

5.3.3 Spezielle Begriffe für Form- und Lagetoleranzen

Maximum-Material-Grenzmaß MML (Maximum Material Limit)

Minimum-Material-Grenzmaß LML (Least Material Limit)

Das **Maximum-Material-Grenzmaß „MML“** ist das Grenzmaß, das ein Maximum an Materialvolumen ergibt. Bei Außenmaßen (Wellen) ist es das Höchstmaß, bei Innenmaßen (Bohrungen) das Mindestmaß. Bei Stufenmaßen ist keine allgemeine Aussage möglich, Abstandsmaße besitzen kein Maximum-Material-Grenzmaß.

Das **Minimum-Material-Grenzmaß „LML“** ist das Grenzmaß, das ein Minimum an Materialvolumen ergibt. Bei Außenmaßen (Wellen) ist es das Mindestmaß, bei Innenmaßen (Bohrungen) das Höchstmaß. Bei Stufenmaßen ist keine allgemeine Aussage möglich, Abstandsmaße besitzen kein Minimum-Material-Grenzmaß.

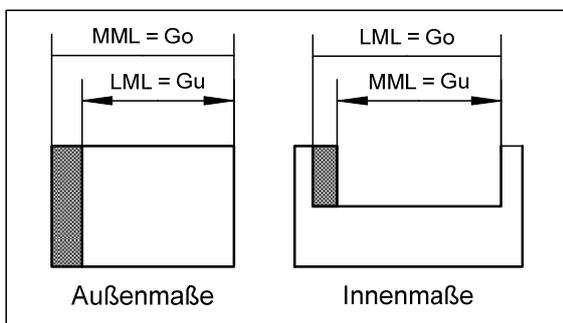


Abbildung 5.8: Material-Grenzmaße bei Außen- und Innenmaßen

Wirksames Istmaß VS (Virtual Size)

Als wirksames Istmaß wird das Maß eines geometrisch idealen Gegenstücks bezeichnet, mit dem sich das Geometrielement gerade noch ohne Spiel paaren lässt. Formabweichungen bewirken, dass das wirksame Istmaß vom Istmaß abweicht.

Bei einem Bolzen ist das wirksame Istmaß der Durchmesser einer spielfrei sitzenden Hülse, bei einer Bohrung der Durchmesser eines Bolzens, der gerade noch eingepasst werden kann. Bei parallelen Flächen ist das wirksame Istmaß der Abstand zweier anliegender paralleler Ebenen.

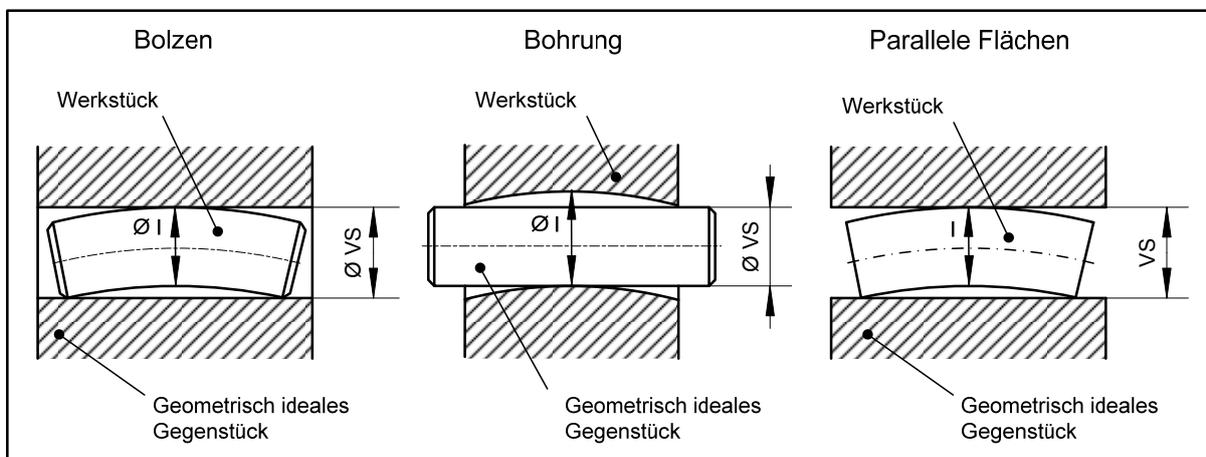


Abbildung 5.9: Wirksames Istmaß

Das wirksame Grenzmaß eines Werkstück an der Maximum-Material-Grenze wird mit „Maximum Material Virtual Limit“ (MMVL) bezeichnet, das wirksame Grenzmaß eines Werkstücks an der Minimum-Material-Grenze mit „Least Material Virtual Limit“ (LMVL)

