

Bernd-Rüdiger Meyer
Dirk Falke

Maßhaltige Kunststoff-Formteile

Toleranzen und Formteilengineering



2., aktualisierte und erweiterte Auflage

HANSER



bleiben Sie auf dem Laufenden!

Hanser Newsletter informieren Sie regelmäßig über neue Bücher und Termine aus den verschiedenen Bereichen der Technik. Profitieren Sie auch von Gewinnspielen und exklusiven Leseproben. Gleich anmelden unter

www.hanser-fachbuch.de/newsletter

Die Internet-Plattform für Entscheider!

Exklusiv: Das Online-Archiv der Zeitschrift Kunststoffe!

Richtungsweisend: Fach- und Brancheninformationen stets top-aktuell!

Informativ: News, wichtige Termine, Bookshop, neue Produkte und der Stellenmarkt der Kunststoffindustrie

Kunststoffe.de

Bernd-Rüdiger Meyer
Dirk Falke

Maßhaltige Kunststoff-Formteile

Toleranzen und Formteilengineering

2., aktualisierte und erweiterte Auflage

HANSER

Die Autoren:

Prof. Dipl.-Ing B.-R. Meyer, 15517 Fürstenwalde

Dipl.-Ing. D. Falke, www.ingbuerofalke.de

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über [<http://dnb.ddb.de>](http://dnb.ddb.de) abrufbar.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Alle in diesem Buch enthaltenen Verfahren bzw. Daten wurden nach bestem Wissen dargestellt. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Darstellungen und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autoren und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Darstellungen oder Daten oder Teilen davon entsteht.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdruckes und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten. Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Einwilligung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder einem anderen Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG genannten Sonderfälle –, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2019 Carl Hanser Verlag München

www.hanser-fachbuch.de

Lektorat: Ulrike Wittmann

Herstellung: Jörg Strohbach

Coverconcept: Marc Müller-Bremer, www.rebranding.de, München

Coverrealisierung: Max Kostopoulos

Titelmotiv: © Max Kostopoulos

Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell

Druck und Bindung: Druckerei Hubert & Co. GmbH und Co. KG BuchPartner, Göttingen

Printed in Germany

ISBN: 978-3-446-44883-4

E-Book-ISBN: 978-3-446-46068-3

Die Autoren

Prof. Dipl.-Ing. B.-R. Meyer

Herr Prof. Meyer ist Chemieingenieur für Kunststofftechnologie (Ing.-Schule Fürstenwalde), Diplomingenieur für Maschinenbau und Fertigungstechnik mit Spezialisierung Kunststofftechnik (TU Dresden) und hat einen Diplomabschluss in Fachschulpädagogik (TU Dresden).

Er war in der Industrie als Spritzgießtechnologie und als Abteilungsleiter Forschung und Entwicklung für Kunststoffanwendung in der Kältetechnik tätig.

An der Ing.-Schule Fürstenwalde war er Dozent und Fachgruppenleiter für Kunststofftechnik und im Studiengang Kunststofftechnik an der TH Wildau hat er eine Professur geleitet.

Des Weiteren ist er Ehrenmitglied im Arbeitskreis selbständiger Kunststoffingenieure und Berater e. V. (KIB) und Gesellschafter der Makrolar GbR Berlin für Entwicklung und Vertrieb kunststofftechnischer Software.

Herr Prof. Meyer ist Mitglied des Fachausschusses „Toleranzen für Kunststoff-Formteile“ des DIN-Institut Berlin zu Erarbeitung der DIN 16742 als Nachfolgenorm von DIN 16901.



Dipl.-Ing. D. Falke

Herr Falke hat nach der Ausbildung zum Werkzeugmacher ein Fachhochschulstudium der Kunststofftechnik absolviert, anschließend ein berufsbegleitendes Maschinenbaustudium mit der Vertiefungsrichtung Konstruktion an der Technischen Universität Chemnitz.

Danach folgten Tätigkeiten als Werkzeugkonstrukteur und Produktentwickler.

Herr Falke hat seit 1992 ein eigenes Ingenieurbüro mit ca. sechs Mitarbeitern. Die Tätigkeitsschwerpunkte des Ingenieurbüros sind die Formteilentwicklung, Werkzeugkonstruktion, Füll- und Verzugssimulation und technische Beratung.

