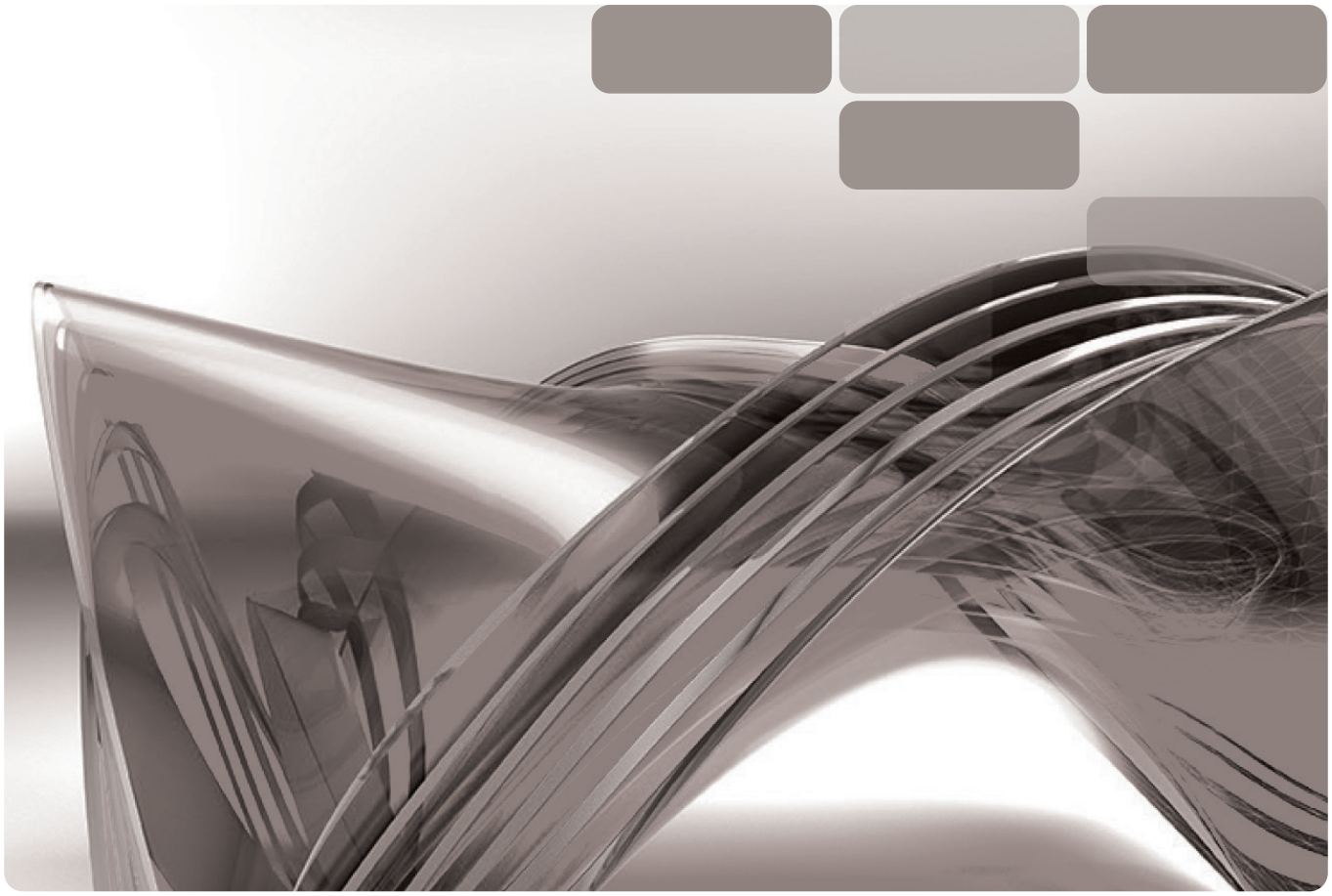
# Geometrische Tolerierung – Grundlagen



Fachmodul zu Zeichnungstechnik

EDITION SWISSMEM

SWISSMEM Berufsbildung

## Inhaltsverzeichnis


**1. Einleitung 3**
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
**2. Geometrische Merkmale 13**
2.1 Übersicht der Symbolik für geometrische Merkmale nach ISO 1101 14
**3. Begriffe 17**
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
**4. Bezüge 27**
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
**5. Angabe einer geometrischen Spezifikation 63**
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
**6. Indikatoren für Ebenen- und Geometrieelemente 71**
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
**7. Modifikatoren für Toleranzzone, Geometrieelement und Merkmal 91**
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
**8. Ergänzende Angaben 113**
8.1 Angaben eines begrenzten Bereichs eines tolerierten Geometrieelements 114

