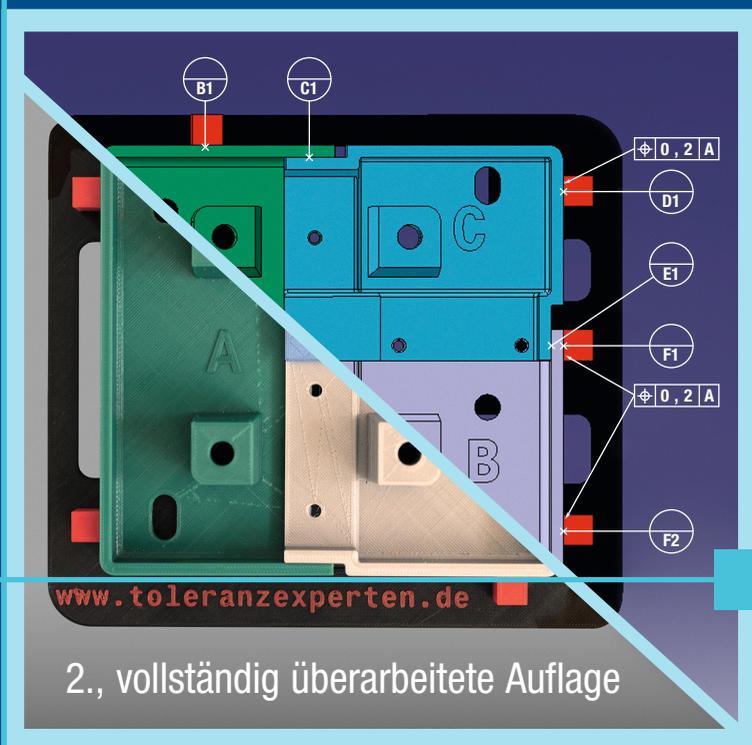


Martin Bohn  
Klaus Hetsch

# Funktionsorientiertes Toleranzdesign

Angewandte Form- und Lagetolerierung  
im Maschinen-, Fahrzeug- und Gerätebau



2., vollständig überarbeitete Auflage

HANSER

Bohn / Hetsch

## Funktionsorientiertes Toleranzdesign



### **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](http://www.hanser-fachbuch.de/newsletter)**



Martin Bohn  
Klaus Hetsch

# **Funktionsorientiertes Toleranzdesign**

Angewandte Form- und Lagetolerierung  
im Maschinen-, Fahrzeug- und Gerätebau

2., vollständig überarbeitete Auflage

**HANSER**

Die Autoren:

*Dr. Martin Bohn*, Leiter Toleranzmanagement S-/E-/C-Klasse sowie Elektrofahrzeuge bei der Daimler AG  
*Klaus Hetsch*, selbständiger Berater in der Bohn Hetsch Partnerschaft Toleranzmanagement

Die Autoren haben jahrzehntelange industrielle Erfahrung im Toleranzmanagement in der Automobil- und Zulieferindustrie. Dazu gehört auch eine langjährige Vorlesungs- und Schulungserfahrung, Beratungen, Projektarbeit sowie die Mitarbeit in OEM-übergreifenden Arbeitskreisen und der DIN bzw. ISO.

[www.toleranzexperten.de](http://www.toleranzexperten.de)



Alle in diesem Buch enthaltenen Informationen wurden nach bestem Wissen zusammengestellt und mit Sorgfalt geprüft und getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die im vorliegenden Buch enthaltenen Informationen 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 Informationen – oder Teilen davon – entsteht.

Ebenso wenig übernehmen Autoren und Verlag die Gewähr dafür, dass beschriebene Verfahren usw. frei von Schutzrechten Dritter sind. 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 Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek:

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

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 Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren) – auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung – reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© 2020 Carl Hanser Verlag, Kolbergerstraße 22, 81679 München

[www.hanser-fachbuch.de](http://www.hanser-fachbuch.de)

Lektorat: Dipl.-Ing. Volker Herzberg

Herstellung: Björn Gallinge

Coverkonzept: Marc Müller-Bremer, [www.rebranding.de](http://www.rebranding.de), München

