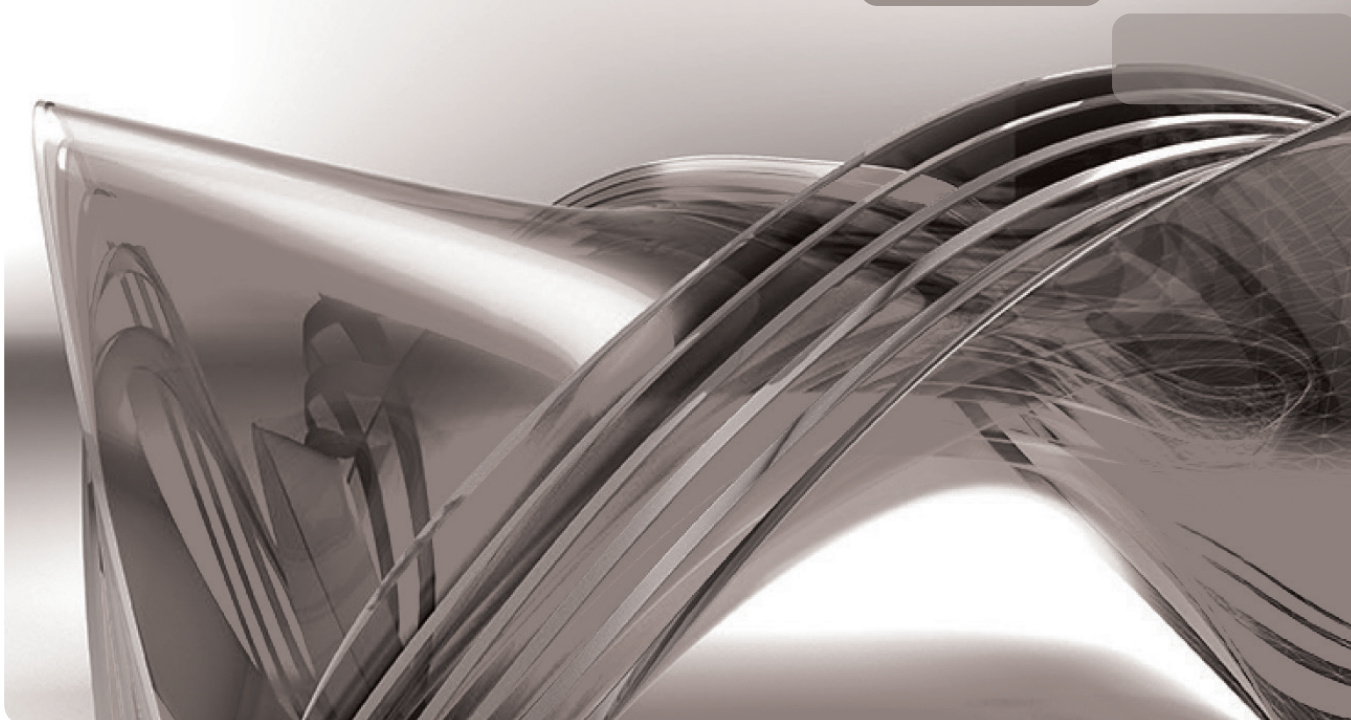
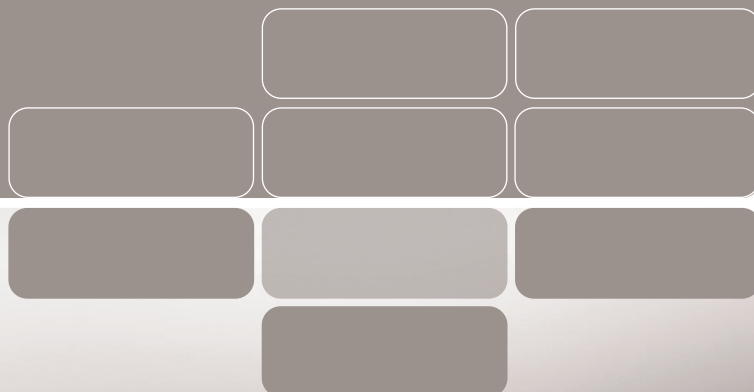


# Geometrische Tolerierung – Grundlagen



Fachmodul zu Zeichnungstechnik

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b>	<b>3</b>
1.1 Notwendigkeit für geometrische Toleranzen	4
1.2 Grundsatz des Geometrieelements und Grundsatz der Unabhängigkeit	5
1.3 Eindeutige und mehrdeutige Technische Produktdokumentation	7
1.4 Notwendigkeit der Spezifikation von Form-, Richtungs-, Orts- und Lauftoleranzen	9
1.5 Ursachen für geometrische Abweichungen	10
1.6 Tolerierungsstrategien	11
1.7 Beispiel einer Technischen Produktdokumentation auf Basis von ISO-GPS-Normen	12
<b>2. Geometrische Merkmale</b>	<b>13</b>
2.1 Übersicht der Symbolik für geometrische Merkmale nach ISO 1101	14
<b>3. Begriffe</b>	<b>17</b>
3.1 Oberflächenmodelle	18
3.2 Integrale und abgeleitete Geometrieelemente	19
3.3 Begriffe für geometrische Elemente	20
3.4 Grössenmasse und Nicht-Grössenmasse	21
3.5 Theoretisch exakte Masse (TED)	22
<b>4. Bezüge</b>	<b>27</b>
4.1 Übersicht der Bezugsarten	28
4.2 Rolle der Bezüge	28
4.3 Richtige Festlegung von Bezügen	28
4.4 Grundlagen der Bezugsbildung am Beispiel eines Einzelbezuges	30
4.5 Einzelbezüge, gemeinsame Bezüge und Bezugssysteme	31
4.6 Unbrauchbare Bezüge	45
4.7 Bezugselement-Indikator (Bezugssymbol)	47
4.8 Kennzeichnung von Bezugselementen	48
4.9 Angabe von Bezügen im Toleranzindikator	51
4.10 Zeichnungvereinfachungen	52
4.11 Situationselemente	56
4.12 Bezugsstellen	58
<b>5. Angabe einer geometrischen Spezifikation</b>	<b>63</b>
5.1 Bestandteile einer geometrischen Spezifikationsangabe	64
5.2 Toleranzindikator	65
5.3 Indikatoren für Ebenen und Geometrieelemente	67
5.4 Angrenzende Angaben	67
5.5 Kennzeichnung von tolerierten Geometrieelementen	68
5.6 Begrenzter Bereich eines tolerierten Geometrieelementes	70
<b>6. Indikatoren für Ebenen- und Geometrieelemente</b>	<b>71</b>
6.1 Notwendigkeit der Spezifikation von Indikatoren für Ebenen und Geometrieelemente	72
6.2 Schnittebenen-Indikator	72
6.3 Orientierungsebenen-Indikator	78
6.4 Richtungselemente	82
6.5 Kollektionsebenen	88
<b>7. Modifikatoren für Toleranzzone, Geometrieelement und Merkmal</b>	<b>91</b>
7.1 Modifikatoren für die Kombination von Toleranzzonen	92
7.2 Modifikatoren für tolerierte Geometrieelemente	98
7.3 Vergleich der Auswirkung der Modifikatoren «SZ, CZ und UF»	102
7.4 Modifikatoren für assoziierte tolerierte Geometrieelemente	105
7.5 Modifikatoren für abgeleitete tolerierte Geometrieelemente	109
<b>8. Ergänzende Angaben</b>	<b>113</b>
8.1 Angaben eines begrenzten Bereichs eines tolerierten Geometrieelements	114

## Inhaltsverzeichnis / Zeichenerklärung

---

<b>9. Geometrische Spezifikationen</b>	<b>119</b>
9.1 Notwendigkeit geometrischer Spezifikationen	120
9.2 Geometrische Spezifikation anstelle mehrdeutiger «Plus-Minus-Tolerierung» für Nicht-Grössenmasselemente	120
9.3 Übersicht der geometrischen Merkmale nach ISO 1101	123
9.4 Situationselemente und Freiheitsgrade	124
9.5 Formtoleranzen bzw. Formspezifikationen	126
9.6 Richtungstoleranzen bzw. Richtungsspezifikation	128
9.7 Ortstoleranzen	130
9.8 Toleranzzonen	132
9.9 Beschreibung der geometrischen Merkmale	133