## Inhaltsverzeichnis /Zeichenerklärung

**9. Geometrische Spezifikationen 119**
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

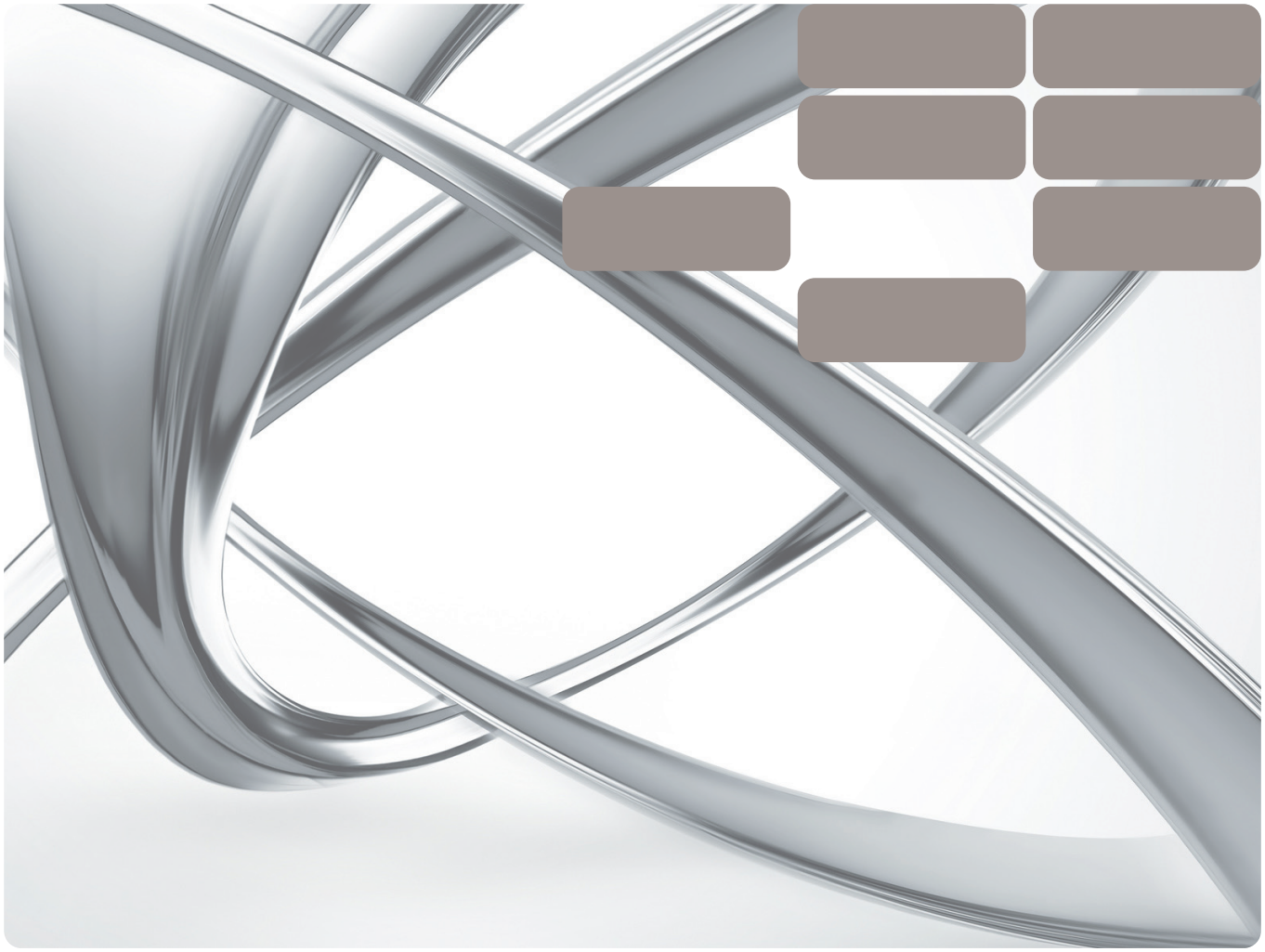


Wichtige Hinweise



Information

# 1. Einleitung



# 1. Einleitung

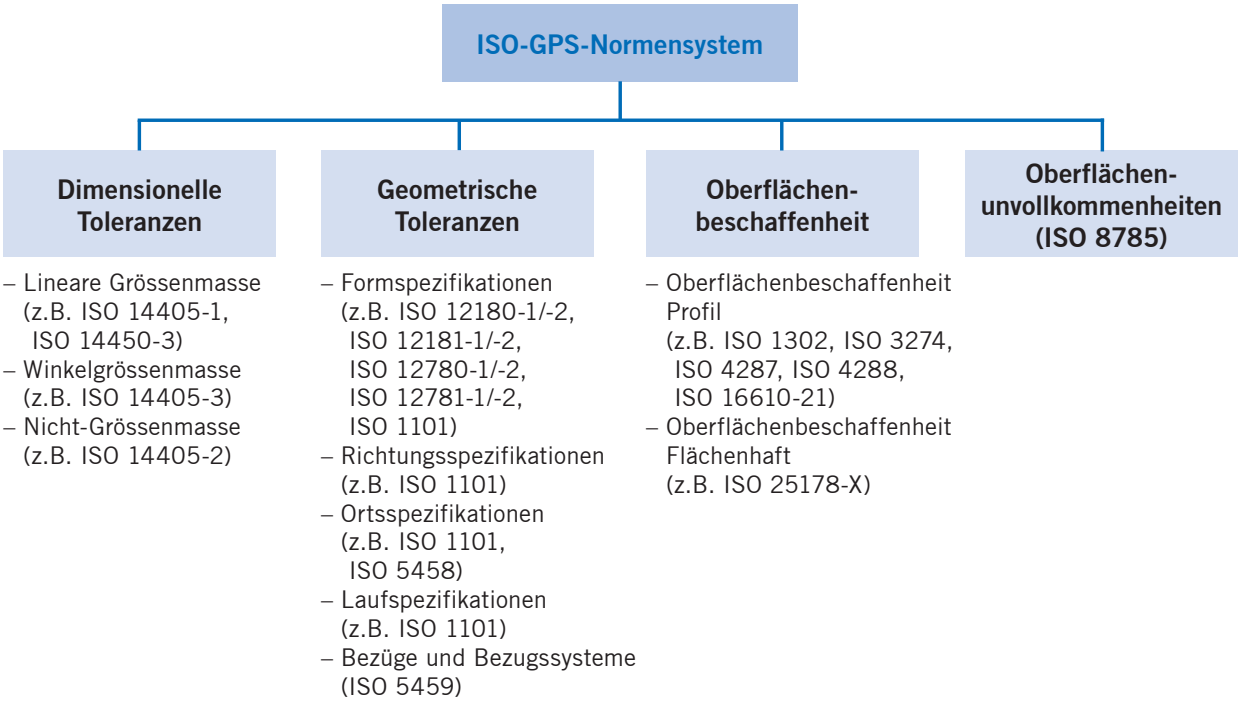
## 1.1 Notwendigkeit für geometrische Toleranzen

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.



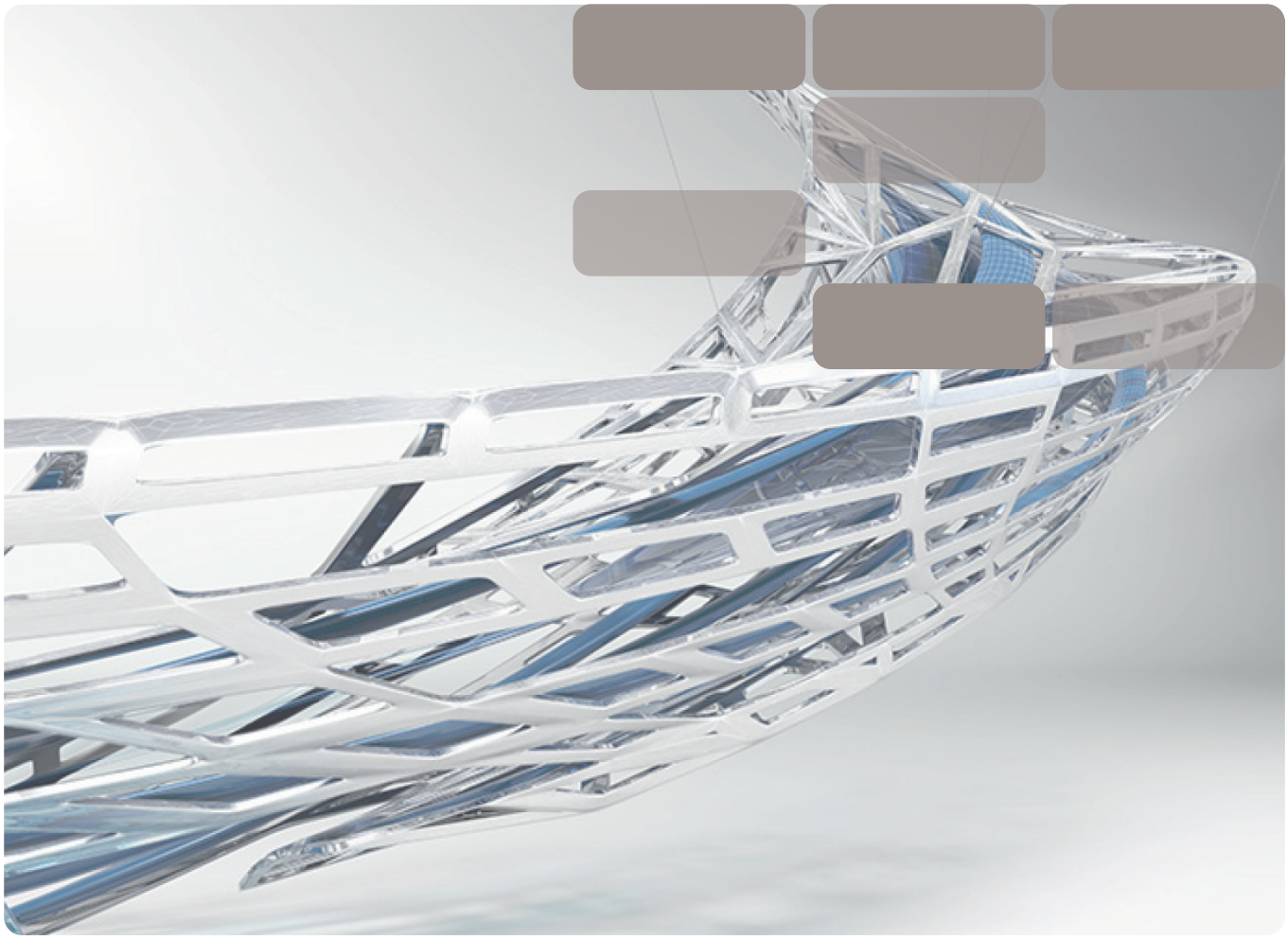
**Ohne geometrische Toleranzen kann ein Produkt weder vollständig noch eindeutig beschrieben werden. Die zugehörigen Technischen Produktdokumentationen (TPD) sind ohne geometrische Toleranzen weitgehend unbrauchbar und können nicht als Grundlage für eine arbeitsteilige Produktion und Qualitätssicherung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

