

# Bemessen kompakt

ISO GPS

# Änderungen

Version	Autor	Änderung	Datum
3.9	Candid Strebel	kompl. Überarbeitung	17.05.2017
4.0	Candid Strebel	Anpassungen an ISO 1101-2017	24.08.2017
5.0	Candid Strebel	kpl. überarbeitet	07.08.2018
6.0	Candid Strebel	6.1.3 Anpassen der Achsbeschriftung 8.3.7 Hüllzylinder ist maximal	20.08.2019
6.1	Canidd Strebel	Querverweise neu verlinkt	26.08.2019
6.2	Candid Strebel	Fehlerbehebung	17.03.2020
6.3	Candid Strebel	EcoCoach	01.09.2020

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Rechtliches</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Form- und Lagetoleranzen</b>	<b>7</b>
<b>4</b>	<b>Massmerkmale</b>	<b>8</b>
<b>5</b>	<b>Bezüge</b>	<b>9</b>
<b>6</b>	<b>Bezugssystem</b>	<b>15</b>
<b>7</b>	<b>Ausrichtung der Anforderung</b>	<b>18</b>
<b>8</b>	<b>Modifikatoren</b>	<b>20</b>
<b>9</b>	<b>Flächenprofilspezifikation</b>	<b>43</b>
<b>10</b>	<b>Fügbarkeit</b>	<b>45</b>
<b>11</b>	<b>Grundsätze nach ISO 8015</b>	<b>48</b>
<b>12</b>	<b>Invarianzklassen</b>	<b>50</b>
<b>13</b>	<b>Geometrieelemente</b>	<b>51</b>
<b>14</b>	<b>Operatoren</b>	<b>53</b>
<b>15</b>	<b>Berechnung nach Gauß</b>	<b>56</b>
<b>16</b>	<b>Zeichnungskontrolle</b>	<b>58</b>
<b>17</b>	<b>Notizen</b>	<b>59</b>

# **1 Rechtliches**

## **1.1 Haftungsausschluss**

Dieses Dokument wurde mit bestem Wissen und Gewissen erstellt. Es gelten folgende Einschränkungen.

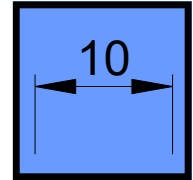
- Die ISO-Norm hat in jedem Fall Vorrang
- Für die richtige Umsetzung ist der Anwender selbst verantwortlich
- Die Unterlagen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit
- Für irgendwelche direkten oder indirekten Schäden, die aus der Anwendung der in diesem Dokument beinhalteten Informationen folgen, wird keine Haftung übernommen

## **1.2 Einsatz**

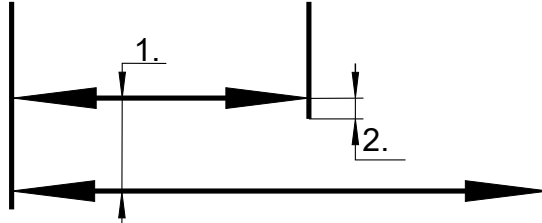
Die Unterlagen dürfen nur im Zusammenhang mit der beruflichen Bildung eingesetzt werden.

## 2 Grundlagen

Masseinträge nach ISO 129-1 (Zweipunktmasse) sind im NA 2018 ab Seite 55 beschrieben.



### 2.1 Darstellung



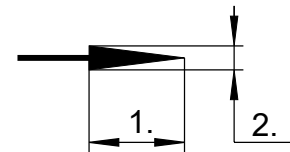
1. Masslinien müssen untereinander und zum Werkstück einen Abstand von 8 bis 10 mm aufweisen.
2. Masshilfslinien müssen 2 bis 3 mm über die Masslinie ragen.
3. Masslinien beginnen und enden immer mit einem Masspfeil.

Bei Skizzen wird die Gleichmässigkeit der Abstände und Überstände höher bewertet als das genaue Einhalten der Masse.

#### 2.1.1 Pfeil

In Absprache mit der Berufsfachschule GIBZ wird der Masspfeil nur in der Ausführung «geschlossen schwarz» akzeptiert. Einzige Ausnahme bildet der Querstrich bei beengten Platzverhältnissen.

1. Die Länge des Pfeiles muss 4 mm betragen
2. Seine Breite muss 1 mm betragen

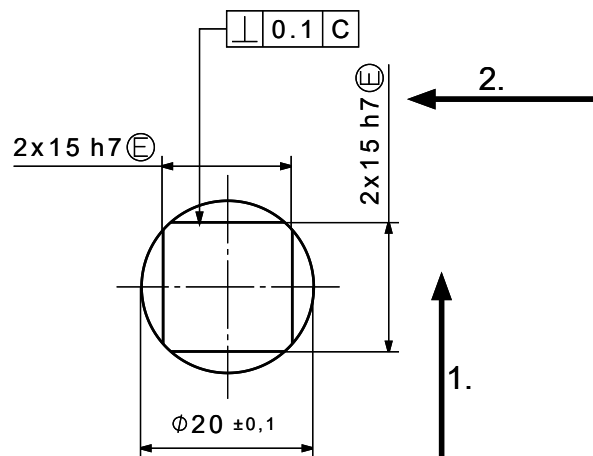


Bei Skizzen ist darauf zu achten, dass das Verhältnis 4:1 erhalten bleibt.

### 2.2 Ausrichtung

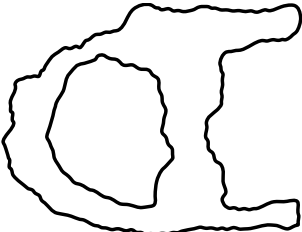
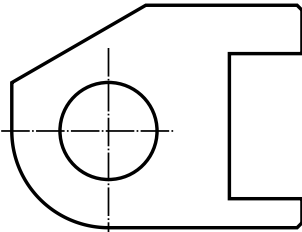
#### 2.2.1 Allgemein

Bemassungen müssen in erster Linie von unten (1.) zu lesen sein. Ist dies nicht möglich, so ist die Leserichtung von rechts (2.) anzuwenden. Andere Ausrichtungen sind nicht zulässig.



## 2.3 Masseinträge

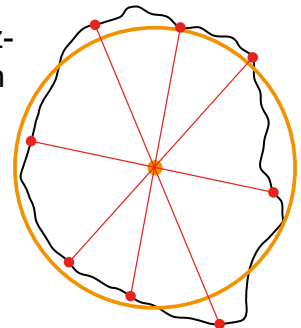
Um Masseinträge besser zu verstehen, wird das Werkstück stark überzeichnet dargestellt. Falls die gewählte Bemessung auch für dieses «krumme» Teil aussagekräftig bleibt, ist die Bemessung «gut» (vollständig).

Gestaltabweichungen stark überzeichnet	Zeichnung
	

### 2.3.1 Definition Masseintragung

Eine Masseintragung ist per Standard (Default Regel ISO 14405-1) als Zweipunktmass definiert.

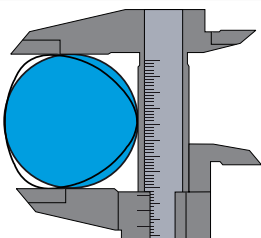
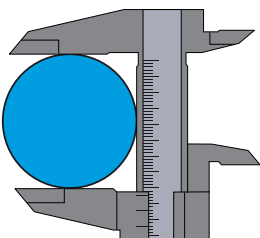
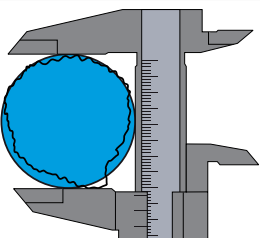
Der reale Körper wird in seiner Gesamtheit erfasst und ein Referenzzylinder nach Gauß gebildet. Alle Zweipunktmasse (rot) müssen nun durch den Mittelpunkt dieses Kreises nach Gauß (orange).



## 2.4 Probleme der Zweipunktmessung

### 2.4.1 Messbeispiel Welle

Diese drei Wellen erfüllen stellenweise die Anforderung, die von einer Durchmesser-Messangabe gestellt wird - sind aber nicht gleich. Die mittlere, ideale Welle ist so in der Realität nur in Ausnahmefällen anzutreffen. Ein Zweipunktmass beschreibt also nur in einem speziellen Fall das gewünschte Produkt.

Real gleich dick	Theoretisch genau rund	Real
		

### 2.4.2 Merksatz

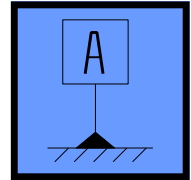
Das Beispiel zeigt, dass eine Bemessung mit ausschliesslich Zweipunktmassen keine präzise oder vollständige Bauteilbeschreibung zulässt.

#### 2.4.2.1 Schlussfolgerung

Werden höhere Anforderungen an die Genauigkeit (Form und Lage) gestellt, müssen weitere Spezifikationen benutzt werden.

### 3 Form- und Lagetoleranzen

Form- und Lagetoleranzen nach SN EN ISO 1101 sind im NA2018 ab Seite 126 beschrieben.



#### 3.1 Toleranzsymbole

Form						Lage							
						Richtung			Ort			Lauf	
Geradheit	Ebenheit	Rundheit	Zylindrizität	Profil einer beliebigen Linie	Profil einer beliebigen Fläche	Parallelität	Rechtwinkligkeit	Neigung (Winkel)	Position	Koaxialität	Symmetrie	Einfacher (axial = Plan- / radial = Rund-) Lauf	(axial = Plan- / radial = Rund-) Gesamtlaufl
<b>Symbol</b>													
<b>Bezug erforderlich</b>													
Nein		Ja/Nein		Ja		Ja/Nein		Ja					
<b>Angabe der Messausrichtung</b>													
✓	✓			✓		✓	✓	✓	✓				

## 4 Massmerkmale

### 4.1 Vorgestellte Massmerkmale nach ISO

Zeichen	Beschreibung	Norm
∅	Durchmesser	ISO-129
R	Radius	
□	Quadrat	
S∅	Kugel-Durchmesser	
SR	Kugel-Radius	
	Bogenmass	
t	Dicke	
h	Tiefe für Keil- und Passfedernuten	
[Anzahl] x	Mehr als ein Masselement	
M	Metrisches Gewinde	ISO-965
G / R	Rohrgewinde zylindrisch / keglig	ISO 228

### 4.2 Vorgestellte Massmerkmale nach DIN

Zeichen	Beschreibung	Norm
SW	Schlüsselweite	DIN 475
S	Sägewinde	DIN 513
Tr	Trapezgewinde	DIN 103
Rn	Rundgewinde	DIN 405
E	Elektrogewinde	DIN 40401



## 5 Bezüge

Die Verwendung der Buchstaben I, O, Q und X für Bezüge ist nach Norm nicht empfohlen, da es zu Verwechslungen führen könnte.

Die Buchstaben R, S, T sind dem Bezugssystem eines Gussteiles vorbehalten.

### 5.1 Bezugeintragung und -bildung

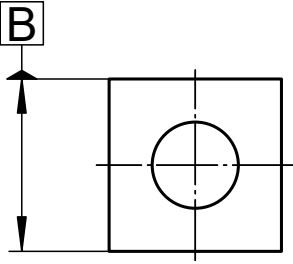
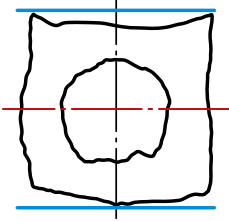
#### 5.1.1 Flächen

Verdeckt	Sichtbar

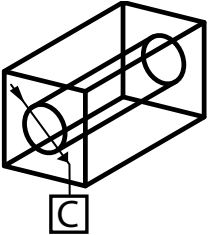
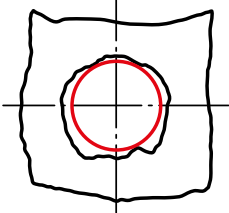
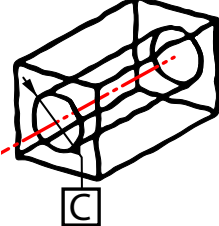
#### 5.1.1.1 Einfache Bezüge

Zeichnung	Erklärungen
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeichnungseinträge</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• [F] Bei konkaven Flächen ist die Bezugsebene durch die zwei höchsten Punkte eindeutig definiert. Ein solches auf eine Messfläche gelegtes Werkstück «wackelt» nicht.</li> <li>• [A] Bei konvexen Flächen ist eine Definition, analog der konkaven Fläche, mit zwei Punkten nicht möglich. Das Werkstück «wackelt» auf einer Messplatte. Die Bezugsebene wird so gebildet, dass der grösste Abstand zwischen Bezugsfläche und Werkstück seine kleinstmögliche Ausdehnung einnimmt..</li> </ul>

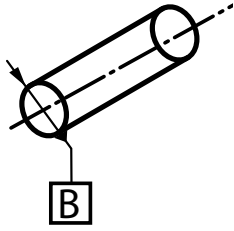
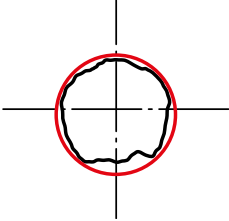
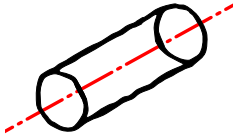
### 5.1.1.2 Symmetrieflächen

Zeichnung	Erklärungen
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeichnungseintrag</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei Symmetrieflächen wird das Teil gedanklich in einen Schraubstock gelegt. Die beiden Klemmflächen (blau) werden einander genähert, bis sich das Werkstück dazwischen nicht mehr bewegen lässt. Sind beide Kontaktflächen konvex, wird wie bei Tabelle «5.1.1.1 Einfache Bezüge auf Seite 9» Bezug <b>A</b> verfahren.</li> </ul>

### 5.1.2 Achse einer Bohrung

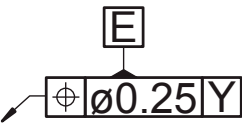

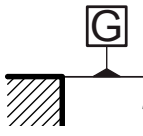
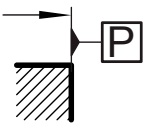
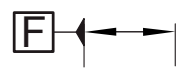
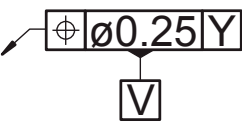
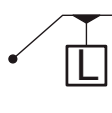

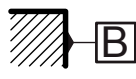

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 3D-Ansicht</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ist die Bezugslinie die Symmetrieachse einer Bohrung, wird gedanklich ein Zylinder in die Bohrung geführt. Dieser dehnt sich so lange aus, bis er in der Bohrung festsitzt (Pferchzylinder). Dieser Zylinder orientiert sich ausschliesslich an der Bohrung.</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Symmetrieachse dieses Zylinders ist die Bezugsachse der Bohrung.</li> </ul>

### 5.1.3 Achsen der Welle

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zeichnungseintrag</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wird als Bezugsachse eine Welle aufgerufen, wird gedanklich ein Zylinder über die Welle geschoben. Dieser Zylinder wird verkleinert, bis die Welle nicht mehr bewegt werden kann (Hüllzylinder).</li> </ul>
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Symmetrieachse dieses Zylinders ist die Bezugsachse der Welle.</li> </ul>

