die entsprechenden kleinen Buchstaben werden nicht verwendet, um Verwechslungen zu vermeiden. Die Toleranzfelder liegen umso weiter von der Nulllinie weg, je weiter der Buchstabe im Alphabet von H bzw. h entfernt liegt.

Größe der Toleranzfelder

Die Größe der Toleranzfelder hängt von dem Toleranzgrad und von der Größe des Nennmaßes ab. Die Grundtoleranzgrade werden mit dem Buchstaben IT (Internationale Toleranz) und den Zahlen 01, 0, 1 bis 18 in 20 Toleranzgrade unterteilt. Der Toleranzgrad 01 hat bei gleichem Nennmaß die kleinsten, der Toleranzgrad 18 die größten Toleranzen. Bei gleichem Toleranzgrad haben größere Nennmaße größere Toleranzen. Die Nennmaße werden dabei für die Abmessungen von 1mm bis 3150mm in 21 Nennmaßbereiche unterteilt.

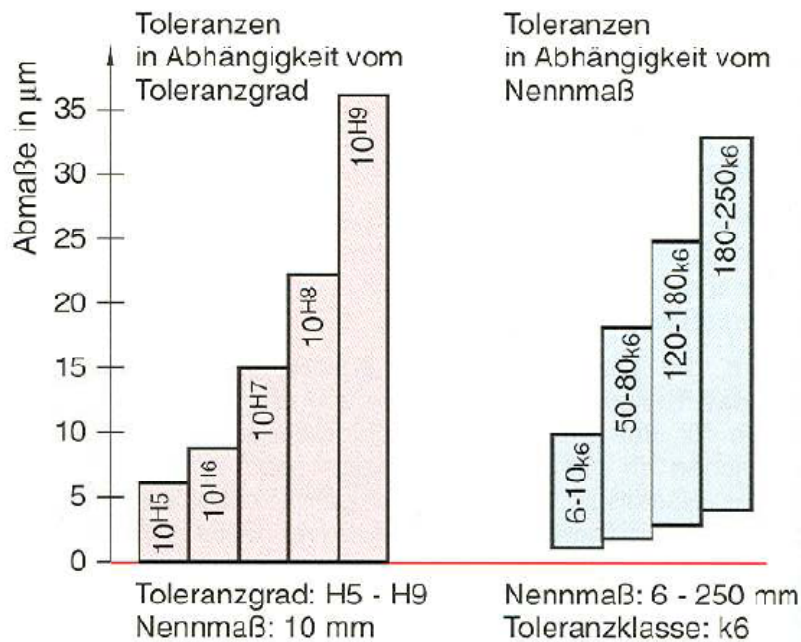


Abbildung 4, Toleranzen in Abhängigkeit vom Toleranzgrad und vom Nennmaß

Beispiel:

Wie liegen die Toleranzfelder von 25H7 und 25h9 zur Nulllinie?

Lösung:

1) Aus der ISO Tabelle (Auszug) für die Toleranzfelder der Welle und der Bohrung:

Bohrungstoleranzen, oberes und unteres Abmaß in μm																		
Nenn-Ø Bohrung (mm)	über	bis	E8		E9		F7		G7		H6		H7		H8		H9	
			oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten
3	6		+38	+20	+50	+20	+22	+10	+16	+4	+8	0	+12	0	+18	0	+30	0
6	10		+47	+25	+61	+25	+28	+13	+20	+5	+9	0	+15	0	+22	0	+36	0
10	18		+59	+32	+75	+32	+34	+16	+24	+6	+11	0	+18	0	+27	0	+43	0
18	30		+73	+40	+92	+40	+41	+20	+28	+7	+13	0	+21	0	+33	0	+52	0
30	50		+89	+50	+112	+50	+50	+25	+34	+9	+16	0	+25	0	+39	0	+62	0
50	80		+106	+60	+134	+60	+60	+30	+40	+10	+19	0	+30	0	+46	0	+74	0
80	120		+126	+72	+159	+72	+71	+36	+47	+12	+22	0	+35	0	+54	0	+87	0
120	180		+148	+85	+185	+85	+83	+43	+54	+14	+25	0	+40	0	+63	0	+100	0
180	250		+172	+100	+215	+100	+96	+50	+61	+15	+29	0	+46	0	+72	0	+115	0