Titelillustration: © Max Kostopoulos

Coverrealisation: Max Kostopoulos

Satz: Kösel Media GmbH, Krugzell

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

Printed in Germany

Print-ISBN: 978-3-446-46002-7

E-Book-ISBN: 978-3-446-46007-2

# Inhalt

|  |             |
|--|-------------|
| <b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....                               | <b>IX</b>   |
| <b>Kurzzeichen</b> .....   | <b>XI</b>   |
| <b>Vorwort</b> .....   | <b>XIII</b> |
| <b>1 Einleitung</b> .....  | <b>1</b>    |
| <b>2 Funktionsorientiertes Toleranzdesign</b> .....              | <b>3</b>    |
| 2.1 Entwicklungsprozess .....                                    | 4           |
| 2.2 Toleranzkonzept .....  | 6           |
| 2.3 Prozess zur Festlegung des Toleranzkonzepts .....            | 7           |
| <b>3 Anforderungen</b> .....                                     | <b>9</b>    |
| <b>4 Funktionen</b> .....  | <b>11</b>   |
| 4.1 Grundlagen zur Funktion .....                                | 11          |
| 4.2 Funktion klären .....  | 14          |
| 4.3 Typische Funktionen .....                                    | 16          |
| 4.3.1 Optische Funktionen .....                                  | 17          |
| 4.3.2 Technische Funktionen .....                                | 23          |
| 4.3.2.1 Abdichtung sicherstellen .....                           | 24          |
| 4.3.2.2 Kinematik sicherstellen .....                            | 24          |
| 4.3.2.3 Positionierung von Bauteilen zueinander sicherstellen .. | 25          |
| 4.3.2.4 Anbindungsfunktion .....                                 | 26          |
| 4.4 Beispiel zur Ableitung von Funktionen .....                  | 27          |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| <b>5</b> | <b>Fügefolge und Fertigungsprozess</b>                              | <b>31</b> |
| 5.1      | Fügefolge   | 31        |
| 5.2      | Fertigungsprozesse  | 33        |
| <b>6</b> | <b>Ausrichtung und Aufnahmen</b>                                    | <b>37</b> |
| <b>7</b> | <b>Bezüge</b>   | <b>39</b> |
| 7.1      | Begrifflichkeiten   | 39        |
| 7.2      | Definition eines Bezugs   | 41        |
| 7.3      | Verwendung von Bezugsstellen  | 45        |
| 7.4      | Verwendung mehrerer Bezüge  | 46        |
| 7.4.1    | Gemeinsamer Bezug   | 47        |
| 7.4.2    | Bezugssystem  | 50        |
| 7.5      | Vermittlung von Bezügen   | 54        |
| 7.6      | Referenzpunktsystem (RPS)   | 59        |
| 7.7      | Statisch überbestimmte Bezüge und Bezüge bei elastischen Bauteilen  | 62        |
| 7.8      | Einschränkung der Wirkung eines Bezugs                              | 66        |
| 7.9      | Beispiele von Bezügen   | 67        |
| 7.10     | Bezugsstellen vergeben  | 69        |
| 7.10.1   | Regeln zur Vergabe von Bezugsstellen                                | 69        |
| 7.10.2   | Vergabe von Bezugsstellen im Zusammenbau                            | 80        |
| 7.10.3   | Wechsel von Bezugsstellen   | 81        |
| <b>8</b> | <b>Toleranzen</b>   | <b>83</b> |
| 8.1      | Dimensionelle Tolerierung nach DIN EN ISO 14405                     | 85        |
| 8.2      | Form- und Lagetolerierung nach DIN EN ISO 1101 bzw. DIN EN ISO 5458 | 90        |
| 8.2.1    | Symbolik des Toleranzindikators                                     | 92        |
| 8.2.2    | Symbolik des Toleranzpfeils   | 93        |
| 8.2.3    | Ergänzende Symbole  | 94        |
| 8.2.4    | Formtoleranzen  | 102       |
| 8.2.5    | Richtungstoleranzen   | 111       |
| 8.2.6    | Ortstoleranzen  | 118       |
| 8.2.7    | Lauf  | 133       |
| 8.2.8    | Weitere Tolerierungsregeln  | 134       |
| 8.3      | Allgemeintoleranzen   | 135       |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 8.4       | Toleranzen vergeben .....   | 137        |
| 8.5       | Toleranzänderungen .....  | 138        |
| <b>9</b>  | <b>Prozessfähigkeiten und Toleranzen .....</b>                                      | <b>139</b> |
| 9.1       | Prozessfähigkeitskennwerte .....  | 139        |
| 9.2       | Zusammenhang Verteilung, Toleranzen und Prozessfähigkeit ...                        | 145        |
| <b>10</b> | <b>Analyse des Toleranzkonzepts .....</b>   | <b>147</b> |
| 10.1      | Toleranzrechnung .....  | 147        |
| 10.1.1    | Analytische Worst-Case-Rechnung .....   | 148        |
| 10.1.2    | Analytische statistische Rechnung .....   | 150        |
| 10.1.3    | Numerische statistische Rechnung .....  | 151        |
| 10.1.4    | Beurteilung der Rechenverfahren .....   | 154        |
| 10.1.5    | Optimierungsstrategien .....  | 156        |
| 10.2      | Verifikation durch Hardware .....   | 157        |
| 10.2.1    | Grundlagen .....  | 158        |
| 10.2.2    | Aufbau der Analyse .....  | 159        |
| 10.2.3    | Messtechnische Analyse .....  | 163        |
| <b>11</b> | <b>Optimierungsstrategien .....</b>   | <b>169</b> |
| <b>12</b> | <b>Umsetzung des Toleranzkonzepts .....</b>   | <b>173</b> |
| 12.1      | Lieferantenvergabe von Einzelteilen bzw. Zusammenbauten ....                        | 174        |
| 12.2      | Anlagen- und Prozessplanung .....   | 176        |
| 12.3      | Erstbemusterung .....   | 177        |
| 12.4      | Serienbegleitende Messung .....   | 178        |
| 12.5      | Prozessregelung .....   | 178        |
| <b>13</b> | <b>Anhang .....</b>   | <b>183</b> |
| 13.1      | Übersicht über die GPS-Normung .....  | 183        |
| 13.2      | Zeichnung und 3D-Datensatz .....  | 185        |
| 13.3      | Theoretisch exakte Dimensionen .....  | 189        |
| 13.3.1    | Analyse der Zeichnung .....   | 190        |
| 13.4      | Anwendungsbeispiel: Toleranzdesign am Beispiel einer Fuge ...                       | 195        |
| 13.5      | Anwendungsbeispiel: Toleranzdesign am Beispiel eines<br>zerspannten Gussteils ..... | 202        |
| 13.6      | Tolerierung bei Losgröße 1 .....  | 212        |