### 5.2 Positionierung

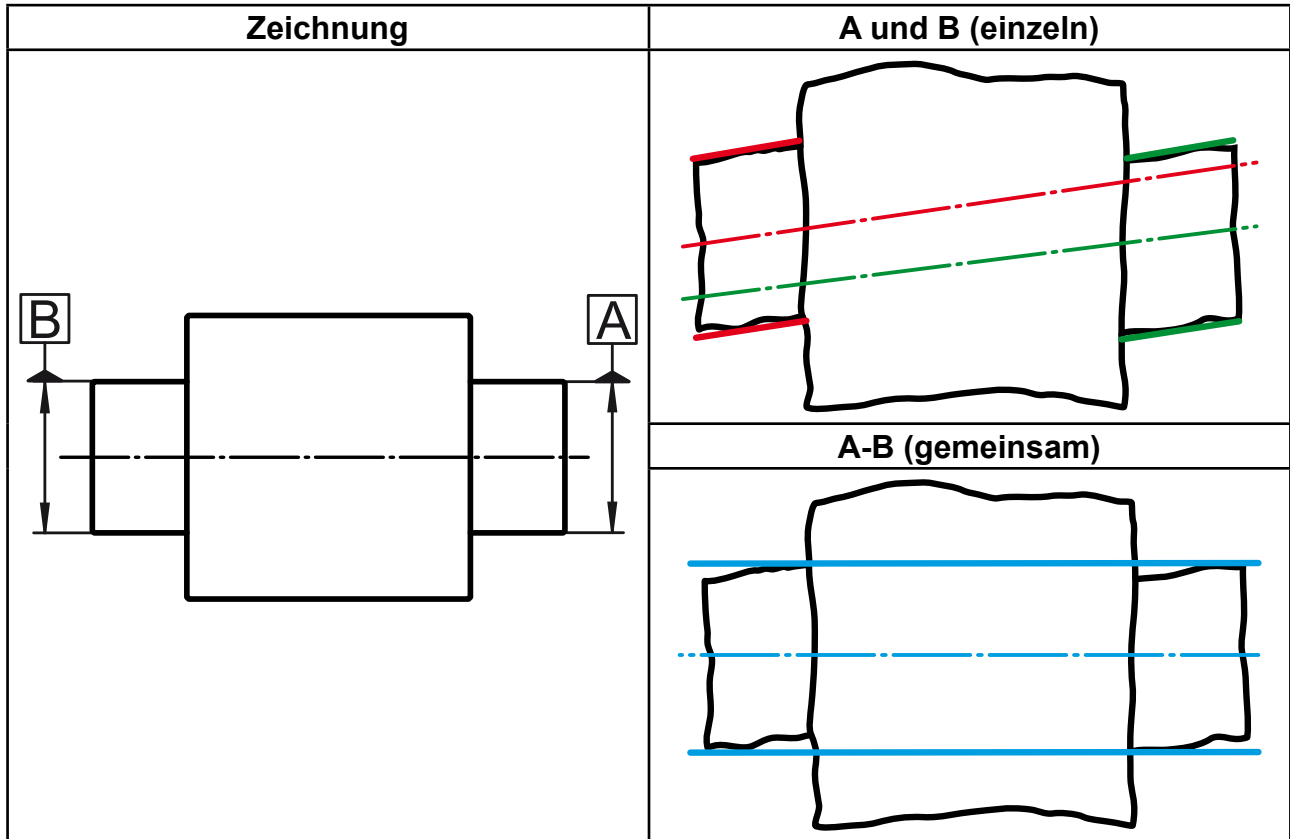
Bei allen Positionierungen ist darauf zu achten, dass alle Bezüge in der Hauptleserichtung der Zeichnung ausgerichtet sein müssen (Zeichnungskopf).

## 5.3 Zusammengesetzte Bezugselemente

### 5.3.1 Welle

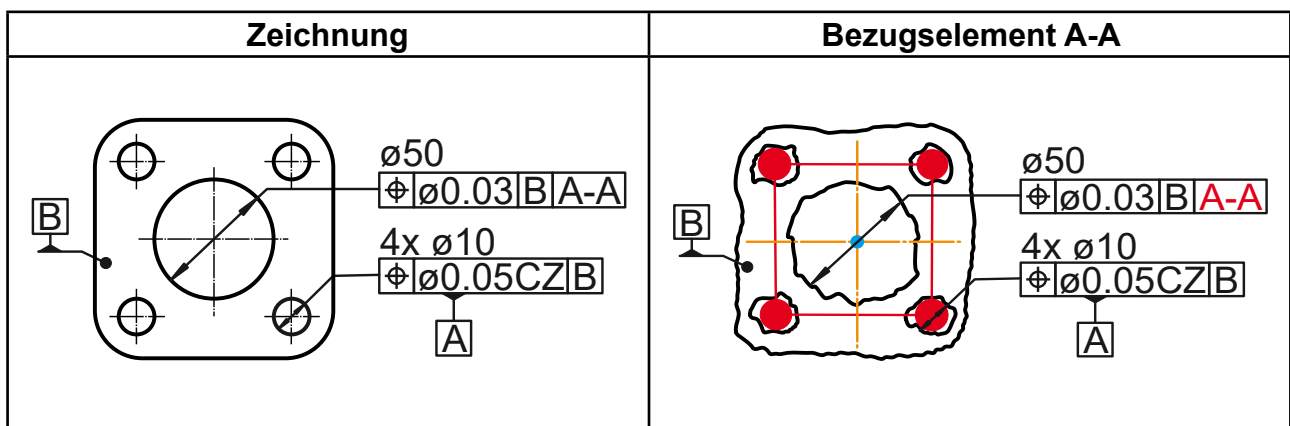
Zusammengesetzte Bezugselemente werden mit einem «-» gekennzeichnet. Die Bezugselemente werden wie in «Achsen der Welle» auf Seite 11 gebildet. Das Beispiel zeigt den Unterschied deutlich.



### 5.3.2 Bohrung

Ein Bezugselement kann sich auch aus mehreren Bohrungen zusammensetzen. Im Beispiel geht es um das Bezugselement [A], welches sich aus den Puffer-Zylindern der vier Bohrungen  $\varnothing 10$  mm zusammensetzt. Die Kennzeichnung der vier Bezugselemente mit der Rechtwinkligkeitstoleranz müsste ...[A-A-A-A] lauten. Da diese Schreibweise sehr unübersichtlich ist, wird diese auf ...[A-A] abgekürzt.

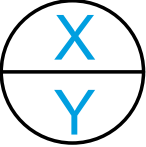
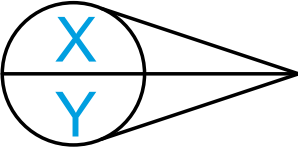
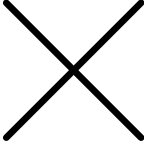
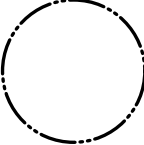

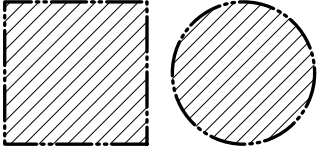
Zur Übersichtlichkeit wurden die Mastoleranzen weggelassen.



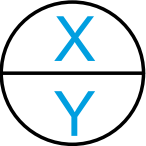
## 5.4 Bezugsstellen

Soll ein Bezugselement nicht aus einer ganzen Fläche am Werkstück definiert werden, so kann das Bezugselement mit Hilfe der nachfolgenden Angaben eingeschränkt werden. Bezugsstellen simulieren meistens, wie Bezüge allgemein, den Kontakt mit angrenzenden Bauteilen.

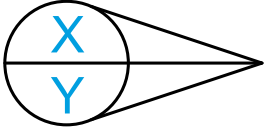
## 5.5 Symbole

Symbol	Beschreibung der Bezugsstelle	Seite
	einzel	13
	beweglich	14
	punktförmig	14
	geschlossen linienförmig	14
	nicht geschlossen linienförmig	14
	flächenförmig	14

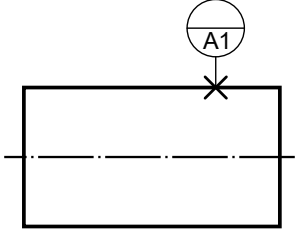
### 5.5.1 Einzel

Zeichnungseintrag	Mögliche Einträge / Bedeutung				
	<table border="0"> <tr> <td>X</td> <td>• Angaben zur Grösse der Auflagefläche</td> </tr> <tr> <td>Y</td> <td>• Eindeutige Bezeichnung der Bezugsstelle (z.B. A1, B1, C5 ...)</td> </tr> </table>	X	• Angaben zur Grösse der Auflagefläche	Y	• Eindeutige Bezeichnung der Bezugsstelle (z.B. A1, B1, C5 ...)
X	• Angaben zur Grösse der Auflagefläche				
Y	• Eindeutige Bezeichnung der Bezugsstelle (z.B. A1, B1, C5 ...)				

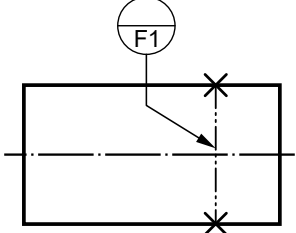
### 5.5.2 Beweglich

Zeichnungseintrag	Mögliche Einträge / Bedeutung	
	<p>X / Y</p> <p>Pfeilrichtung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Siehe 5.5.1 auf Seite 13</li> <li>• Die Pfeilrichtung definiert die mögliche Bewegungsrichtung.</li> <li>• Ist zu verwenden, wenn der Ort in Bezug auf andere Bezüge nicht bekannt ist.</li> </ul>

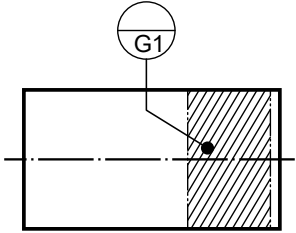
### 5.5.3 Punktförmig

Zeichnungseintrag	Mögliche Einträge / Bedeutung	
	<p>Diese punktförmige Bezugsstelle muss mit theoretisch genauen Massen bemasst werden. Bei einer Prüfung wird das Teil an diesem Bezugspunkt ausgerichtet.</p>	

### 5.5.4 Geschlossen / Nicht geschlossen linienförmig

Zeichnungseintrag	Mögliche Einträge / Bedeutung	
	<p>Die linienförmige Bezugsstelle muss mit theoretisch genauen Massen bemasst werden. Sie kann geschlossen (z.B. als Kreisumfang; bei geschlossenen Linien entfallen die Kreuze) oder nicht geschlossen (als Linie) ausgeführt sein.</p>	

### 5.5.5 Flächenförmig

Zeichnungseintrag	Mögliche Einträge / Bedeutung	
	<p>Diese flächenförmige Bezugsstelle muss durch theoretisch genaue Masse bemasst werden. Das Werkstück wird auf der schraffierten Fläche ausgerichtet.</p>	

## 6 Bezugssystem

Werden zwei oder mehr Bezüge zusammen aufgerufen, so ergeben diese ein Bezugssystem.

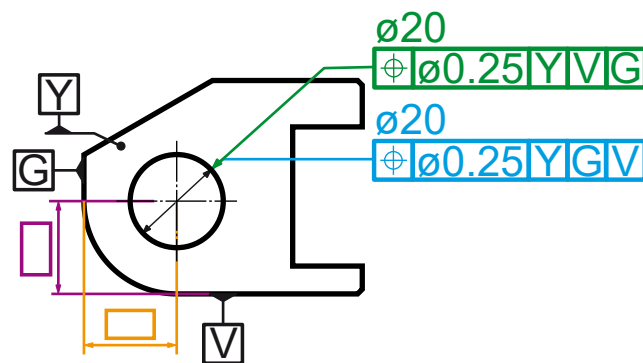
### 6.1 Einfluss des Aufrufs

#### 6.1.1 Hierarchie

Werden mehrere Bezugsflächen aufgerufen, so steht links die im Rang höchste. Jede, nun nach rechts folgende, ist mit der ersten Bezugsfläche verknüpft. Die Flächen und Achsen stehen immer senkrecht, parallel oder im theoretisch genau bemassten Winkel zueinander. Die Hierarchie muss sinnvoll gewählt werden, also der Funktion entsprechend angepasst werden. Die Hierarchie ist vor allem für die Messtechnik von Bedeutung.

#### 6.1.2 Zeichnung

Auf der Zeichnung sind drei Bezugsebenen definiert ( $\boxed{Y}$ ,  $\boxed{G}$ ,  $\boxed{V}$ ). Die Bohrung soll nun in den beiden Fällen positioniert werden. Es geht bei der Betrachtung nur um die Bezugselemente.



### 6.1.3 Fall 1 (grün)

Das Werkstück muss nach der Vorgabe  $\dots|Y|V|G$  wie folgt positioniert werden.

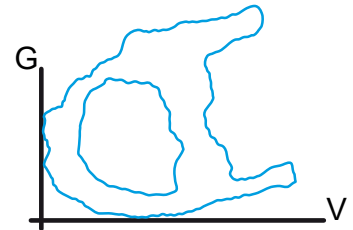
1. Werkstück auf Ebene Y legen und ausrichten
2. Werkstück an Ebene V ausrichten
3. Werkstück an Ebene G schieben



### 6.1.4 Fall 2 (blau)

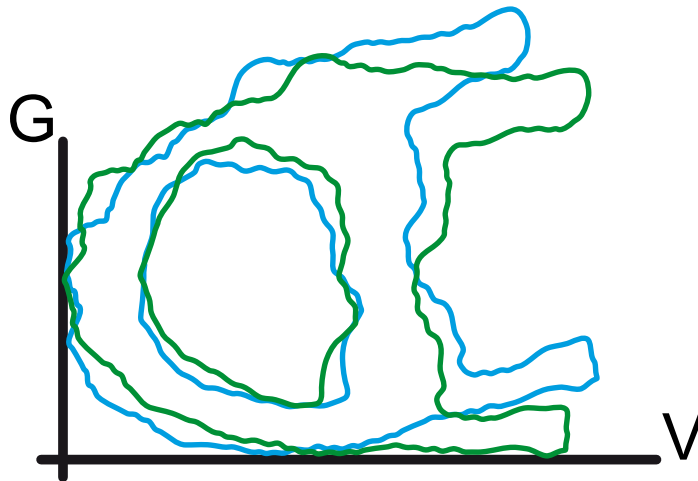
Das Werkstück muss nach der Vorgabe  $\dots|Y|G|V$  wie folgt positioniert werden.

1. Werkstück auf Ebene Y legen und ausrichten
2. Werkstück an Ebene G ausrichten
3. Werkstück an Ebene V schieben



### 6.1.5 Vergleich

Wie in diesem Beispiel gezeigt, ist es sehr wichtig, in welcher Reihenfolge die Bezugsebenen aufgerufen werden. Bevor mit dem Bemessen begonnen werden kann, ist eine genaue Betrachtung des Bezugssystems entscheidend. Ist dieser Grundstein sauber und gut begründet gelegt, erleichtert dies das weitere Bemessen.



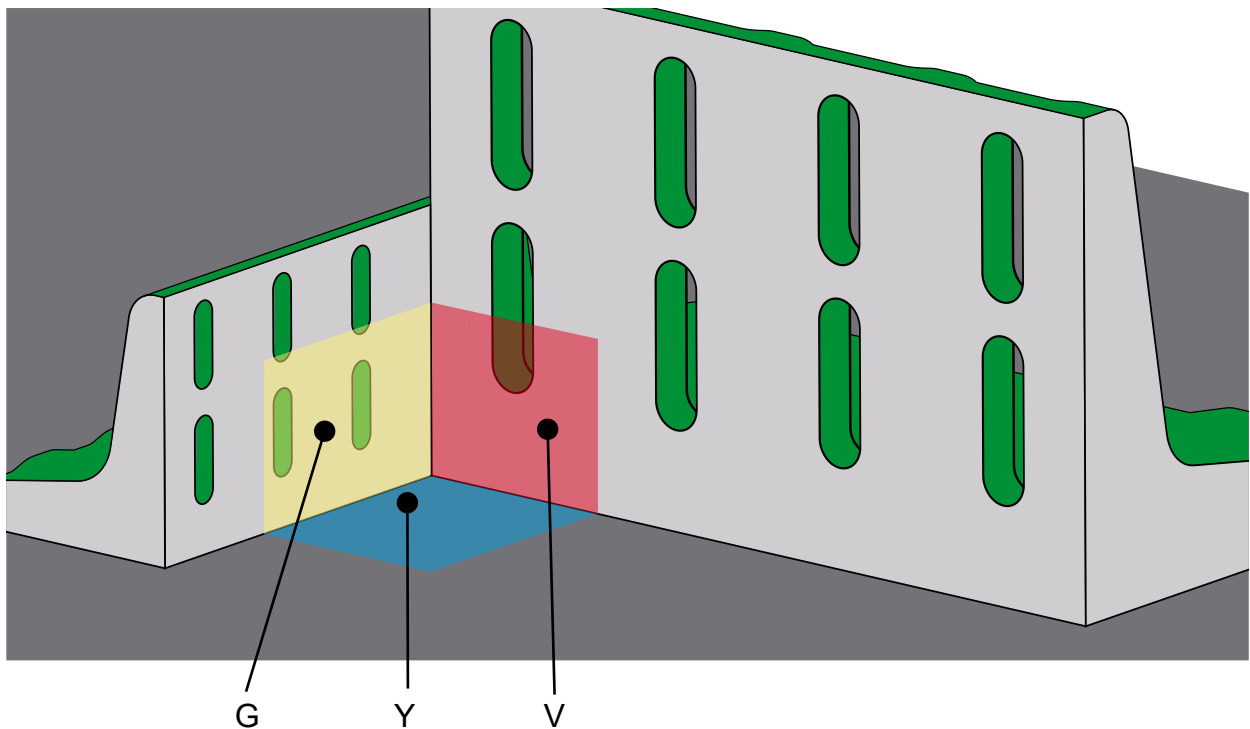


## 6.2 Aufbau von Bezugssystemen

Ein grosser Teil der Bezugssysteme, die benutzt werden, bestehen aus drei Ebenen. Diese Ebenen sind nicht unbedingt Aussenflächen (wie im Bild gezeigt) des Werkstücks. Es können auch Symmetrieebenen (z.B. von Nuten) sein.