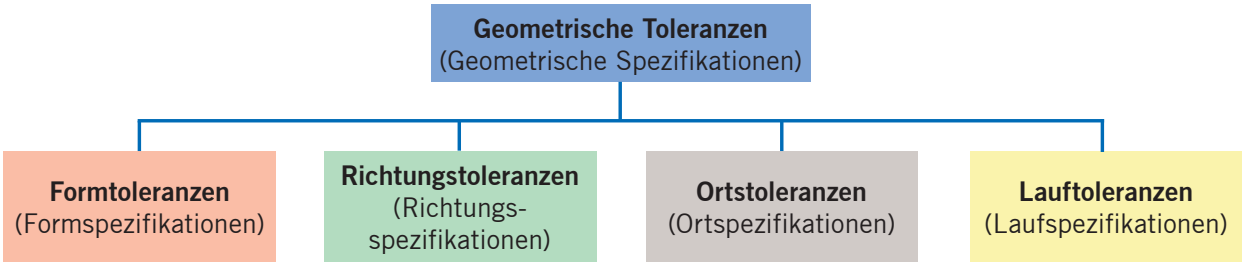
# 2. Geometrische Merkmale



## 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 **Lauftoleranzen** bezeichnet.

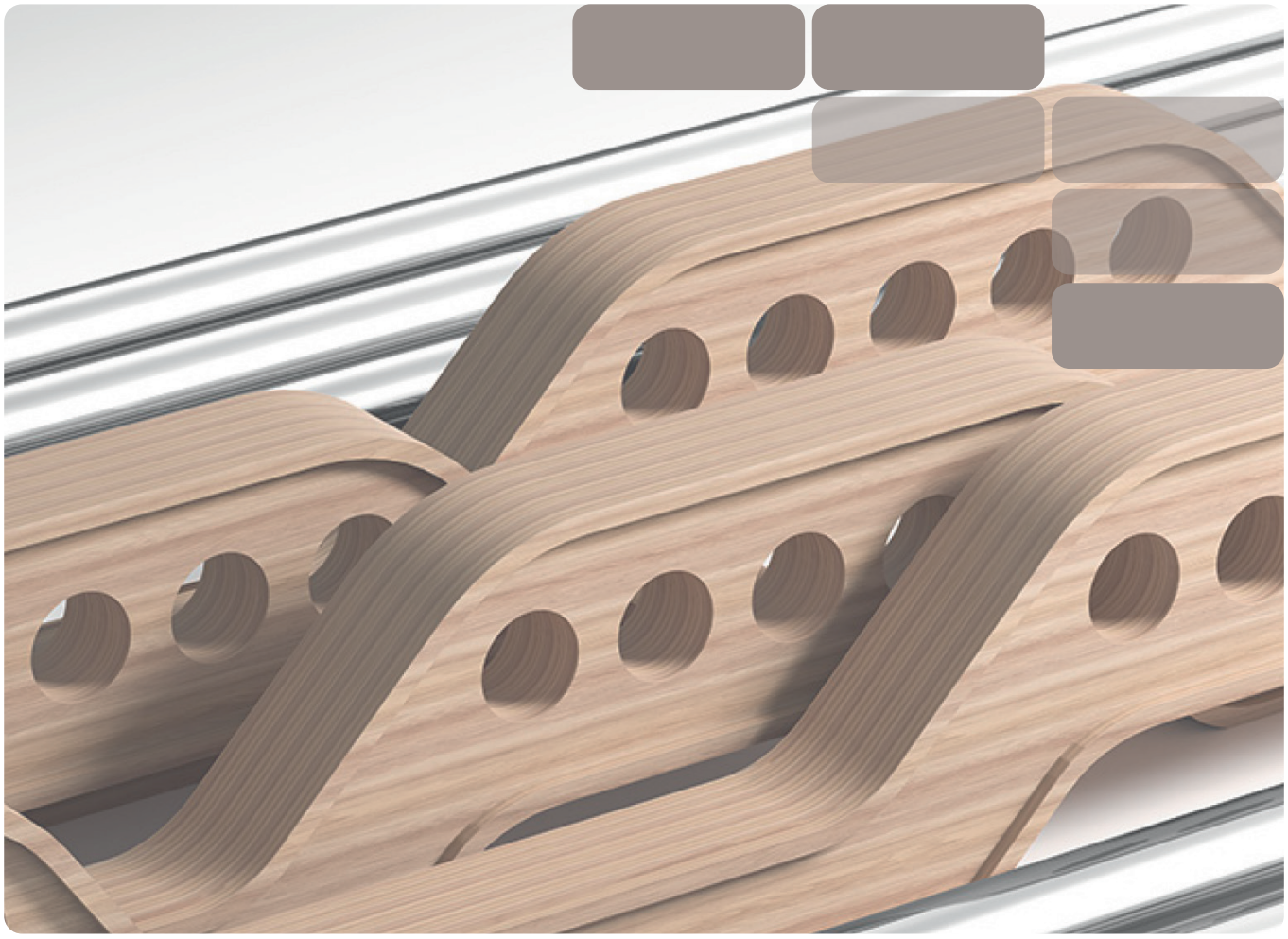



**Übersicht der geometrische Merkmale nach ISO 1101**

| Spezifikation | Geometrisches Merkmal | Symbol | Bezug erforderlich | TED-Mass [1) 2)] erforderlich | Kapitel [7)] | Seite [7)] |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 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 [4)] | 9.9.5 | 141 |
| | Flächenprofil | ⌓ | nein | ja [4)] | 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 [3)] | | 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 [5)] | ↗ | ja | nein | 9.9.13 | 182 |
| | Gesamtrundlauf [6)] | ⌰ | 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



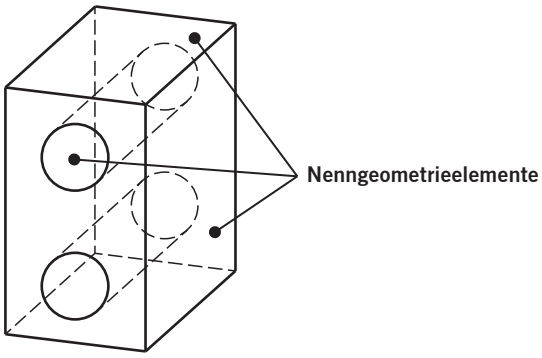
## 3. Begriffe

### 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.

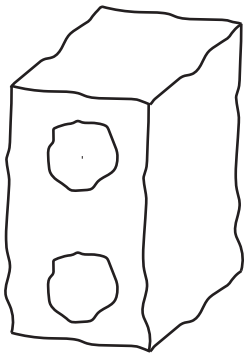
#### 3.1.1 Nennmodell

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.