Wellentoleranzen, oberes und unteres Abmaß in μm																		
Nenn-Ø der Welle (mm)	über	bis	e8		f7		f8		g6		h6		h7		h8		h9	
			oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten	oben	unten
3	6		-20	-38	-10	-22	-10	-28	-4	-12	0	-8	0	-12	0	-18	0	-30
6	10		-25	-47	-13	-28	-13	-35	-5	-14	0	-9	0	-15	0	-22	0	-36
10	18		-32	-59	-16	-34	-16	-43	-6	-17	0	-11	0	-18	0	-27	0	-43
18	30		-40	-73	-20	-41	-20	-53	-7	-20	0	-13	0	-21	0	-33	0	-52
30	50		-50	-89	-25	-50	-25	-64	-9	-25	0	-16	0	-25	0	-39	0	-62
50	80		-60	-106	-30	-60	-30	-76	-10	-29	0	-19	0	-30	0	-46	0	-74
80	120		-72	-126	-36	-71	-36	-90	-12	-34	0	-22	0	-35	0	-54	0	-87
120	180		-85	-148	-43	-83	-43	-106	-14	-39	0	-25	0	-40	0	-63	0	-100
180	250		-100	-172	-50	-96	-50	-122	-15	-44	0	-29	0	-46	0	-72	0	-115

Tabelle 1, Auszug aus der ISO Tabelle für Bohrungen und Wellen

- 2) $25H7 = 25 (-0 + 0,021) \text{ mm}$, das Toleranzfeld der Bohrung = 25,0 bis 25,021 (mm)
 $25h9 = 25 (+0 - 0,052) \text{ mm}$, das Toleranzfeld der Welle = 24,948 bis 25,0 (mm)

1.7. Passungen

Unter einer Passung versteht man die Fügbarkeit von zwei Bauteilen, insbesondere werden Passungen durch den Unterschied zwischen dem Maß der Bohrung und dem Maß der Welle bestimmt.

1.7.1. Passungsarten

Je nach Kombination der Toleranzklassen von Bohrung und Welle ein und desselben Nennmaßes können folgende Passungsarten entstehen:

- a) Spielpassungen
- b) Übermaßpassungen (Presssitz)
- c) Übergangspassungen

Spielpassungen

Bei den Spielpassungen ist das Mindestmaß der Bohrung immer größer, eventuell auch gleich groß, wie das Höchstmaß der Welle. Zwischen Welle und Bohrung tritt also immer ein sogenanntes Spiel auf. Als Höchstspiel P_{SH} wird die Differenz zwischen dem Höchstmaß der Bohrung G_{oB} und dem Mindestmaß der Welle G_{uW} bezeichnet.

$$\begin{aligned} \text{Höchstspiel:} & \quad P_{SH} = G_{oB} - G_{uW} \\ \text{Mindestspiel:} & \quad P_{SM} = G_{uB} - G_{oW} \end{aligned}$$

Analog dazu beträgt das Mindestspiel die Differenz zwischen dem Mindestmaß der Bohrung G_{uB} und dem Höchstmaß G_{oW} der Welle (siehe Abbildung 5).

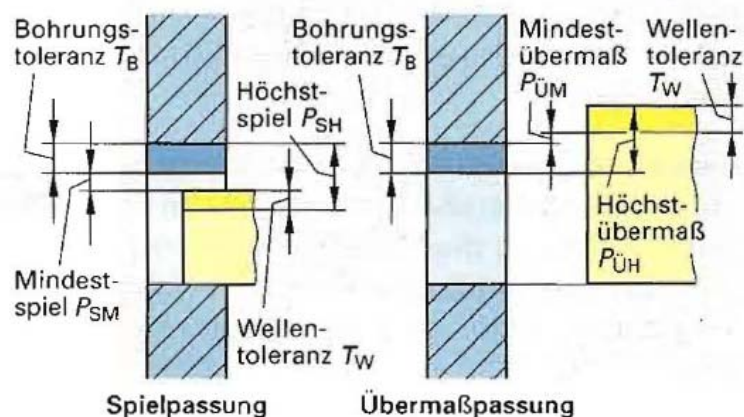


Abbildung 5, Spielpassung und Übermaßpassung

Übermaßpassungen (Presssitz)