### Zeichenerklärung



Wichtige Hinweise



Information

# 1. Einleitung





## 1. Einleitung

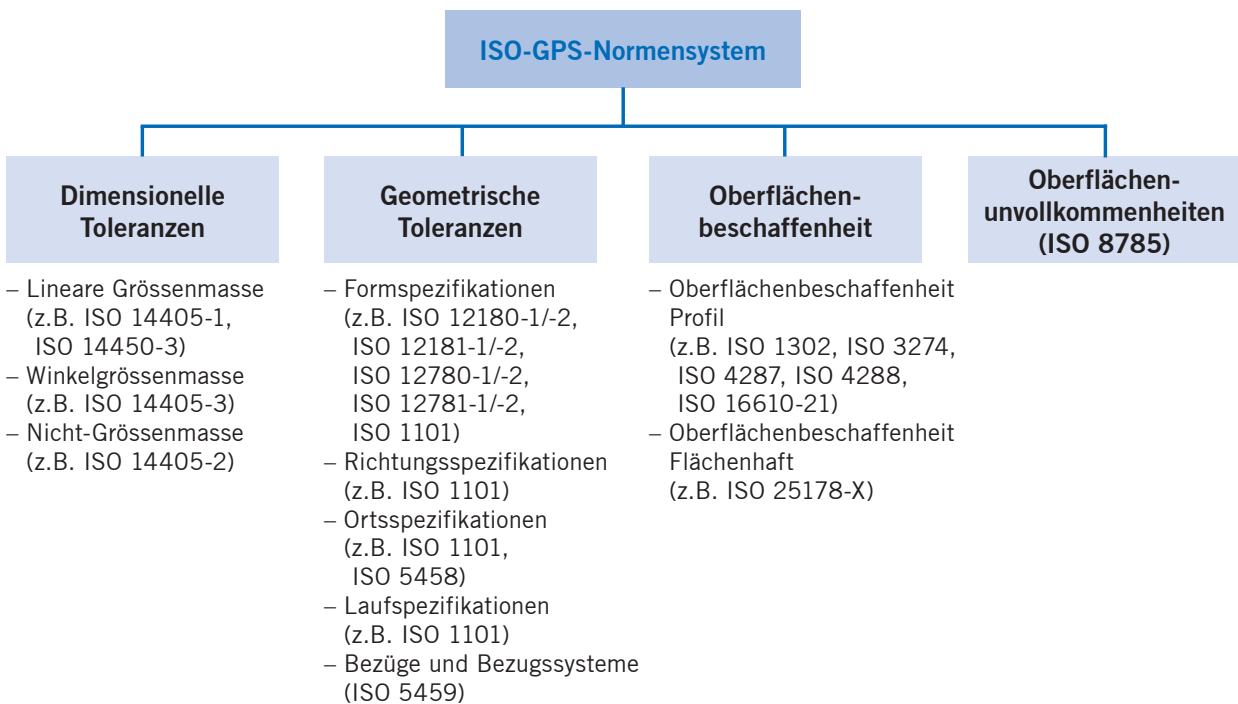
### 1.1 Notwendigkeit für geometrische Toleranzen

Steigende Anforderungen an die Qualität und Zuverlässigkeit technischer Produkte sowie zunehmende Anforderungen an die Fertigungsprozesse, hat bereits mit Beginn der 1960er-Jahre zu der Erkenntnis geführt, dass alleine mit Hilfe von Masstoleranzen eine Einschränkung der Geometrie eines Bauteils und damit die Sicherstellung von Funktion und Austauschbarkeit nicht möglich ist. Eine Technische Produktdokumentation muss heute ein Bauteil eindeutig und vollständig beschreiben und darf keine Interpretationsspielräume für Produktion und Qualitätssicherung, Kunde oder Lieferant offen lassen. Dies ist nur mit Hilfe von **geometrischen Toleranzen** (mitunter auch noch als «Form- und Lagetoleranzen» bezeichnet) möglich.



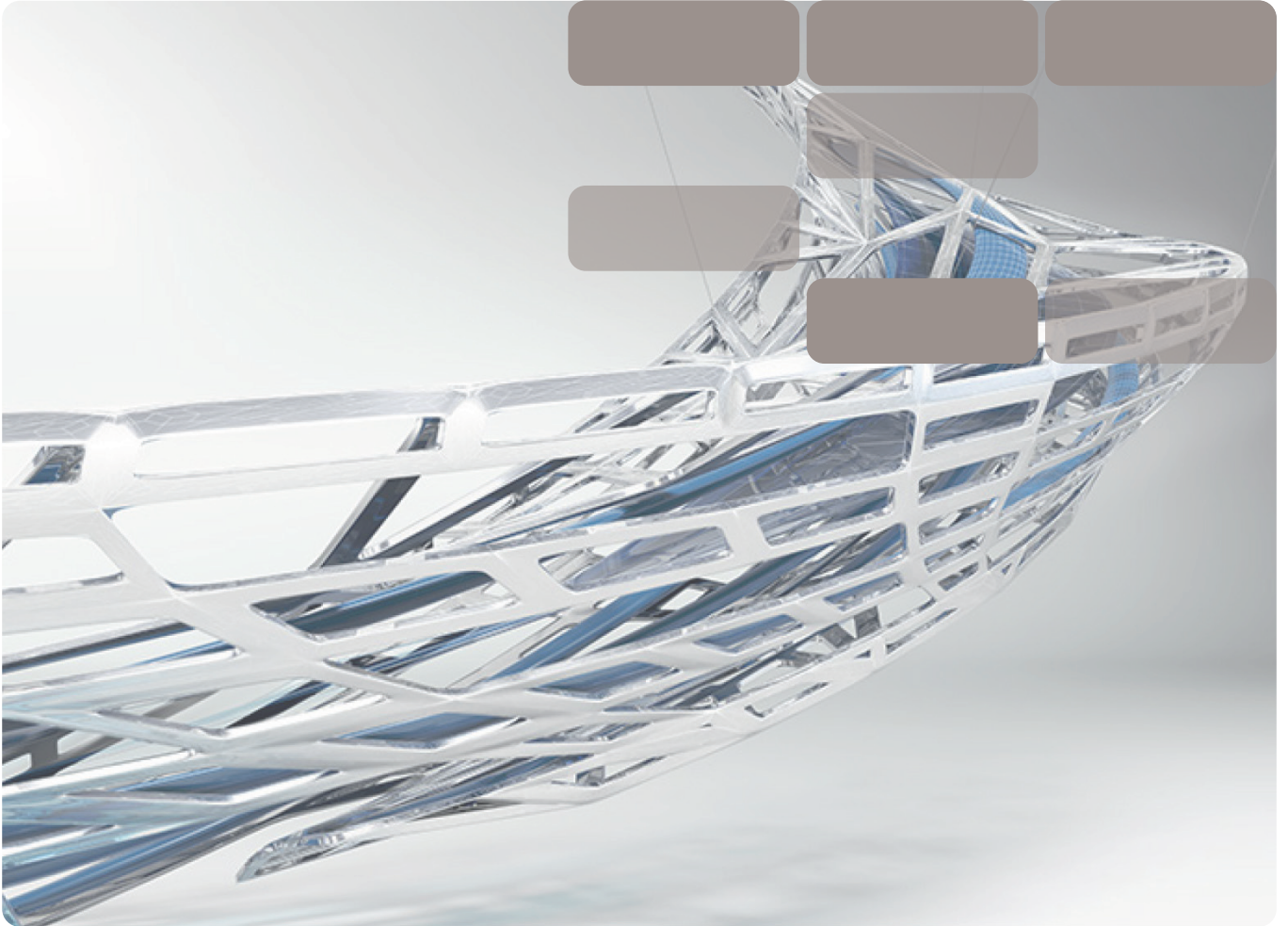
**Ohne geometrische Toleranzen kann ein Produkt weder vollständig noch eindeutig beschrieben werden. Die zugehörigen Technischen Produktdokumentationen (TPD) sind ohne geometrische Toleranzen weitgehend unbrauchbar und können nicht als Grundlage für eine arbeitsteilige Produktion und Qualitätssicherung dienen.**

Die internationalen technischen Regeln und «Werkzeuge» für die Spezifikation und Verifikation von geometrischen Toleranzen werden überwiegend in Normen der **ISO-GPS-Normenreihe** beschrieben, insbesondere ISO 1101, ISO 1660, ISO 2692, ISO 5458, ISO 5459, u.v.m. und sind Teil dieses Normensystems.