Mehr als 1900 Werkzeuge wurden bisher konstruiert bzw. Formteilentwicklungen erarbeitet, deren Anwendungsgebiete überwiegend in der Automobilindustrie und in der Medizintechnik liegen.

Dirk Falke ist seit 1994 als Gerichtsgutachter für Kunststofftechnik und Werkzeuge tätig.

Des Weiteren war er Mitglied und zwölf Jahre Präsident eines Arbeitskreises selbstständiger Kunststoffingenieure und Berater.

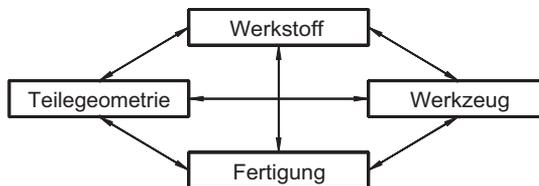
Dirk Falke ist darüber hinaus Vorstandsmitglied des GKV-TecPart e. V. und Obmann des Fachausschusses „Toleranzen für Kunststoff-Formteile“ am DIN-Institut in Berlin zur Erarbeitung der DIN 16742 als Nachfolgenorm der DIN 16901. 2016 übernahm er von Herrn Dr.-Ing. Martin Bohn die Leitung des ISO/TC 61/WG 3, des Arbeitskreises, welcher die ISO 20457 beraten und verabschiedet hat.

Weiterhin lehrt Dirk Falke an der Hochschule Schmalkalden mehrere Lehrgebiete um Formteil- und Werkzeugkonstruktion und verfahrenstechnische Einflüsse auf die erreichbare Formteilqualität.



Vorwort

Die Entwicklung und Fertigung qualitativ hochwertiger Kunststoff-Formteile bei akzeptablem Preis-Leistungs-Verhältnis erfordert die erfolgreiche Bearbeitung und Koordinierung der Entscheidungsfelder Werkstoff, Teilegeometrie, Werkzeug und Fertigung in ihrem untrennbaren Beziehungsgeflecht:



Aus Sicht des Qualitätskriteriums Maßhaltigkeit werden die Autoren wesentliche Aspekte dieser Beziehungen beschreiben. Dem Leser soll dabei vor allem die Überzeugung vermittelt werden, dass jedes Entscheidungsfeld letztlich gleichbedeutend für die Erfüllung der Maßhaltigkeitsforderungen ist. Dafür muss bereits am Beginn der Formteilentwicklung eine enge Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen den jeweiligen Kooperationspartnern organisiert werden, wobei für das Projektmanagement insbesondere auch die Verantwortlichkeiten für Entscheidungen und Realisierungen in allen Stufen eindeutig zu klären sind. Aktuelle Schwachstellen des Projektmanagements in organisatorischer und fachlicher Hinsicht werden deutlich angesprochen und mit ausführlichen Hinweisen für eine effektive Arbeitsweise verbunden.

Der konkrete Gegenstand des Buches betrifft Formteile aus Urformverfahren, wobei Spritzgieß- und Pressverfahren für Thermoplaste, thermoplastische Elastomere und Duroplaste den inhaltlichen Schwerpunkt bilden. Eine gewisse Übertragbarkeit, zumindest in den allgemeinen Grundsätzen, ist auch für andere Verfahren möglich. Besonders hohe maßliche Genauigkeitsanforderungen sind bei sogenannten technischen Teilen zu erwarten, wie sie in den Branchen Fahrzeug- und Maschinenbau, Elektrotechnik, Elektronik, Medizintechnik, Feinwerktechnik u. a. angewendet werden. Darüber hinaus spielen Kunststoff-Formteile in nahezu allen Wirtschafts- und Lebensbereichen mit sehr unterschiedlichen Anforderungsprofilen eine Rolle.