Die Übermaßpassung ist dadurch gekennzeichnet, dass das Höchstmaß der Bohrung G_{oB} immer kleiner (eventuell auch gleich groß), als das Mindestmaß der Welle G_{uW} ist (siehe Abbildung 5).

$$\begin{aligned} \text{Höchstübermaß:} & \quad P_{\text{ÜH}} = G_{uB} - G_{oW} \\ \text{Mindestübermaß:} & \quad P_{\text{ÜM}} = G_{oB} - G_{uW} \end{aligned}$$

Übergangspassungen

Je nach Istmaß der der Bohrung und der Welle entsteht beim Fügen entweder ein Spiel oder ein Übermaß (siehe.

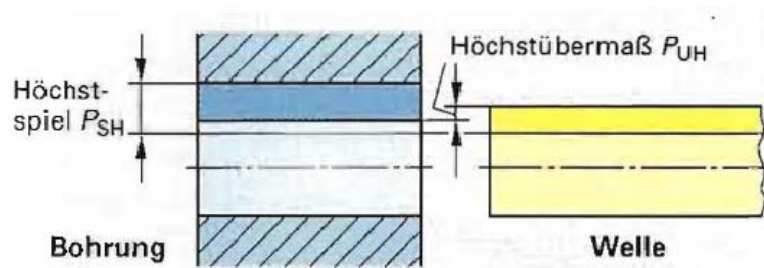


Abbildung 6, Übergangspassung

1.7.2. Passungssysteme

System Einheitsbohrung

Um die Fertigungs- und Prüfkosten niedrig zu halten, werden tolerierte Maße meist nach dem Passungssystem Einheitsbohrung oder nach dem Passungssystem Einheitswelle gefertigt, wobei das System Einheitsbohrung überwiegend angewendet wird.

Bohrungen mit bestimmten Toleranzen herzustellen, erfordert eine Anzahl von Werkzeug (Reibahlen etc.). Eine Welle hingegen kann mit einer Drehmaschine/CNC-Fertigungszentrum (schleifen, läppen) etc. weitaus leichter mit einem einzigen Werkzeug für verschiedene Durchmesser auf das gewünschte genaue Maß gebracht werden.

Beim Passungssystem Einheitsbohrung (siehe Abbildung 7) erhalten die Bohrungsmaße das **Grundmaß H**, das bedeutet, dass das Toleranzfeld H auf der Nulllinie „aufsitzt“ und nur „größer“ werden kann ($G_{uB} = 0$!).