In den nachfolgenden Kapiteln werden die Bedeutung und die richtige Anwendung der wichtigsten ISO-GPS-Regeln und ISO-GPS-Spezifikationselemente der geometrischen Tolerierung beschrieben (genormte Symbole, Spezifikations-Modifikationssymbole und GPS-Kurzbezeichnungen).

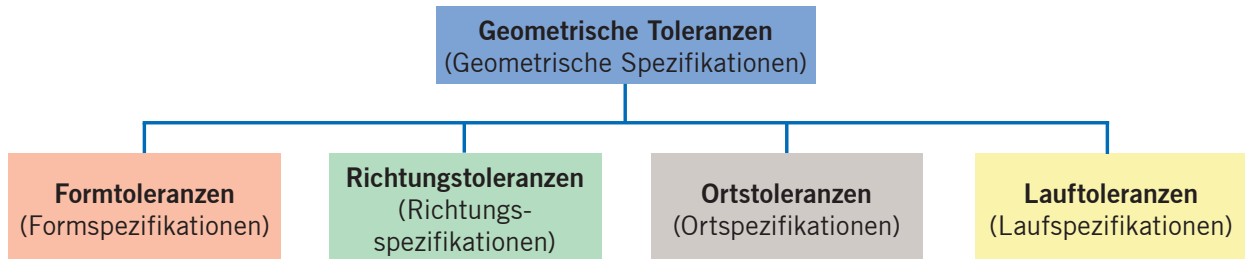
## 2. Geometrische Merkmale



## 2. Geometrische Merkmale

### 2.1 Übersicht der Symbolik für geometrische Merkmale nach ISO 1101

ISO 1101 unterscheidet derzeit zwischen 14 geometrischen Merkmalen, die vier Gruppen zugeordnet werden können: Form-, Richtungs-, Orts- und Laufspezifikationen. Die entsprechenden Toleranzen werden als **Form-, Richtungs-, Orts- und Lauf-toleranzen** bezeichnet.



#### Übersicht der geometrische Merkmale nach ISO 1101

Spezifikation	Geometrisches Merkmal	Symbol	Bezug erforderlich	TED-Mass <sup>1) 2)</sup> erforderlich	Kapitel <sup>7)</sup>	Seite <sup>7)</sup>
Form	Geradheit	—	nein	nein	9.9.1	133
	Ebenheit		nein	nein	9.9.2	135
	Rundheit	○	nein	nein	9.9.3	137
	Zylindrizität		nein	nein	9.9.4	140
	Linienprofil		nein	ja <sup>4)</sup>	9.9.5	141
	Flächenprofil		nein	ja <sup>4)</sup>	9.9.6	142
Richtung	Parallelität	//	ja	nein	9.9.7	147
	Rechtwinkligkeit	⊥	ja	nein	9.9.8	154
	Neigung	∠	ja	ja	9.9.9	158
	Linienprofil		ja	ja	9.9.5	141
	Flächenprofil		ja	ja	9.9.6	142
Ort	Position		ja	ja	9.9.10	161
			nein <sup>3)</sup>		9.9.10.2	167
	Konzentrizität (für Mittelpunkt)		ja	nein	9.9.11	174
	Koaxialität (für Mittellinie)		ja	nein	9.9.11	175
	Symmetrie		ja	nein	9.9.12	178
	Linienprofil		ja	ja	9.9.5	180
Flächenprofil		ja	ja	9.9.6	181	
Lauf	Rundlauf <sup>5)</sup>		ja	nein	9.9.13	182
	Gesamtrundlauf <sup>6)</sup>		ja	nein	9.9.14	187

1) TED = Theoretisch exaktes Mass (theoretically exact dimension)

2) TED-Masse müssen nicht zwingend auf der Technischen Produktdokumentation visualisiert werden. Sie können auch in einem CAD-Datensatz enthalten sein bzw. dort spezifiziert werden.

3) Nur zulässig mit CZ-, CZR- oder SIM-Modifikator

4) Zur Beschreibung der Nenngeometrie

5) Axial, radial, in spezifizierter Richtung, in beliebiger Richtung

6) Axial, radial

7) Die Kapitel- und Seitennummern beziehen sich auf dieses Fachmodul.

### 3. Begriffe



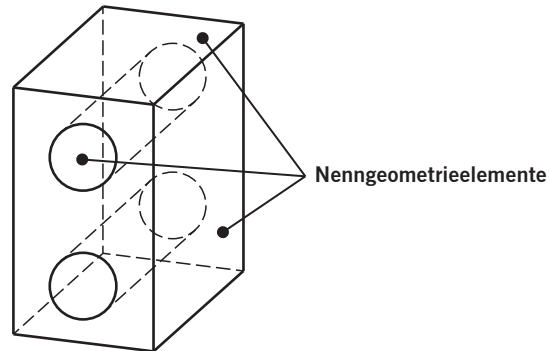
### 3. Begriffe

#### 3.1 Oberflächenmodelle

Für die Festlegung von Operatoren für die Spezifikation sowie für die Verifikation werden gemäss ISO 22432 und ISO 17450-1 verschiedene Oberflächenmodelle unterschieden.

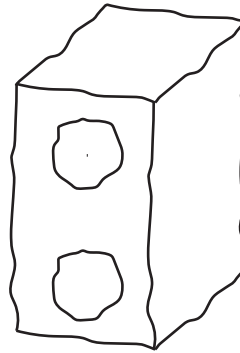
##### 3.1.1 Nennmodell

Das Nennmodell hat eine ideale Gestalt und stellt die Konstruktionsabsicht dar. Es ist in der technischen Produktdokumentation (z.B. CAD-Datensatz oder «Papierzeichnung») festgelegt. Geometrieelemente, aus denen sich das Nennmodell zusammensetzt, werden als **Nenngeometrieelemente** bezeichnet.



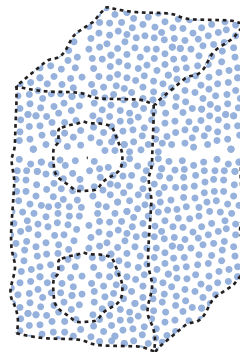
##### 3.1.2 Nicht-ideales Oberflächenmodell (Hautmodell):

Das nicht-ideale Oberflächenmodell oder Hautmodell simuliert die zum Nennmodell zu erwartenden Abweichungen (z.B. durch Fertigungseinflüsse). Es ist das Modell der physikalischen Grenzfläche des gefertigten Werkstücks zu seiner Umgebung.



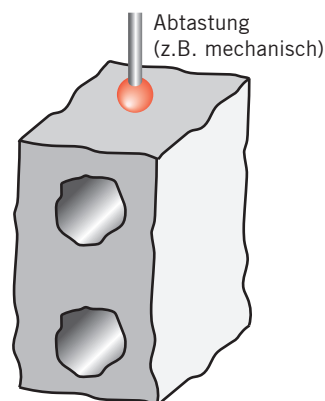
##### 3.1.3 Diskretes Oberflächenmodell:

Das diskrete Oberflächenmodell ist nicht ideal und wird durch Erfassung einer endlichen Anzahl an Messpunkten aus dem nicht-idealen Oberflächenmodell (Hautmodell) ermittelt.



##### 3.1.4 Abgetastetes Oberflächenmodell:

Ein abgetastetes Oberflächenmodell (nicht ideal) wird durch mechanische oder physikalische Erfassung einer endlichen Anzahl von Messpunkten aus dem realen Werkstück abgeleitet. Es dient in der (Koordinaten-) Messtechnik zur Festlegung des Verifikationsoperators.