|        |  |            |
|--------|--|------------|
| 13.7   | Statistik                              | 212        |
| 13.7.1 | Normalverteilung                       | 213        |
| 13.7.2 | Standardabweichung                     | 213        |
| 13.7.3 | Erforderliche Stichprobengröße         | 215        |
| 13.7.4 | Verteilungen und Verteilungsadditionen | 217        |
| 13.8   | Begriffsdefinitionen                   | 219        |
| 13.9   | Literaturverzeichnis                   | 222        |
|        | <b>Index</b>                           | <b>225</b> |

# Abkürzungs- verzeichnis

|      |  |
|------|--|
| DIN  | Deutsches Institut für Normung                 |
| EN   | Europäische Normung                            |
| ET   | Einzelteil                                     |
| FEM  | Finite-Elemente-Methode                        |
| Fkt. | Funktion                                       |
| GPS  | Geometrische Produktspezifikation              |
| ISO  | International Organization for Standardization |
| RPS  | Referenz-Punkt-System                          |
| OTG  | Obere Toleranzgrenze                           |
| UTG  | Untere Toleranzgrenze                          |
| ZB   | Zusammenbau                                    |



# Kurzzeichen

|            |  |
|------------|--|
| $C_g$      | Messmittelfähigkeitsindex                                |
| $C_{gk}$   | kleinster Messmittelfähigkeitsindex                      |
| $C_p$      | Prozessfähigkeitsindex (auch Prozesspotenzial)           |
| $C_{pk}$   | kleinster Prozessfähigkeitsindex (auch Prozessfähigkeit) |
| $p$        | Wahrscheinlichkeitsmaß für die Annahme der Nullhypothese |
| $P_{pk}$   | vorläufige Prozessfähigkeit                              |
| $n$        | Stichprobengröße   |
| $s$        | Standardabweichung der Stichprobe                        |
| $t$        | Toleranzwert   |
| $x_i$      | Messwert der Messung i                                   |
| $1-\alpha$ | Wahrscheinlichkeit                                       |
| $\mu$      | Mittelwert   |
| $\sigma$   | Standardabweichung der Grundgesamtheit                   |
| $X$        | Quantil der Chi-Quadrat Verteilung                       |
| TOL        | Breite der Toleranzzone der Bezugstoleranz               |
| X, Y, Z    | Achsrichtungen des Produktkoordinatensystems             |



# Vorwort

Das Buch soll die Vorgehensweise vermitteln, wie ausgehend von der Funktion die Form- und Lagetoleranzen nach den Standards der Geometrische Produktspezifikation (GPS) festgelegt werden können. Es wird gezeigt, wie die Spezifikationsgüte durch eindeutigere Vorgaben gegenüber der Zweipunktmaßtolerierung steigt.