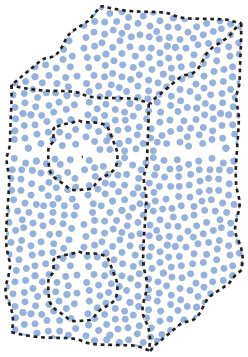

#### 3.1.2 Nicht-ideales Oberflächenmodell (Hautmodell):

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.



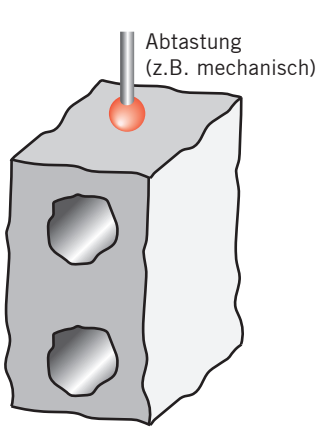
#### 3.1.3 Diskretes Oberflächenmodell:

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

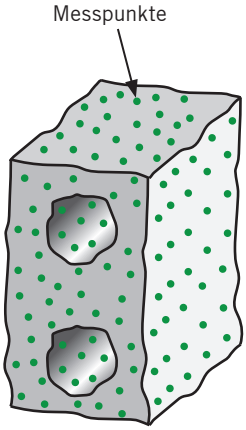


#### 3.1.4 Abgetastetes Oberflächenmodell:

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.

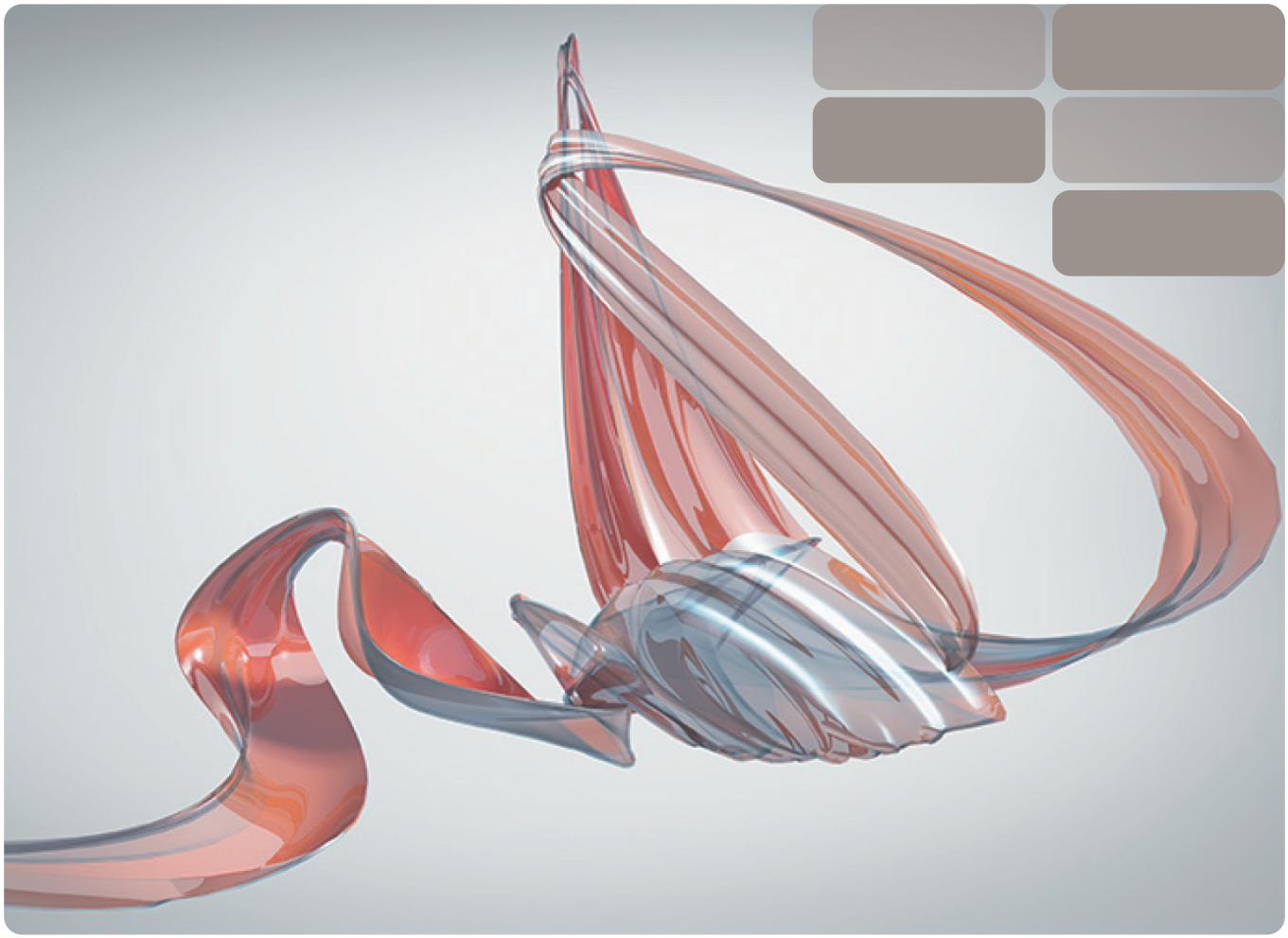



Wirkliches Werkstück




Abgetastetes Oberflächenmodell

# 4. Bezüge



## 4. Bezüge

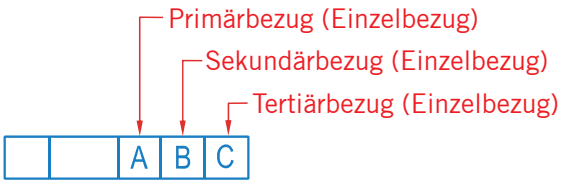
### 4.5.3 Bezugssystem

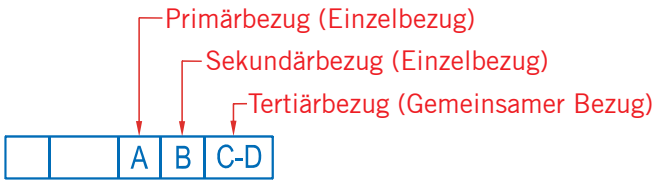
Ein Bezugssystem wird aus zwei oder drei Bezügen aufgebaut. Jeder dieser Bezüge kann ein Einzelbezug oder ein gemeinsamer Bezug sein.

#### 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:**

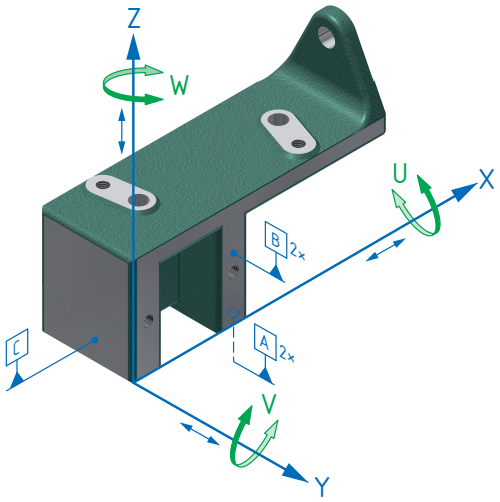



Jeder Körper hat im Raum sechs Freiheitsgrade. Es kann sich in drei aufeinander senkrecht stehenden Koordinatenrichtungen verschieben (drei translatorische Freiheitsgrade) und sich um drei entsprechende Achsen drehen (drei rotatorische Freiheitsgrade). Ein Bezugssystem ist dann vollständig, wenn alle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