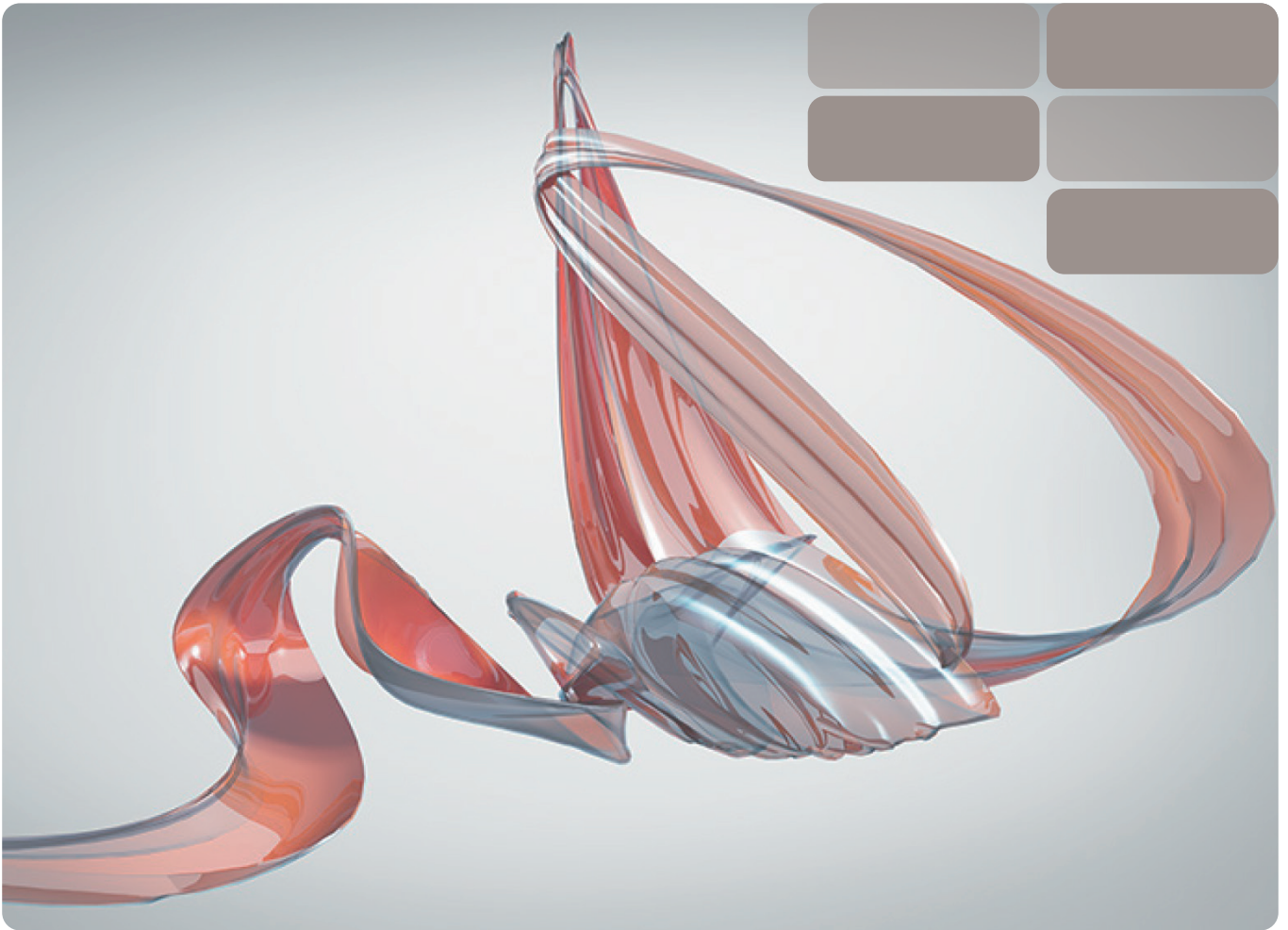


Wirkliches Werkstück

Abgetastetes Oberflächenmodell



## 4. Bezüge





## 4. Bezüge

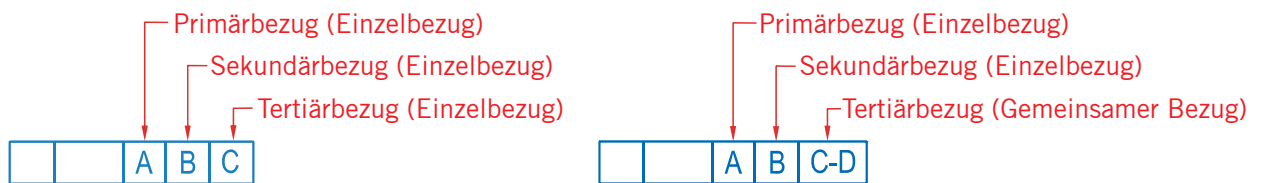
### 4.5.3 Bezugssystem

Ein Bezugssystem wird aus zwei oder drei Bezügen aufgebaut. Jeder dieser Bezüge kann ein Einzelbezug oder ein gemeinsamer Bezug sein.

#### 4.5.3.1 Spezifikation eines Bezugssystems

Der **primäre Bezug** (im nachfolgenden Beispiel: A) wird im dritten Feld des Toleranzindikators, der sekundäre Bezug (im Beispiel: B) wird in das vierte Feld und, falls vorhanden, der tertiäre Bezug (im Beispiel: C bzw. C-D) wird in das fünfte Feld des Toleranzindikators eingetragen.

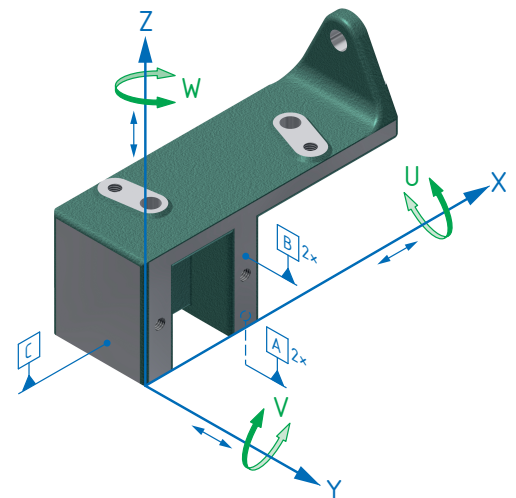
Beispiele:



Jeder Körper hat im Raum sechs Freiheitsgrade. Es kann sich in drei aufeinander senkrecht stehenden Koordinatenrichtungen verschieben (drei translatorische Freiheitsgrade) und sich um drei entsprechende Achsen drehen (drei rotatorische Freiheitsgrade). Ein Bezugssystem ist dann vollständig, wenn alle sechs Freiheitsgrade des Werkstückes durch das Bezugssystem blockiert werden. Die Lage des Werkstückes im Raum ist dann eindeutig festgelegt.

Beispiel:

Bei Auflage auf den Primärbezug (A) bleiben noch drei Freiheitsgrade uneingeschränkt (zwei translatorische und ein rotatorischer Freiheitsgrad). Wird das Werkstück anschließend am Sekundärbezug (B) ausgerichtet, dann bleibt nur noch ein translatorischer Freiheitsgrad uneingeschränkt. Diesen letzten Freiheitsgrad blockiert der Tertiärbezug (C).