Nicht alle aufgerufenen Bezüge sind Ebenen. Bei Bohrungen, wenn sie funktionsrelevant sind und als Bezug gewählt werden, ruft man eine Achse auf. Je nachdem welcher Art die Bezüge sind, die aufgerufen werden, und was durch sie vollständig toleriert werden kann, sieht das Bezugssystem anders aus.

Ein Bezugssystem, das jedes Element genau beschreiben kann (d.h. keine Bewegungen mehr zulässt), besteht in der Theorie immer aus einer Ebene, einer Geraden und einem Punkt. Die Bildung und Anordnung der drei Elemente hängt von den Bezügen und deren Aufruf ab.



## 7 Ausrichtung der Anforderung

### 7.1 Schnittebenen

Schnittebenen werden verwendet, um die Mess- und Prüfrichtung von Linienanforderungen in der Ebene anzugeben.









#### 7.1.1 Bezugselemente

Es dürfen nur Flächen folgender Invarianzklassen angegeben werden.

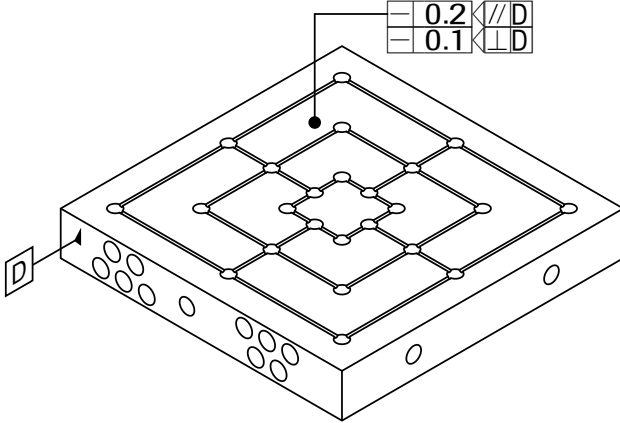
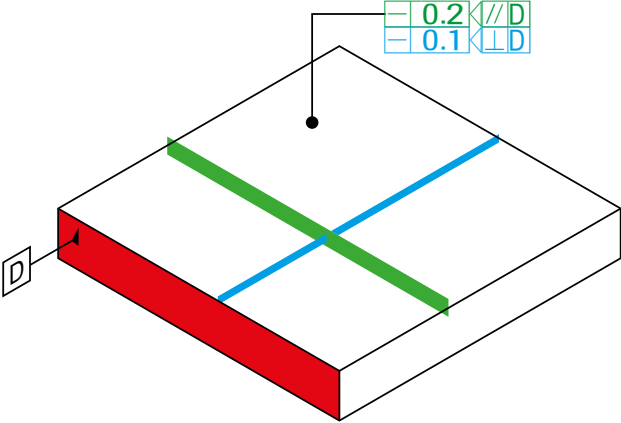
- Konus
- Zylinder
- Ebene

#### 7.1.2 Schnittebenen Indikatoren

Zur Angabe der Schnittebenen sind folgende Symbole möglich. Die Auflistung ist abschliessend.

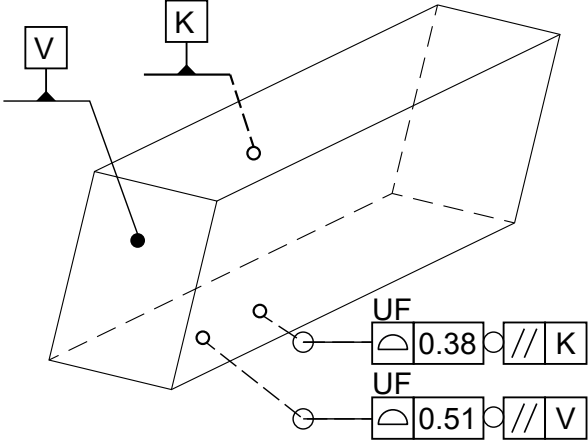
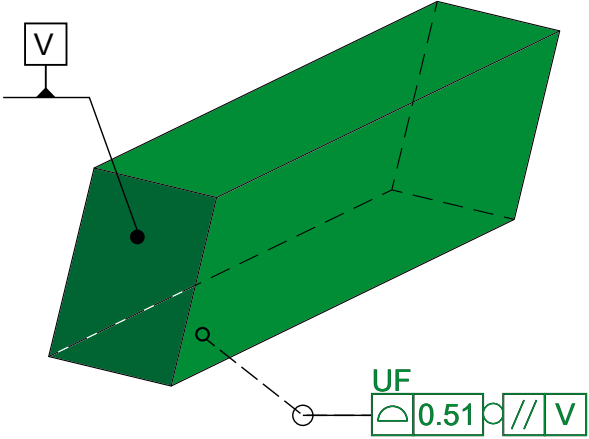
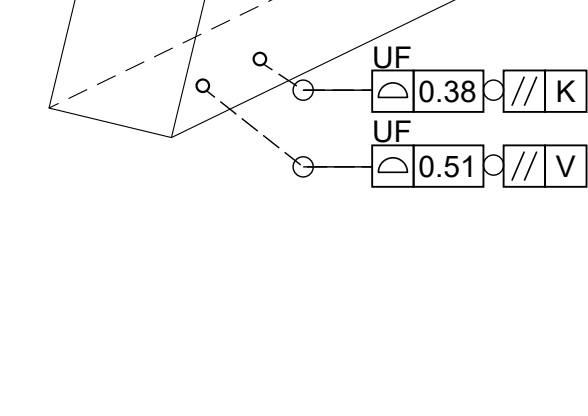
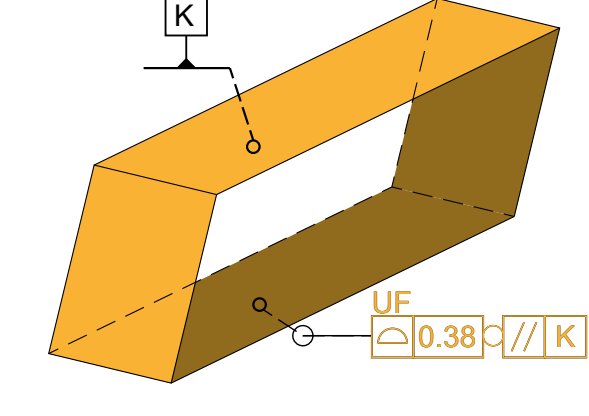
-  parallel 
-  rechtwinklig 
-  in einem bestimmten Winkel geneigt 
-  symmetrisch 

#### 7.1.3 Zeichnungseintrag

Zeichnung	Real
	
Bedeutung	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die grüne Toleranzzone der Geradheit ist parallel zur Bezugsfläche <math>\boxed{D}</math> auszurichten. Alle Messpunkte entlang dieser Fläche dürfen die Toleranzzone nicht überschreiten.</li> <li>• Die blaue Toleranzzone der Geradheit ist rechtwinklig zur Bezugsfläche <math>\boxed{D}</math> auszurichten.</li> </ul>	

## 7.2 Kollektionsebene

Wird das Symbol  $\leftarrow \circ \text{---} \square$  (rundum) verwendet, so ist die Kollektionsebene zwingend anzugeben. Nur so ist eindeutig klar, welche Flächen gemeint sind.

Zeichnung	Real
 <p>UF 0.38 // K</p> <p>UF 0.51 // V</p>	 <p>UF 0.51 // V</p>
 <p>UF 0.38 // K</p>	 <p>UF 0.38 // K</p>

## 8 Modifikatoren

Modifikatoren werden für Merkmale wie das Mass, den Bezug und die Toleranz benutzt. Sie beeinflussen die Art und Weise der Bildung von Bezügen, Grösse und Art von Toleranzen und Zonen, Masse, Formen von Geometrieelementen und vieles mehr.

### 8.1 Merksätze

Es können mehrere Modifikatoren auf ein und dasselbe Merkmal angewendet werden.

Es muss unbedingt beachtet werden, dass eine Kombination von Modifikatoren sinnvoll ist und sich nicht widerspricht.

### 8.2 Tabelle der Modifikatoren

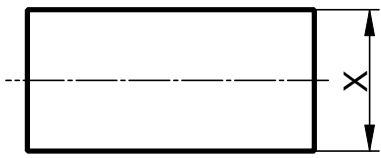
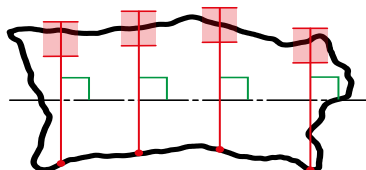
Symbol	Bezeichnung/Beschreibung	Seite
Ⓕ	Reales örtliches Grössenmass	21
Ⓖ	Sphärisches Grössenmass	22
ⒸⒸ	Berechneter, umfangbezogener Durchmesser	22
ⒸⒶ	Berechneter, flächenbezogener Durchmesser	22
Ⓒ⒱	Berechneter, volumenbezogener Durchmesser	23
ⒼⒼ	Grössenmass nach der Methode der kleinsten Quadrate	23
Ⓖⓧ	Grösstes einbeschriebenes Geometrieelement	24
ⒼⓃ	Kleinstes umschriebenes Geometrieelement	
Ⓔ	Hüllbedingung für Bohrungen	25
Ⓔ	Hüllbedingung für Wellen	26
Ⓕ	Freier Zustand	27
ⒶⒼ	Spanne des Rangordnungsmasses	27
Ⓜ	Maximum Material Bedingung für Innenmasse	28
Ⓜ	Maximum Material Bedingung für Aussenmasse	29
Ⓕ	Minimum Material Bedingung für Innenmasse	30
Ⓕ	Minimum Material Bedingung für Aussenmasse	31
Ⓕ	Minimum Material Bedingung Kombination von Aussenmasse und Innenmasse	32
Ⓜ Ⓕ	Einsatzmöglichkeiten	32
Ⓟ	Projizierte Toleranzzone	32

Symbol	Bezeichnung/Beschreibung	Seite
Ⓐ	Mittleres Geometrieelement	
ACS [ACS]	Jeder beliebige Querschnitt	33
SCS	Bestimmte Querschnittsfläche	33
ALS [ALS]	Jeder beliebige Längsschnitt	33
CT	Gemeinsames toleriertes Grössenmasselement	34
/Länge ↔	Vermassen von Teilbereichen	35
UZ [...]	Toleranzzone verschieben	37
UF	United feature	43
CZ	Kombinierte Toleranzzone	38
PD [PD]	Flankendurchmesser	40
MD [MD]	Aussendurchmesser	40
LD [LD]	Innendurchmesser	41
[DV]	Veränderlicher Abstand für einen gemeinsamen Bezug	41
[PL]	(Situationselement vom Typ) Ebene	41
[SL]	(Situationselement vom Typ) Gerade	42
[PT]	(Situationselement vom Typ) Punkt	42
[><]	Einschränkung nur für Nebenbedingungen der Richtung	42

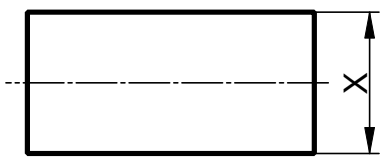
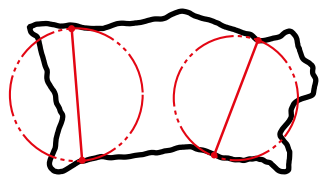
## 8.3 Erklärungen

### 8.3.1 Reales örtliches Grössenmass (LP)

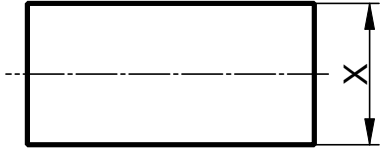
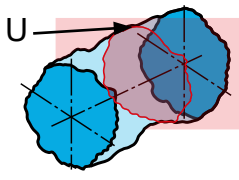
Das Massmerkmal (LP) ist der Standardwert für Masse. Das heisst er gilt, solange keine andere Angabe vorhanden ist.

Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
10 ±0.1 (LP)	Oberes: 10.1 Unteres: 9.9	
<b>Bedeutung</b>		<b>Real</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Distanz zweier Punkte, die sich rechtwinklig zu einer Achse oder Ebene gegenüber liegen, muss zwischen den beiden Grenzmassen liegen.</li> </ul>		

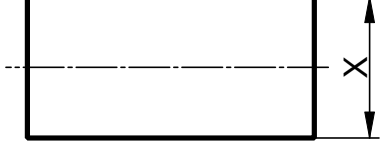
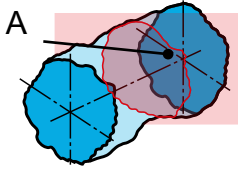
### 8.3.2 Sphärisches Größenmass (LS)

Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
9.2 ±0.1 (LS)	Oberes: 9.3 Unteres: 9.1	
<b>Bedeutung</b>		<b>Real</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Der Durchmesser eines einbeschriebenen Kreises oder einer einbeschriebenen Kugel muss sich an jeder Stelle zwischen den Grenzmassen befinden.</li> </ul>		

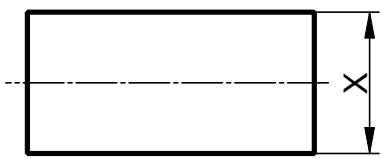
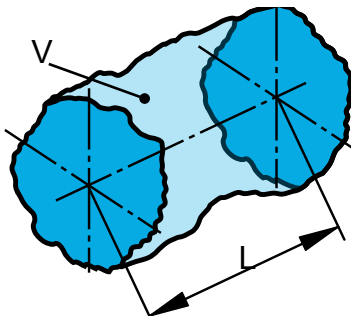
### 8.3.3 Berechneter, umfangbezogener Durchmesser (CC)

Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
∅5 ±0.1 (CC)	Oberes: 5.1 Unteres: 4.9	
<b>Bedeutung</b>		<b>Real</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Der aus dem gemessenen Umfang in einer Schnittebene (eines erfassten Zylinders) berechnete Durchmesser (<math>d = \frac{U}{\pi}</math>) muss zwischen dem oberen und dem unteren Grenzmass liegen.</li> </ul>		

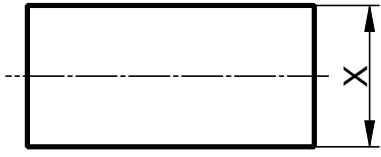
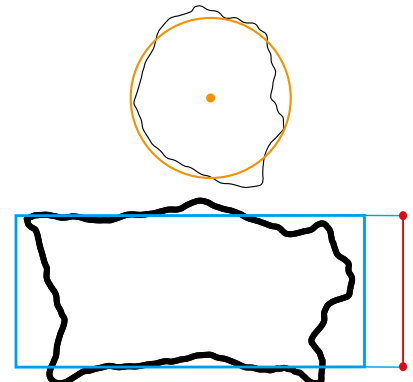
### 8.3.4 Berechneter, flächenbezogener Durchmesser (CA)

Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
∅7 ±0.3 (CA)	Oberes: 7.3 Unteres: 6.7	
<b>Bedeutung</b>		<b>Real</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Der aus der gemessenen Schnittfläche (eines erfassten Zylinders) berechnete Durchmesser (<math>d = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}</math>) muss zwischen dem oberen und dem unteren Grenzmass liegen.</li> </ul>		

### 8.3.5 Berechneter, volumenbezogener Durchmesser (CV)

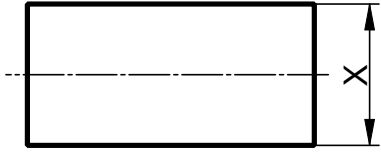
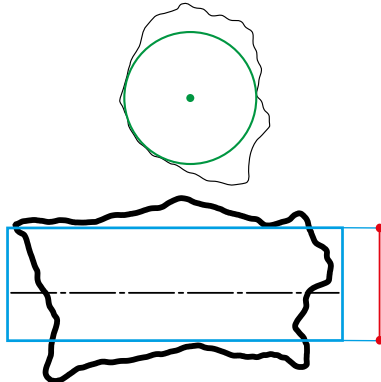

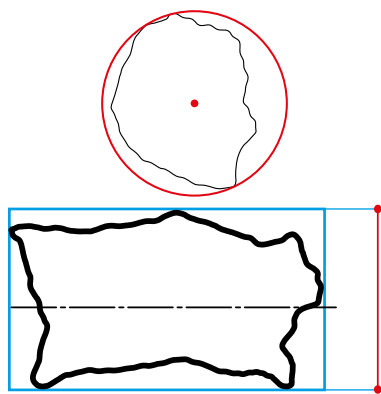
Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
$\varnothing 6 \pm 0.8$ (CV)	Oberes: 6.8 Unteres: 5.2	
<b>Bedeutung</b>		<b>Real</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Der aus dem gemessenen Volumen (eines erfassten Zylinders) berechnete Durchmesser (<math>d = \sqrt{\frac{4V}{\pi L}}</math>) muss zwischen dem oberen und dem unteren Grenzmass liegen.</li> </ul>		

### 8.3.6 Grössenmass nach der Methode der kleinsten Quadrate (GG)

Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
$\varnothing 8.5 \begin{matrix} +0.2 \\ -0.5 \end{matrix}$ (GG)	Oberes: 8.7 Unteres: 8	
<b>Bedeutung</b>		<b>Real</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Der durch die Methode der kleinsten Quadrate berechnete Durchmesser muss zwischen dem unteren und dem oberen Grenzmass liegen.</li> </ul>		

### 8.3.7 Bohrungen und Wellen mit (GX) und (GN)

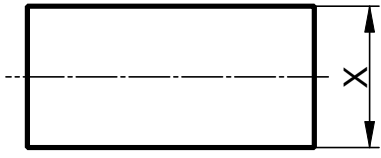
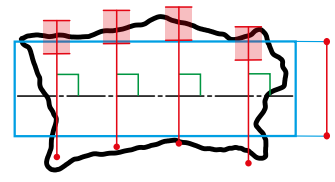
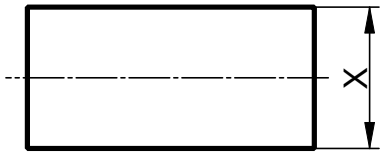
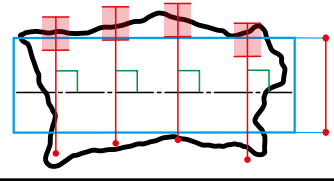
Die Modifikatoren (GX) und (GN) definieren nur eine Grenze des Toleranzfeldes eines Geometrieelements, die zweite Grenze ist nicht definiert (in diese Richtung ist das Toleranzfeld offen). Sie muss zwingend (z.B. durch Modifikatoren) definiert werden. Hier wird der berechnete, umfangbezogene Durchmesser (CC) verwendet, aber nicht beschrieben.

Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
$\varnothing 3.9$ $\begin{matrix} +0.5 \\ -0.1 \end{matrix}$ <span style="margin-left: 20px;">(CC)</span> <span style="margin-left: 20px;">(GX)</span>	Oberes: 4.4 Unteres: 3.8	
<b>Bedeutung</b>		<b>Pferchzylinder (Innkreis)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Grösstes einbeschriebenes Mass</li> <li>• In ein Geometrieelement wird der grösstmögliche Kreis/Zylinder gelegt.</li> <li>• Der kleinste Durchmesser wird auf 3.8 mm gesetzt. Es muss ein Prüfkörper mit mindestens diesem Durchmesser durchpassen.</li> </ul>		
Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
$\varnothing 8.4$ $\begin{matrix} +0.2 \\ -0.3 \end{matrix}$ <span style="margin-left: 20px;">(GN)</span> <span style="margin-left: 20px;">(CC)</span>	Oberes: 8.6 Unteres: 8.1	
<b>Bedeutung</b>		<b>Hüllzylinder (Umkreis)</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kleinstes umschriebenes Mass</li> <li>• Um ein Geometrieelement wird der kleinstmögliche Kreis/Zylinder gelegt.</li> <li>• Der grösste Durchmesser wird auf 8.6 mm gesetzt. Es muss ein Prüfkörper mit maximal diesem Durchmesser drum herumpassen.</li> </ul>		



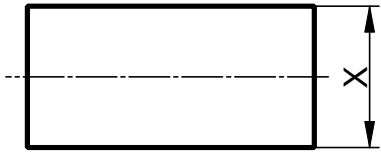
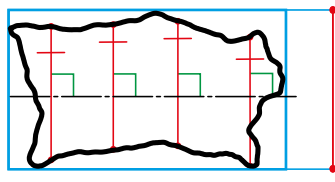
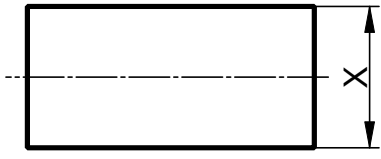
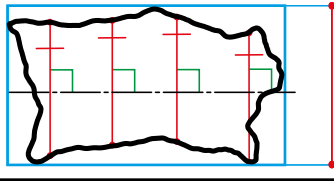
### 8.3.8 Hüllbedingung $\text{\textcircled{E}}$ für Bohrungen

Die Kombination der Einträge  $\text{\textcircled{LP}}$  und  $\text{\textcircled{GX}}$  ist für Bohrungen gleichbedeutend mit dem Massmerkmal  $\text{\textcircled{E}}$ .

Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
$\varnothing 9.8$ $+0.2$ $\text{\textcircled{LP}}$ $-0.5$ $\text{\textcircled{GX}}$	Oberes: 10 Unteres: 9.3	
<b>Bedeutung</b>		<b>Real</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Der Durchmesser der grösstmöglichen Welle (blau), welche sich noch ganz im Werkstück befindet, darf das untere Grenzmass nicht unterschreiten.</li> <li>Die Distanz zweier Punkte, die sich rechtwinklig zur Achse gegenüber liegen, darf nicht grösser als das obere Grenzmass sein.</li> </ul>		
Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
$\varnothing 9.8$ $+0.2$ $\text{\textcircled{E}}$ $-0.5$	Oberes: 10 Unteres: 9.3	
<b>Bedeutung</b>		<b>Real</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alle Masse müssen ausserhalb eines idealen Innenzylinders und innerhalb der nach aussen gerichteten Toleranzen befinden.</li> </ul>		

### 8.3.9 Hüllbedingung $\text{\textcircled{E}}$ für Wellen

Die Kombination der Einträge  $\text{\textcircled{GN}}$  und  $\text{\textcircled{LP}}$  ist für Wellen gleichbedeutend mit dem Massmerkmal  $\text{\textcircled{E}}$ .

Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
$\varnothing 9.2$ <sup>+0.2</sup> $\text{\textcircled{GN}}$ $\text{\textcircled{LP}}$ <sup>-0.5</sup>	Oberes: 9.4 Unteres: 8.7	
<b>Bedeutung</b>		<b>Real</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Der Innendurchmesser des kleinstmöglichen Rohres (blau), welches über das Werkstück passt, darf das obere Grenzmass nicht übersteigen.</li> <li>Die Distanz zweier Punkte, die sich rechtwinklig zur Achse gegenüber liegen, darf nicht kleiner als das untere Grenzmass sein.</li> </ul>		
Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
$\varnothing 9.2$ <sup>+0.2</sup> $\text{\textcircled{E}}$ <sup>-0.5</sup>	Oberes: 9.4 Unteres: 8.7	
<b>Bedeutung</b>		<b>Real</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alle Masse müssen innerhalb eines idealen Aussenzylinders und innerhalb der nach innen gerichteten Toleranzen befinden.</li> </ul>		

### 8.3.10 Freier Zustand (F)

(F) Der freie Zustand ist nur bei einem formstabilen Werkstück, welches eingespannt ist, nach ISO 10579 zulässig. Die Angaben der Einspannbedingungen sind zwingend. Der Zusatz F kennzeichnet bei solchen Zeichnungen alle Masse, welche im nicht eingespannten Zustand gemessen werden müssen.

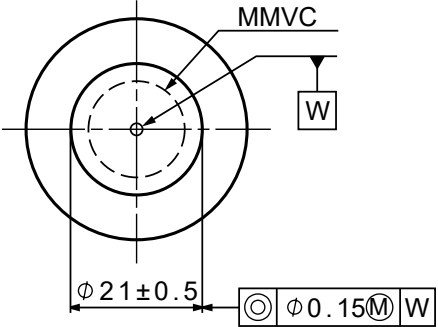
Zusatzangaben	Zeichnung
<p>Über dem Zeichnungskopf:</p> <p>ISO 10579-NR            Aufspannbedingungen:            Das Werkstück muss mit vier M8 Schrauben (B) mit je <math>5 \text{ Nm} \pm 1 \text{ Nm}</math> auf der Fläche (A) befestigt werden.</p>	
<b>Bedeutung</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Ebenheit von 0.05 ist im eingespannten Zustand zu erfüllen.</li> <li>Die Ebenheit von 0.8 sind im freien Zustand einzuhalten.</li> </ul>	

### 8.3.11 Spanne des Rangordnungsmasses (SR)

Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
$5 \pm 0.1 \quad 0.05 \quad (SR)$	Oberes: 5.1 Unteres: 4.9	
<b>Bedeutung</b>		<b>Real</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Alle Zweipunktmass müssen sich zwischen dem oberen und unteren Grenzmass befinden.</li> <li>Der grösste Abstand vom Kleinst- zum Grösstmass darf sich jedoch nur im Abstand von 0.05 bewegen.</li> </ul>		

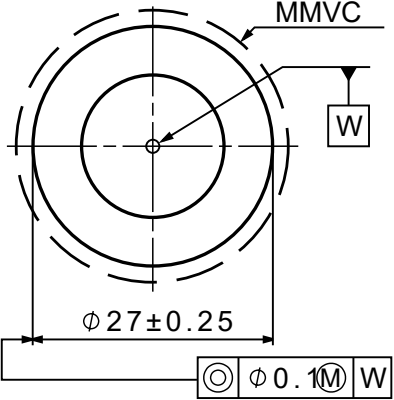
Bei runden Teilen ist darauf zu achten, dass sich die Massspanne und die Zylindrizität nicht widersprechen.

### 8.3.12 Maximum Material Bedingung $\text{M}$ für Innenmasse

Grenzmasse	Zeichnung
<p>Oberes: 21.5 Unteres: 20.5</p>	
Bedeutung	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Mass MMVC wird berechnet: Nennmass (<math>\phi 21</math>) – untere Masstoleranz (0,5) - Lage-toleranz (0,15) = <math>\phi 20,35</math></li> <li>• Ein Lehrdorn <math>\phi 20,35</math> (= MMVC) muss mit der idealen Lage um die Bezugsachse des Bezugs <math>\text{W}</math> in die Bohrung passen.</li> </ul> <p>Jeder Durchmesser, senkrecht zur Achse des Bezugs <math>\text{W}</math>, darf sich frei um diese freizuhalten Zone bewegen.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Es wird die Toleranzzone der Lage, je nach der Masstoleranz, durchbrochen.</li> <li>• Je grösser/kleiner das Mass innerhalb seiner Masstoleranz ist, desto grösser/kleiner ist die erlaubte Lagetoleranz.</li> <li>• «Maximum Material» bezeichnet eine Grenze (den Lehrdorn) in den das Material nicht eindringen darf.</li> </ul>	

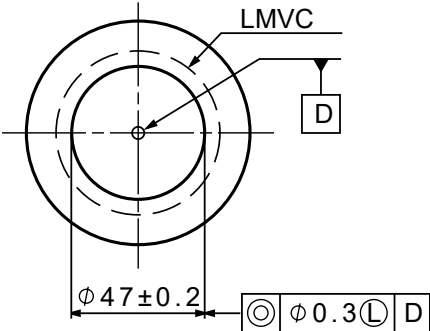
Steht bei einer Formtoleranz als Toleranz die Angabe  $\dots \text{0} \text{M}$  bzw.  $\dots \phi \text{0} \text{M}$ , hat dies die gleiche Bedeutung wie der Eintrag  $\text{E}$ .

### 8.3.13 Maximum Material Bedingung $\text{M}$ für Aussenmasse

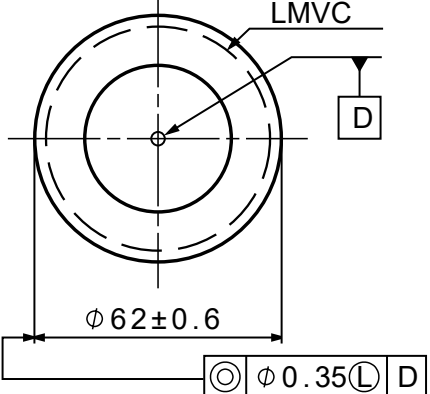
Grenzmasse	Zeichnung
<p>Oberes: 27.25 Unteres: 26.75</p>	
Bedeutung	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Mass MMVC wird berechnet: Nennmass (<math>\varnothing 27</math>) + obere Masstoleranz (0,25) + Lagetoleranz (0,1) = <math>\varnothing 27,35</math></li> <li>• Eine Hülle <math>\varnothing 27,35</math> (= MMVC) muss mit der idealen Lage zur Bezugsachse des Bezugs <math>\text{W}</math> um den Zapfen passen.</li> <li>• Jeder Durchmesser, senkrecht zur Achse des Bezugs <math>\text{W}</math>, darf sich frei innerhalb dieser Zone bewegen.</li> <li>• Es wird die Toleranzzone der Lage, je nach der Masstoleranz, durchbrochen.</li> <li>• Je kleiner/grösser das Mass innerhalb seiner Masstoleranz ist, desto kleiner/grösser ist die erlaubte Lagetoleranz.</li> <li>• «Maximum Material» bezeichnet eine Grenze (die Hülle) die das Material nicht durchbrechen darf.</li> </ul>	

Steht bei einer Formtoleranz als Toleranz die Angabe  $\dots \text{0} \text{M}$  orbzw.  $\dots \varnothing \text{0} \text{M}$ , hat dies die gleiche Bedeutung wie der Eintrag  $\text{E}$ .