5.4 Tolerierungsgrundsätze

5.4.1 Problemstellung

Schon lange vor der Einführung der Form- und Lagetoleranzen erkannte man, dass die Passungsfähigkeit von Bauteilen nicht nur die Einhaltung der Maßtoleranzen verlangt, sondern dass auch die Formabweichungen begrenzt werden müssen. Dies soll an einem Beispiel erläutert werden. Abbildung 5.14 zeigt eine Flachführung, die aus einer Trägerplatte und einem Gleitstein besteht. Um ein Mindestspiel von 0,1 mm zu gewährleisten, wurden die Bauteile wie in der Zeichnung angegeben toleriert.

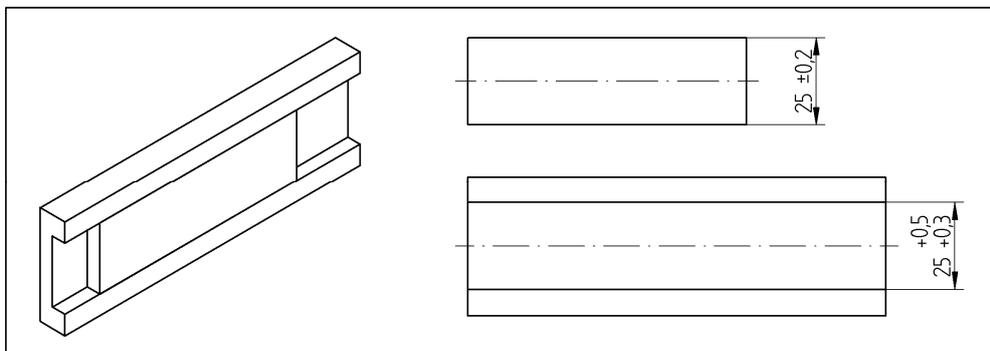


Abbildung 5.14: Flachführung

Wenn beide Bauteile Maximum-Material-Grenzmaße MML aufweisen, also der Gleitstein eine Höhe von 25,2 mm besitzt und die Trägerplatte eine Nuthöhe von 25,3 mm, ist das Mindestspiel von 0,1 mm gerade noch vorhanden (Abbildung 5.15 links). Die Bauteile dürfen dann allerdings keine zusätzlichen Formabweichungen haben.

Hat der Gleitstein zusätzlich Formabweichungen, muss seine Höhe geringer sein als das Maximum-Material-Grenzmaß MML, damit das Mindestspiel bei der Paarung mit einer Trägerplatte mit Maximum-Material-Grenzmaß MML erhalten bleibt. Im Abbildung 5.15 rechts hat der Gleitstein eine Höhe, die seinem Minimum-Material-Grenzmaß LML (24,8 mm) entspricht. Da er sein wirksames Maß (VS) 25,2 mm nicht überschreiten darf, um das Mindestspiel zu gewährleisten, ist seine Geradheitsabweichung auf $25,2 \text{ mm} - 24,8 \text{ mm} = 0,4 \text{ mm}$ begrenzt.