Es kann im Regelfall nicht erwartet werden, dass alle mit der Formteilentwicklung befassten Personen über das erforderliche kunststofftechnische Fachwissen verfügen. Die Autoren werden daher folgende fachlichen Schwerpunkte möglichst allgemeinverständlich erläutern:

- Metalle und Kunststoffe sind hinsichtlich der maßrelevanten Eigenschaften nicht oder nur extrem eingeschränkt vergleichbar: „Kunststoff ist kein weicher Stahl.“
- Kunststoff-Formteile sind immer mehr oder weniger verzugsgefährdet. Daher spielen die Form- und Lageabweichungen eine entscheidende Rolle. „Verzug ist nicht völlig vermeidbar, aber minimierbar.“
- Maßänderungen an Kunststoff-Formteilen müssen für drei unterschiedliche Maßbezugsebenen (Teileanwendung, Teilefertigung, Werkzeugfertigung) berücksichtigt werden, die durch verschiedene physikalisch-technische Kausalitätsbeziehungen und deren Überlagerung bestimmt sind. „Z.B. sind Maßänderungen von Kunststoffen im Vergleich zu Metallen bei gleicher Temperaturschwankung ca. 5- bis 20-mal größer.“
- Werkzeuge sind wichtige Produktionsmittel (Unikate) der Formteilmontage. Abhängig vom Formteilbedarf und den Qualitätsanforderungen ist der Aufwand für Konstruktion und Herstellung der Werkzeuge mit dem Ziel geringer Stückkosten konzeptionell zu optimieren. „Werkzeuge sind keine Stahlblöcke, die immer zu viel kosten.“
- Moderne Messverfahren ermöglichen bei entsprechendem Kostenaufwand die Messung vieler Maße selbst an simplen Teilen. Der Formteilentwickler sollte möglichst wenige funktionsbedingte Prüfmaße direkt tolerieren. „Es gibt Formteile, deren Herstellkosten zu 75 % durch Vermessung verursacht wurden.“

Im Februar 2011 wurde der Arbeitsausschuss „Toleranzen für Kunststoff-Formteile“ im FNK des DIN zur Erarbeitung einer neuen Norm gegründet (Obmann: D. Falke). Der TecPart-Verbandsstandard bildete die inhaltliche und methodische Grundlage. Insgesamt 24 Vertreter aus den Bereichen Formteilanwendung (z.B. sechs Automobilfirmen, sowie bekannte international agierende Zulieferkonzerne), Kunststoffverarbeitung, Dienstleistung sowie Wissenschaft/Forschung erarbeiteten die DIN 16742, die im Oktober 2013 herausgegeben wurde. Direkt im Anschluss wurden alle erforderlichen Schritte eingeleitet, um diese Norm in eine ISO-Norm zu überführen, welche im Oktober 2018 veröffentlicht worden ist.

Dabei ist es gelungen das Sekretariat an das DIN nach Berlin zu holen. Es wurde eine internationale Arbeitsgruppe, die WG 3 im TC61 zu gründen. Deren Vorsitzender war zunächst unser Mitautor Dr.-Ing. Martin Bohn, später übernahm Dirk Falke den Vorsitz.

Es sei erwähnt, dass zur einfacheren Handhabung der DIN 16742 bzw. der ISO 20457 die Firma Makrolar/Berlin Computersoftware zur Verfügung stellt, deren

Erweiterung um anwendungsbedingte Einflüsse auf die Maßhaltigkeit vorgesehen ist.

Rückblickend ist festzustellen, dass die Herausgabe der DIN 16742 in vielen Firmen einen Impuls gegeben hat, über das Thema Maßhaltigkeit nachzudenken, und mit dem Ziel des störungsärmeren Projektdurchlaufes und der Kostenreduzierung, diesem mehr Aufmerksamkeit zukommen zu lassen. Nach der Herausgabe der ISO-Norm hat sich dieser Effekt, insbesondere bei größeren Firmen, deutlich verstärkt.

Da die Buchautoren maßgebend Inhalt und Methodik der DIN 16742 bzw. der ISO mitgestaltet haben, darf der Leser eine ausführliche und praxisbezogene Einführung in die Normanwendung erwarten. Darüber hinaus wird er mit erweiterten Betrachtungen der Maßhaltigkeit aus Sicht der Formteilanwendung sowie mit den Möglichkeiten und Grenzen der Maßbeeinflussung vertraut gemacht. Zur Nutzung der Erfahrungen des Toleranzmanagement bei der Entwicklung und Anwendung von Kunststoff-Formteilen hat Dr.-Ing. Martin Bohn dankenswerterweise eine Einführung zum aus diesem Teilgebiet der Formteilkonstruktion beigesteuert.

