

Eindeutige Lösung

Neue Methode zum Bilden von Bezügen und Bezugssystemen

Michael Dietzsch, Gerhard Richter, Uwe Schreiter, Chemnitz, und Michael Krystek, Braunschweig

Für die Tolerierung und Messung von Richtungs-, Orts-, Lauf- und Profilverformungen werden Bezüge oder Bezugssysteme benötigt (DIN ISO 1101). Sie legen die Richtung und/oder den geometrischen Ort der jeweiligen Toleranzzone fest und sind deshalb für die Ermittlung von Lageabweichungen von besonderer Bedeutung.

Zum Bestimmen von Bezügen und Bezugssystemen ist derzeit die Norm DIN ISO 5459 gültig. In dieser Norm sind zur Ermittlung von Bezügen Festlegungen getroffen, die teilweise keine eindeutige Lösung für das Bilden von Bezügen ermöglichen [1]. Das hat sowohl für die konventionelle Messtechnik mit einfachen Messmitteln als auch für den Einsatz von rechnerunterstützten Form- und Koordinatenmessgeräten Auswirkungen.

Eine rechentechnische Realisierung der Bezugsbildung ist teilweise nicht möglich, weil die in der Norm angegebenen Vorschriften zum Bilden von Bezügen und Bezugssystemen unvollständig oder nicht eindeutig sind. Diese Unzulänglichkeiten und die Entwicklung auf dem Gebiet der Tolerierung und Messung der Form- und Lageabweichungen erfordern deshalb die Überarbeitung der Norm. Die Überarbeitung erfolgt gegenwärtig unter Berücksichtigung des Matrixmodells für die ISO-Normen der Geometrischen Produktspezifikationen (GPS) und des aktuellen Stands der Technik, wie der Koordinatenmesstechnik [2–4] und der Rechentechnik [5].

Im Technischen Komitee 213 der ISO (ISO/TC 213) „Dimensional and geometrical product specifications and verification“ werden in der Arbeitsgruppe 2 „Datums and Datum Systems“ inhaltliche Fragen zur Veränderung der Norm

Beim Bilden von Bezügen und Bezugssystemen nach der gültigen Norm DIN ISO 5459 treten teilweise erhebliche Probleme auf. Bisherige Ansätze zur Lösung der Problematik wie z.B. Gaußelemente waren oft nur Näherungslösungen. Mit der Einführung der einseitigen Tschebyscheff-Approximation werden eindeutige Ergebnisse erhalten und die Funktionsanforderungen besser erfüllt.

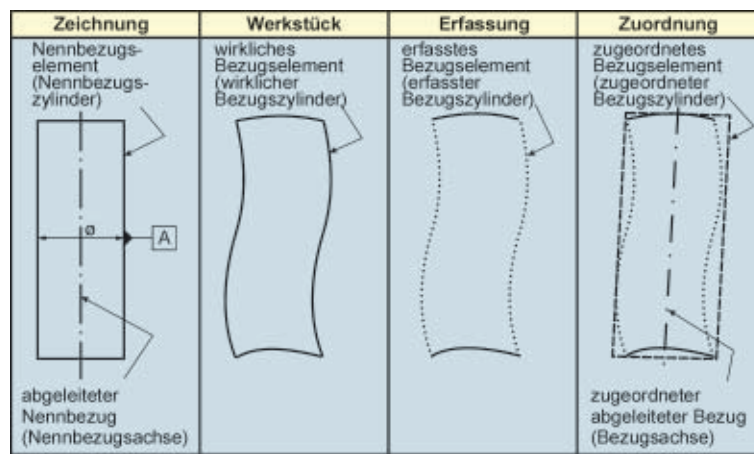


Bild 1. Beziehungen von Geometrielementen für Bezüge am Beispiel eines Zylinders

über Bezüge und Bezugssysteme diskutiert und versucht, mathematisch eindeutige Lösungen zu finden. Zur Unterstützung dieser Arbeit kann mit der Einführung der Tschebyscheff-Approximation ein Lösungsvorschlag angeboten werden.