#### 4.5.3.2 Regeln für die Festlegung assoziierter Geometrielemente eines Bezugssystems

Bei der Bildung eines Bezugssystems gelten nach derzeitiger Fassung von ISO 5459 (2011) die folgenden Regeln:

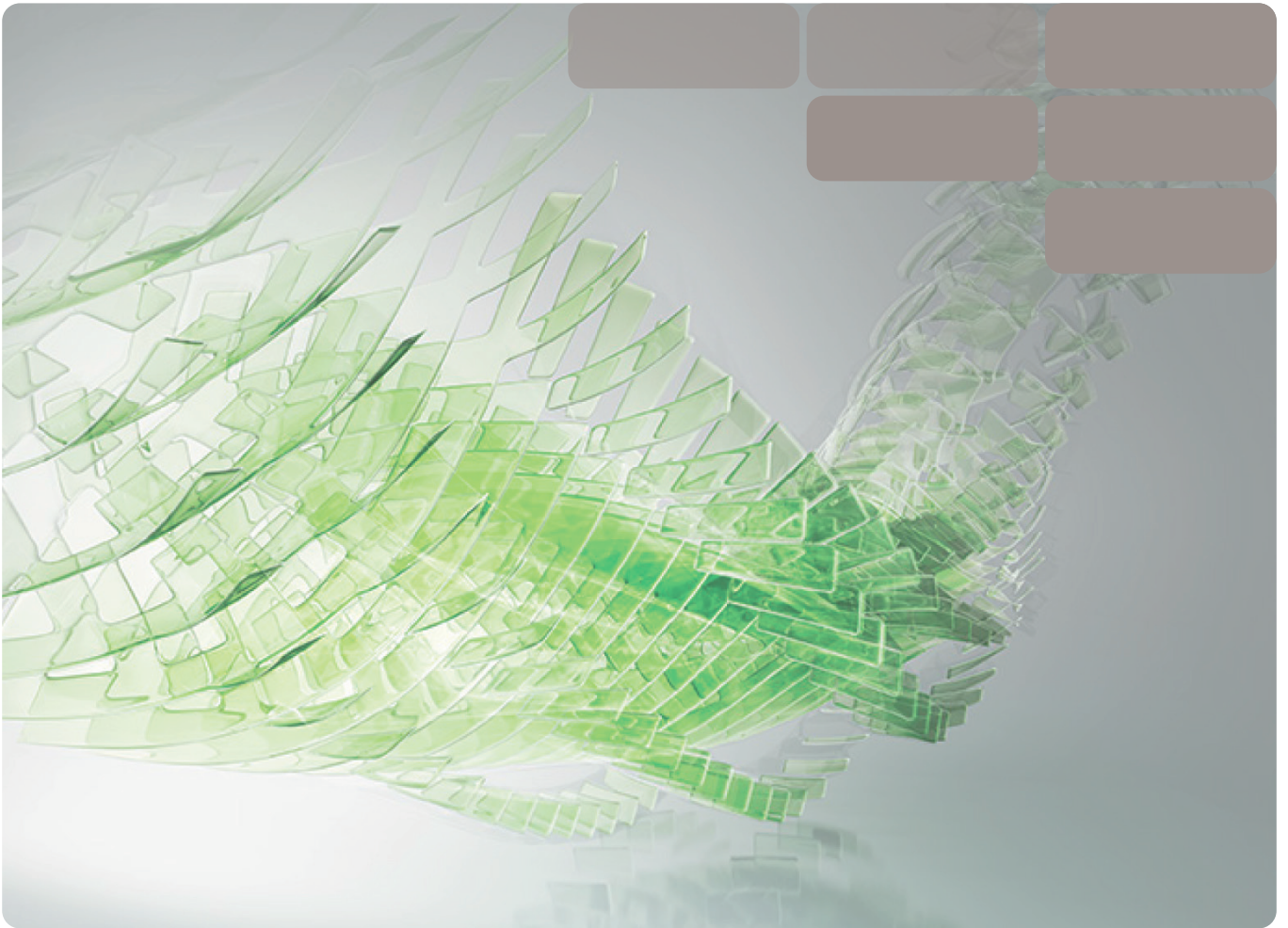
- Die theoretisch exakten Flächen werden **nacheinander** an ihre zugehörigen (nicht idealen) Bezugselemente angepasst.
- Die Anpassung der theoretisch exakten Flächen eines Bezugssystems entsprechen der standardmässigen Anpassung für Einzelbezüge.
- Zwischen den Situationselementen der assoziierten Flächen müssen **nur Nebenbedingungen der Richtung** eingehalten werden.



Ein sekundärer Bezug darf nur festgelegt werden, falls dadurch weitere (nicht-redundante) Freiheitsgrade des tolerierten Nennelementes bzw. der Toleranzzone eingeschränkt werden können als durch den primären Bezug bereits eingeschränkt sind.

Ein tertiärer Bezug darf nur festgelegt werden, falls dadurch weitere (nicht-redundante) Freiheitsgrade des tolerierten Nennelementes bzw. der Toleranzzone eingeschränkt werden können als durch den primären und den sekundären Bezug bereits eingeschränkt sind.

## 5. Angabe einer geometrischen Spezifikation

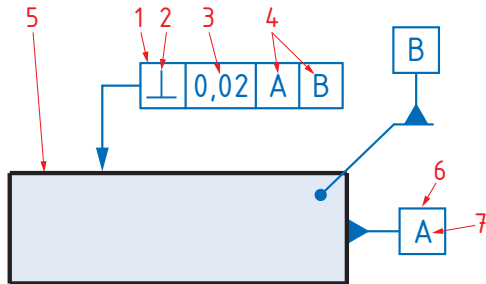


## 5. Angabe einer geometrischen Spezifikation

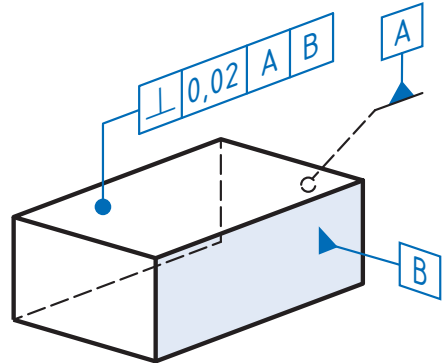
### 5.2 Toleranzindikator

#### 5.2.1 Aufbau eines Toleranzindikators

2D-Spezifikation



3D-Spezifikation



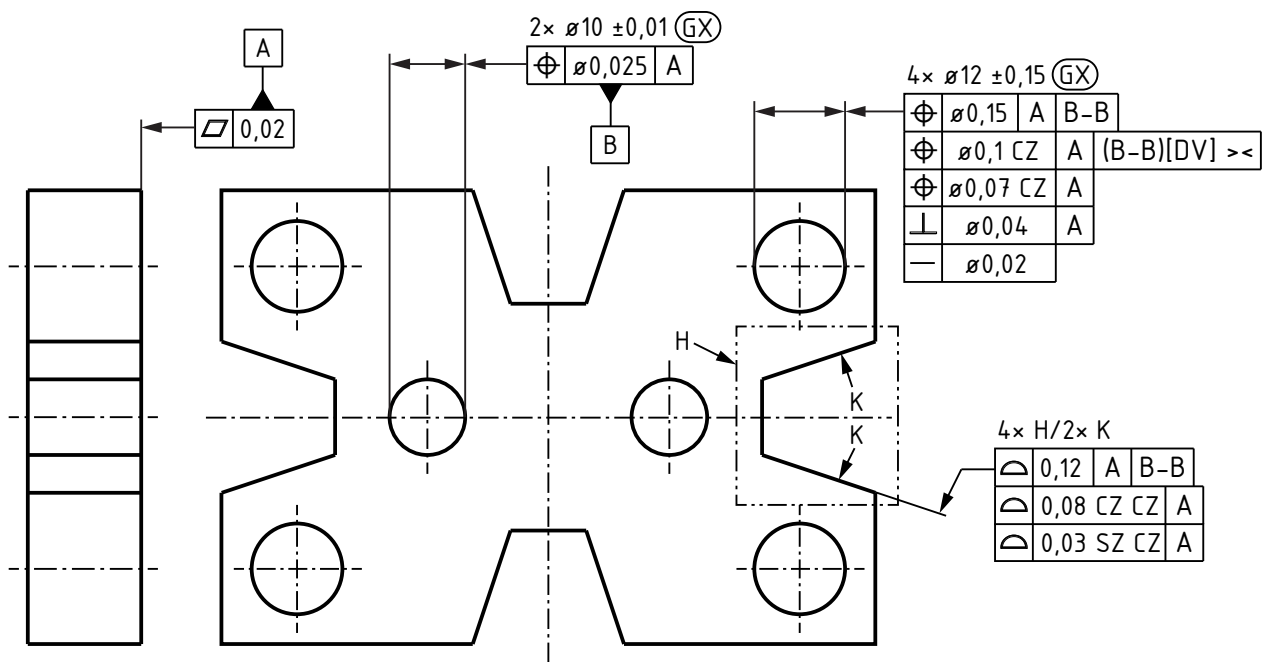
#### Legende

- |  |  |
|--|--|
| 1) Toleranzindikator                                   | 4) Bezugsfeld                                |
| 2) Symbolfeld  | 5) Toleriertes Geometrieelement              |
| 3) Feld für Toleranzzone, Geometrieelement und Merkmal | 6) Bezugsymbol-Indikator (Bezugssymbol)      |
|  | 7) Bezugsymbol-Kennzeichen (Bezugsbuchstabe) |