Zu Weilen wird angemerkt, dass dem KonstrukteurInnen eines Gerätes ober einer Baugruppe nicht das Detailwissen bezüglich der Fähigkeiten und der Ausstattung des Herstellers der Kunststoff-Formteile zur Verfügung steht, um einschätzen zu können, wozu dieser in der Lage ist. Dies ist auch nicht in jedem Fall erforderlich. Ohne Frage kann mit der Einstufung der Genauigkeit frühzeitig im Projekt ein Hinweis gegeben werden, ob es sich um eine völlig unproblematische, von jedem Lieferanten zu haltende Toleranz handelt, oder ob es hier einer besonderen Aufmerksamkeit bedarf.

Prof. Dipl.-Ing. B.-R. Meyer

Dipl.-Ing. D. Falke

Mai 2019

Inhalt

Die Autoren	V
Vorwort	VII
1 Grundsätze zur Entwicklung maßhaltiger Formteile	1
1.1 Partner bei der Produktionsvorbereitung von Kunststoffteilen	1
1.2 Zeichnungen und Datensätze – Funktionen und Festlegungen	3
1.3 Qualitätsanforderungen an Kunststoff-Formteile unter den Bedingungen der Globalisierung	6
1.4 Sinn und Unsinn moderner Messdatenerfassung	15
1.5 Stellungnahme zur DIN 16901	16
1.6 Fachlich fundiertes Projektmanagement als Voraussetzung für den Projekterfolg	18
2 Maßhaltigkeit und geometrische Produktspezifikation	21
2.1 Geometrische Produktspezifikation und Toleranzarten	21
2.2 Toleranzfeldlagen und Tolerierungsarten für die Formteilmontage	24
2.3 Wirkzusammenhänge von Maßen (Toleranzanalysen)	27
2.4 Toleranzfestlegung	30
2.5 Rauheitstoleranzen	33
3 Einführung in das funktionsorientierte Toleranzdesign	35
3.1 Bezüge	38
3.2 Toleranzen	41
4 Maßbezugsebenen für die Anwendung und Fertigung von Formteilen	45
4.1 Definition der Maßbezugsebenen	45
4.2 Bestimmung der anwendungsbedingten Maßverschiebung und Maßstreuung ..	49
4.3 Demonstrationsbeispiel für den Übergang der Maßbezugsebenen	56
5 Kunststoffeigenschaften und deren Einfluss auf die Formteile unter Berücksichtigung der Maßhaltigkeit	61
5.1 Einführung	61
5.2 Strukturbeschreibung der Polymere	64
5.2.1 Chemische Strukturen (Konstitution der Makromoleküle)	64

5.2.2	Morphologische Strukturen (Konformation und Aggregation der Makromoleküle)	68
5.2.3	Vernetzte Strukturen	73
5.2.4	Polymermodifizierung durch Mischungen und Verbunde	74
5.3	Thermisch-mechanische Zustände von Polymeren	74
5.3.1	Verformungsarten bei mechanischer Beanspruchung	74
5.3.2	Thermische Zustände und Übergangsbereiche	75
5.4	Deformations- und Fließverhalten von Polymeren	81
5.4.1	Verarbeitungstechnologische Aspekte	81
5.4.2	Steifigkeit und p - v - T -Verhalten	81
5.4.3	Fließverhalten von Polymerschmelzen	83
5.4.4	Quellströmung beim Spritzgießen	86
5.5	Schwindungsverhalten von Kunststoff-Formteilen	89
5.5.1	Gegenstand und Definitionen zur Verarbeitungsschwindung	89
5.5.2	Beeinflussung der Verarbeitungsschwindung beim Thermoplastspritzgießen	90
5.6	Verzugsverhalten von Kunststoff-Formteilen	94
5.6.1	Verzug als Verformungs- und Stabilitätsproblem	94
5.6.2	Gestaltungsbeispiele für maßhaltige Kunststoff-Formteile	96
5.7	Richtwerte der Verarbeitungsschwindung für Kunststoffe	99
5.7.1	Bewertungsgrundlagen	99
5.7.2	Schwindmaßtabellen	101
5.8	Wärmedehnung, Nachschwindung und Quellung von Kunststoffen	106
5.8.1	Problemabgrenzung	106
5.8.2	Wärmedehnung	106
5.8.3	Nachschwindung	107
5.8.4	Quellung	110
6	Einfluss der Werkzeugkonzeption auf die Maßhaltigkeit	113
6.1	Einführung – Besonderheiten im Werkzeugbau	113
6.2	Deformation der Formteile beim Entformen	115
6.2.1	Verfahrenstechnische Deformation des Formteils	115
6.2.2	Werkzeugbedingte Deformationen des Formteils	117
6.3	Das Werkzeugkonzept	120
6.4	Die typischen Projektpartner	121
6.5	Die insbesondere die Maßhaltigkeit beeinflussenden Werkzeugeigenschaften ..	122
6.5.1	Allgemeines	122
6.5.2	Werkzeugtemperierung	123
6.5.3	Rheologische Ausbalancierung der Werkzeuge	124
6.6	Relevante Kostenanteile der Werkzeugkosten	127
6.7	Zusammenfassung	128