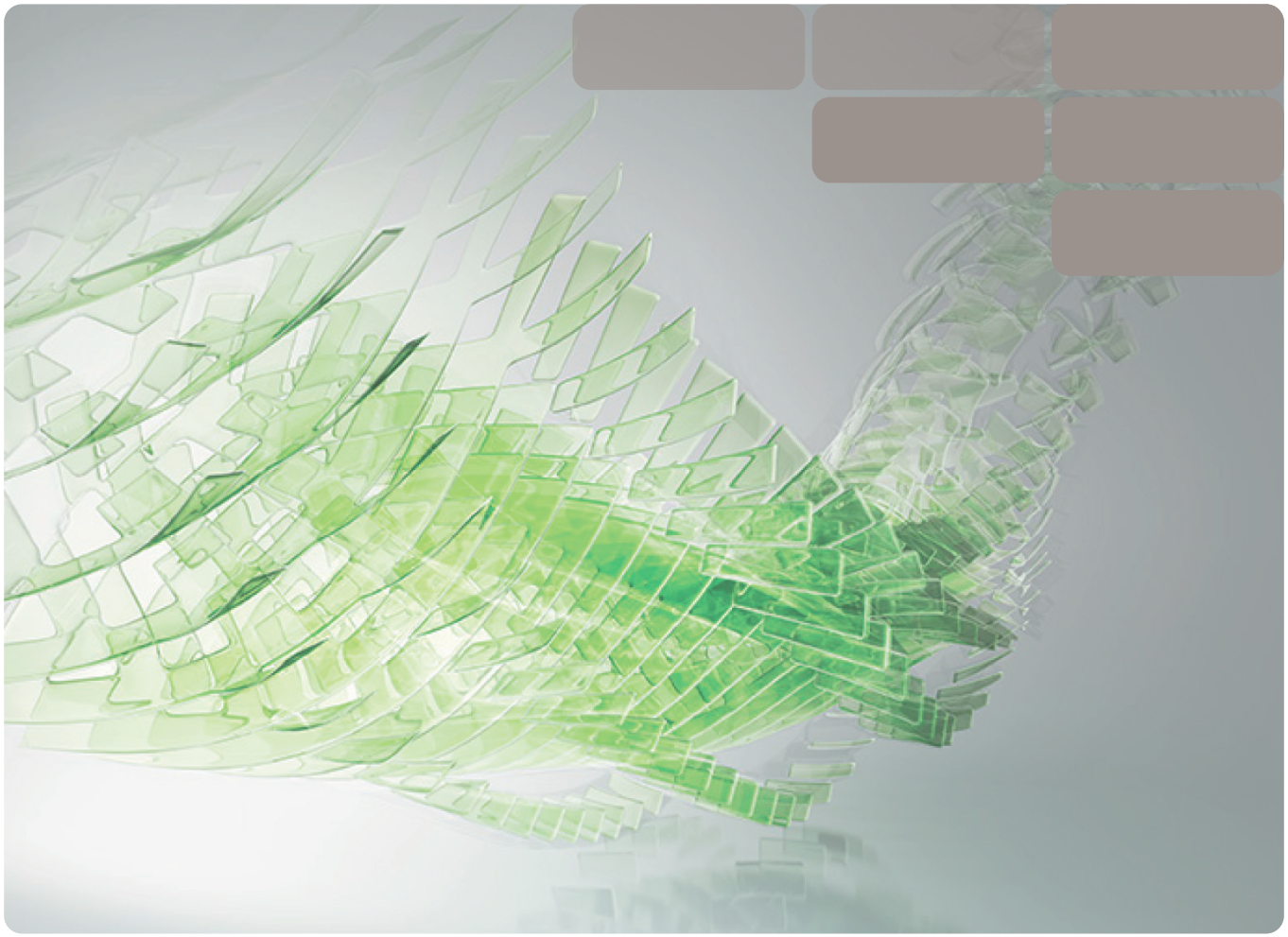
Bei der Bildung eines Bezugssystems gelten nach derzeitiger Fassung von ISO 5459 (2011) die folgenden Regeln:

- 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 Nenngeometrieelements 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 Nenngeometrieelements bzw. der Toleranzzone eingeschränkt werden können als durch den primären und den sekundärer Bezug bereits eingeschränkt sind.**

# 5. Angabe einer geometrischen Spezifikation

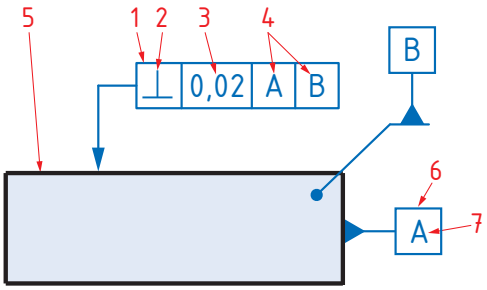


# 5. Angabe einer geometrischen Spezifikation

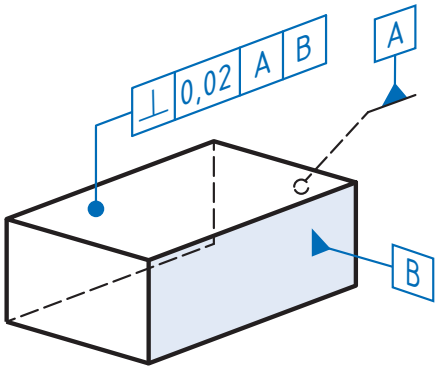
## 5.2 Toleranzindikator

### 5.2.1 Aufbau eines Toleranzindikators

2D-Spezifikation




3D-Spezifikation



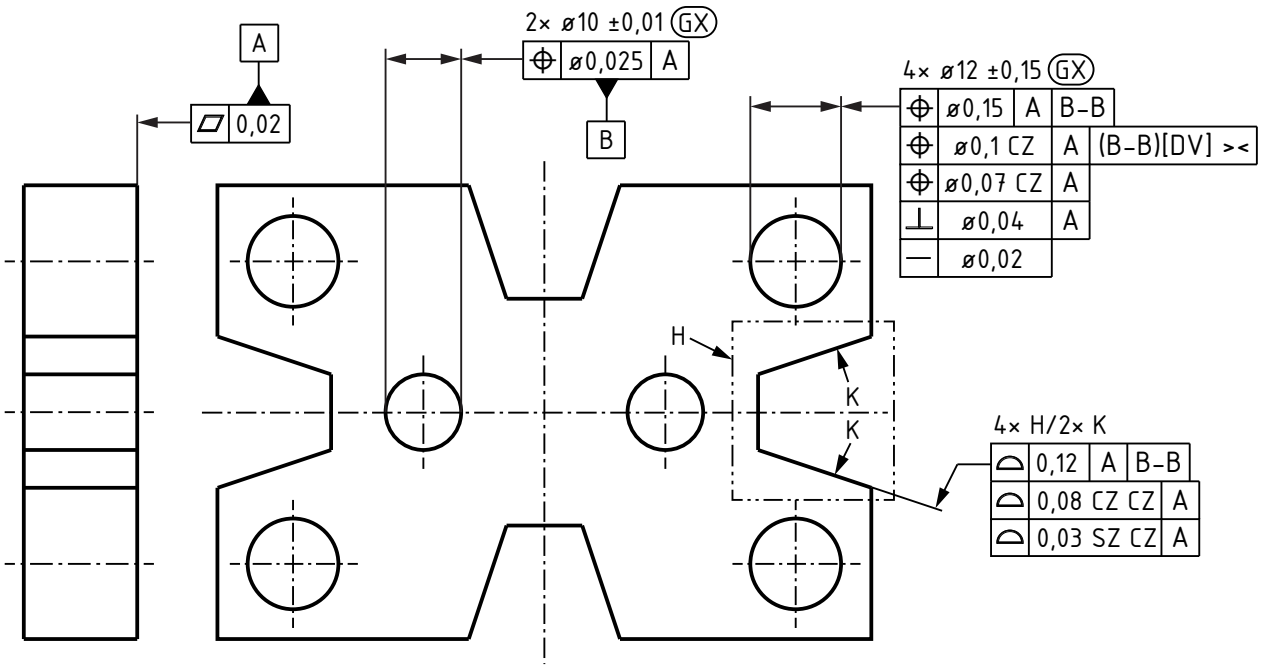

**Legende**

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

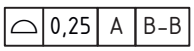
**Ausführung des Toleranzindikators**

– 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)