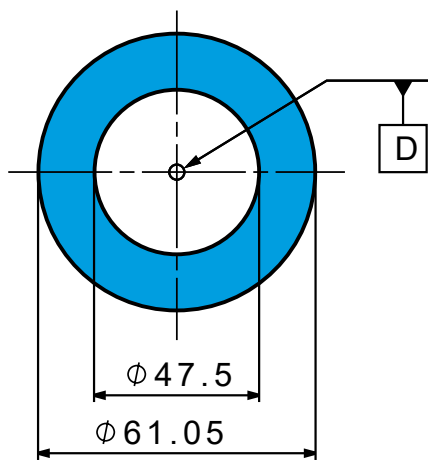
### 8.3.14 Minimum Material Bedingung (L) für Innenmasse

Grenzmasse	Zeichnung
<p>Oberes: 47.2 Unteres: 46.8</p>	
Bedeutung	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Mass LMVC wird berechnet: Nennmass (<math>\phi 47</math>) + untere Masstoleranz (0,2) + Lage-toleranz (0,3) = <math>\phi 47,5</math></li> <li>• Ein Zylindermantel <math>\phi 47,5</math> (= MMVC) mit der idealen Lage um die Bezugsachse des Bezugs [D] darf nach aussen hin nicht durchbrochen werden.</li> <li>• Jeder Durchmesser, senkrecht zur Achse des Bezugs [D], darf sich frei innerhalb dieses Zylinders bewegen.</li> <li>• Es wird die Toleranzzone der Lage, je nach Grösse der Masstoleranz, durchbrochen.</li> <li>• Je kleiner/grösser das Mass innerhalb seiner Masstoleranz ist, desto grösser/kleiner ist die erlaubte Lagetoleranz.</li> <li>• «Minium Material» bezeichnet eine Grenze (der Zylindermantel), ausserhalb derer stets Material vorhanden sein muss.</li> <li>• Die Minimum Material Bedingung wird nahezu ausschliesslich auf Rohre angewandt, da in der Praxis keine weitere Anwendung existiert, bei der die Minimum Material Bedingung sinnvoll ist.</li> </ul>	

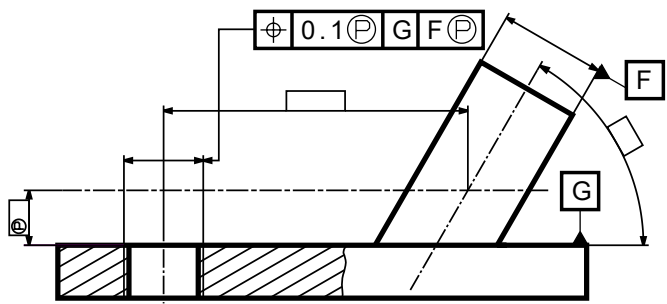
### 8.3.15 Minimum Material Bedingung (L) für Aussenmasse

Grenzmasse	Zeichnung
<p>Oberes: 62.6 Unteres: 61.4</p>	
Bedeutung	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Das Mass LMVC wird berechnet: Nennmass (<math>\phi 62</math>) - untere Masstoleranz (0,6) - Lagetoleranz (0,35) = <math>\phi 61,05</math></li> <li>• Ein Zylindermantel <math>\phi 61,05</math> (= MMVC) mit der idealen Lage um die Bezugsachse des Bezugs [D] darf nicht nach innen hin durchbrochen werden.</li> <li>• Jeder Durchmesser, senkrecht zur Achse des Bezugs [D], darf sich frei ausserhalb dieses Zylinders bewegen.</li> <li>• Es wird die Toleranzzone der Lage, je nach Grösse der Masstoleranz, durchbrochen.</li> <li>• Je grösser/kleiner das Mass innerhalb seiner Masstoleranz ist, desto grösser/kleiner ist die erlaubte Lagetoleranz.</li> <li>• «Minimum Material» bezeichnet eine Grenze (der Zylindermantel) innerhalb derer stets Material vorhanden sein muss.</li> <li>• Die Minimum Material Bedingung wird nahezu ausschliesslich auf Rohre angewandt. In der Praxis existiert keine weitere Anwendung, bei der die Minimum Material Bedingung sinnvoll ist.</li> </ul>	

### 8.3.16 Minimum Material Bedingung $\textcircled{L}$ for Combination of Inner and Outer Dimensions Kombination von Innenmassen und Aussenmassen

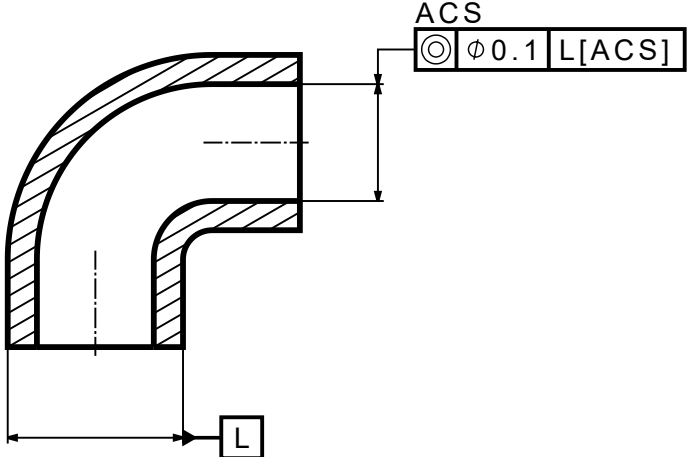
Zeichnung	
	
Bedeutung	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Werden die Einträge von «Minimum Material Bedingung <math>\textcircled{p}</math> für Innenmasse» auf Seite 30 und «Minimum Material Bedingung <math>\textcircled{p}</math> für Aussenmasse» auf Seite 31 kombiniert, muss ein Rohr mit Innenmass <math>\varnothing 47,5</math> und Aussenmass <math>\varnothing 61,05</math> mit Material vorhanden sein.</li> </ul>	

### 8.3.17 Projizierte Toleranzzone $\textcircled{P}$

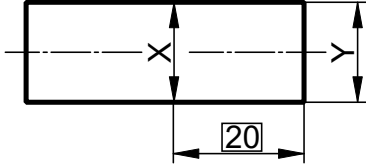
Bedeutung	Zeichnung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sowohl die Position des Gewindes wie auch das Bezugselement sind auf einer fiktiven Ebene mitdefiniert.</li> <li>• Es wird der Schnittpunkt der Achse mit dieser Ebene bemisst.</li> <li>• Nur sekundäre Bezüge dürfen projiziert werden.</li> </ul>	



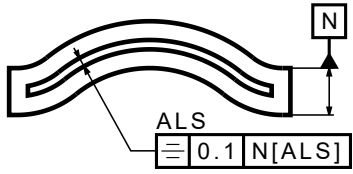
### 8.3.18 Jeder beliebige Querschnitt [ACS] und ACS

Bedeutung	Zeichnung
<ul style="list-style-type: none"> <li>Jeder Querschnitt der Bohrung (ACS) muss in Bezug auf die Querschnitte der Aussenfläche ([ACS]) eine Konzentrität von <math>\phi 0.1</math> mm aufweisen.</li> </ul>	

### 8.3.19 Bestimmte Querschnittfläche SCS

Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
$\phi 12 \pm 0.3$ SCS	Oberes: 12.3 Unteres: 11.7	
Bedeutung		
<ul style="list-style-type: none"> <li>An der theoretisch exakt vermassten Stelle muss das Mass zwischen dem oberem und dem unterem Grenzmass liegen.</li> </ul>		

### 8.3.20 Jeder beliebige Längsschnitt ALS und [ALS]

Bedeutung	Zeichnung
<ul style="list-style-type: none"> <li>Jeder beliebige Längsschnitt des Schlitzes (ALS) muss in Bezug auf die Längsschnitte der Aussenfläche ([ALS]) eine Symmetrie von 0.1 mm aufweisen.</li> </ul>	

### 8.3.21 Gemeinsame toleriertes Grossenmasselement

Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
$11 \times 19.7^{+0.2}_{-0.1} \text{ (E)}$	Oberes: 19.9 Unteres: 19.6	
<b>Bedeutung</b>		<b>Real</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Das Mass muss zwischen dem oberen und dem unteren Grenzmass liegen.</li> <li>Die Oberflächen müssen unabhängig voneinander (einzeln) eine Hüllbedingung (rot mit der gegenüberliegenden Fläche blau) einhalten.</li> </ul>		

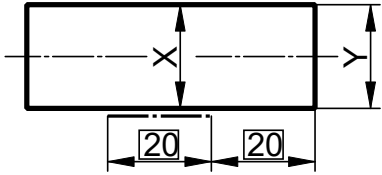
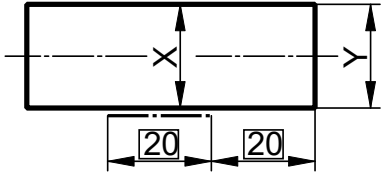
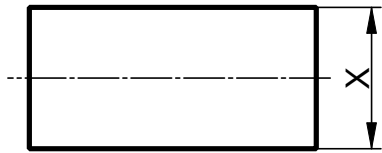
Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
$11 \times 19.7^{+0.2}_{-0.1} \text{ (E) CT}$	Oberes: 19.9 Unteres: 19.6	
<b>Bedeutung</b>		<b>Real</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Das Mass muss zwischen dem oberen und dem unteren Grenzmass liegen.</li> <li>Die einzelnen Oberflächen müssen eine gemeinsame Hüllbedingung (rot mit der gegenüberliegenden Fläche blau) einhalten.</li> <li>Die Anzahl von den vermassten Elementen muss zum Mass hinzugefügt werden (hier 11x für 11 Flächen).</li> <li>Das Mass wird nur auf eine der 11 Flächen eingetragen (keine durchgezogene Masshilfslinie).</li> </ul>		

### 8.3.22 Teilbereiche zwischen ↔

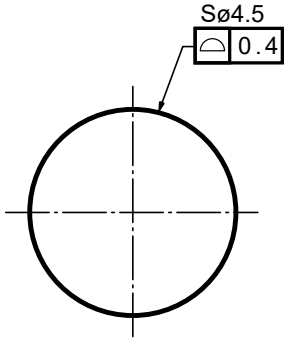
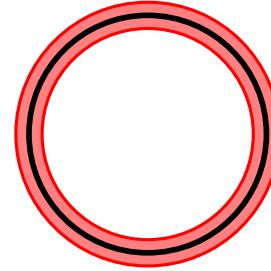
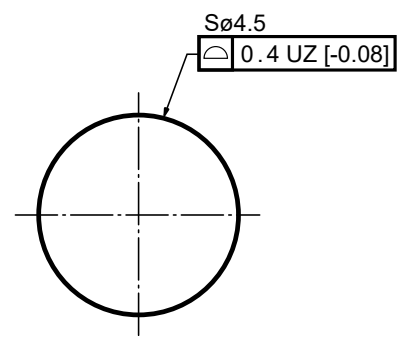
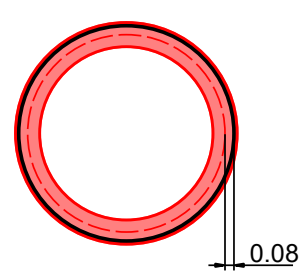
Das Mass der Abschnitte des Werkstücks, die nicht anders gekennzeichnet sind, beträgt  $\varnothing 30 \pm 0.4$  mm.

Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
$\varnothing 30 \begin{matrix} +0.5 \\ -0.3 \end{matrix} \quad A \leftrightarrow B$	Oberes: 30.5 Unteres: 29.7	<p>The drawing shows a shaft with a diameter tolerance of <math>\varnothing 30 \begin{matrix} +0.5 \\ -0.3 \end{matrix}</math>. Two sections, A and B, are marked with arrows pointing to a 20 mm length on the shaft. A dimension line 'X' indicates the diameter at that section.</p>
<b>Bedeutung</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwischen A und B muss der Durchmesser (auf der gesamtem Länge von 20 mm) zwischen dem oberen und dem unteren Abmass liegen.</li> <li>• Als Buchstaben können Gross- und Kleinbuchstaben in beliebiger Reihenfolge verwendet werden. Aufeinanderfolgende Buchstaben (z.B. A und B) helfen jedoch bei der Übersicht.</li> </ul>		
Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
$\varnothing 30 \begin{matrix} +0.5 \\ -0.3 \end{matrix} \quad /7 j \leftrightarrow f$	Oberes: 30.5 Unteres: 29.7	<p>The drawing shows a shaft with a diameter tolerance of <math>\varnothing 30 \begin{matrix} +0.5 \\ -0.3 \end{matrix}</math>. Two sections, j and f, are marked with arrows pointing to a 7 mm length on the shaft. A dimension line 'X' indicates the diameter at that section.</p>
<b>Bedeutung</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zwischen j und f muss der Durchmesser auf jedem beliebigen, 7 mm langen Abschnitt zwischen dem oberen und dem unteren Abmass liegen.</li> </ul>		

### 8.3.23 Teilbereiche zwischen Länge

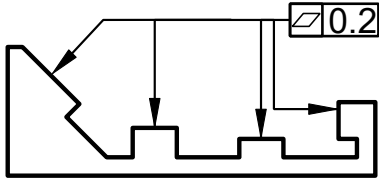
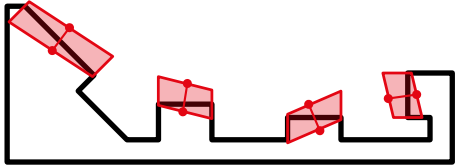
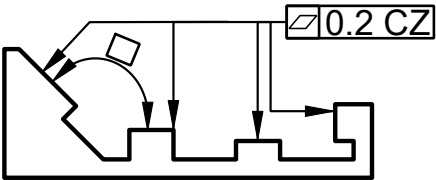
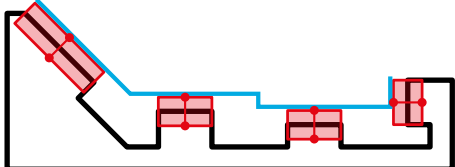
Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
$\text{Ø}30 \begin{matrix} +0.5 \\ -0.3 \end{matrix}$	Oberes: 30.5 Unteres: 29.7	
<b>Bedeutung</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Der Durchmesser des durch die Strichpunktlinie breit markierten Bereichs muss zwischen dem unteren und dem oberen Abmass liegen.</li> </ul>		
Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
$\text{Ø}30 \begin{matrix} +0.5 \\ -0.3 \end{matrix} /13$	Oberes: 30.5 Unteres: 29.7	
<b>Bedeutung</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Der Durchmesser muss innerhalb des durch die Strichpunktlinie breit markierten Bereichs in jedem beliebigem, 13 mm langen Abschnitt zwischen dem unteren und dem oberen Abmass liegen.</li> </ul>		
Masseintrag (X)	Grenzmasse	Zeichnung
$\text{Ø}30 \begin{matrix} +0.5 \\ -0.3 \end{matrix} /25$	Oberes: 30.5 Unteres: 29.7	
<b>Bedeutung</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>Der Durchmesser jedes beliebigen 25 mm langen Abschnitts muss zwischen dem oberen und dem unteren Abmass liegen.</li> </ul>		

### 8.3.24 Toleranzzone verschieben UZ [...]

Bedeutung	Eintrag
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Toleranzzone (rot) liegt symmetrisch um die Oberfläche der Kugel mit dem Nennmass 4.5 mm.</li> <li>Der Durchmesser der Kugel liegt zwischen 4,9 mm und 4,1 mm.</li> </ul>	
	<b>Lage Toleranzzone</b>
	
Bedeutung	Eintrag
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Toleranzzone (rot) wird um 0.08 mm in das Material verschoben.</li> <li>Der Durchmesser der Kugel liegt zwischen 4,74 mm und 3,94 mm.</li> <li>Bei einem positiven Wert in der Klammer [0.08] würde die Zone aus dem Material herausgeschoben.</li> </ul>	
	<b>Lage Toleranzzone</b>
	

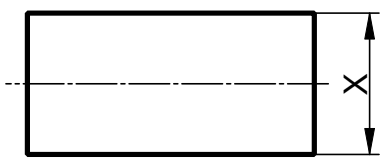
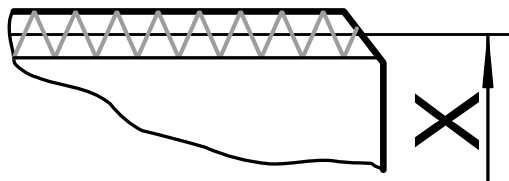
### 8.3.25 Kombinierte Zone CZ