Bedingungen für die Bezugsbildung

Konzeptionell wird davon ausgegangen, dass Bezüge und Bezugssysteme entweder durch rechnergestützte Messgeräte ermittelt oder durch spezielle Vorrich-

tungen verkörpert werden. Beide Vorgehensweisen sollen für Richtung und Ort der Bezüge Ergebnisse liefern, die nicht wesentlich voneinander abweichen. Die rechentechnische Verarbeitung der Messdaten soll demnach eine Simulation der entsprechenden Vorrichtung sein. Die Vorrichtung ist im einfachsten Fall eine Messplatte oder ein Prüfdorn. Es kann sich dabei auch um eine komplexe Prüfvorrichtung z.B. zur Prüfung der Einhaltung von Positionstoleranzen handeln. In jedem Fall bildet die Vorrichtung zum Werkstück ein Geometrielement mit Hüllcharakter, das von außen an der

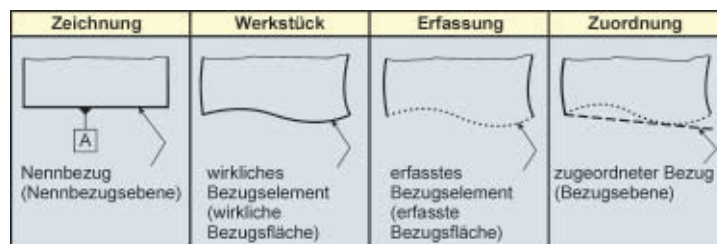


Bild 2. Beziehungen von Geometrielementen für Bezüge am Beispiel einer Ebene

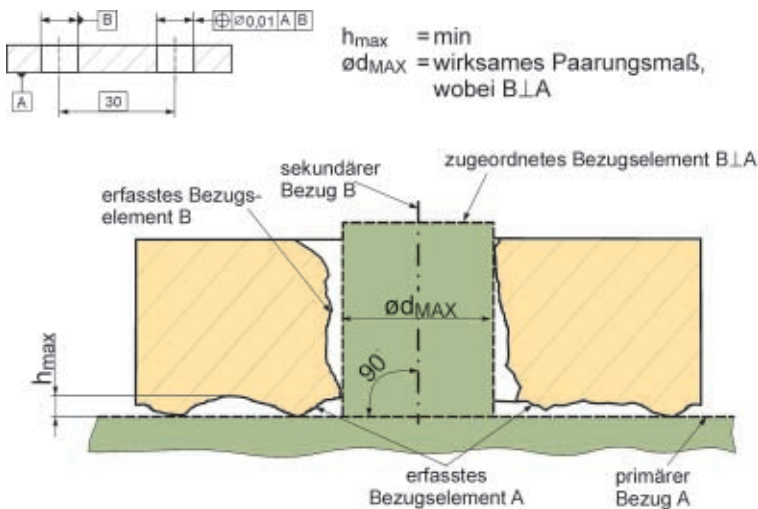


Bild 3. Bezugssystem, gebildet aus einer Ebene und einer dazu rechtwinklig angeordneten Zylinderachse. Der maximale Durchmesser d_{MAX} des zugeordneten Bezugselements B muss unter der Nebenbedingung, dass dieses rechtwinklig zum primären Bezug A ist, dem wirksamen Paarungsmaß entsprechen

materialfreien Seite am Werkstück anliegt.

Zur messtechnischen Ermittlung von Bezügen sind die Grundkonzepte der Norm DIN EN ISO 14 660 zu beachten, die zwischen den Nenngeometrieelementen, den wirklichen, den erfassten und den zugeordneten Geometrieelementen unterscheidet.

Das Grundkonzept der Beziehungen von Geometrieelementen für Bezüge ist in die Bereiche Zeichnung, Werkstück, Erfassung und Zuordnung unterteilt (Bild 1). Die Zeichnung des Bauteils z.B. eines Zylinders enthält das Nennbezugselement, also den Nennbezugszylinder. Durch die Bezugsangabe beinhaltet sie ebenfalls den abgeleiteten Nennbezug, z.B. die Nennbezugsachse. Nach der

Fertigung des Werkstücks entsteht das wirkliche Bezugselement, der wirkliche Bezugszylinder, welcher u.a. mit Formabweichungen behaftet ist. Bei der messtechnischen Erfassung des wirklichen Bezugselements lässt sich auf Grund der Unvollkommenheit der Messung das erfasste Bezugselement, z.B. der erfasste Bezugszylinder, nur annähernd erhalten. Dem erfassten Bezugselement wird ein theoretisch exaktes Bezugselement zugeordnet, z.B. der zugeordnete Bezugszylinder. Der zugeordnete abgeleitete Bezug ist beispielsweise die Achse des theoretisch exakten, zugeordneten Bezugszylinders (Bild 1). Diese Vorgehensweise zum Bilden von Bezügen gilt sinngemäß auch für andere Bezugselemente (Bild 2).