Da Toleranzen in einem interdisziplinären Team aus Mitarbeitern von Entwicklung, Prozessplanung, Produktion und Qualitätssicherung gemeinsam festgelegt werden müssen, vermittelt das Buch allen Beteiligten die methodischen Grundlagen und das erforderliche Grundwissen.

Durch die breite Behandlung der Grundlagen ist es für den Einsteiger in das Toleranzmanagement sehr gut geeignet. Der erfahrene Leser findet durch die Methodik der funktionsorientierten Tolerierung Ansatzpunkte, um seine eigene Vorgehensweise zu optimieren.

Die Schwerpunkte des Buchs sind:

- Prozess zur Festlegung des Toleranzkonzepts
- Sammlung der Anforderungen
- Beschreibung und Darstellung von Funktionen
- Fügefolge und Fertigungsprozesse
- Aufnahme, Ausrichtung und Bezüge
- Toleranzen
- Analyse des Toleranzkonzepts
- Normgerechte Anwendung und Interpretation von Bezügen und Toleranzen
- Anwendungsbeispiele

**Die Vorgehensweise an sich ist allgemeingültig und kann in unterschiedlichen Branchen angewendet werden.**

*Hinweise:*

Da sich der aktuelle Stand der Normen und Richtlinien weiterentwickelt, empfiehlt es sich, stets auf den aktuellsten Stand zu achten.

Die Darstellungen in diesem Buch sind aus Gründen der Übersichtlichkeit oft vereinfacht. So wird in vielen Fällen auf die Eintragung der theoretisch exakten Maße verzichtet. Viele Bilder sind Screenshots einer Tolerierung im 3D-Datensatz. Für diese Tolerierung gibt es keine verbindliche Vorgabe, da sich die gültigen Normen vor allem auf Zeichnungen beziehen.

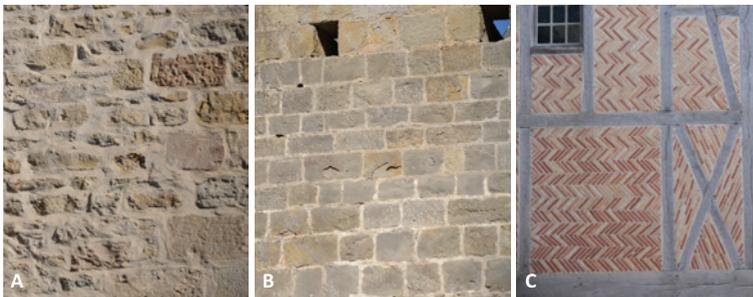
Die 2. Auflage enthält neben vielen inhaltlichen Ergänzungen und neuen Beispielen die Anpassung an den aktuellen Stand der Normung (Stand 3/2019) sowie eine detaillierte Erklärung zu Bezügen.

# 1

## Einleitung

Produkte existieren, um Funktionen zu erfüllen. Daher muss die Funktion im Mittelpunkt der Entwicklung stehen. Es gibt viele Schlagworte, in welchen das Wort Funktion verwendet wird, wie z.B. Funktionsstruktur, Funktionsweise und Funktionalität. Gegensatzpaare wie funktionsorientierte Bemaßung versus fertigungsorientierte Bemaßung sind allgemein bekannt. Toleranzen sind Sollvorgaben. Ihre Einhaltung soll die Funktion des Produkts sicherstellen. Dazu muss der Zusammenhang zwischen Funktion und Fertigung genau betrachtet und in Einklang gebracht werden.

Folgendes Beispiel aus dem Bauwesen zeigt für die Funktion *Wertanmutung* den Zusammenhang zwischen fertigungstechnischen Anforderungen, Entdeckenswahrscheinlichkeit von Fehlern und Herstellungskosten.



**Bild 1.1** Funktion und Kosten am Beispiel von Wänden

Die Wertanmutung nimmt von links nach rechts aufgrund der höheren Präzision zu.