7	Anwendungsmöglichkeiten der Konstruktions- und Simulationstechniken	129
7.1	Grundlagen der Simulationsrechnungen	129
7.2	Modellaufbereitung	130
7.3	Füllsimulation	131
7.4	Simulation der Werkzeugtemperierung	133
7.5	Verzugssimulation	134
7.6	Bewertung der Simulationsergebnisse	137
8	Fertigungstolerierung nach DIN 16742/ISO 20457	141
8.1	Konzeptionelle Grundlagen und Anwendungsbereich der DIN 16742/ISO 20457	141
8.1.1	Konzeptionelle Grundlagen	141
8.1.2	Anwendungsbereich	145
8.2	Grenzabmaße für Größenmaße (Dimensionelle Tolerierung)	147
8.2.1	Bestimmung der Toleranzgruppen und Toleranzreihen	147
8.2.2	Einfluss von Recyclatzusätzen auf die Fertigungsgenauigkeit von Thermoplastformteilen	154
8.3	Positions- und Profilformtolerierung (Geometrische Tolerierung)	156
8.4	Beispiele für die dimensionelle Tolerierung	158
9	Literatur	163
10	Normenverzeichnis	165
	Register	167

1

Grundsätze zur Entwicklung maßhaltiger Formteile

■ 1.1 Partner bei der Produktionsvorbereitung von Kunststoffteilen

Kunststoff-Formteile werden in allen denkbaren Branchen eingesetzt. Typische Einsatzgebiete sind der Automobilbau, die Medizintechnik, der Geräte- und Maschinenbau, die Elektrotechnik sowie viele weitere Einsatzgebiete. Zur Herstellung von Formteilen wird immer eine Verarbeitungsmaschine inklusive der dazugehörigen peripheren Technik benötigt, welche vom Kunststoffverarbeiter vorgehalten wird.

Für ein Formteil wird ein spezielles Formwerkzeug benötigt, welches nur zur Herstellung eines Formteils verwendet werden kann. In seltenen Ausnahmen kann mit einem Werkzeug eine Gruppe von Formteilvarianten hergestellt werden.

Durch diese exklusive Verwendung der Formwerkzeuge ergibt sich, dass der Formteilbesteller auch im Regelfall der Eigentümer der Werkzeuge ist. Da dieser aber meist nicht über die erforderliche Verarbeitungstechnik verfügt, befinden sich die Werkzeuge in der Regel beim Kunststoffverarbeiter.

Hergestellt werden die Werkzeuge von einem Werkzeugbaubetrieb. Diese Konstellation bringt insbesondere in der Produktionsvorbereitungsphase einige Schwierigkeiten mit sich.

Die Firma, die einen Bedarf an Kunststoffteilen mit bestimmten Eigenschaften hat, bestellt diese und die zu deren Herstellung erforderlichen Formwerkzeuge bei einer kunststoffverarbeitenden Firma. Diese wiederum bestellt ein hinreichend spezifiziertes Werkzeug bei einem Werkzeugbauunternehmen.

Diese Vorgehensweise ist durchaus sinnvoll, um die Werkzeuge auf die Besonderheiten und Ausstattungsmerkmale der kunststoffverarbeitenden Firma abzustimmen.