#### Ausführung des Toleranzindikators

- rechteckiger Rahmen
- Ausführung als schmale Volllinie (Typ 01.1 nach ISO 128-24)
- mindestens 2, höchstens 5 Felder
- von unten oder rechts lesbar (Lesbarkeit von unten sollte bevorzugt werden)

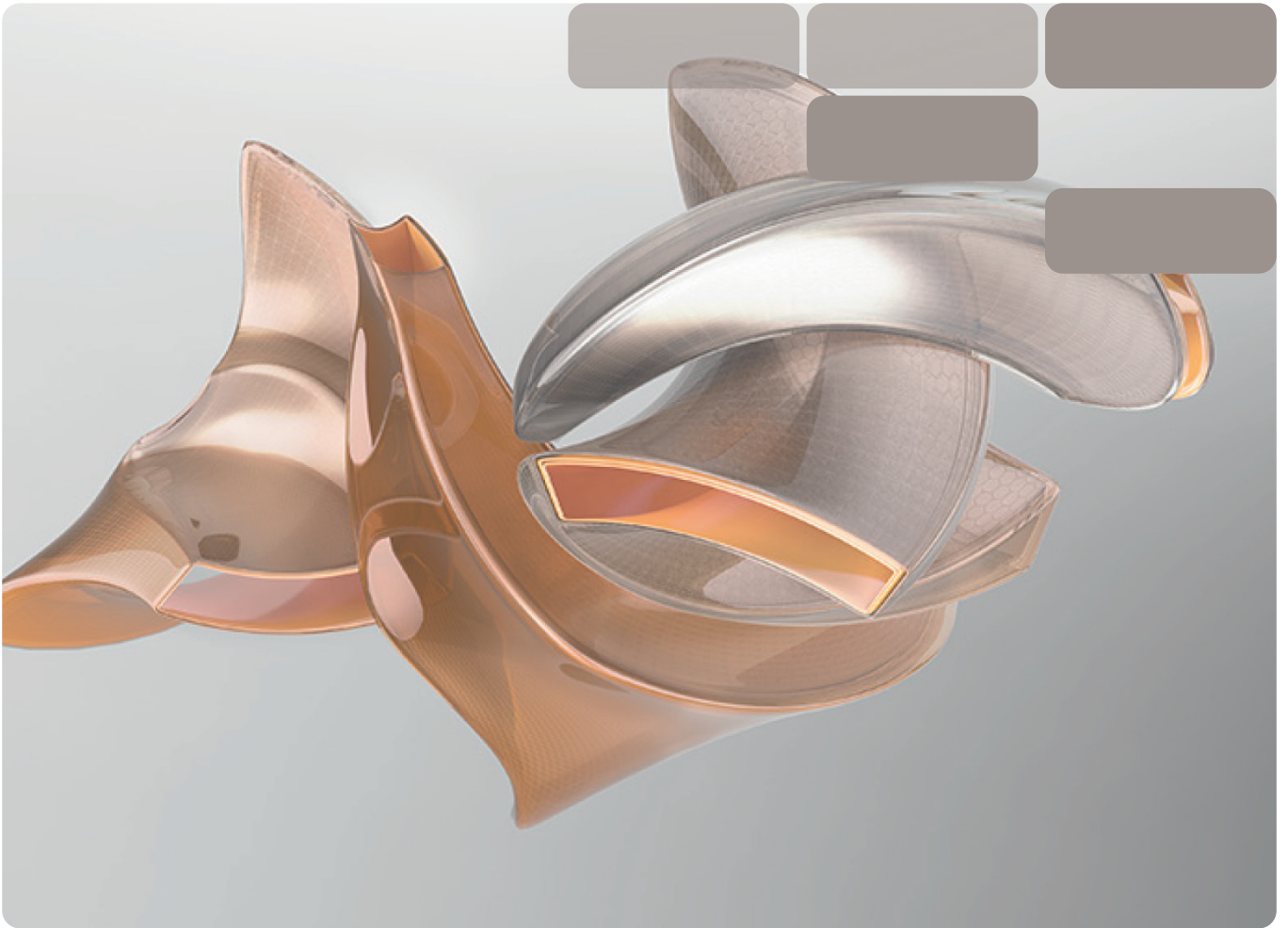
Falls für ein Geometrieelement zwei oder mehrere geometrische Spezifikationen erforderlich sind, dürfen die Toleranzindikatoren untereinander angeordnet werden (gestapelte Toleranzangabe). Die Toleranzindikatoren sollten dabei entsprechend der Weiten der Toleranzzonen absteigend von oben nach unten angeordnet werden.



Neengeometrie aus CAD-Datensatz  
ABC 572 127.DXF

$\ominus$  0,25 A B-B





## 6. Indikatoren für Ebenen- und Geometrieelemente



## 6. Indikatoren für Ebenen- und Geometrielemente

### 6.1 Notwendigkeit der Spezifikation von Indikatoren für Ebenen und Geometrielemente

Künftige Generationen einer Messsoftware sollen in der Lage sein, die im CAD-Datensatz implizierten digitalen Toleranzinformationen zu extrahieren. Somit sind alle Tolerierungsregeln, deren Deutung an eine «Zeichen- oder Projektionsebene» (wie sie beispielsweise in «2D-Spezifikationen» existiert) gebunden ist, nicht mehr anwendbar. Mit der Neufassung von ISO 1101:2017 existiert keine «Zeichen- oder Projektionsebene» mehr. Für geometrische Spezifikationen, deren Deutung an eine Richtung oder eine Ebene gebunden ist, müssen gegebenenfalls zusätzliche **Indikatoren für Ebenen und Geometrielemente** spezifiziert werden. Hierfür stehen zur Verfügung:


-  Schnittebenen-Indikator
-  Orientierungsebenen-Indikator
-  Richtungselement-Indikator
-  Kollektionsebenen-Indikator

### 6.2 Schnittebenen-Indikator

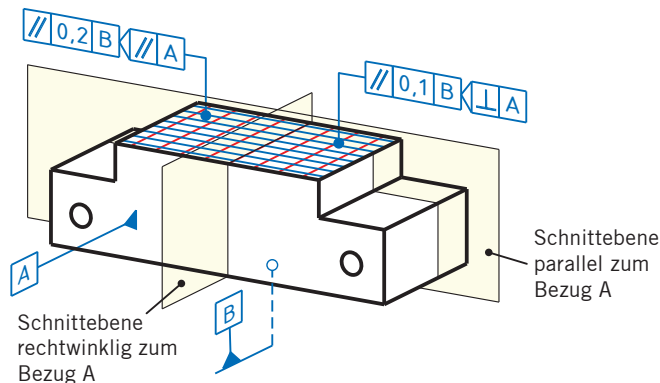
#### 6.2.1 Notwendigkeit der Spezifikation von Schnittebenen und Ausnahmen

Schnittebenen werden verwendet, um die Richtung von Linienanforderungen zu definieren, wie z.B. die Geradheit einer Linie in einer Ebene oder die Festlegung von Linienprofilspezifikationen an einem prismatischen Bauteil.