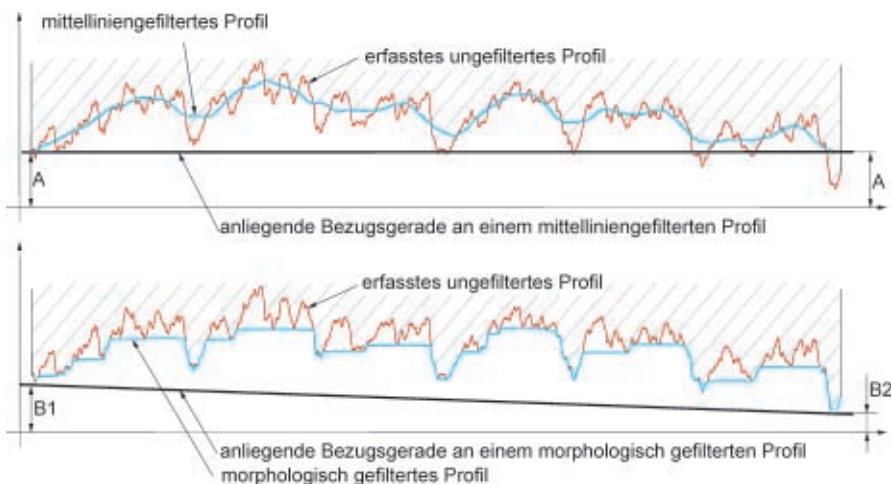


Bild 4. Vergleich von Richtung und Ort der Bezugsgerechten am mittellinien- und morphologisch gefiltertem, erfasstem Profil

Zur Ermittlung von Bezügen gehören die messtechnische Erfassung des Bezugselements, die Zuordnung eines theoretisch exakten Geometrieelements und gegebenenfalls die Ableitung des jeweiligen Lageelements vom zugeordneten Bezugselement. Der abgeleitete Bezug kann eine Ebene, z.B. die Mittelebene, eine Gerade, z.B. die Achse, oder ein Punkt, z.B. der Mittelpunkt, sein.

Beim Ermitteln von Bezügen mit Messgeräten werden Punkte des wirklichen Bezugselements erfasst, denen anschließend durch eine geeignete Vorschrift ein theoretisch exaktes Geometrieelement zugeordnet wird. Auf Grund vorhandener Gestaltabweichungen beim erfassten Bezugselement entspricht dieses nicht genau dem Nennbezugselement. Die zugeordneten Bezugselemente stellen daher nur eine nach bestimmten Kriterien gefundene optimale Approximation an die erfassten Messpunkte dar. Diese Kriterien müssen mehreren Bedingungen genügen:

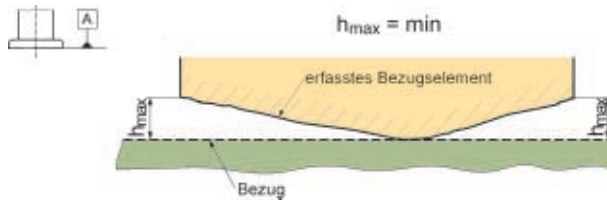
- ▶ Die zugeordneten Bezugselemente müssen an den erfassten Bezugselementen der Werkstückoberfläche anliegen.
- ▶ Die Dimensionen von zugeordneten Bezugselementen müssen den Paarungsmaßen bzw. den wirksamen Paarungsmaßen der zugeordneten Bezugselemente entsprechen.
- ▶ Für die Richtung und/oder den Ort des zugeordneten Bezugselements muss sich eine mathematisch eindeutige Lösung ergeben.

Wenn die erfassten Geometrieelemente Maßelemente wie z.B. Zylinder, Kugel oder zwei parallele Ebenen sind, dann entsprechen, wie in den Bedingungen gefordert, die Dimensionen zugeordneter Bezugselemente dem Paarungsmaß. Sind Maßelemente die Grundlage für die Bildung gemeinsamer Bezüge oder von Bezugssystemen, müssen die Dimensionen der zugeordneten Bezugselemente den wirksamen Paarungsmaßen entsprechen. Unter dem wirksamen Paarungsmaß wird ein Paarungsmaß mit Nebenbedingungen verstanden (Bild 3).

Im Allgemeinen ist es aus funktionellen Gründen nicht sinnvoll, alle erfassten Punkte der wirklichen Werkstückoberfläche zum Bestimmen der Bezüge zu verwenden. So ist es nicht zweckmäßig, bei der Bestimmung einer Ebene als Bezug ins Material hineinragende Fehler der Oberfläche, wie Risse oder Lunker, mit zu erfassen, da diese nicht funkti-

www.qm-infocenter.de/QZ-Archiv Nicht zur Verwendung in Intranet- und Internet-Angeboten sowie elektronischen Verteilern © 2003 Carl Hanser Verlag, München