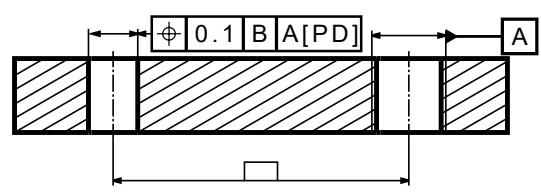
Zeichnung	
Bedeutung	Tolerierung
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Achsen der vier Bohrungen (rot) liegen zueinander in einer zylindrischen Toleranzzone (<math>\varnothing 0.05</math> mm), rechtwinklig zum Bezug [F].</li> <li>Diese Toleranzzonen liegen mit den Massen (rot) zueinander.</li> <li>CZ hebt das Unabhängigkeitsprinzip auf und legt die Lage der Bohrungen zueinander theoretisch exakt fest.</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Achsen der acht Bohrungen (rot) liegen zueinander in einer zylindrischen Toleranzzone (<math>\varnothing 0.04</math> mm), rechtwinklig zum Bezug [F].</li> <li>Diese Toleranzzonen liegen mit den Massen (rot) zueinander.</li> <li>Die Achsen der acht Bohrungen liegen in einer zylindrischen Toleranzzone (<math>\varnothing 0.3</math> mm) gegenüber dem Vierlochbild [D-D].</li> <li>CZ hebt das Unabhängigkeitsprinzip auf und legt eine genauere Position der acht Bohrungen zueinander (<math>\varnothing 0.04</math> mm statt <math>\varnothing 0.3</math> mm) fest.</li> <li>Das Lochbild mit den zylindrischen Toleranzzonen <math>\varnothing 0.04</math> mm insgesamt darf sich innerhalb der grösseren zylindrischen Toleranzzonen <math>0.3</math> mm bewegen.</li> </ul>	

Bedeutung	Eintrag
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Toleranzzonen der vier tolerierten Oberflächen sind jeweils einzeln einzuhalten.</li> </ul>	<p data-bbox="1061 161 1173 197"><b>Eintrag</b></p> 
	<p data-bbox="1029 414 1204 450"><b>Tolerierung</b></p> 
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mit dem Modifikator CZ müssen die Toleranzzonen der Oberflächen zueinander in idealer Ausrichtung liegen.</li> <li>Die Ausrichtung kann vermasst (Winkelmaß) sein oder aus der Zeichnung offensichtlich (Parallelität der beiden mittleren Elemente; Rechtwinkligkeit des rechten Elements zu diesen) sein.</li> </ul>	<p data-bbox="1061 667 1173 703"><b>Eintrag</b></p> 
	<p data-bbox="1029 920 1204 956"><b>Tolerierung</b></p> 

### 8.3.26 Flankendurchmesser PD und [PD]

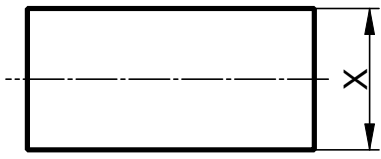
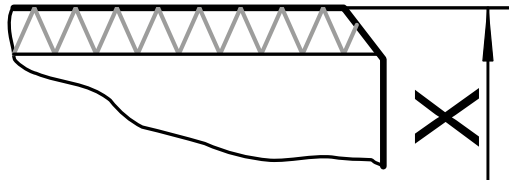
Diese Angabe macht nur bei Gewinden, Zahnrädern oder dergleichen Sinn.

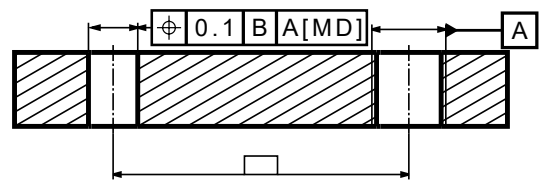
<b>Masseintrag (X)</b>	<b>Zeichnung</b>
$\varnothing 8$ PD	
<b>Bedeutung</b>	<b>Real</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Gemessen wird der mittlere Flankendurchmesser oder Teilkreisdurchmesser.</li> <li>Ohne weitere Angabe (MD oder LD) ist PD der Standard.</li> </ul>	

<b>Bedeutung</b>	<b>Zeichnung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Der Bezug wird auf einen Zylinder mit dem Flankendurchmesser des Gewindes gesetzt.</li> <li>Ohne den Aufruf von [MD] oder [LD] ist dieser Modifikator der Standard.</li> </ul>	

### 8.3.27 Aussendurchmesser MD und [MD]

Diese Angabe macht nur bei Gewinden, Zahnrädern oder dergleichen Sinn.

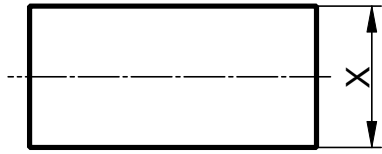
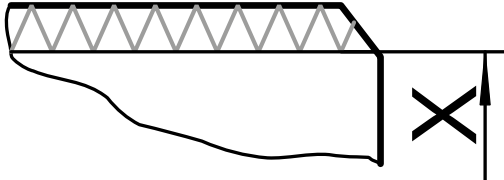
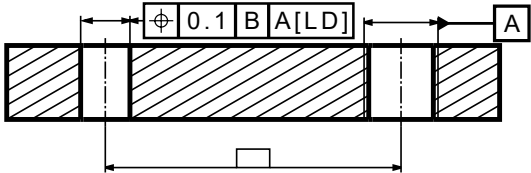
<b>Masseintrag (X)</b>	<b>Zeichnung</b>
$\varnothing 8$ MD	
<b>Bedeutung</b>	<b>Real</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Gemessen wird der Nenn- oder Kopfdurchmesser.</li> </ul>	

<b>Bedeutung</b>	<b>Zeichnung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Der Bezug wird auf einen Zylinder mit dem Aussendurchmesser des Gewindes gesetzt.</li> </ul>	

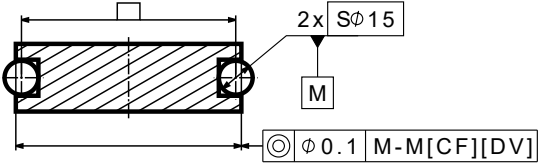


### 8.3.28 Innendurchmesser LD und [LD]

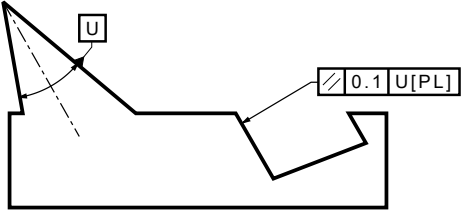
Diese Angabe macht nur bei Gewinden, Zahnrädern oder dergleichen Sinn.

<p>Masseintrag (X)</p> <p style="text-align: center;">ø8 LD</p>	<p style="text-align: center;">Zeichnung</p> 
<p style="text-align: center;">Bedeutung</p>	<p style="text-align: center;">Real</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Gemessen wird der mittlere Kern- oder Fusskreisdurchmesser.</li> </ul>	
<p style="text-align: center;">Bedeutung</p>	<p style="text-align: center;">Zeichnung</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Der Bezug wird auf einen Zylinder mit dem Kerndurchmesser des Gewindes gesetzt.</li> </ul>	

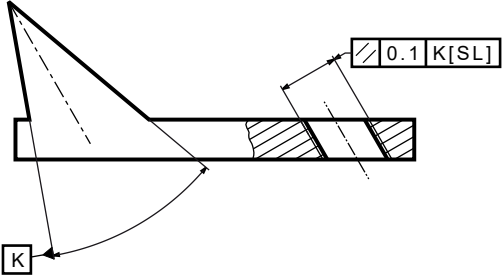
### 8.3.29 Veränderlicher Abstand (für einen gemeinsamen Bezug) [DV]

<p style="text-align: center;">Bedeutung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Durch [CF] beim Bezugsaufruf müssen die beiden Kugeln den Nut-Grund berühren.</li> <li>[DV] weist beim Bezugsaufruf darauf hin, dass der Abstand der Kugeln durch die Toleranz des Nut-Grunds nicht konstant ist.</li> </ul>	<p style="text-align: center;">Zeichnung</p> 
--	---

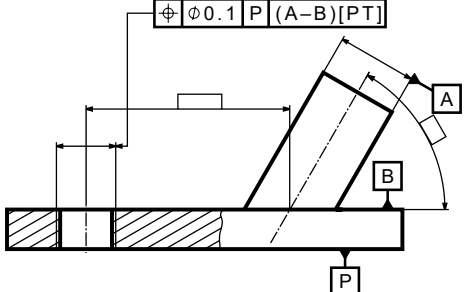
### 8.3.30 (Situationselement vom Typ) Ebene [PL]

<p style="text-align: center;">Bedeutung</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>Die Wand der Nut muss parallel zur winkelhalbierenden Ebene des Keils sein.</li> </ul>	<p style="text-align: center;">Zeichnung</p> 
--	---

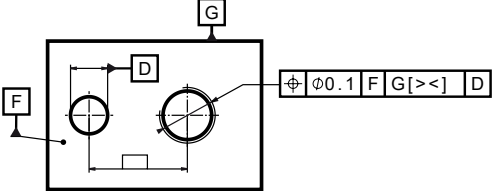
### 8.3.31 (Situationselement vom Typ) Gerade [SL]

Bedeutung	Zeichnung
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Achse des Gewindes muss eine Parallelität von 0.1 mm zur Symmetrieachse des Kegels sein.</li> </ul>	

### 8.3.32 (Situationselement vom Typ) Punkt [PT]

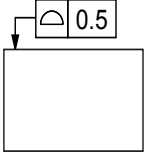
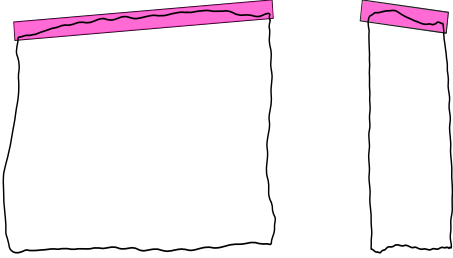
Bedeutung	Zeichnung
<ul style="list-style-type: none"> <li>Das Gewinde muss eine Position von 0.1 mm einhalten.</li> <li>Bezugspunkt ist der Schnittpunkt der Bezugselemente [A] und [B].</li> </ul>	

### 8.3.33 Nur für Nebenbedingungen der Richtung [><]

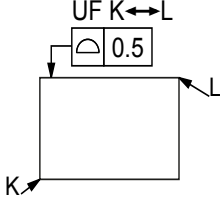
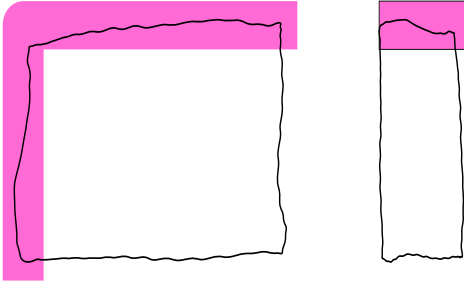
Bedeutung	Zeichnung
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Achse des Gewindes muss das Mass (die Position) von 0.1 mm nur gegenüber der Basis [F] und [D] einhalten.</li> <li>Die Achse des Gewindes muss parallel zur Richtung der Basis [G] sein.</li> </ul>	

## 9 Flächenprofilspezifikation

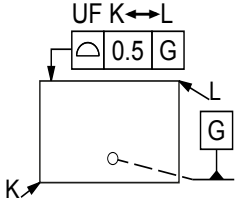
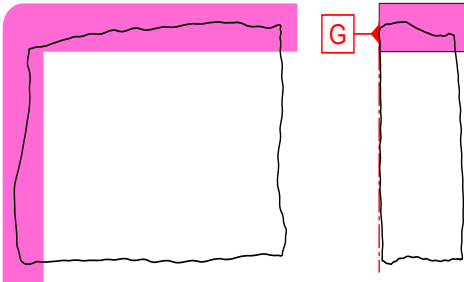
### 9.1 Variante 1.

Zeichnung	Real
	
<b>Bemerkungen</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Toleranzzone richtet sich nach dem reellen Teil aus. Der Abstand der beiden Flächen ist die eingetragene Toleranz «0.5».</li> </ul>	

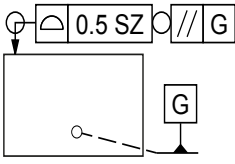
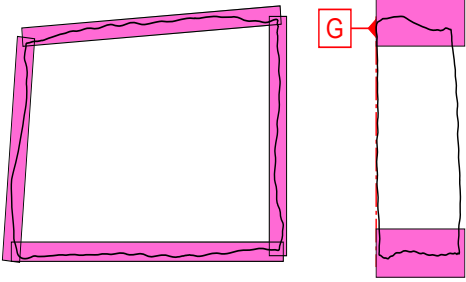
### 9.2 Variante 2.

Zeichnung	Real
	
<b>Bemerkungen</b>	
<p>Der Modifikator UF (united feature) zwingt die beiden Toleranzzonen (zwischen K und L) in einen rechten Winkel.</p>	

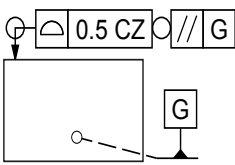
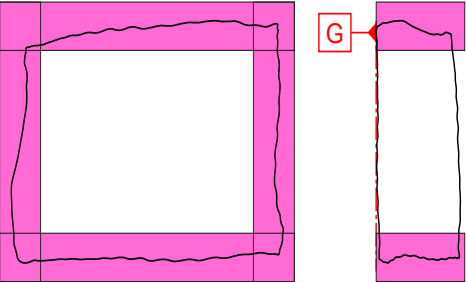
### 9.3 Variante 3.

Zeichnung	Real
	
<b>Bemerkungen</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Der Modifikator UF (united feature) zwingt die beiden Toleranzzonen (zwischen K und L) in einen rechten Winkel. Der Bezug richtet die Zonen nun auch noch rechtwinklig zur Bezugsebene «G» aus.</li> </ul>	

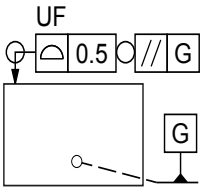
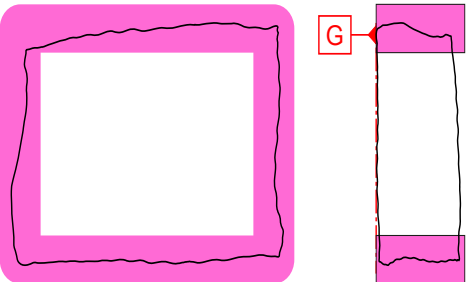
### 9.4 Variante 4.

Zeichnung	Real
	
<b>Bemerkungen</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Die Toleranzzone gilt umlaufend für die ganze Kontur (↻). Der Kollektionsebenen-Indikator (O//...) ist bei umlaufenden Angaben zwingend erforderlich. Die Angabe SZ (separate zones) lässt die einzelnen Zonen sich «frei» bewegen.</li> </ul>	

### 9.5 Variante 5.

Zeichnung	Real
	
<b>Bemerkungen</b>	
<p>Der Modifikator CZ (combined zone) richtet die Toleranzzonen zu einander aus.</p>	

### 9.6 Variante 6.

Zeichnung	Real
	
<b>Bemerkungen</b>	

# 10 Fügbarkeit

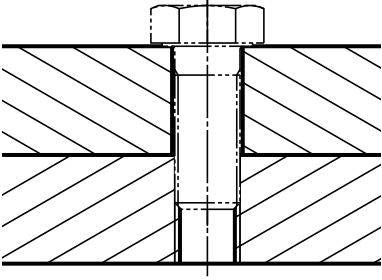
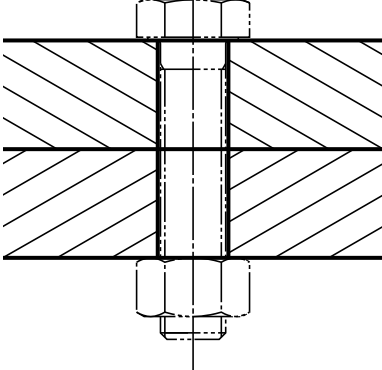
Für die Sicherstellung der Fügbarkeit von Werkstücken sind für das Vermessen Modifikatoren nötig.