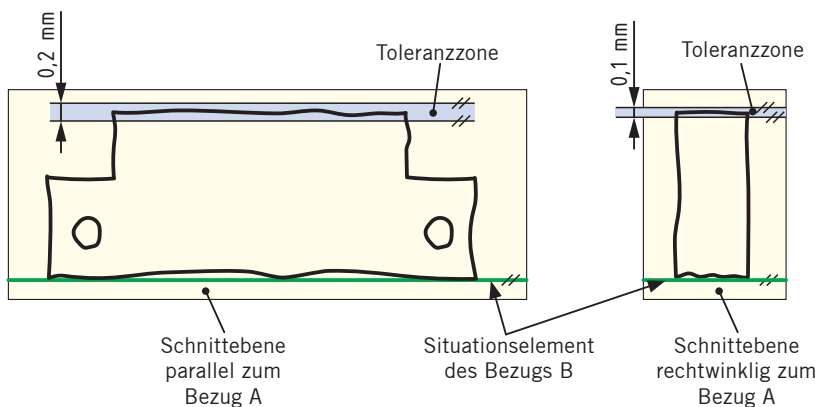
Schnittebenen müssen immer dann spezifiziert werden, wenn das tolerierte Geometrielement eine Linie (2D) auf einem integralen Geometrieelement (3D) der in Kapitel 6.2.2 genannten Invarianzklasse ist.

 **Mit der Angabe einer Schnittebene kann die Richtung einer Linie auf einer Fläche des Geometrieelementes festgelegt werden. Hierdurch wird dann die Auswerterichtung, unabhängig von einer Zeichnungs- oder Projektionsebene, definiert.**

Beispiel:

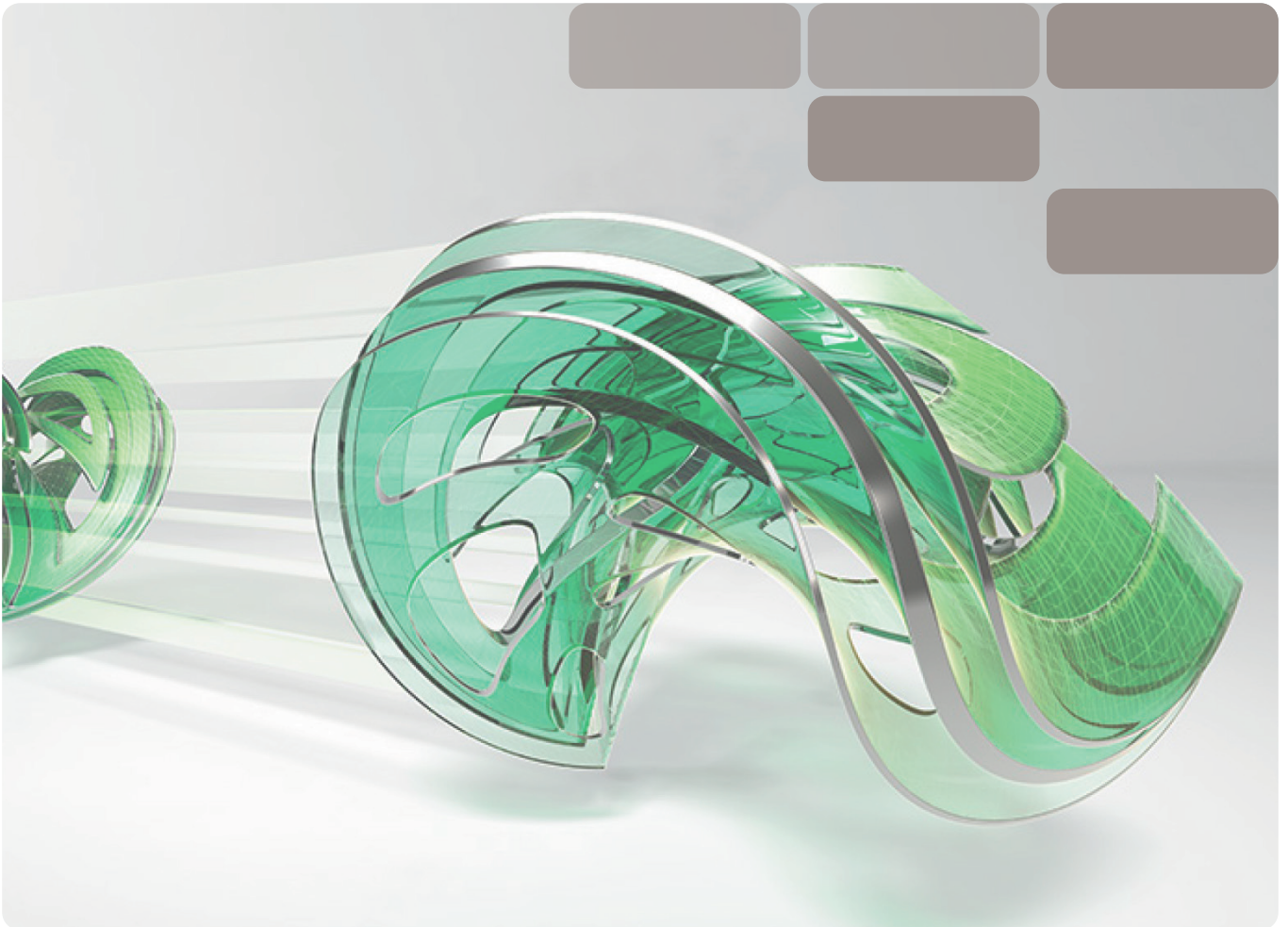


Festlegung der Auswerterichtung durch den Schnittebenen-Indikator





## 7. Modifikatoren für Toleranzzone, Geometrieelement und Merkmal





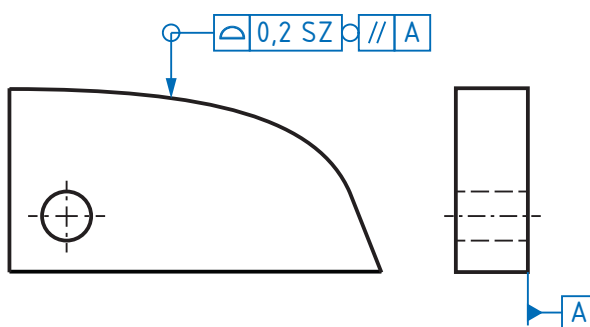
## 7. Modifikatoren für Toleranzzone, Geometrielement und Merkmal

2. Wird eine Positionsspezifikation auf mehr als ein Geometrielement angewendet und weisen die spezifizierten Toleranzzonen mindestens einen nicht blockierten (freien) nicht-redundanten Freiheitsgrad auf, dann muss ebenfalls der SZ-Modifikator spezifiziert werden, es sei denn, einer der Modifikatoren CZ, CZR, UF (falls anwendbar) oder SIM wurde spezifiziert (Beispiel 3, Seite 94).

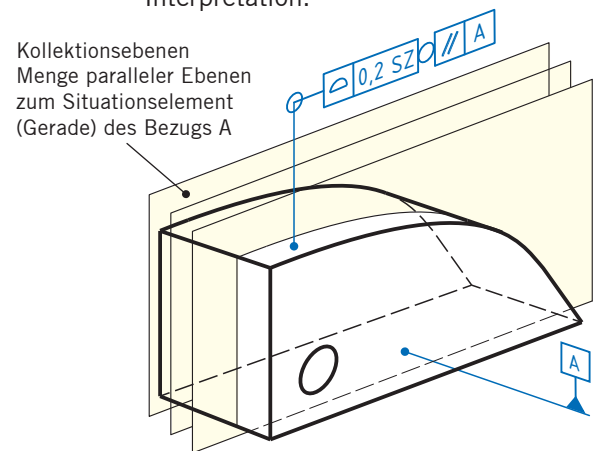
Der Grund für diese besondere Regelung ist die explizite Abgrenzung zu einer früheren Ausgabe von ISO 5458 (ISO 5458:1998; zurückgezogen), die im Widerspruch zum Grundsatz der Unabhängigkeit stand. Gemäss ISO 5458:1998 wurde eine kombinierte geometrische Spezifikation (einzelne Elementgruppenspezifikation) mit internen Nebenbedingungen von Richtung und Ort ohne den seinerzeit noch nicht definierten Modifikator «CZ» erzeugt.