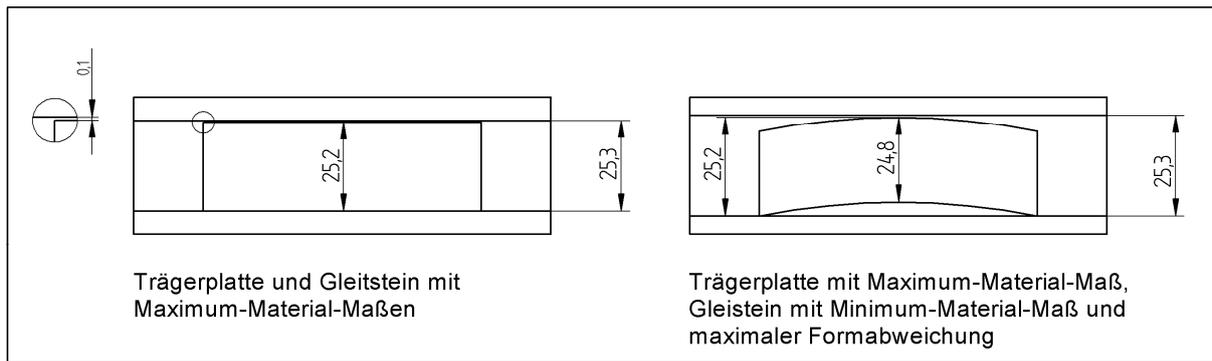


Abbildung 5.15

Anders ausgedrückt: Die Höhe des Gleitsteins darf an keiner Stelle geringer als 24,8 mm sein (sonst wird die Maßtoleranz nicht eingehalten) und er muss in eine Hülle mit einer Höhe von 25,2 mm passen. Dies entspricht dem Taylorschen Prüfgrundsatz:

Taylorscher Prüfgrundsatz

Die Gutprüfung ist eine Paarungsprüfung mit einer Lehre, die über das ganze Geometrieelement geht, die Ausschussprüfung ist eine Einzelprüfung im Zweipunktverfahren. Die Gutlehre ist das geometrisch ideale Gegenstück zum tolerierten Geometrieelement mit dessen Maximal-Material-Grenzmaß MML.

(Frederik Winslow Taylor, USA 1856 – 1915: Ingenieur und Arbeitswissenschaftler.)

Gutlehren für die Bauteile des Beispiels könnten also wie folgt aussehen:

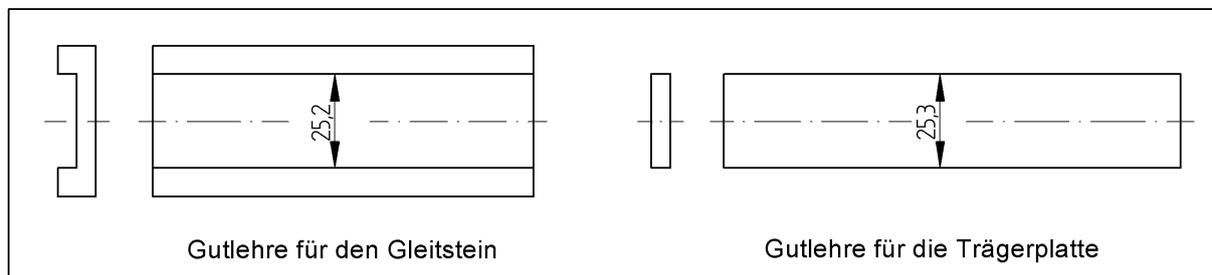


Abbildung 5.16: Gutlehren für die Bauteile aus Abbildung 5.14

Die oben gemachten Ausführungen gelten sinngemäß auch für die Paarung einer Trägerplatte mit einem Gleitstein am Maximum-Material-Grenzmaß.

5.4.2 Aussage des Tolerierungsgrundsatzes

Der Tolerierungsgrundsatz gibt an, ob bei einfachen Geometrieelementen (Zylindermantelflächen, Planflächenpaare) die zugelassenen Formabweichungen von den Maßabweichungen abhängen oder nicht. Man unterscheidet das Hüllprinzip und das Unabhängigkeitsprinzip

Hüllprinzip (DIN 7167)

Das Hüllprinzip besagt, dass einfache Geometrieelemente (s.o.) von Hüllen begrenzt werden, die der Idealgestalt der Geometrieelemente entsprechen und deren Maximum-Material-

Grenzmaße MML besitzen. Die Geometrieelemente dürfen die Hülle berühren, aber nicht durchstoßen. Oder anders ausgedrückt: Das wirksame Istmaß VS eines einfachen Geometrieelements darf nicht größer sein als dessen Maximum-Material-Grenzmaß MML.

$VS \leq MML$

Die maximalen Formabweichungen werden auf diese Weise durch die Hülle begrenzt. Das bedeutet, dass ein Geometrieelement mit Maximum-Material-Grenzmaß MML keinerlei Formabweichungen haben darf. Ist das Maß geringer als das Maximum-Material-Grenzmaß MML (aber nicht geringer als das Minimum-Material-Grenzmaß LML), sind Formabweichungen zulässig.