## 10.1 Befestigungen mit Schrauben

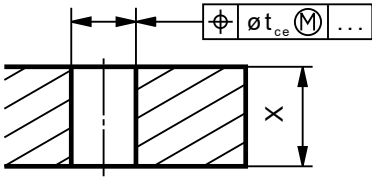
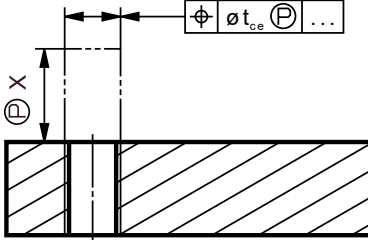
Die benötigten Modifikatoren sind die projizierte Toleranzzone  $\textcircled{P}$  (8.3.17 auf Seite 32) und die Maximum-Material-Bedingung  $\textcircled{M}$  (auf Seite 28).

Unterschieden wird zwischen zwei verschiedenen Situationen einer Verschraubung.

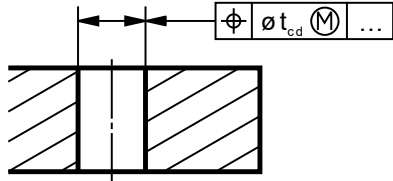
### 10.1.1 Arten von Befestigungen

Starr	Schwimmend
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei der starren Verbindung ist das Gegen-gewinde zur Schraube im Werkstück.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bei der schwimmenden Verbindung wird die Schraube durch zwei Durchgangsboh-rungen gesteckt und mit einer Mutter ver-schraubt.</li> </ul>

### 10.1.2 Starre Befestigung, $t_{ce}$

Tolerierung der Durchgangsbohrung	Tolerierung des Gewindes
	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Maximum-Material-Bedingung macht die Bohrung wirtschaftlicher.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es ist nicht interessant, wo die Achse des Gewindes im Werkstück liegt.</li> <li>• Wichtig ist, wo sie innerhalb des Gegen-stücks ist.</li> <li>• Der Wert der Höhe der projizierten Tole-ranzzone entspricht X (Länge der Durch-gangsbohrung).</li> </ul>

### 10.1.3 Schwimmende Verbindung, $t_{cd}$

Tolerierung der Durchgangsbohrungen

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Die Maximum-Material-Bedingung macht die Bohrungen wirtschaftlicher.</li> <li>• Beide Bohrungen werden gleich bemasst.</li> </ul>

### 10.2 Mass- und Toleranzwerte

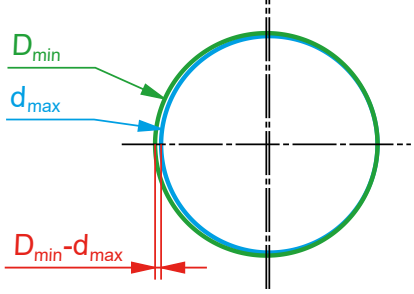
In der Tabelle sind die Masse und Masstoleranzen für Durchgangslöcher zu finden. Ausserdem enthält sie die Masse der Toleranzzonen für Durchgangsbohrungen und Gewinde.

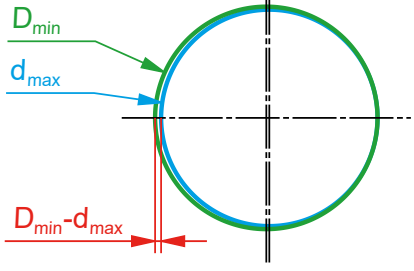
Gewinde	$\varnothing$ , fein (H12)	$t_{ce}$	$t_{cd}$	$\varnothing$ , mittel (H13)	$t_{ce}$	$t_{cd}$
<b>M1.6</b>	1.7	0.05	0.1	1.8	0.1	0.2
<b>M2</b>	2.2	0.1	0.2	2.4	0.2	0.4
<b>M2.5</b>	2.7	0.1	0.2	2.9	0.2	0.4
<b>M3</b>	3.2	0.1	0.2	3.4	0.2	0.4
<b>M4</b>	4.3	0.15	0.3	4.5	0.25	0.5
<b>M5</b>	5.3	0.15	0.3	5.5	0.25	0.5
<b>M6</b>	6.4	0.2	0.4	6.6	0.3	0.6
<b>M8</b>	8.4	0.2	0.4	9	0.5	1
<b>M10</b>	10.5	0.25	0.5	11	0.5	1
<b>M12</b>	13	0.5	1	13.5	0.75	1.5
<b>M16</b>	17	0.5	1	17.5	0.75	1.5
<b>M20</b>	21	0.5	1	22	1	2
<b>M24</b>	25	0.5	1	26	1	2
<b>M30</b>	31	0.5	1	33	1.5	3
<b>M36</b>	37	0.5	1	39	1.5	3

$t_{ce}$  = starr

$t_{cd}$  = schwimmend

## 10.2.1 Berechnung von $t_{ce}$ und $t_{cd}$

Werte $t_{ce}$	
	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{max}</math> ist der maximale Durchmesser der Schraube.</li> <li><math>D_{min}</math> ist der minimale Durchmesser der Durchgangsbohrung.</li> <li>Die Gewindebohrung bestimmt die Lage der Schraube.</li> <li>Das frei bleibende Spiel (<math>D_{min} - d_{max}</math>) wird zu gleichen Teilen auf die Positionstoleranzen von Durchgangsbohrung und Gewindebohrung verteilt.</li> <li><math display="block">t_{ce} = \frac{D_{min} - d_{max}}{2}</math></li> </ul>

Werte $t_{cd}$	
	<ul style="list-style-type: none"> <li><math>d_{max}</math> ist der maximale Durchmesser, der für die Schraube freibleiben muss.</li> <li><math>D_{min}</math> ist der minimale Durchmesser der Durchgangsbohrung.</li> <li>Jede Bohrung kann für sich das gesamte Spiel (<math>D_{min} - d_{max}</math>) ausnutzen.</li> <li><math display="block">t_{cd} = D_{min} - d_{max}</math></li> </ul>

## 10.2.2 Stiftverbindungen

Die Bohrungen für Stiftverbindungen werden stets mit dem Eintrag  $\boxed{\oplus \ 0 \ \text{M} \ \dots}$  toleriert, da sonst die Eigenschaften der gewählten Passung nicht zum Tragen kommen.

## **11 Grundsätze nach ISO 8015**

Diese Auflistung der dreizehn Grundsätze nach ISO 8015 ist möglichst kurz verfasst. Sie soll lediglich die Grundzüge aufzeigen. In jedem Fall (z.B. bei Unklarheiten) ist der Wortlaut der Norm massgebend.

### **11.1 ... des Aufrufes**

Sobald ein Teilbereich des ISO-GPS-Systems auf einer Produktespezifikation (Zeichnung) des Maschinenbaus aufgerufen wird, gilt das gesamte ISO-GPS-System. Soll ein Teil des ISO-GPS-Systems nicht gelten, so muss dies auf der Zeichnung in der Nähe des Zeichnungskopfes durch einen Texteintrag kenntlich gemacht werden.

Dieser Grundsatz stellt sicher, dass auch ohne namentlichen Aufruf die ISO 1 (Bezugstemp. 20°C) ihre Gültigkeit hat.

Eine Anmerkung wie: «Tolerierung nach ISO 8015», darf in der Nähe des Zeichnungskopfes platziert werden. Dies ist aber nicht zwingend, da ISO 8015 allgemein gültig ist.

### **11.2 ... der GPS-Normenhierarchie**

Das ISO-GPS-System besteht aus einer Vielzahl von Normen. Um die Gültigkeit eindeutig zu halten, unterliegen alle diese Normen einer Hierarchie.

- Fundamentale GPS-Normen
- Allgemeine GPS-Normen
- Komplementäre GPS-Normen

Bei Problemen der Interpretation oder bei Widerspruch ist nach der in der Hierarchie höher stehenden Norm zu verfahren.

### **11.3 ... der bestimmenden Zeichnung**

Die Zeichnung ist bestimmend. Das heisst, dass alle Angaben, die für die Funktion eines Bauteiles relevant sind, auf der Zeichnung angegeben werden müssen. Um dies zu ermöglichen, ist im ISO-GPS-System eine grosse Menge an Zeichnungseintragungen definiert. Die Angaben auf der Zeichnung beschreiben den endgültigen Zustand der Geometrie oder des Teiles vollständig.

### **11.4 ... des Geometrieelementes**

Ein Werkstück besteht aus einer beliebigen Anzahl von Geometrieelementen (z.B. Kreis, Kugel, Quader, usw.). Jedes einzelne Geometrieelement muss mit Hilfe von z.B. Masseintragungen spezifiziert werden. Jede Spezifikation gilt für ein gesamtes Geometrieelement. Jede Spezifikation gilt für nur ein Geometrieelement. Diese Grundsätze lassen sich durch Angaben (z.B. Modifikatoren) einschränken bzw. abändern. Es ist im Weiteren zulässig, ein Geometrieelement mit Hilfe eines anderen Geometrieelements zu definieren.

### **11.5 ... der Unabhängigkeit**

Die auf einer Produktespezifikation (Zeichnung) eingetragenen Anforderungen müssen unabhängig (einzeln) voneinander eingehalten werden. Sollen mehrere Spezifikationen gemeinsam gelten, sind Modifikationssymbole zu verwenden.



## **11.6 ... der Dezimaldarstellung**

Nicht angegebene Dezimalstellen sind Nullen.

20.05 ist gleichbedeutend mit 20.05000000000000000000000000... usw.

## **11.7 ... der Standardfestlegung**

Alle als Standard geltenden Spezifikationen sind im ISO-GPS-System festgelegt.

## **11.8 ... der Referenzbindungen**

Alle Referenzen, die im ISO-GPS-System definiert sind, gelten über das ganze System. Dies schliesst, die Normtemperatur von 20°C oder auch, dass ein Werkstück frei von Verunreinigungen ausgemessen werden muss, mit ein. Jede beliebige zusätzliche Bedingung muss auf der Zeichnung aufgeführt werden (z.B. Luftfeuchtigkeit).

### **11.8.1 Achtung: Referenztemperatur**

In der SN EN ISO 1 ist die Normtemperatur von 20 Grad Celsius definiert. Es fehlen zu dieser Angabe die möglichen Toleranzen. Falls eine Spezifikation bei genauen Temperaturen definiert werden muss, so ist es zwingend nötig, die Toleranzen der Temperatur auf der Zeichnung zu spezifizieren.

## **11.9 ... des starren Werkstückes**

Ein Werkstück wird angesehen, als hätte es eine unendlich hohe Steifigkeit. Alle Angaben im ISO-GPS-System beziehen sich auf dieses nicht verformbare Werkstück. Diese Steifigkeit beinhaltet auch den Ausschluss der Schwerkraft.

## **11.10 ... der Dualität**

Alle Angaben auf einer Produktespezifikation sind unabhängig von einem Messverfahren definiert. Es wird somit kein Messverfahren festgelegt.

## **11.11 ... der Funktionsbeherrschung**

Jedes Werkstück muss so beschrieben werden, dass die von ihm übernommene Funktion gewährleistet wird. Es muss eine Unter- oder Überstimmung ausgeschlossen werden.

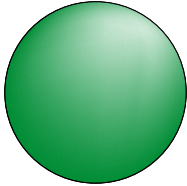

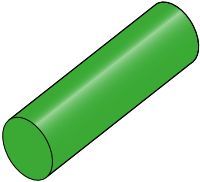
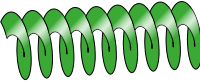
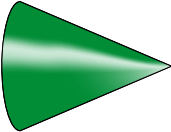
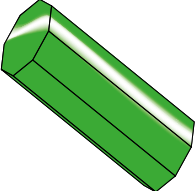
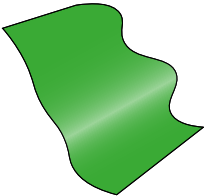
## **11.12 ... der allgemeinen Spezifikation**

Eine allgemeine Spezifikationsangabe gilt für jedes Geometrieelement, ausser es besteht für ein Geometrieelement eine eigene Spezifikation gleicher Art.

## **11.13 ... der Verantwortlichkeit**

Die Verantwortung für die Richtigkeit einer Produktespezifikation liegt immer bei deren Ersteller (Konstrukteur). Der Entscheid, mit welchem Messverfahren die Produktespezifikation gemessen werden soll, liegt beim Prüfer.

## 12 Invarianzklassen

Invarianzklasse	Uneingeschränkte Freiheitsgrade	Bild	Situations-element	Flächentypen z.B.
sphärisch	3 Rotationen um einen Punkt		Punkt	Kugel
eben	1 Rotation senkrecht zur Ebene und 2 Translationen entlang zweier Geraden in dieser Ebene		Ebene	Ebene
zylindrisch	1 Translation und 1 Rotation um eine Gerade		Gerade	Zylinder
schraubenförmig	Kombination aus 1 Translation entlang und einer Rotation um eine einhüllende Gerade		Schraubenlinie (Helix)	Schraubenfläche mit einer Involute des Kreises als Basis
rotations-symmetrisch	Rotation um eine Gerade		Gerade Punkt	Kegel Torus
prismatisch	Translation entlang einer Ebene		Gerade Ebene	pentagonales Prisma, Keil
komplex	keine		Ebene Gerade Punkt	Bezier-Fläche, die auf einer unstrukturierten Punktwolke im Raum beruht

## 13 Geometrielemente

Jedes von einem Konstrukteur gezeichnete Werkstück besteht aus verschiedenen Geometrielementen (GE):

- Punkte
- Linien
- Flächen
- Volumen

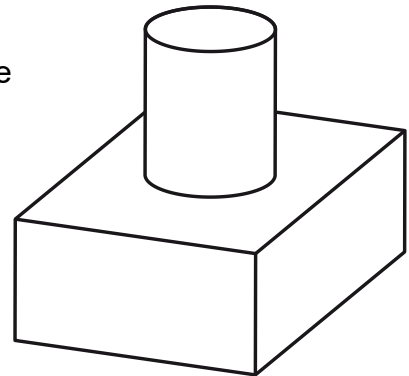
Das heisst, dass jedes Werkstück in verschiedene für die Funktion wichtige GE zerlegt werden kann.

### 13.1 Ideal

Als ideal wird eine perfekte Geometrie, die eine rein imaginäre Gestalt ist, bezeichnet. Im CAD werden die Teile ideal erstellt.

#### 13.1.1 Beispiele

- Ein Kreis sei perfekt rund
- Ein Zylinder perfekt zylindrisch
- Ein Quader habe nur rechte Winkel ( $90,0000\dots^\circ$ )
- usw.

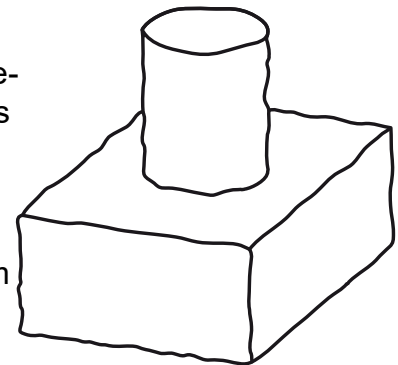


### 13.2 Nicht-ideal

Eine reale, also fehlerhafte Geometrie wird als nicht-ideal bezeichnet. Jede hergestellte Form hat unweigerlich wenigstens minimalste Abweichungen von der idealen Form.

#### 13.2.1 Beispiele

- Ein Kreis hat kleinere oder grössere Abweichungen vom idealen Durchmesser
- Die Winkel eines Quaders sind unterschiedlich
- usw.