Die Wand A mit ihren handbehauenen Natursteinen stellt aufgrund der dicken Mörtelfugen keine großen Anforderungen an die Maßhaltigkeit der Steine. Wand B mit den sichtbar kleineren Fugen stellt bereits wesentlich höhere Anforderungen an die Maßhaltigkeit der Natursteine. Die höchsten Anforderungen an die Maßhaltigkeit der Steine sowie an den Verbauprozess stellt die Wand C dar.

Die Entdeckenswahrscheinlichkeit von Fehlern steigt ebenfalls von A nach C.

Steigen aber auch die Herstellungskosten? Wenn die Fertigungstechnologie der handbehauenen Steine beibehalten wird, steigen die Herstellungskosten. Wenn die Fertigungstechnologie auf maschinelle Ziegelsteine geändert wird, sinken die Herstellungskosten bei gleichzeitig steigender Präzision.

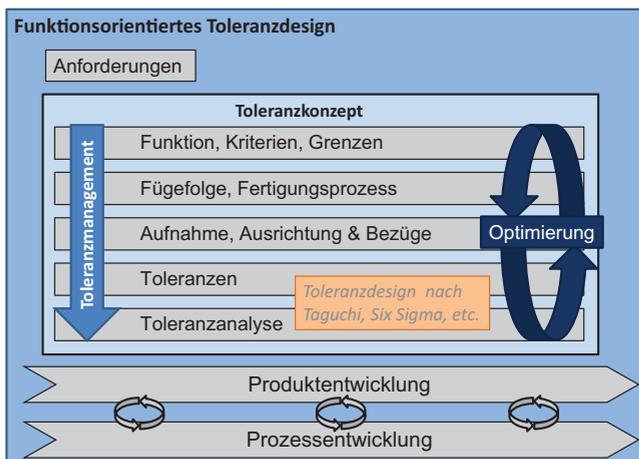
Dies zeigt deutlich die Notwendigkeit, bereits während der Entwicklung die Belange von Funktion und Fertigung in Einklang zu bringen.

# 2

## Funktionsorientiertes Toleranzdesign

Funktionsorientiertes Toleranzdesign wird in diesem Buch in Anlehnung an Taguchi [Taguchi 1986] verwendet. Taguchi beschreibt den Prozess zur Definition von Toleranzgrenzen als Toleranzdesign. Dieser ursprüngliche Ansatz wird auch im Six-Sigma-Umfeld als Toleranzanalyse verwendet.

Das hier entwickelte funktionsorientierte Toleranzdesign führt zwar zum gleichen Ergebnis: *Die Toleranzen sind festgelegt*. Der Ansatz ist jedoch wesentlich umfassender. Dies zeigt auch das folgende Bild, in dem der Ansatz nach Taguchi eingetragen ist.



**Bild 2.1** Funktionsorientiertes Toleranzdesign

Besonders wichtig ist die Notwendigkeit der frühzeitigen Einbindung in den Entwicklungsprozess, denn die Basis des funktionsorientierten Toleranzdesigns sind die Anforderungen, welchen das Produkt genügen muss. Basierend auf diesen Anforderungen wird das Toleranzkonzept entwickelt. Im Toleranzkonzept sind Produkt- und Prozessentwicklung eng verknüpft und sie beeinflussen sich gegenseitig. Das Toleranzkonzept muss sich in einer analysefähigen Verifikation wider-

spiegeln. Der iterative Prozess der Erstellung des Toleranzkonzepts wird häufig als Toleranzmanagement bezeichnet.



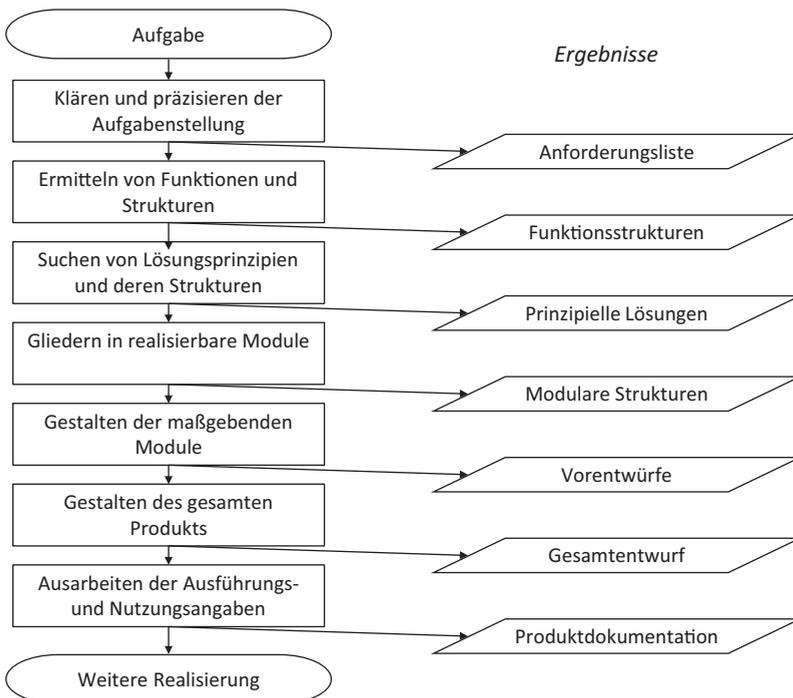
### Definition funktionsorientiertes Toleranzdesign