Unabhängigkeitsprinzip (ISO 8015)

Das Unabhängigkeitsprinzip besagt, dass Formtoleranzen und Maßtoleranzen unabhängig voneinander sind. Auch ein Geometrieelement mit Maximum-Material-Grenzmaß MML darf Formabweichungen haben, was beim Hüllprinzip nicht erlaubt ist. Die zulässigen Formabweichungen müssen natürlich in geeigneter Weise angegeben werden, entweder mit einzelnen Formtoleranzangaben oder durch Angabe von Allgemeintoleranzen.

Um Unklarheiten zu vermeiden, sollte der Tolerierungsgrundsatz immer auf der Zeichnung angegeben werden. Steht im Schriftfeld „Tolerierung DIN 7167“, gilt das Hüllprinzip, steht dort „Tolerierung ISO 8015“, gilt das Unabhängigkeitsprinzip. Fehlen solche Angaben, gilt in Deutschland automatisch das Hüllprinzip.

5.4.3 Tolerierung nach dem Hüllprinzip (DIN 7167)

Das Hüllprinzip lässt sich wie folgt formulieren:

Ein einfaches Geometrieelement (Zylindermantelfläche, Planflächenpaar) darf eine Hülle nicht durchstoßen, die der Idealgestalt des Geometrieelements entspricht und dessen Maximum-Material-Grenzmaß MML besitzt. Die Prüfung erfolgt nach dem Taylorschen Prüfgrundsatz.

Mit dem Hüllprinzip wird die Passungsfähigkeit dieser einfachen Geometrieelemente gewährleistet. Es erscheint einleuchtend und einfach in der Anwendung, aber der Teufel steckt oft im Detail. Es gibt zum einen immer wieder Fälle, bei denen es unklar ist, ob und wie das Hüllprinzip anzuwenden ist. Zum anderen können Formabweichungen nur indirekt über die Maßtoleranzen eingeschränkt werden. Das führt manchmal zu unnötig feinen, manchmal auch zu unzulässig groben Formtoleranzen.

Bei der Anwendung des Hüllprinzips ist auf Folgendes zu achten:

- Das Hüllprinzip ist nur auf einfache Geometrieelemente (Zylindermantelflächen, Planflächenpaare, im Grenzfall auch Kreise und parallele Geraden) anzuwenden. Auf nichteinfache Geometrieelemente wie z.B. Kegel, Kugeln, Steuerkurven, kann das Hüllprinzip nicht angewandt werden.

- Das Hüllprinzip schränkt lediglich Formabweichungen ein (Unrundheit, Unebenheit, Abweichung von der Geradheit, Zylinderformabweichung). Lageabweichungen werden durch das Hüllprinzip generell nicht eingeschränkt. Einzige Ausnahme bilden Parallelitätsabweichungen, sie werden indirekt durch das Hüllprinzip eingeschränkt.
- Das Hüllprinzip gilt nur für Geometrielemente, die direkt mit Außen- oder Innenmaßen bemaßt sind und für die Maßtoleranzen festgelegt wurden. (Es kann sich dabei auch um Allgemeintoleranzen handeln.) Das Hüllprinzip kann nicht auf Geometrielemente angewandt werden, deren Maße sich durch Berechnung ergeben. Es kann auch nicht auf Stufen- oder Abstandsmaße angewandt werden, da diese die Lage und nicht die Form festlegen.

Die nachfolgenden Beispiele zeigen Fälle, in denen das Hüllprinzip nicht anwendbar ist.