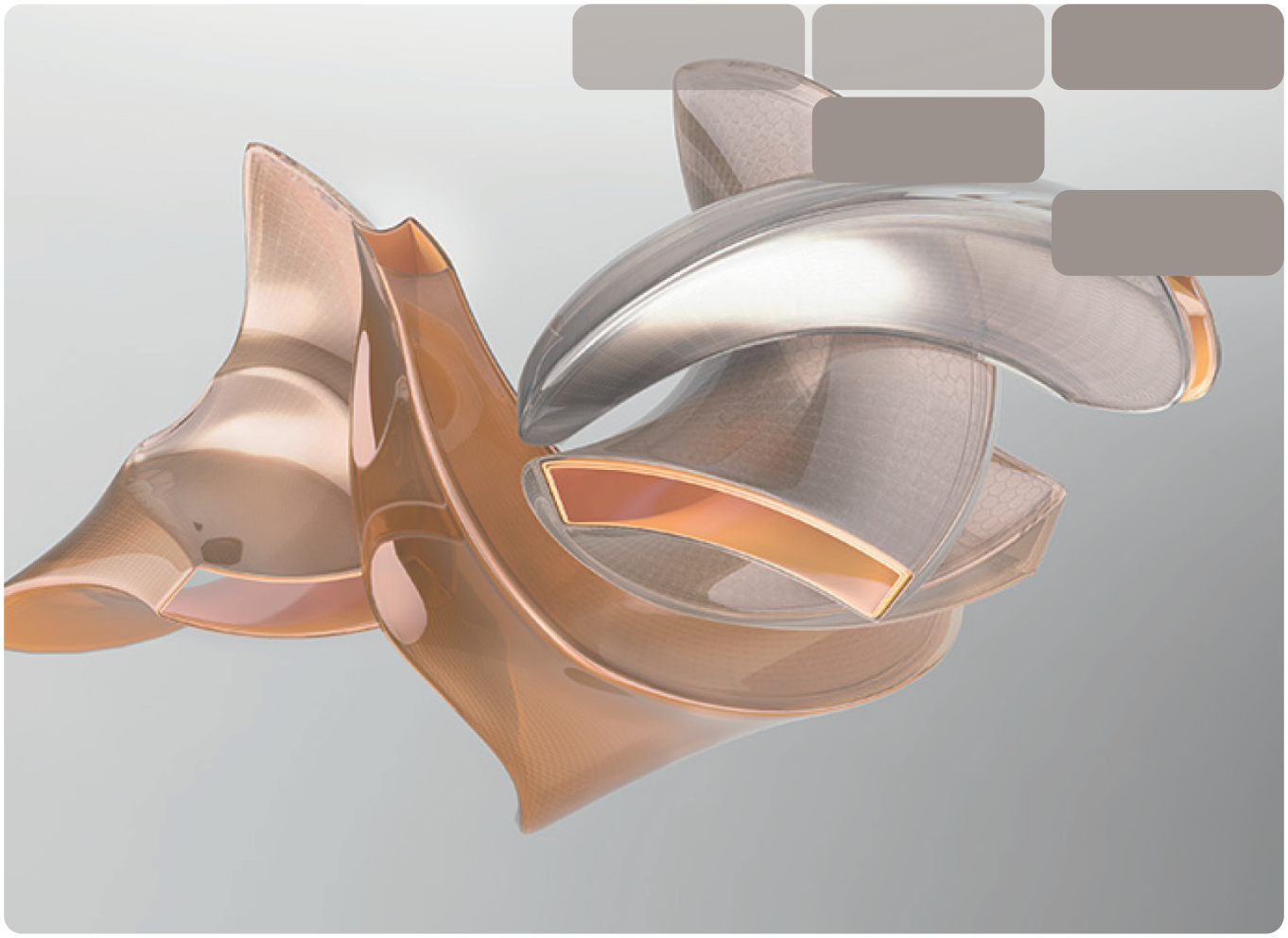
Falls für ein Geometrieelement zwei oder mehrere geometrische Spezifikationen erforderlich sind, dürfen die Toleranzindikatoren untereinander angeordnet werden (gestapelte Toleranzangabe). Die Toleranzindikatoren sollten dabei entsprechend der Weiten der Toleranzzonen absteigend von oben nach unten angeordnet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




Nenngeometrie aus CAD-Datensatz
ABC 572 127.DXF



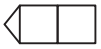
# 6. Indikatoren für Ebenen- und Geometrieelemente

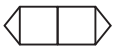


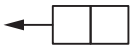
# 6. Indikatoren für Ebenen- und Geometrieelemente

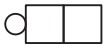
## 6.1 Notwendigkeit der Spezifikation von Indikatoren für Ebenen und Geometrieelemente

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 Geometrieelemente** spezifiziert werden. Hierfür stehen zur Verfügung:


Schnittebenen-Indikator


Orientierungsebenen-Indikator


Richtungselement-Indikator


Kollektionsebenen-Indikator

## 6.2 Schnittebenen-Indikator

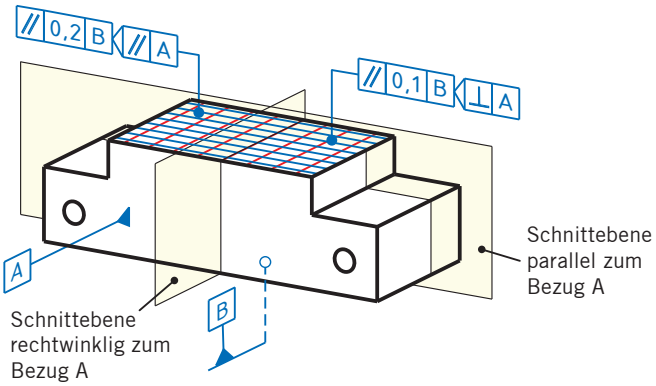
### 6.2.1 Notwendigkeit der Spezifikation von Schnittebenen und Ausnahmen

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.

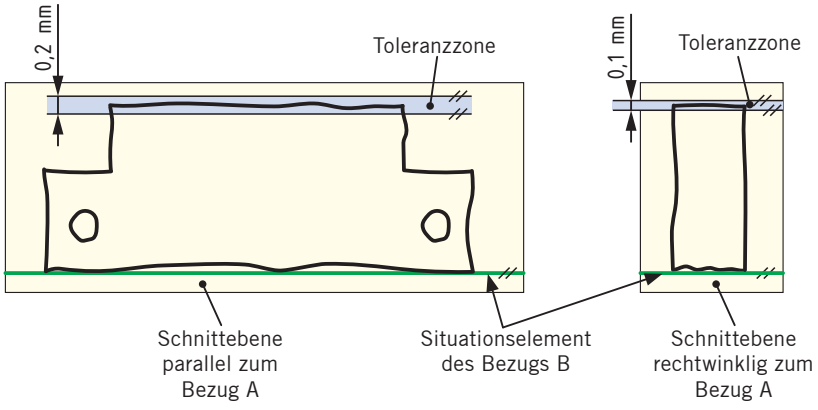
Schnittebenen müssen immer dann spezifiziert werden, wenn das tolerierte Geometrieelement eine Linie (2D) auf einem integralen Geometrieelement (3D) der in Kapitel 6.2.2 genannten Invarianzklasse ist.