Bild 5. Zugeordnete Bezugsgerade oder Bezugsebene als Bezug



onsrelevant sind. Aus diesem Grund müssen die Daten vor ihrer Verwendung zur Bestimmung des zugeordneten Bezugselements gefiltert werden. Da Mittellinienfilter mit der Forderung nach einem anliegenden Element nicht verträglich sind, können hierfür nur morphologische Filter verwendet werden [6]. Werden zwei identische Profile einerseits mit einem Mittellinienfilter und andererseits mit einem morphologischen Filter gefiltert, unterscheiden sich die an den gefilterten Profilen anliegenden Bezugsgeraden nach Tschebyscheff deutlich hinsichtlich ihrer Richtung, ihres Orts und ihrer Funktionsrelevanz (Bild 4). Die einseitige Tschebyscheff-Approximation erfüllt die oben genannten Bedingungen für die Bezugsbildung mit den gewünschten Hülleigenschaften und sollte deshalb für die Ermittlung von Bezügen und Bezugssystemen angewendet werden [5]. Als Grundlage der einseitigen Tschebyscheff-Approximation gilt:

- Der maximale rechtwinklige bzw. radiale Abstand vom anliegenden, zugeordneten Bezugselement zum erfassten Bezugselement muss ein Minimum sein. Dabei muss bei Maßelementen das Maß der zugeordneten Bezugselemente dem Paarungsmaß bzw. dem wirksamen Paarungsmaß entsprechen.

Mit diesem Prinzip steht ein Bildungsgesetz zur Verfügung, das für Einzelbezüge, gemeinsame Bezüge und Bezugssysteme durchgängig anwendbar ist und zu jeweils einer eindeutigen, funktionsbezogenen Lösung führt.

Bildung von Einzelbezügen

Einzelbezüge können Punkte, Geraden und Ebenen sein.

Punkte als Bezug können Kreismittelpunkte, Kugelmittelpunkte, Kegelspitzen, Torusmittelpunkte oder Symmetriepunkte sein.

Geraden als Bezug können Achsen rotationssymmetrischer Oberflächen (z. B. Zylinder, Kegel, Tori), Helixachsen oder Mantellinien von Zylindern und Kegeln sein.

Ebenen als Bezug können die Ebene an sich, Symmetrieebenen (Mittellebenen) oder Torusebenen sein.

Mit Ausnahme der Mantellinien und der Ebenen an sich sind alle übrigen Einzelbezüge abgeleitete Bezüge. Das zugehörige Bezugselement muss deshalb zuerst durch einseitige Tschebyscheff-Approximation bestimmt werden.

Ist eine Gerade oder Ebene Bezug, muss der Bezug (Bezugsgerade oder -ebene) von der werkstofffreien Seite so an dem erfassten Bezugselement (erfasste Linie oder Fläche) anliegen, dass der größte zum Bezug rechtwinklige Abstand zwischen dem erfassten Bezugselement und dem Bezug ein Minimum ist (Bild 5). Dies entspricht inhaltlich der zur Zeit gültigen Norm DIN ISO 5459.

Zylinderachsen als Bezug werden aus den zugeordneten Zylindern abgeleitet. Der maximale radiale Abstand vom zugeordneten Bezugselement zum erfassten Bezugselement muss ein Minimum

sein, wobei die Dimension des zugeordneten Bezugszylinders seinem Paarungsmaß entsprechen muss. Das heißt, bei Wellen ist der zugeordnete Bezugszylinder gleich dem kleinsten umschreibbaren Zylinder (Hüllzylinder), dessen Durchmesser dem Paarungsmaß entspricht (Bild 6). Bei Bohrungen ist der zugeordnete Bezugszylinder gleich dem größten einbeschreibbaren Zylinder (Pferchzylinder), dessen Durchmesser dem Paarungsmaß entspricht (Bild 7).

Diese Vorgehensweise unterscheidet sich von der gültigen Norm dadurch, dass bei einer instabilen Lage des zugeordneten Bezugszylinders nicht der