### 13.3 Integrale/Abgeleitete GE

- In Klammern ist festgehalten, ob ein GE ideal, nicht-ideal oder beides sein kann.
- Integral (ideal oder nicht-ideal): Ist die Fläche/Linie auf der Zeichnung (vom Konstrukteur «gezeichnet»). Integrale GE sind intrinsisch = von innen (vom Werkstück) her kommend.
- Abgeleitet (ideal oder nicht-ideal): Ist immer ein Mittelpunkt, eine Mittelachse oder -ebene

#### 13.3.1 Nenn-GE

- Integrales (gewünscht ideal): Auf die Zeichnung «gezeichnet», wird als ideal gezeichnet angenommen (Wunschvorstellung des Konstrukteurs).
- Abgeleitetes (gewünscht ideal): Wunsch-GE auf der Zeichnung.

### 13.3.2 Erfasste GE

- Operator dazu ist «Erfassung».
- Integrales (nicht-ideal): Punktwolke (Erfassung durch Messcenter), die das reale GE abbildet.
- Abgeleitetes (nicht-ideal): Punktwolke (Erfassung durch Messcenter), die das reale GE abbildet.

### 13.3.3 Zugeordnete GE

- Operator dazu ist «Zuordnung».
- Integrales (ideal): Aus einem extrahiertem, nicht idealen GE ein ideales GE ableiten
- Abgeleitetes (ideal): Aus einem integralen assoziierten GE (ideal) ein GE (ideal) ableiten.

## 13.4 Weitere Elemente

### 13.4.1 Hautmodell/Oberflächenmodell

(integral und intrinsisch und nicht-ideal)

Das Hautmodell besteht nur aus den Oberflächen (GE), die beim Eintauchen in Wasser nass werden würden. Der Volumenkörper fällt weg.

### 13.4.2 Situationselement

(ideal oder nicht-ideal)

Eine Distanz oder ein Winkel zwischen zwei GE ist ein Stellungenmerkmal. Die beiden GE, auf die sich die Distanz bzw. der Winkel beziehen, sind die Situationselemente von dieser Distanz bzw. diesem Winkel. Ein Winkel definiert die Richtung eines GE, die Distanz definiert den Ort.

Situationselemente bei ideal/ideal GE-Kombinationen können sein:

- Punkte
- Ebenen
- Geraden

Bei der Distanz zu Kugeln ist das Situationselement der Mittelpunkt. Beim Winkel zu einem Zylinder (z.B. Bohrung) ist die Achse das Situationselement des Zylinders.

Zwischen zwei idealen GE kann das Stellungenmerkmal ein Winkel oder eine Distanz sein. Zwischen einem idealen und einem nicht-idealen GE gibt es nur die Distanz als Stellungenmerkmal. Die Kombination nicht-ideal/nicht-ideal ist nicht möglich.

## 14 Operatoren

### 14.1 Zerlegung

Zerlegt wird das reale Werkstück oder dessen Hautmodell in Flächen (keine Geraden oder Punkte), welche ausschliesslich nicht-ideale GE sind.

### 14.2 Erfassung

Ein nicht-ideales GE wird durch eine endliche Zahl von Punkten dargestellt.

In der Realität werden diese Punkte gemessen, z.B. taktil über ein 3D-Koordinatenmessgerät oder optisch über einen Lasermesser.

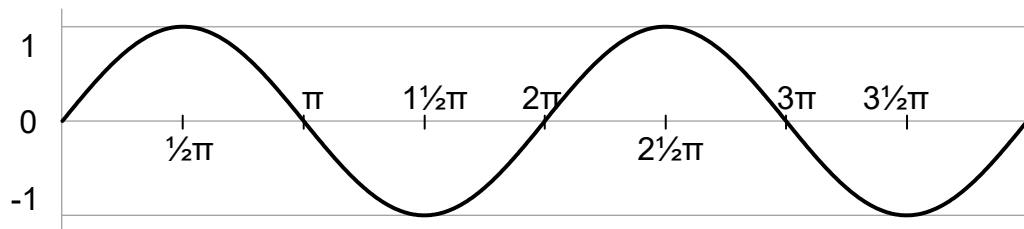
Für die Messung ist die Abwägung der nötigen Punktezahl wichtig: Weniger Punkte bedeuten schnelleres Erfassen und daher Kostenersparnisse, gehen jedoch zu Lasten der Wiedergabegenauigkeit der Form des GE. Eine übermässige Punktezahl erhöht die Messkosten und bringt meist keine nennenswerte Steigerung der Wiedergabegenauigkeit.

Die Punkte sollten möglichst gleichmässig verteilt werden, jedoch so, dass eventuelle Symmetrien nicht verschwinden/«abtauchen».

#### 14.2.1 Beispiel Kugel

Um eine Kugel zu erfassen werden mindestens drei Messpunkte benötigt. Dass diese drei Punkte die Realität nur unzureichend abbilden ist verständlich. Im Gegenzug ist eine Messung mit  $1 \times 10^6$  Punkten sehr aufwändig und in den meisten Fällen nicht nötig.

##### 14.2.1.1 Beispiel Sinuskurve



Wird nur bei  $\pi$ ,  $2\pi$ ,  $3\pi$  usw. gemessen, ist der Wert stets 0. Wird z.B. bei  $\frac{1}{2}\pi$  gemessen erhält man den Wert 1, bei  $1\frac{1}{2}\pi$  ist der Wert -1. Diese (periodisch wiederkehrenden) Werte wären nicht gemessen worden.

#### 14.2.2 Beispiel für Empfehlungen aus der Norm TGL 39096 (1.2.1985)

Es existieren keine aktuellen Normen mit vorgegebener/vorgeschlagener Messstrategie. Nachfolgend ist die Empfehlung aus der Norm TGL 39096 als Beispiel aufgeführt.

Zylinderfläche (Länge  $l$ , Durchmesser  $d$ , alles in [mm])

$l$	<50			50 – 250			>250		
	<1	1 – 3	>3	<1	1 – 3	>3	<1	1 – 3	>3
$l/d$									
Messebenen[n]	1	2	3	2	3	4	3	4	5

### 14.3 Filterung

Wenn eine bestimmte Gestaltabweichung untersucht werden soll «vergisst» man die anderen, es wird die gewollte Gestaltabweichung herausgefiltert.

Herausgefiltert werden Gestaltabweichungen...

- 1. Ordnung Form (Geradheit, Ebenheit, usw.)
- 2. Ordnung Welligkeit (Wellen)
- 3. bis 5. Ordnung Rauigkeit

Das Filtern ist partiell möglich, d.h. man kann z.B. nur die Welligkeit herausfiltern. Eine Methode zum Filtern ist z.B. der Gaussfilter.

Die Rauigkeit wird in einem separaten Script behandelt, deswegen wird hier die 3. bis 5. Ordnung zu einer Gruppe zusammengefasst.

### 14.4 Zuordnung

- Nicht-ideale GE werden durch ideale GE modelliert. Eine reale, nicht-ideale Fläche wird durch eine ideale Fläche «ersetzt».

Die Erstellung eines zugeordneten Elements kann durch vielfältige Kriterien erfolgen, je nach den vorhandenen Bedürfnissen. Durch diese Kriterien werden die Eigenschaften des entstehenden idealen GE bereits eingeeengt oder festgelegt. Solche Einschränkungen anhand von Kriterien können von folgenden Elementen abgeleitet werden bzw. sich auf sie beziehen:

- Integrale, nicht-ideale Elemente
- Situationselemente zwischen idealen GE (z.B. entsteht zwischen zwei Flächen eine Mittelfläche)
- Situationselemente zwischen idealen und nicht-idealen GE

Beispiele für solche Kriterien sind die Modifikatoren  $\textcircled{M}$  (Maximal-Material-Bedingung) oder [ACS] (jeder beliebige Querschnitt).

Es gibt folgende Kriterien:

- Gauß – kleinste Summe der Abweichungsquadrate
- Tschebyschew – maximale Abweichung minimiert
- Maximaler eingeschriebener Kreis oder Zylinder
- Minimaler umschriebener Kreis oder Zylinder

### 14.5 Zusammenfassung

Mehrere GE mit einer Funktion, die diese zusammen bilden, werden zur gemeinsamen Betrachtung zusammengefasst. Ideale und nicht-ideale GE dürfen nicht gemischt zusammengefasst werden.

### 14.6 Erzeugung

Ein GE wird aus mehreren GE erzeugt: Z.B. entsteht eine Schnittgerade aus zwei Ebenen oder ein Punkt aus dem Schnittpunkt einer Ebene und einer Geraden.

## **14.7   Rekonstruktion**

Eine Rekonstruktion macht einen Vergleich zwischen einem extrahierten GE und einem idealen GE möglich.

## 15 Berechnung nach Gauß

Immer wieder sind «Mittelwerte» von Massen gefragt. Die am meisten angewandte Berechnungsart ist die Berechnung nach der Methode der kleinsten Quadrate. Diese soll hier kurz vorgestellt werden. Es geht dabei nicht um eine volle mathematische Herleitung, sondern um ein allgemeines Verständnis.

### 15.1 Entdecker

Die Grundlagen der Berechnungsmethode der kleinsten Quadrate wurden von Carl Friedrich Gauß im Alter von 18 Jahren entwickelt. Im Jahre 1801 errechnete der 24-jährige Gauß mit Hilfe dieser Methode die elliptische Bahn des damals unbekanntes Zwergplaneten Ceres. Nach einem halben Jahr fanden Astronomen den Zwergplanet an der von Gauß vorausgesagten Position. Diese Entdeckung zeigte die Richtigkeit der von Gauß angewandten Methode.

### 15.2 Formel

$x_k$	Kreismittelpunkt	$y_k$	Kreismittelpunkt
$x_i$	Messpunkt	$y_i$	Messpunkt
R	Radius des Kreises	d	Abweichung zum Kreis

#### 15.2.1 Kreisgleichung:

$$(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2 = R^2$$

#### 15.2.2 Grundgleichung für die Methode der kleinsten Quadrate

$$d = \sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2} - R$$

$$(1) d^2 = \sum_{i=0}^n [\sqrt{(x_i - x_k)^2 + (y_i - y_k)^2} - R]^2$$

#### 15.2.3 Allgemeines Gleichungssystem

$$\left\| \begin{array}{l} \frac{\partial}{\partial x_k} (1) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial y_k} (1) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial R} (1) = 0 \end{array} \right\|$$



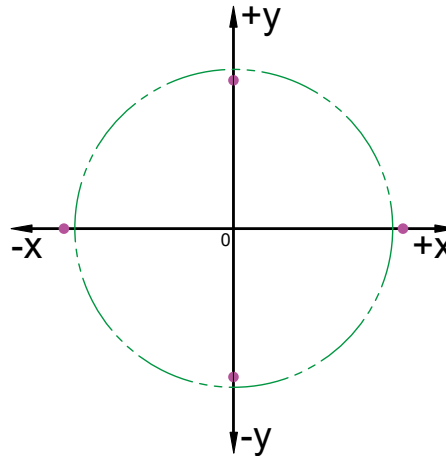
### 15.3 Messpunkte

Als erstes müssen durch ein geeignetes Messsystem die nötigen Messpunkte ermittelt werden. Diese sind in einer Messwerttabelle zu erfassen (wird meist durch das Messsystem ausgeführt).

### 15.4 Berechnungsbeispiel

#### 15.4.1 Messpunkte

	1	2	3	4
$x_i$	1.2	-1.2	0	0
$y_i$	0	0	0.8	-0.8
$n$	0	1	2	3



#### 15.4.2 Berechnung

Für den einfachsten Fall  $x_k=0$ ;  $y_k=0$

$$R = \frac{1}{n+1} \sum_{i=0}^n \sqrt{x_i^2 + y_i^2}$$

$$R = \frac{1}{3+1} \left[ \sqrt{1.2^2 + 0^2} + \sqrt{(-1.2)^2 + 0^2} + \sqrt{0^2 + 0.8^2} + \sqrt{0^2 + (-0.8)^2} \right]$$

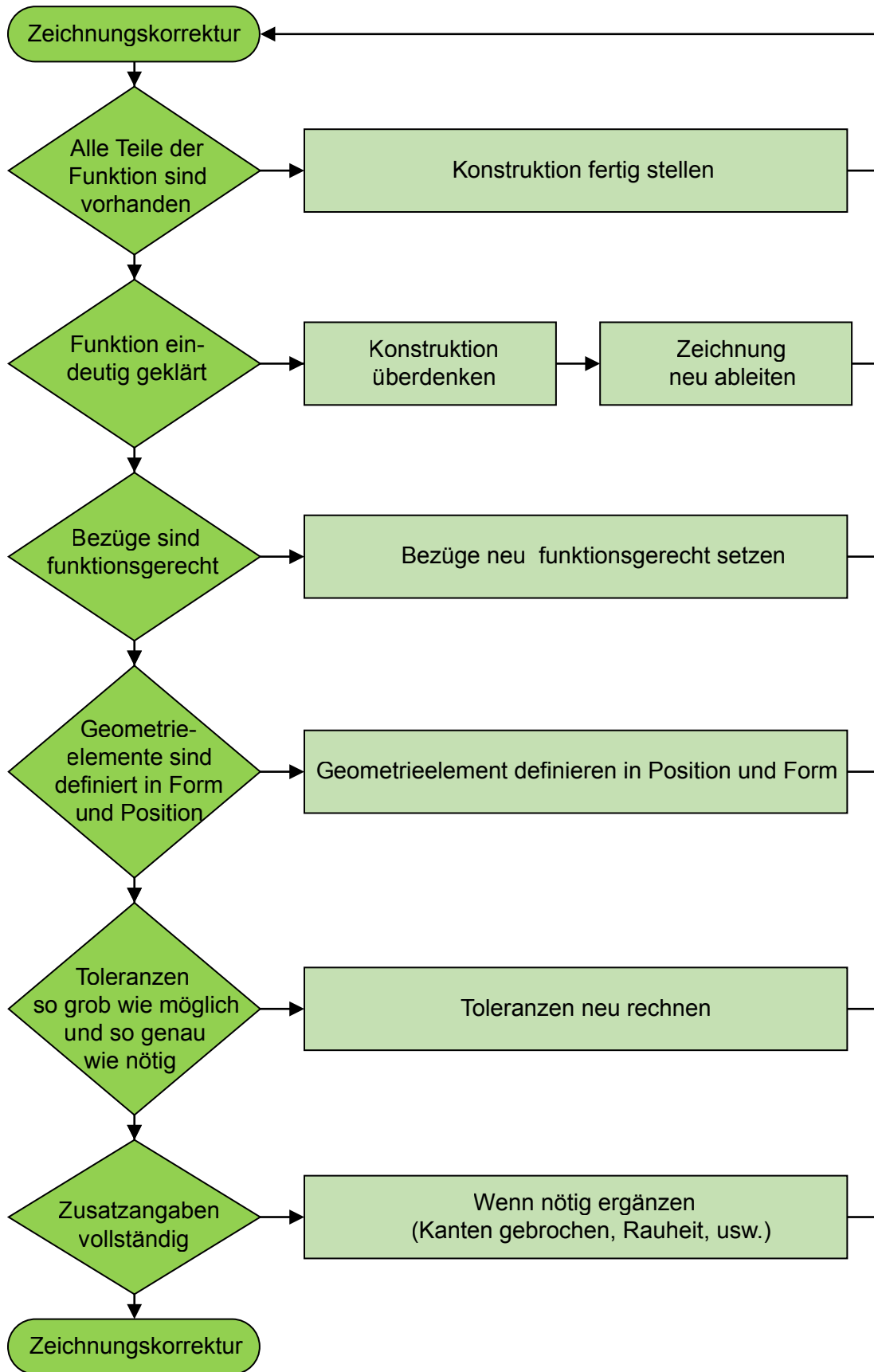
$$R = \frac{1}{4} [1.2 + 1.2 + 0.8 + 0.8] = \frac{4}{4} = 1$$

Der berechnete Kreis hat einen Radius von 1 mm.

#### 15.4.3 Merksatz

In eine Menge von Punkten wird ein ideales Element so hineingelegt, dass die verbleibenden quadratischen Abweichungen zu den Punkten, die nicht auf dem idealen Element liegen, minimiert werden.

# 16 Zeichnungskontrolle



# 17 Notizen