Das funktionsorientierte Toleranzdesign ist die methodische Vorgehensweise, um ausgehend von den Anforderungen mit Hilfe des Toleranzmanagements alle relevanten Parameter, wie Fertigungsprozesse, Aufnahmen, Ausrichtungen, Bezüge und letztendlich Toleranzen, zu definieren und damit die Funktion sicherzustellen.

## 2.1 Entwicklungsprozess

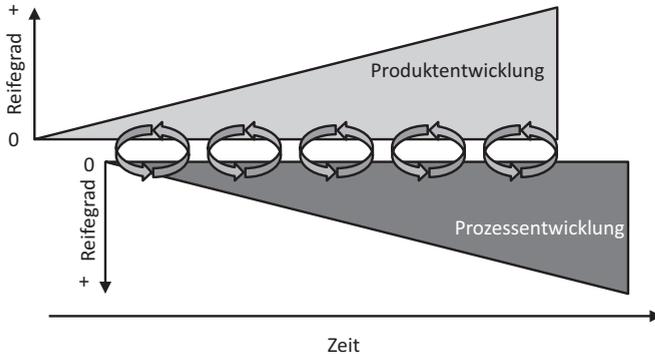
Das funktionsorientierte Toleranzdesign erstreckt sich über den gesamten Entwicklungsprozess. Das typische und immer noch aktuelle Modell für den prinzipiellen Ablauf der Entwicklung eines Produkts ist in der VDI 2221 von 1993 beschrieben.

Bild 2.2 zeigt diese Methodik nach VDI 2221.



**Bild 2.2** Methodik zum Entwickeln von Produkten nach VDI 2221

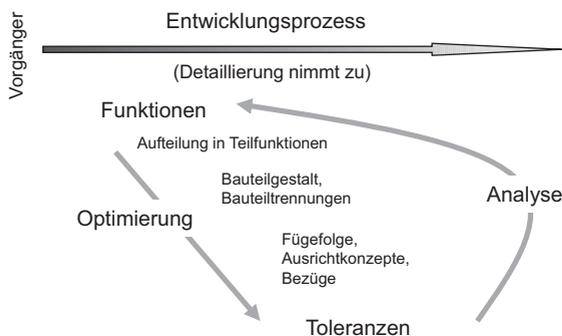
Aus dieser Vorgehensweise ist jedoch die parallele Entwicklung von Produkt und Fertigungsprozess nicht erkennbar. Die ausgeprägten Wechselwirkungen sowie die gemeinsame Reifegradsteigerung zeigt Bild 2.3.



**Bild 2.3** Gemeinsame Reifegradsteigerung von Produkt und Prozess

Das einfache Beispiel der drei Wände aus der Einleitung zeigt die Notwendigkeit der Abstimmung von Produkt und Prozess, da die Wand C mit Fischgrät-Muster nur durch eine geänderte Fertigungstechnik möglich wurde.

In vielen Fällen ist die Entwicklung eines neuen Produkts eine Evolution des Vorgängerprodukts bzw. eines Konzepts, das sich parallel in der Entwicklung befindet. Daher setzt das Toleranzkonzept auf diesen Erfahrungen auf und wird über mehrere digitale und physikalische Entwicklungsschritte bis hin zur Serie ausdetailliert, siehe Bild 2.4.



**Bild 2.4** Vorgehensweise im Entwicklungsprozess

Zur erfolgreichen Verankerung von Toleranzkonzepten im Entwicklungsprozess ist eine eindeutige Definition von Meilensteinkriterien zu den Quality Gates erforderlich. Diese ist mit klaren Verantwortlichkeiten und Kunden-/Lieferantenbeziehungen zu hinterlegen.