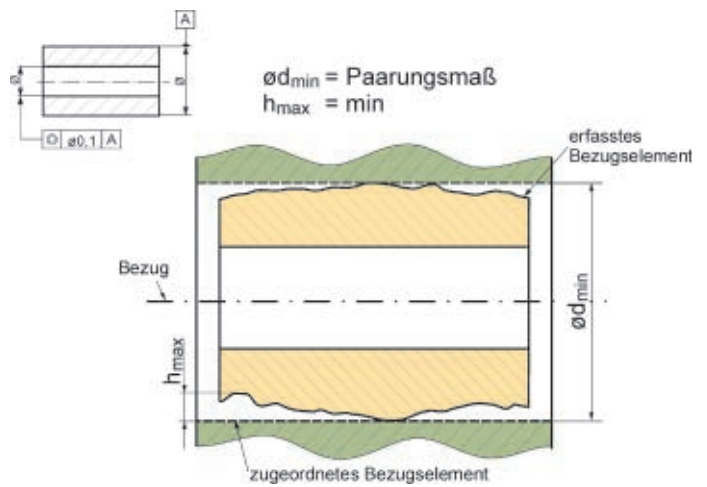


Bild 6. Achse einer Welle als Bezug

Schwenkwinkel des Zylinders minimiert wird, sondern dass der größte radiale Abstand zwischen zugeordnetem Bezugszylinder und erfasstem Zylinder ein Minimum sein muss. Die durchgängige Anwendung der Abstandsminimierung

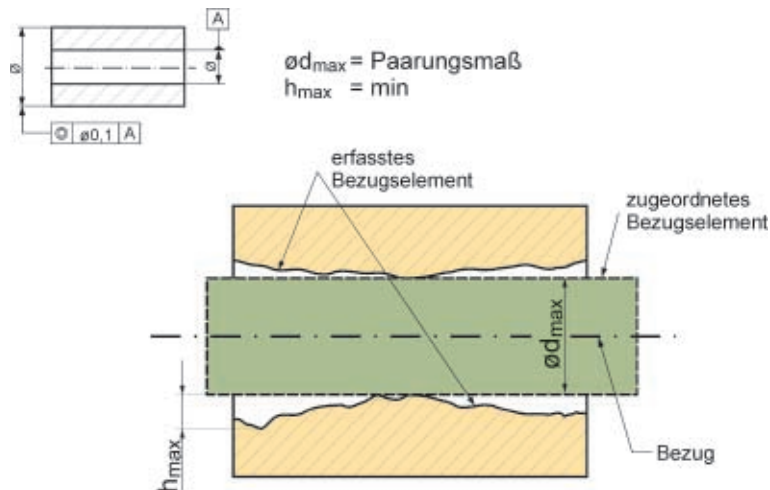


Bild 7. Achse einer Bohrung als Bezug

stimmt prinzipiell mit den für Bezugsgerade und Bezugsebene geltenden Festlegungen der Norm überein.

Die Bildung von **Bezugsmittlebenen für prismatische Geometrielemente** ist in der geltenden Norm nicht definiert. Es ist lediglich eine bildliche Darstellung enthalten, die zeigt, wie Bezüge

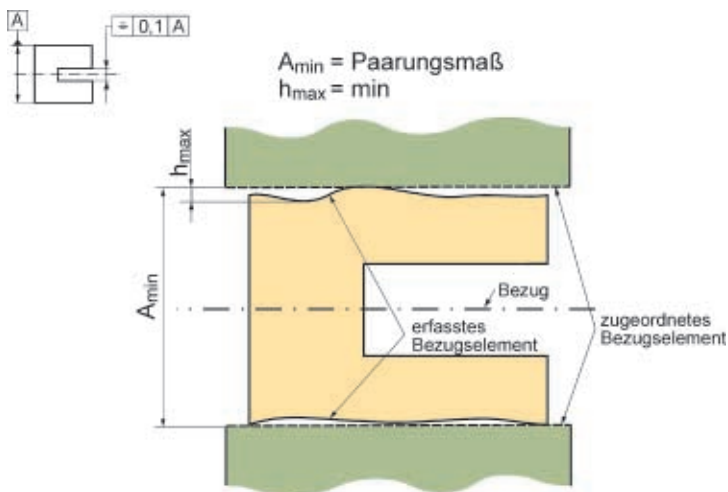


Bild 8. Mittlebene eines äußeren prismatischen Geometrielements als Bezug

durch Hilfsbezugselemente (Planplatten) gebildet werden können. Der Bezug ist in diesem Fall die Mittlebene der beiden ebenen Berührflächen der Planplatten. Diese Vorgehensweise entspricht nicht dem hier festgelegten Kriterium, da nicht vorgeschrieben ist, dass die beiden Hilfsbezugselemente parallel zueinander angeordnet sein müssen. Außerdem wird in der Norm keine Aussage getroffen, wie vorzugehen ist, wenn die Flächen des Teils konvex gekrümmt sind und dadurch die Hilfsbezugselemente keine stabile Lage einnehmen.

Wird das vorgeschlagene Kriterium zur Ermittlung von Bezügen auf die Bildung von Bezugsmittlebenen für prismatische Geometrielemente angewendet, so ist der größte rechtwinklige Abstand vom zugeordneten Bezugselement (zwei parallele Bezugsebenen) zum erfassten Bezugselement (zwei gegenüberliegende erfasste Flächen) zu minimieren, wobei der Abstand der beiden parallelen Ebenen (zugeordnetes Bezugselement) dem Paarungsmaß entsprechen muss. Der Bezug ist die aus dem zugeordneten Bezugselement abgeleitete Mittlebene (Bild 8). Diese Vorgehensweise führt immer zu einer eindeutigen Lösung.