Die Ursache für Abweichungen der Kunststoffteile von den Vorstellungen des Bestellers eines Bauteils kann im Werkzeug, in der Verarbeitung und in der Gestaltung des Kunststoffteils liegen.

Die Voraussetzung für das Erreichen eines bestimmten Qualitätsniveaus ist erfüllt, wenn alle die Qualität beeinflussenden Faktoren in der gleichen Güte erfüllt worden sind.

Einflussfaktoren auf die Formteilqualität:

- Formteilkonzept
- kunststoffgerechte Konstruktion des Formteils
- Werkzeugkonzept
- Werkzeugausführung
- Maschinen/Ausrüstung
- Verfahrenstechnik/Prozessführung
- Konstanz der Materialeigenschaften
- Qualifikation/Motivation des Bedienpersonals
- Qualitätssicherung der Fertigung

Es ist also oft nur ungenügend oder nicht möglich, bei nicht hinreichender Berücksichtigung einer der genannten Faktoren die daraus entstehenden Folgen am Formteil mit der Übererfüllung anderer Qualitätskriterien zu kompensieren.

Zur Erklärung sollen hier zwei Beispiele genannt werden, die in der Praxis häufig vorkommen:

- Ein Spritzgieß-Formteil, bei dessen Konstruktion gegen die Regel der annähernd gleichmäßigen Wandstärken verstoßen worden ist, wird zu Einfallstellen und Verzug neigen. Dies kann nicht durch die Verwendung einer besonders neuen Spritzgießmaschine kompensiert werden. Die Einhaltung von engen Maßtoleranzen ist hier deutlich erschwert bzw. unmöglich.
- Ein unangemessenes Werkzeugkonzept, das ein zu „weiches“ Werkzeug oder ein unzureichendes Entformungsprinzip beinhaltet, kann nicht durch besonders gut qualifiziertes Personal ausgeglichen werden.

Die hier dargelegten Zusammenhänge bedingen eine intensive Kommunikation zwischen allen Beteiligten, möglichst schon in einer frühen Projektphase. Sowohl kunststoffverarbeitende Firmen als auch Werkzeugbaubetriebe sind in aller Regel zu solchen Projektbesprechungen bereit, wenn diese nicht nur dem billigen Know-how-Transfer dienen sollen.

Hier können noch vor Fertigstellung der Formteilkonstruktion technisch begründete Aspekte der Fertigung und des Werkzeugbaus zum Vorteil aller Beteiligten in das Projekt einfließen.

Die ausschließlich nach monetären Gesichtspunkten entschiedene Auftragsvergabe im Einkauf technischer Produkte erweist sich bei nachträglicher, umfassender Nachkalkulation oft als äußerst unwirtschaftlich. Allerdings sei hier angemerkt, dass diese Art von Nachkalkulation bedauerlicher Weise extrem selten durchgeführt wird.

Erfahrungen nach Durchführung einer solch umfassenden Nachkalkulation am Ende eines Projektes unter ehrlicher Einbeziehung aller entstandenen Kosten zeigen eine signifikante Veränderung des technischen Einkaufsverhaltens mancher Firma.

Es soll hier nachdrücklich betont werden, dass alle ausgeführten Aspekte entscheidend für die Einhaltung der geforderten Maßhaltigkeit seien können.

Formwerkzeuge existieren in den aller meisten Fällen als Unikate. Der funktionelle Ausfall eines Werkzeugs hat somit in der Regel das Fehlen eines Bauteils zur Folge, ohne dieses ein Gerät, eine Maschine oder ein Fahrzeug nicht montiert und ausgeliefert werden kann. Hieraus begründet sich die große Bedeutung von Werkzeugen als Produktionsmittel, welche sich in der Produktionsvorbereitungsphase in einem entsprechend professionell organisierten Projektdurchlauf, während der Produktion in einer hinreichenden Aufmerksamkeit bezüglich der Verfügbarkeit der Werkzeuge widerspiegeln sollte. Planmäßig vorbeugende Werkzeugwartungen nach einem speziellen Pflege- und Wartungsplan sind somit unverzichtbar.