Die folgenden methodischen W-Fragen helfen die erforderlichen Teilprozesse zu klären, siehe Bild 2.5.



**Bild 2.5** Leitfragen zur Prozessklärung

Bei komplexen Produkten sowie bei verteilten Entwicklungen muss ein Bereich oder eine Person die Gesamtverantwortlichkeit für das Toleranzkonzept haben.

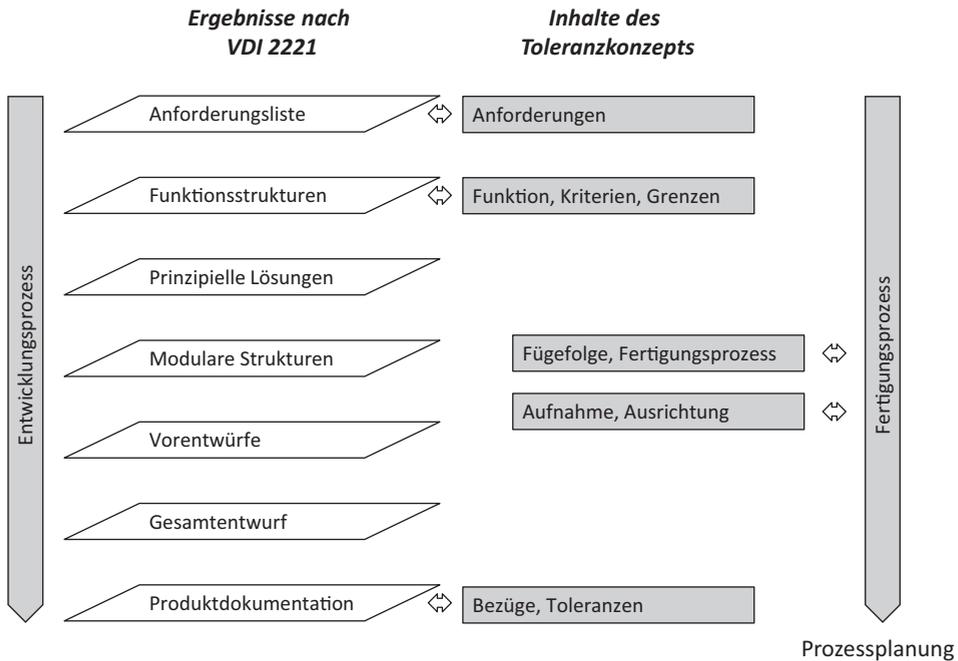
## ■ 2.2 Toleranzkonzept

Das Toleranzkonzept umfasst im weitesten Sinne alle Informationen, die notwendig sind, um eine funktionsorientierte Tolerierung durchzuführen. Dazu gehören:

- Funktionen
- Fügefolge, Fertigungsprozess
- Aufnahme und Ausrichtung
- Bezüge
- Toleranzen.

Interessant ist ein Vergleich der Inhalte mit den Ergebnissen der VDI 2221. Dieser ist in Bild 2.6 dargestellt.

Die mehr produktspezifischen Inhalte des Toleranzkonzepts finden Entsprechungen in der VDI 2221, die mehr fertigungsspezifischen Inhalte sind Teil der Fertigungsplanung (siehe Bild 2.6). Hier zeigt sich die verbindende Rolle des Toleranzmanagements zwischen Entwicklung und Fertigung(-splanung).



**Bild 2.6** Vergleich Ergebnisse nach VDI 2221 und Inhalte des Toleranzkonzepts

## ■ 2.3 Prozess zur Festlegung des Toleranzkonzepts

Das Toleranzkonzept kann nicht von einer Person alleine erarbeitet werden, sondern ist das Ergebnis der Abstimmung an den Schnittstellen zwischen verschiedenen Bereichen unter Koordination eines Moderators. Dieser wird teilweise auch als Toleranzmanager bezeichnet.



**Bild 2.7** Beteiligte Bereiche bei der Erstellung des Toleranzkonzepts

Um sicherzustellen, dass die Belange aus allen Bereichen in das Toleranzkonzept einfließen, ist ein Toleranzarbeitskreis interdisziplinär zusammengesetzt.



Es ist wichtig, dass die Teilnehmer das Mandat ihrer Bereiche haben und ihre Aussagen verbindlich sind, sonst sind Schleifen und Zeitverzögerungen die Folge.

Die Benennung der Teilnehmer bedeutet nicht zwangsläufig, dass es einen Arbeitskreis gibt, der mit allen Teilnehmern tagt. Es kann sich als effizienter erweisen, die anstehenden Themen mit den direkt betroffenen Partnern abzustimmen.