Gemeinsame Bezüge

Gemeinsame Bezüge werden dann gebildet, wenn mehrere Bezugselemente an der Bildung eines Bezugs beteiligt sind. Der sich daraus ergebende gemeinsame Bezug ist ein Punkt, eine Gerade oder eine Ebene.

Ebenen als gemeinsamer Bezug können die gemeinsame Ebene zweier oder mehrerer Ebenen an sich oder die gemeinsame Mittlebene zweier oder mehrerer nicht notwendigerweise paralleler Ebenenpaare sein.

Der Begriff „gemeinsamer Bezug“ weist auf eine Nebenbedingung hin, die bei der Ermittlung der beteiligten Bezugselemente mittels der einseitigen Tschebyscheff-Approximation zu berücksichtigen ist.

Die gemeinsame Achse aus zylindrischen Geometrielementen als Bezug wird in der Norm definiert als die gemeinsame Achse der zwei kleinsten umschriebenen, koaxialen, einander zugeordneten Zylinder. Nachteilig ist, dass die Festlegung

- ▶ nur für Außenzylinder gilt,
- ▶ nur für zwei Bezugselemente gilt und
- ▶ in ihrer Formulierung „...zwei kleinsten...“, einander zugeordneten Zylinder“ mathematisch nicht eindeutig ist.

Eine andere Vorgehensweise kann diese Probleme umgehen. Ist der Bezug eine gemeinsame Achse, gebildet aus mehreren, koaxialen, einander zugeordneten Geometrielementen, so wird die gemeinsame Bezugsachse von den koaxialen zugeordneten Bezugselementen (zugeordnete Bezugszylinder) abgeleitet. Die Dimensionen (Durchmesser) der zugeordneten Bezugselemente müssen bei Wellen Minima und bei Bohrungen Maxima sein, wobei jeweils der größte radiale Abstand von den zugeordneten Bezugselementen zu den erfassten Bezugselementen (erfasste Bezugszylinder) ein Minimum sein muss (Bild 9).

Für die Bildung gemeinsamer Mittlebenen aus prismatischen Geometrie-

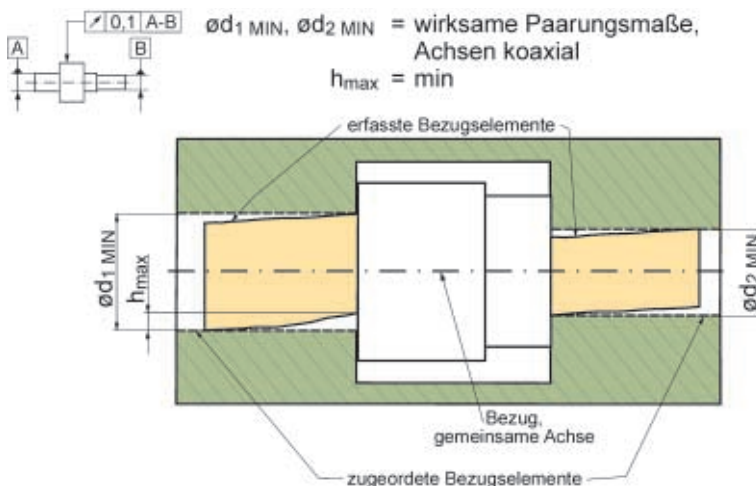
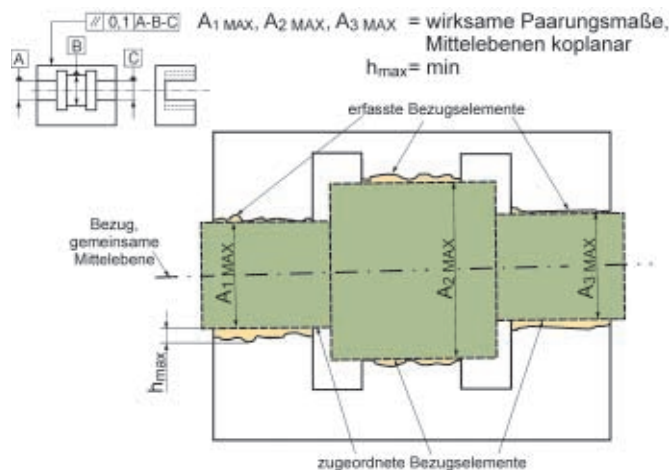