**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.**

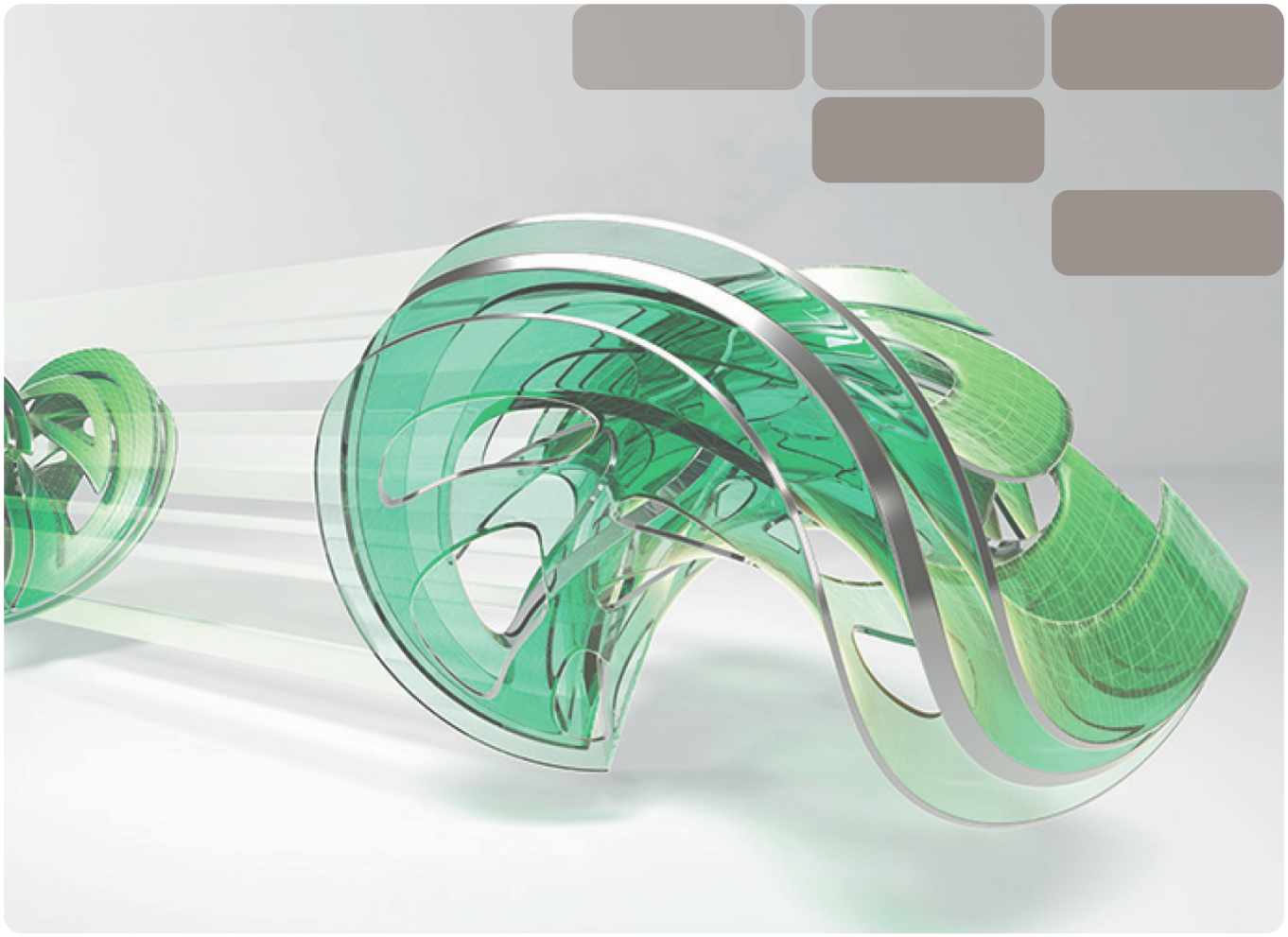
**Beispiel:**




Festlegung der Auswerterichtung durch den Schnittebenen-Indikator



# 7. Modifikatoren für Toleranzzone, Geometrieelement und Merkmal



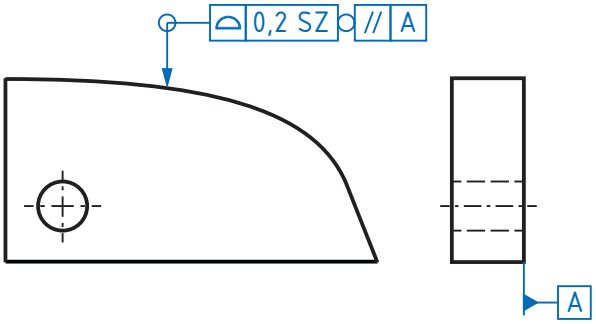
## 7. Modifikatoren für Toleranzzone, Geometrieelement und Merkmal

2. Wird eine Positionsspezifikation auf mehr als ein Geometrieelement 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).

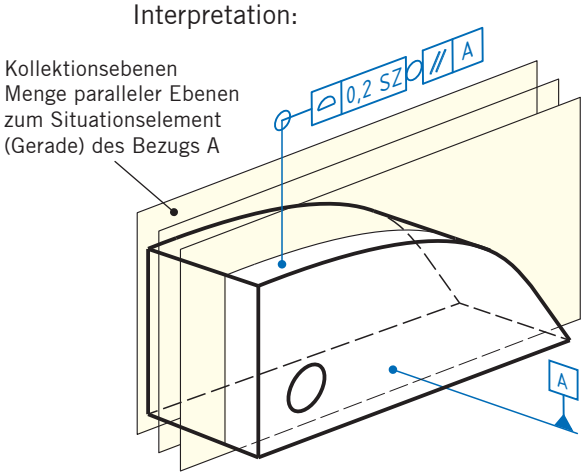
   Der Grund für diese besondere Regelung ist die explizite Abgrenzung zu einer früheren Ausgabe von ISO 5458 (ISO 5458:1998; zurückgezogen), die im Widerspruch zum Grundsatz der Unabhängigkeit stand. Gemäss ISO 5458:1998 wurde eine kombinierte geometrische Spezifikation (einzelne Elementgruppenspezifikation)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

**Beispiel 1:**

Spezifikation:

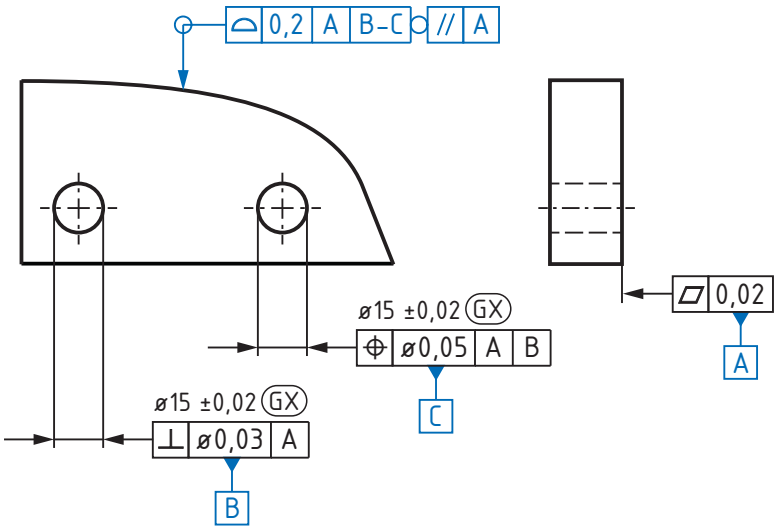



Interpretation:

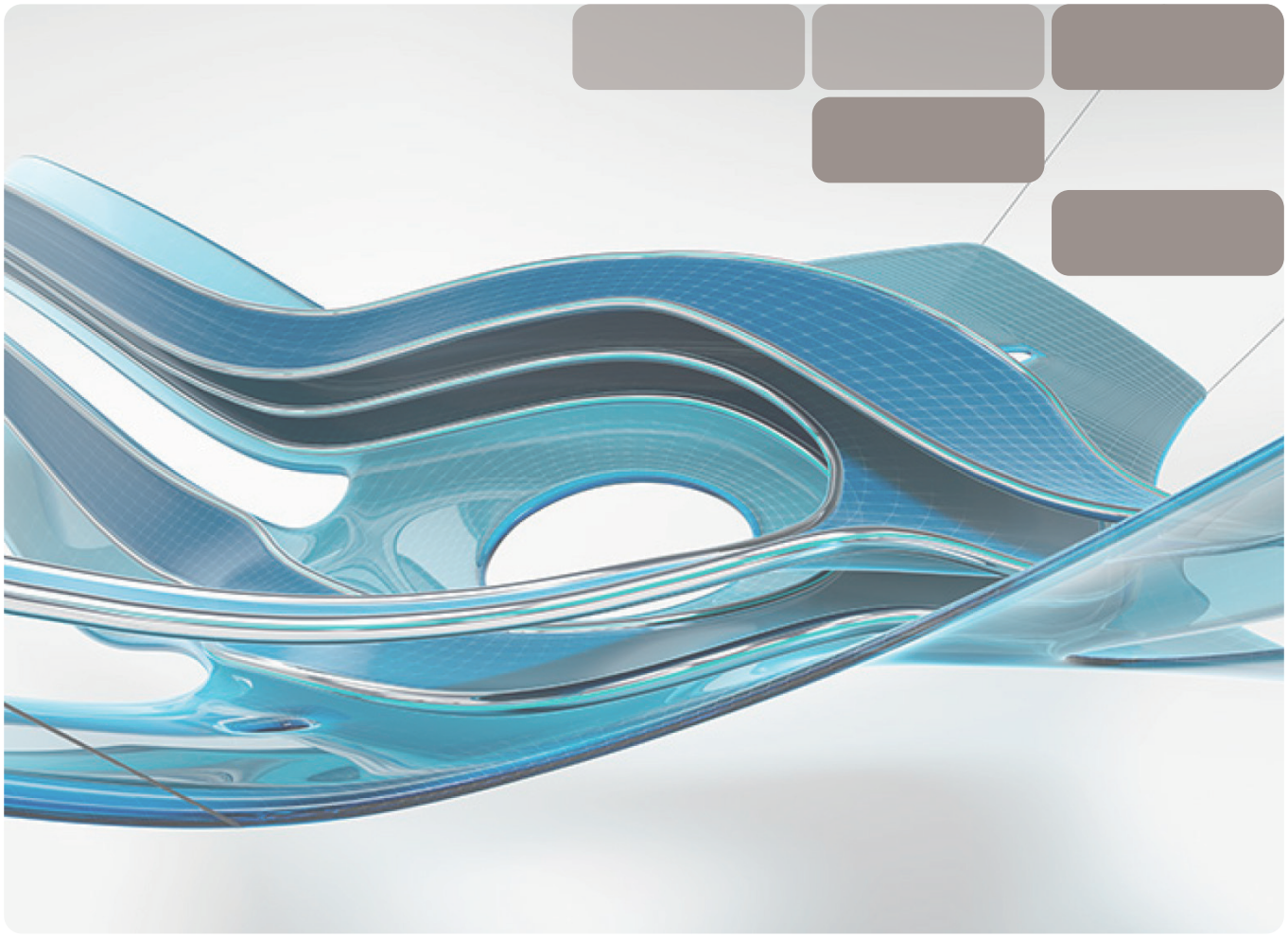



**Beispiel 2:**

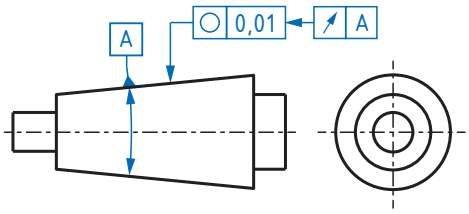
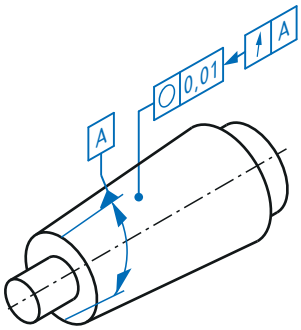
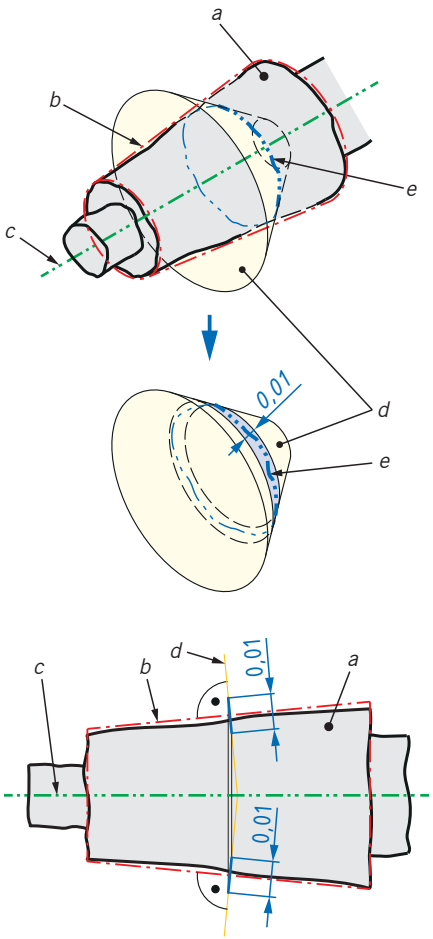
Spezifikation:



# 9. Geometrische Spezifikationen



## 9. Geometrische Spezifikationen

| Rundheit bzw. Rundheitsspezifikation | | |
|---|---|---|
| **Symbol** | **Zeichnungseintrag** | **Interpretation** |
| ○ t | b) mit Richtungselement-Indikator «Lauf**»**<br><br>2D:<br><br><br><br>3D:<br><br> | 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.<br><br><br>= Toleranzzone<br>*a* = Werkstück<br>*b* = theoretisch exakter zugeordneter (assoziierter) Zylinder<br>*c* = Bezug A (Situationselement Gerade des assoziierten Kegels)<br>*d* = Schnittkegel (koaxial zum Situationselement Gerade des assoziierten Kegels und Kegelwinkel so, dass der assoziierte Kegel rechtwinklig geschnitten wird.<br>*e* = extrahierte integrale Linie (Umfangslinie) |