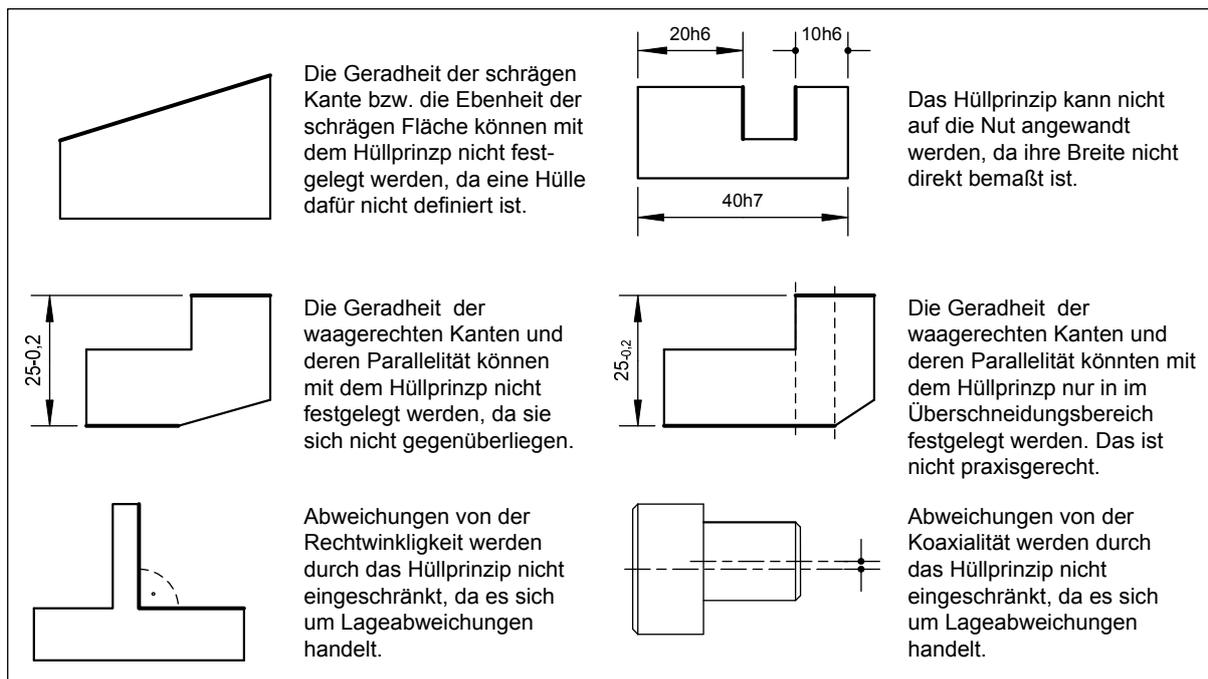


Abbildung 5.17: Einschränkungen beim Hüllprinzip

Beim der untenstehenden Abbildung wird für eine Platte mit 1000 mm Kantenlänge eine Dicktoleranz von 0,1 mm vorgeschrieben. Bei Anwendung des Hüllprinzips wäre beim Maximum-Material-Grenzmaß von 8 mm keine und beim Minimum-Material-Grenzmaß von 7,9 mm eine Ebenheitsabweichung von 0,1 mm zulässig. Das ist nicht herstellbar.

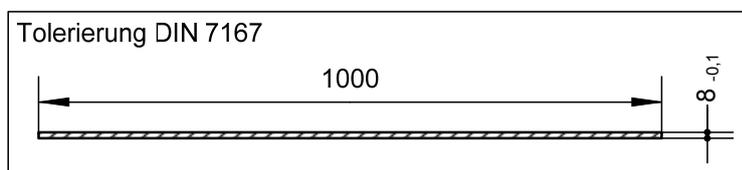


Abbildung 5.18: Hüllprinzip kann zu unerfüllbaren Toleranzvorgaben führen

DIN 7167 erlaubt in solchen Fällen die Aufhebung des Hüllprinzips für einzelne Geometrielemente. Dazu müsste die Platte mit einer größeren Formtoleranz versehen werden (Abbildung 5.19).

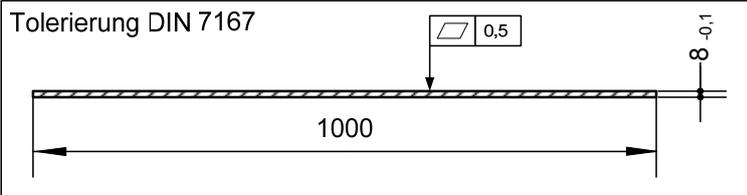


Abbildung 5.19: Aufhebung des Hüllprinzips für ein Geometrieelement

5.4.4 Tolerierung nach dem Unabhängigkeitsprinzip (ISO 8015)

Das Unabhängigkeitsprinzip lässt sich wie folgt formulieren:

Jede Toleranz wird für sich geprüft. Ein Werkstück ist in Ordnung, wenn alle Toleranzen eingehalten werden.