Bild 9. Gemeinsame Achse, gebildet aus zylindrischen Geometrielementen (Wellen), als Bezug

Bild 10. Gemeinsame Mittelebene, gebildet aus drei prismatischen Geometrielementen (Nuten), als Bezug



elementen als Bezug ist in der Norm kein Hinweis enthalten. Analog zur Bildung der gemeinsamen Achse wird die gemeinsame Mittelebene als Bezug aus den zugeordneten Bezugselementen (zugeordnete parallele Ebenenpaare), deren Mittelebenen koplanar sind, abgeleitet. Die Dimensionen (Abstände) der parallelen Ebenenpaare müssen bei inneren Geometrielementen Maxima und bei äußeren Geometrielementen Minima sein. Dabei muss der größte rechtwinklige Abstand von den zugeordneten Bezugselementen zu den erfassten Bezugselementen (erfasste gegenüberliegende

Bezugsflächenpaare) ein Minimum sein (Bild 10).

Bezugssysteme

Bezugssysteme werden zur Definition der Richtung und/oder des Orts einer Toleranzzone oder aber zur Definition der Richtung und/oder des Orts des wirksamen Zustands, im Fall von ergänzenden Bedingungen, z.B. der Maximum-Material-Bedingung, verwendet. Ein Bezugssystem ist entsprechend dem Normentwurf ISO/CD 5459-1 eine geordnete Liste von zwei oder drei Bezügen,

die Einzelbezüge oder gemeinsame Bezüge sein können. Für die primären Bezüge gelten dieselben Vorgehensweisen wie für die Einzelbezüge und die gemeinsamen Bezüge. Bei der Bildung der sekundären und tertiären Bezüge treten Nebenbedingungen auf, die bei der Ermittlung der beteiligten zugeordneten Bezugselemente mittels der einseitigen Tschebyscheff-Approximation zu berücksichtigen sind. Zum Beispiel stellt die Forderung, dass der sekundäre Bezug, wenn nicht anders festgelegt, rechtwinklig zum primären Bezug sein soll, eine solche Nebenbedingung dar.

Bei Bezugssystemen, die aus Ebenen gebildet werden, erfolgt die Bildung des primären Bezugs ebenso wie die Bildung von Einzelbezügen. Für den ebenen sekundären Bezug gilt, dass dieser rechtwinklig zum primären Bezug angeordnet ist, wobei der größte rechtwinklige Abstand vom sekundären Bezug zum erfassten Bezugselement ein Minimum sein muss (Bild 11). Ein möglicher tertiärer Bezug muss rechtwinklig zum primären und sekundären Bezug sein und muss das zugehörige erfasste Bezugselement berühren.

Bei einem Bezugssystem, das aus einer Ebene und einer dazu rechtwinklig angeordneten Zylinderachse gebildet wird, wird für den primären Bezug wie bei der Bildung von Einzelbezügen vorgegangen (Bild 3).

Rechtwinklig dazu ist der zugeordnete Bezugszylinder mit maximalem Durchmesser (wirksames Paarungsmaß) zu bilden, dessen Achse der sekundäre Bezug ist. Ist der sekundäre Bezug z. B. die Achse eines Außenzylinders, muss dessen Durchmesser minimal sein.

Derzeit sind die Algorithmen für die einseitige Tschebyscheff-Approximation in der Auswertesoftware der Messgeräte zum Bestimmen von Bezügen und Bezugssystemen nicht oder nur partiell enthalten. Es besteht aus diesem Grunde die Notwendigkeit, entsprechende Algorithmen in der Messgeräteausrüstungssoftware zu implementieren.

Literatur

- 1 Trumpold, H.; Beck, C.; Richter, G.: Toleranzsysteme und Toleranzdesign. Qualität im Austauschbau, Carl Hanser Verlag, München, Wien 1997
- 2 Neumann, H.-J. et al.: Koordinatenmesstechnik. Neue Aspekte und Anwendungen. Expert-Verlag, Ehningen 1993
- 3 Pfeifer, T.: Fertigungsmesstechnik. Oldenbourg Verlag, München, Wien 1998