### Beispiel 1:

Spezifikation:

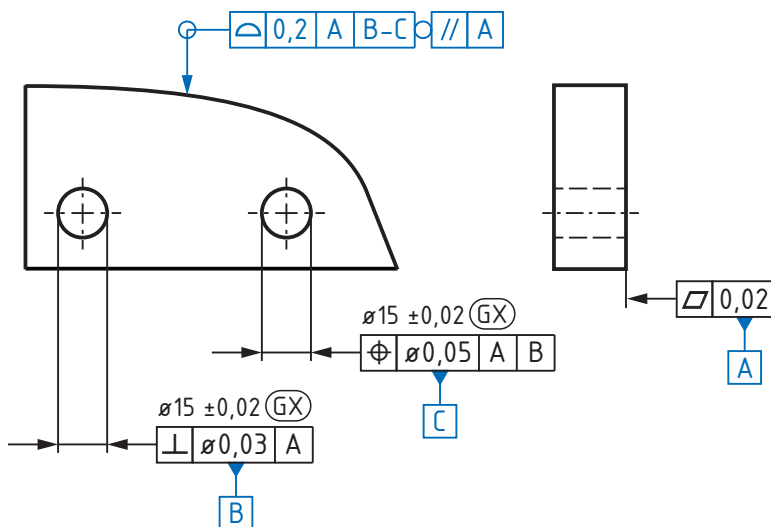


Interpretation:

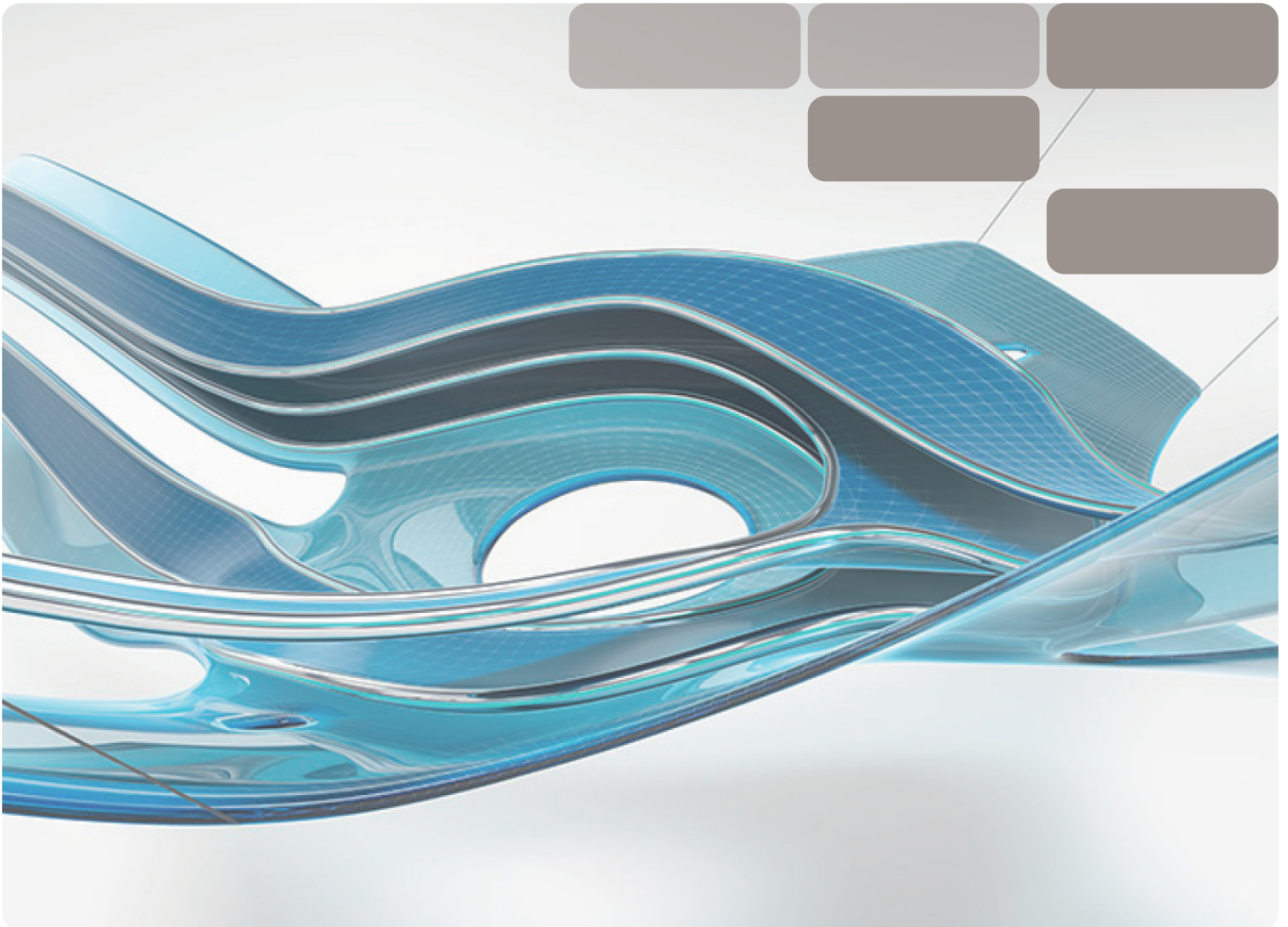


### Beispiel 2:


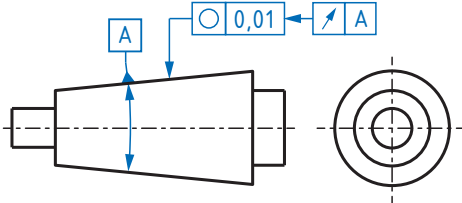
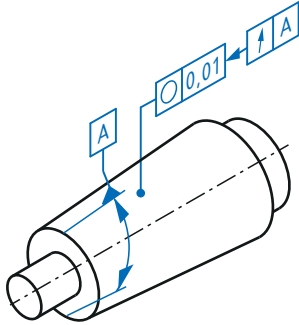
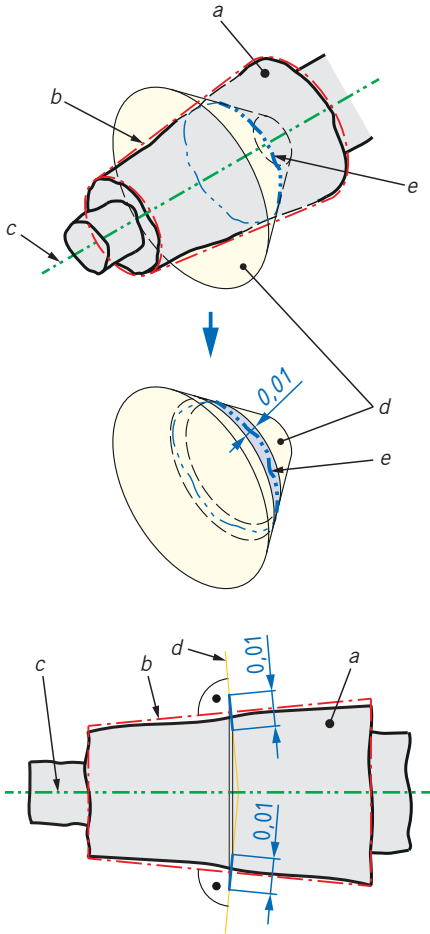

Spezifikation:



## 9. Geometrische Spezifikationen



9. Geometrische Spezifikationen

Rundheit bzw. Rundheitsspezifikation		
Symbol	Zeichnungseintrag	Interpretation
	<p>b) mit Richtungselement-Indikator «Lauf»</p> <p>2D:</p>  <p>3D:</p> 	<p>Jede extrahierte Umfangslinie, die durch den Schnitt eines idealen Kegels mit der extrahierten (nicht idealen) Kegelmantelfläche entsteht, muss zwischen zwei auf dem Schnittkegel liegenden konzentrischen Kreisen mit einem Abstand von 0,01 mm liegen.</p>  <p>  = Toleranzzone  <i>a</i> = Werkstück  <i>b</i> = theoretisch exakter zugeordneter (assoziierter) Zylinder  <i>c</i> = Bezug A (Situationselement Gerade des assoziierten Kegels)  <i>d</i> = Schnittkegel (koaxial zum Situationselement Gerade des assoziierten Kegels und Kegelwinkel so, dass der assoziierte Kegel rechtwinklig geschnitten wird.  <i>e</i> = extrahierte integrale Linie (Umfangslinie)                 </p>