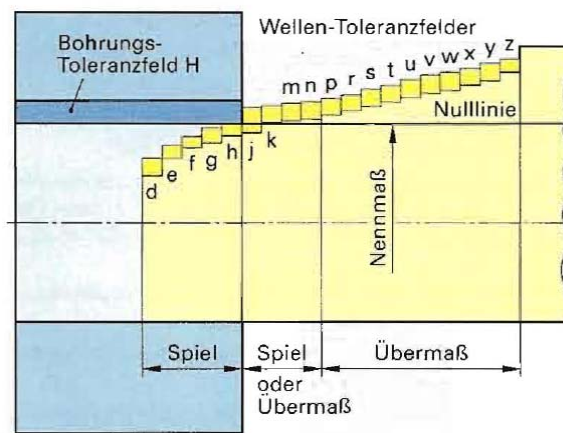


Abbildung 7, Passungssystem Einheitsbohrung

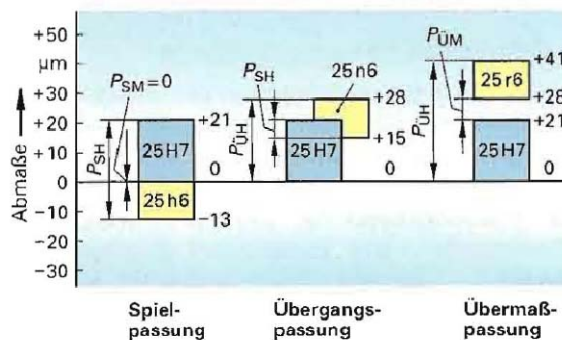
Die möglichen Passungsarten ergeben sich dabei zu:

Bereiche der Passungsarten	
Spielpassungen:	H / a ... h
Übergangspassungen:	H / j ... n oder p
Übermaßpassungen:	H / n oder p ... z

Beispiel: Passung 25H7/h6 , Passung 25H7/n6 und Passung 25H7/r6

Lösung: (siehe Tabelle 1):

25H7 (25,0 - 25,021 mm), 25h6 (24,987 - 25,000 mm)
 25H7 (25,0 - 25,021 mm), 25n6 (25,015 - 25,028 mm)
 25H7 (25,0 - 25,021 mm), 25r6 (25,028 - 25,041 mm)



Spielpassung 25 H7/h6:	Höchstspiel $P_{SH} = G_{oB} - G_{uW} = 25,021 \text{ mm} - 24,987 \text{ mm} = 0,034 \text{ mm}$
	Mindestspiel $P_{SM} = G_{uB} - G_{oW} = 25,000 \text{ mm} - 25,000 \text{ mm} = 0 \text{ mm}$
Übergangspassung 25 H7/n6:	Höchstspiel $P_{SH} = G_{oB} - G_{uW} = 25,021 \text{ mm} - 25,015 \text{ mm} = 0,006 \text{ mm}$
	Höchstübermaß $P_{UH} = G_{uB} - G_{oW} = 25,000 \text{ mm} - 25,028 \text{ mm} = -0,028 \text{ mm}$
Übermaßpassung 25 H7/r6:	Höchstübermaß $P_{UH} = G_{uB} - G_{oW} = 25,000 \text{ mm} - 25,041 \text{ mm} = -0,041 \text{ mm}$
	Mindestübermaß $P_{UM} = G_{oB} - G_{uW} = 25,021 \text{ mm} - 25,028 \text{ mm} = -0,007 \text{ mm}$

System Einheitswelle

Analog zum System Einheitsbohrung, wird beim System Einheitswelle der Welle das **Grundmaß h** zugeordnet. Diese Vorgangsweise erscheint dann sinnvoll, wenn beispielsweise die Wellen als Stangenmaterial, fertig bearbeitet, zugekauft werden. Da die Stangen nachträglich nicht mehr bearbeitet bzw. gehärtet (Verzug!) werden, findet sich das System Einheitswelle meist im „einfachen“ Maschinenbau bzw. Massenfertigung wieder.

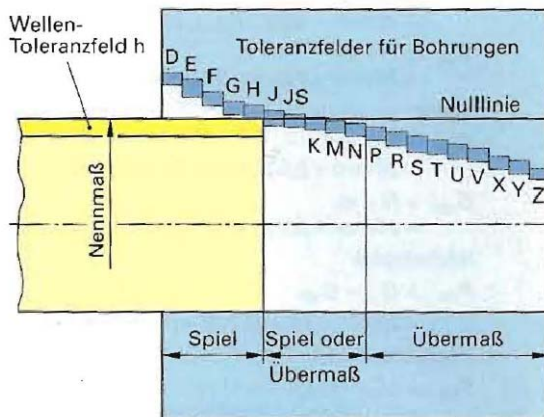


Abbildung 8, Passungssystem Einheitswelle

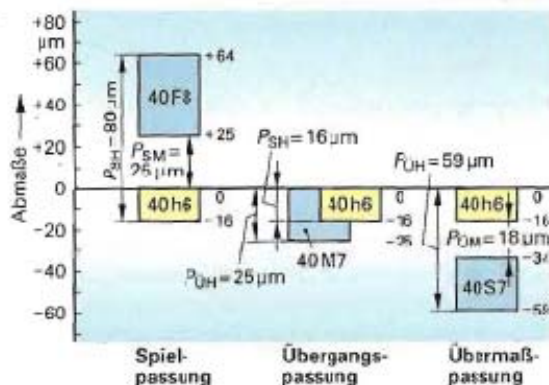
Auch hier ergeben sich die möglichen Passungsarten zu:

Bereiche der Passungsarten	
Spielpassungen:	h / A ... H
Übergangspassungen:	h / J ... N oder P
Übermaßpassungen:	h / N oder P ... Z

Beispiel: Passung 40S7/h6, Passung 40F8/h6, Passung 40M7/h6

Lösung: (aus Toleranztabelle, im Anhang):

- 40S7 (39,941 - 39,966 mm), 40h6 (39,984 - 40,0 mm)
- 40F8 (40,025 - 40,064 mm), 40h6 (39,984 - 40,0 mm)
- 40M7 (39,075 - 40,00 mm), 40h6 (39,984 - 40,0 mm)



Spielpassung 40F8/h6	Höchstspiel Mindestspiel	$P_{SH} = G_{oB} - G_{uW} = 40,064 \text{ mm} - 39,984 \text{ mm} = 0,080 \text{ mm}$ $P_{SM} = G_{uB} - G_{oW} = 40,025 \text{ mm} - 40,000 \text{ mm} = 0,025 \text{ mm}$
Übergangspassung 40M7/h6	Höchstspiel Höchstübermaß	$P_{SH} = G_{oB} - G_{uW} = 40,000 \text{ mm} - 39,984 \text{ mm} = 0,016 \text{ mm}$ $P_{ÜH} = G_{uB} - G_{oW} = 39,075 \text{ mm} - 40,000 \text{ mm} = - 0,925 \text{ mm}$
Übermaßpassung 40S7/h6	Höchstübermaß Mindestübermaß	$P_{ÜH} = G_{uB} - G_{oW} = 39,941 \text{ mm} - 40,000 \text{ mm} = - 0,059 \text{ mm}$ $P_{ÜM} = G_{oB} - G_{uW} = 39,966 \text{ mm} - 39,984 \text{ mm} = - 0,018 \text{ mm}$

Gemischte Passungssysteme

In der Praxis werden Betriebe bemüht sein, ihre Fertigung so effizient wie möglich zu gestalten und auf die bereits erwähnten Systeme Einheitsbohrung (meistens verwendet) oder Einheitswelle zurückzugreifen. Die Konstrukteure mit den am Fertigungsplan angegebenen Maßen und Toleranzen einerseits bzw. auch eine gemischte Fertigung (Baugruppen werden von verschiedenen Firmen gefertigt bzw. auch englische u. amerikanische Maße) andererseits kann zu so genannten „gemischten Passungssystemen“ führen.

Passungsauswahl

Durch Kombinationen von Toleranzklassen könnten verschiedene Passungen (Spielpassung, Übergangspassungen u. Übermaßpassungen) hergestellt werden. Genormte Vorzugsreihen sind Passungen mit Toleranzpaarungen, die für eine gewünschte Passungsart vorzuziehen ist.

Passungsauswahl	
Spielpassungen	
H8/f7	Kleines Spiel. Die Teile sind leicht verschiebbar
H8/h9	Kaum Spiel. Die Teile sind noch von Hand verschiebbar.
H7/h6	Sehr geringes Spiel. Teile nicht mehr von Hand verschiebbar.
Übergangspassungen	
H7/n6	Eher Übermaß. Zum Fügen ist ein geringer Kraftaufwand notwendig.
Übermaßpassungen	
H7/r6	Geringes Übermaß. Teile mit mäßiger Kraft fügbar.
H7/u8	Großes Übermaß. Fügen nur durch Dehnen oder Schrumpfen möglich.