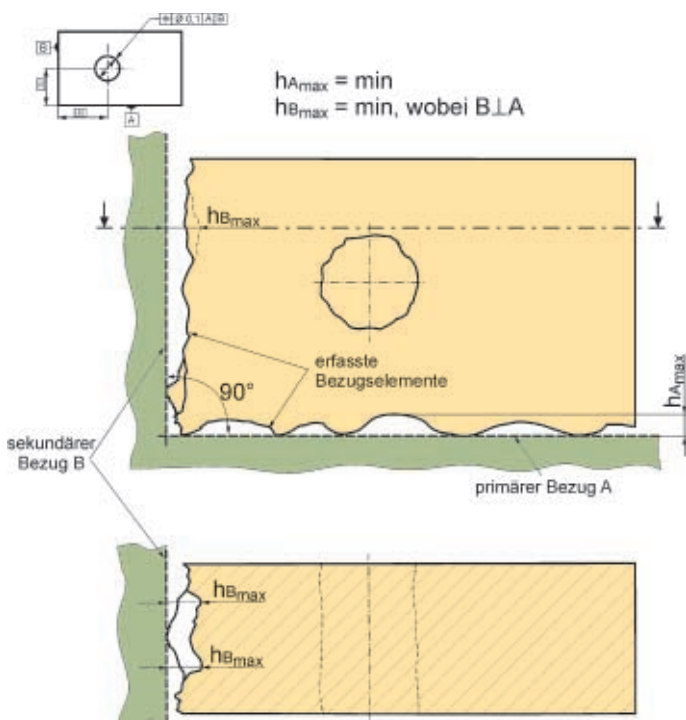


Bild 11. Bezugssystem, gebildet aus zwei Ebenen. Für den ebenen sekundären Bezug gilt, dass dieser rechtwinklig zum primären Bezug A angeordnet ist, wobei der größte rechtwinklige Abstand vom sekundären Bezug B zum erfassten Bezugselement ein Minimum sein muss

- 4 Weckenmann, A.; Gawande, B.: Koordinatenmesstechnik. Carl Hanser Verlag, München, Wien 1999
- 5 Collatz, L.; Krabs, W.: Approximationstheorie – Tschebyscheffsche Approximation mit Anwendungen. Teubner Studienbücher Mathematik, B. G. Teubner, Stuttgart 1973
- 6 Dietzsch, M.; Krystek, M.; Meyer, M.: Bestmögliche Annäherung. Neue Filterverfahren zur funktionsgerechten Beschreibung von Bauteilen. QZ – Qualität und Zuverlässigkeit 46 (2001) 5, Carl Hanser Verlag, München

Erwähnte Normen

DIN ISO 1101:1985. Technische Zeichnungen; Form- und Lagetolerierung; Form-, Richtungs-, Orts- und Lauf toleranzen; Allgemeines, Definitionen, Symbole, Zeichnungseintragungen

DIN ISO 5459:1982. Technische Zeichnungen; Form- und Lagetolerierung; Bezüge und Bezugssysteme für Form- und Lagetoleranzen

ISO/TR 14 638:1996. Geometrical Product Specifications (GPS) – Masterplan

DIN V 32 950:1997. Geometrische Produktspezifikation (GPS) – Übersicht (Vornorm)

DIN EN ISO 14 660-1: 1999. Geometrische Produktspezifikation (GPS). Geometrieelemente. Teil 1: Grundbegriffe und Definitionen

DIN EN ISO 14 660-2: 1999. Geometrische Produktspezifikation (GPS). Geometrieelemente. Teil 2: Erfasste mittlere Linie eines Zylinders und eines Kegels, erfasste mittlere Fläche, örtliches Maß eines erfassten Geometrieelementes

ISO/CD 5459-1: 1998. Geometrische Produktspezifikation (GPS). Datum for geometrical tolerancing. Part 1: General terms and definitions

Die Autoren dieses Beitrags

Prof. Dr.-Ing. Michael Dietzsch, Jahrgang 1946, war bis März 1994 Leiter der Zentralstelle Prüftechnik Teile (ZQT) der Robert Bosch GmbH, Stuttgart. Seit April 1994 ist er Profes-

sor für Fertigungsmesstechnik und Qualitätssicherung an der Technischen Universität (TU) Chemnitz.

Dr.-Ing. Gerhard Richter, Jahrgang 1937, studierte Fertigungsmesstechnik und Qualitätssicherung an der Technischen Hochschule Karl-Marx-Stadt. Er war bis 1970 als Kontrollbereichsleiter in der Industrie tätig. Von 1970 bis 1998 war er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fertigungsmesstechnik und Qualitätssicherung der TU Chemnitz.

Dipl.-Ing. Uwe Schreiter, Jahrgang 1970, studierte Maschinenbau in der Fachrichtung Fertigungsmesstechnik und Qualitätssicherung an der TU Chemnitz. Seit Oktober 1996 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Fertigungsmesstechnik und Qualitätssicherung tätig.

Dr. rer. nat. Michael Krystek, Jahrgang 1949, studierte Physik und Mathematik an der TU Berlin. Er ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Fertigungsmesstechnik der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB), Braunschweig.