■ 1.2 Zeichnungen und Datensätze – Funktionen und Festlegungen

Technische Zeichnungen als Mittel zur Festlegung, Beschreibung und verbindlichen Weitergabe von Bauteilspezifikationen haben sich seit ca. 150 Jahren bewährt.

Signifikant weiterentwickelt haben sich in den letzten dreißig Jahren die Konstruktionstechnologie und die Messtechnik.

Die geometrische Komplexität der konstruierten Bauteile hat sich in den letzten Jahrzehnten deutlich gesteigert. In der Vergangenheit war auf Grund der Möglichkeiten der technischen Darstellung, den Möglichkeiten der Fertigung und nicht zuletzt den Möglichkeiten der Messtechnik die geometrische Komplexität der Bauteile begrenzt.

Nicht zuletzt ist es so, dass sich heute geometrische Details messen lassen, welche auf Zeichnungen kaum Berücksichtigung finden.

Die Herstellung von Bauteilen mit Freiformflächen oder schwer zu überschauenden Geometrien, wie beispielsweise mehrere unter verschiedenen Winkeln ineinander laufende Radien, ist heute für jeden Werkzeugbau kaum aufwändiger als die Fertigung trivialer Regelgeometrien. Der Grund liegt in der Fertigung der konturbildenden Werkzeugbauteile mit CNC-gesteuerten Maschinen. Grundlage der CNC-Programmierung ist das CAD-Modell der Werkzeugkonstruktion, welches direkt aus dem CAD-Modell des Formteils abgeleitet wird.

CAD-Datensätze von Formteilen auf dem Weg vom Formteil zur Werkzeugkonstruktion noch einmal neu aufzubauen, ist weder technisch elegant noch wirtschaftlich. Zusätzlich bringt es die Gefahr von Fehlern mit sich.

Die heute üblichen 3D-Schnittstellen der meisten CAD-Systeme erlauben bei richtiger Einstellung und einer hinreichend sorgfältigen Arbeitsweise der Konstrukteure die Weitergabe der Geometriedaten mit einer sehr geringen Fehlerquote.

Es kann somit zusammengefasst werden, dass mit der Übergabe des 3D-CAD-Datensatzes die Geometrie auf Nullmaßen, also ohne Toleranzen, vollständig beschrieben und zwischen den Projektpartnern ausgetauscht werden kann.

Neben der Beschreibung der Geometrie ist das CAD-Modell die Grundlage für CAD-gestützte Analyseverfahren wie Berechnung des Volumens bzw. der Masse, Entformungsschrägenanalyse, Wanddickenanalyse, Flächenstetigkeitsanalyse und natürlich die Werkzeugkonstruktion.

Es darf auch nicht unerwähnt bleiben, dass, abgesehen von sehr einfachen Bauteilen, das Erkennen und Verstehen der Geometrie, beispielsweise für die Preiskalkulation oder für Machbarkeitsanalysen, auch bei sehr guten Zeichnungsefähigkeiten mit Hilfe eines CAD-Systems deutlich schneller und mit einer geringeren Fehlerquote erfolgen kann.

Folgende Informationen oder Festlegungen sollten bzw. können nur auf Zeichnungen dokumentiert werden:

- Toleranzen von Maßen und Profilen
- Bezugssysteme und Bezugsstellen
- Oberflächenbeschaffenheit
- Zugrunde liegende Normen
- verbale Forderungen
- Hinweise zur Prüfung von Bauteilen
- Freigabevermerke
- Angaben zum Material

Da es unmöglich ist, mit Zeichnungen Freiformflächen geometrisch zu beschreiben oder diese etwa durch Maße zu quantifizieren, können Freiformflächen ausschließlich durch 3D-Datensätze weitergegeben werden.

Dies ist unabhängig davon, ob es sich um Papierzeichnungen oder Dateien mit 2D-Darstellungen handelt.

Es zeichnen sich momentan Tendenzen ab, bestimmte Informationen auch im CAD-Datensatz zu fixieren, die ansonsten Zeichnungen zugeordnet werden. Problematisch ist hier aber noch ein nicht auszuschließender Informationsverlust bei der Übergabe der Daten per Schnittstelle. So gibt es in vielen CAD-Systemen die Möglichkeit Bezugsstellen und Form- und Lagetoleranzen direkt am 3D-Datenmodell zu