Die Unabhängigkeit besagt jedoch nicht, dass jede einzelne Gestaltabweichung immer voll ausgeschöpft werden kann, denn bestimmte Toleranzarten schließen einander ein. Beim Unabhängigkeitsprinzip müssen alle Toleranzen (also alle Maßtoleranzen und alle Form- und Lagetoleranzen) immer angegeben werden, entweder explizit oder pauschal mit Allgemeintoleranzen. Eine Zeichnung ist unvollständig, wenn diese Angaben fehlen. (Beim Hüllprinzip sind wichtige Formtoleranzen durch Maßtoleranzen festgelegt. Daraus kann man jedoch nicht schließen, dass eine Tolerierung nach dem Hüllprinzip automatisch zu vollständig tolerierten Zeichnungen führt.)

ISO 8015 erlaubt es, das Hüllprinzip gezielt auf einzelne Geometrielemente anzuwenden. Das ist sinnvoll, da mit dem Hüllprinzip die Passungsfähigkeit dieser Elemente auf einfache Weise gewährleistet werden kann. Man spricht dann nicht vom Hüllprinzip, sondern von einer Hüllbedingung.

(Unterschied zwischen Hüllprinzip und Hüllbedingung: „Hüllprinzip“ besagt, dass das Prinzip generell auf alle einfachen Geometrielemente anzuwenden ist, es sein denn, es wurde explizit durch Angabe einer Formtoleranz aufgehoben. „Hüllbedingung“ besagt, dass die Bedingung gezielt auf das Geometrielement anzuwenden ist, für das sie festgelegt wird.)

Die Hüllbedingung wird festgelegt, indem man ein in einem Kreis eingeschlossenes „E“ hinter das Passmaß setzt. (E = Enevelope = Hülle).

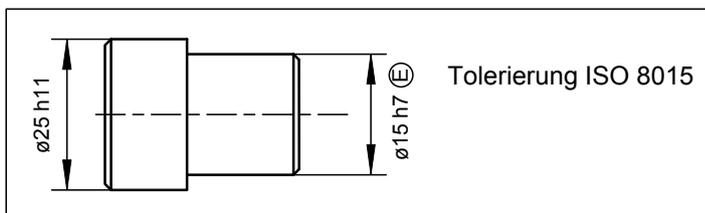


Abbildung 5.20: Anwendung der Hüllbedingung

Abbildung 5.21 zeigt Formabweichungen und Hüllen bei einfachen Geometrielementen. Die Hülle schränkt nicht eine einzelne, sondern die resultierende Wirkung mehrerer Formabweichungen ein.

	Einfaches Geometrieelement	Hülle	Erfasste Abweichung
Zylinder außen: Welle			Geradheit Rundheit Zylinderform Parallelität
Zylinder innen: Bohrung			Geradheit Rundheit Zylinderform Parallelität
Parallelebenen außen: Quader			Geradheit Ebenheit Parallelität
Parallelebenen innen: Nut			Geradheit Ebenheit Parallelität

Abbildung 5.21: Hüllen bei einfachen Geometrieelementen

Die Prüfung auf Einhaltung der Hüllbedingung erfolgt nach dem Taylorschen Prüfgrundsatz (Abbildung 5.22):

- Maximum-Material-Grenzmaß MML des zu prüfenden Geometrieelements ermitteln
- Hüllfläche bilden (= Idealgestalt des Geometrieelements mit MML)
- Prüfen, ob das zu prüfende Geometrieelement mit der Hülle gepaart werden kann, ohne sie zu durchdringen
- Prüfen, ob das Minimum-Material-Grenzmaß eingehalten wird. Bei Außenmaßen darf es an keiner Stelle unterschritten, bei Innenmaßen an keiner Stelle überschritten werden.