Bei komplexen Produkten kann es erforderlich werden, die Arbeitskreise in Bereiche aufzuteilen. Besonderes Augenmerk muss auf die Schnittstellen gelegt werden. Dies hat zwei Gründe:

1. Probleme treten meist in Schnittstellen aufgrund mangelnder Abstimmung auf.
2. Durch die Definition von genau beschriebenen Schnittstellen besteht die Gefahr, dass sich die einzelnen Bereiche optimieren und das Gesamtoptimum nicht erreicht wird.

Daher sollte eine Person die Verantwortung für alle Schnittstellen tragen. Diese Person muss mit der entsprechenden Entscheidungsbefugnis ausgestattet sein oder sie muss die direkte Möglichkeit zur Eskalation in das entsprechende Entscheidungsgremium besitzen.

Die Erstellung des Toleranzkonzepts erfolgt in Schleifen im Entwicklungsprozess in verschiedenen Detaillierungsgraden. Die prinzipielle Vorgehensweise ist immer dieselbe und wird im folgenden Bild dargestellt.



**Bild 2.8** Prozess zur Erstellung des Toleranzkonzepts

Auf die einzelnen Inhalte des funktionsorientierten Toleranzdesigns wird im Detail in den folgenden Hauptkapiteln eingegangen.

# 3

## Anforderungen

Die Konstruktion und der dazugehörige Fertigungsprozess werden maßgeblich von den Anforderungen an das Produkt bzw. den Prozess bestimmt.

Daher müssen diese Anforderungen bereits zu Projektbeginn oder in einer frühen Projektphase verbindlich definiert und dokumentiert werden.

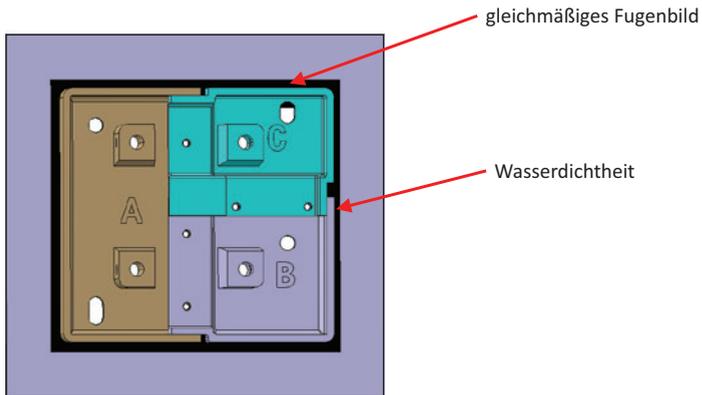
Verantwortlich für die Erstellung der Anforderungsliste ist nach Pahl/Beitz [Pah 07] der Entwicklungsleiter bzw. der Projektleiter des Entwicklungsprojekts. Er muss die Anforderungsliste mit allen Bereichen, wie z. B. Geschäftsleitung, Design, Vertrieb, Service, abstimmen. Die Anforderungsliste darf nachträglich nur durch einen Beschluss der Entwicklungsleitung geändert werden.

Mögliche Quellen für Anforderungen sind in der folgenden Tabelle aufgeführt.

**Tabelle 3.1** Mögliche Quellen von Anforderungen

| Themenschwerpunkt | Firmenintern   | Extern                                  |
|-------------------|--|---|
| Interessengruppen | Bereiche, wie Design, Marketing, Vertrieb, Entwicklung, Fertigung, Einkauf | Kunde, Lieferant                        |
| Produkt           | Vorgängerprodukt, neue Technologien  | Wettbewerbsprodukte, Marktentwicklungen |
| Vorschriften      | Firmennormen, Modulstrategie   | Gesetze, Normen                         |

Die Anforderungen sind oft sehr abstrakt formuliert und müssen weiter detailliert werden. Das Bild 3.1 zeigt exemplarisch einige Anforderungen.



**Bild 3.1** Anforderungen an ein Produkt

Das Produkt aus den Teilen A, B, C soll in den vorgegebenen Ausschnitt passen. Die Anforderungen sind ein gleichmäßiges Fugenbild und die Wasserdichtheit im Bereich der schwarzen Dichtung.

Die weitere Ausdetaillierung kann hier auf der Ebene der Anforderungen erfolgen oder bei einfachen Anforderungen auf der Ebene der Funktionen.