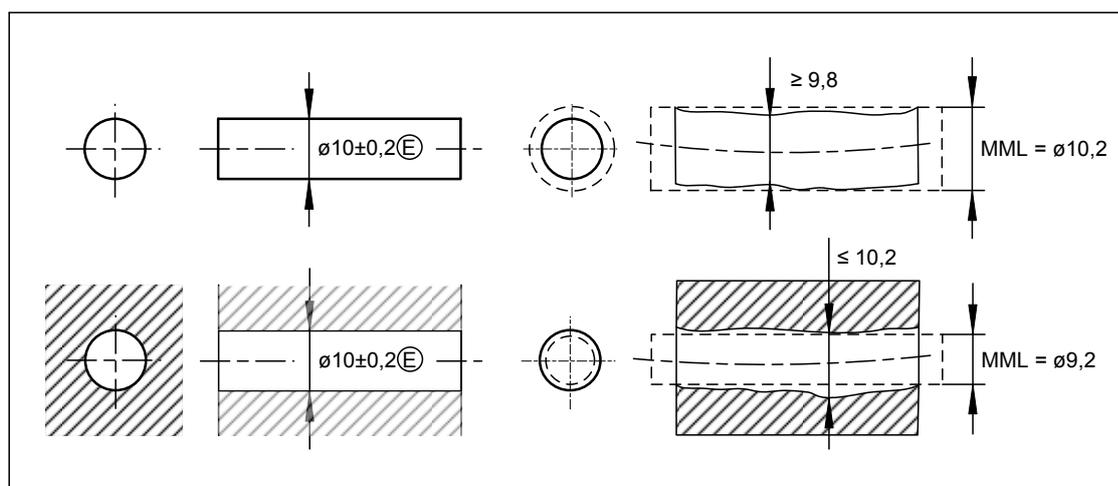


Abbildung 5.22: Prüfung der Hüllbedingung

In Abbildung 5.23 a ist eine Welle mit Minimum-Material-Grenzmaß LML = 9,8 mm dargestellt. Die Formabweichung kann den vollem Betrag der Maßtoleranz $T=0,4$ mm ausschöpfen, ohne die Hülle zu durchbrechen. Abbildung 5.23 b zeigt die Welle mit dem Mittenmaß

10 mm. Da die halbe Maßtoleranz aufgebraucht wurde, stehen für die Formtoleranz nur noch $T/2 = 0,2$ mm zur Verfügung. Abbildung 5.23 c zeigt die Welle mit Maximum-Material-Grenzmaß $MML = 10,2$ mm. Da die Maßtoleranz vollständig aufgebraucht wurde, sind hier keine Formabweichungen mehr zulässig. Weil in der Praxis kein Geometrielement ohne Formabweichungen hergestellt werden kann, darf es bei Einhaltung der Hüllbedingung niemals an allen Stellen das Maximum-Material-Grenzmaß MML aufweisen.

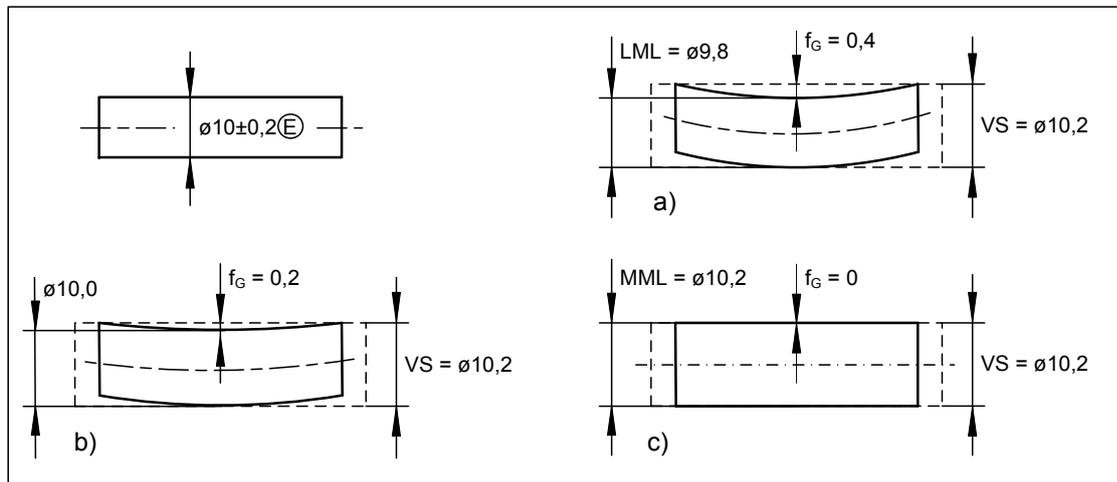


Abbildung 5.23: Zulässige Formabweichung in Abhängigkeit von der ausgeschöpften Maßtoleranz