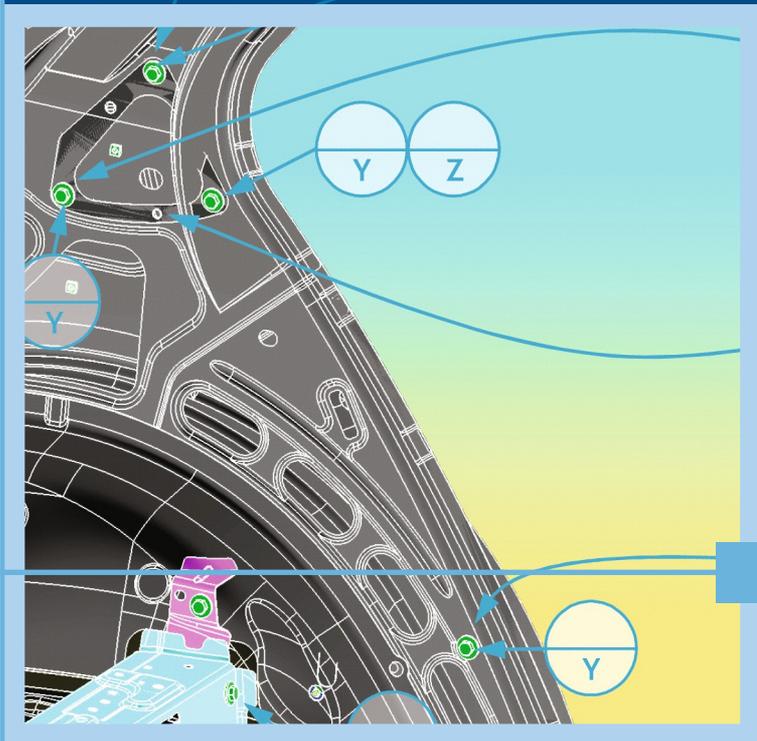


Martin Bohn  
Klaus Hetsch

# Toleranz- management im Automobilbau



EXTRA  
Mit kostenlosem E-Book

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



Martin Bohn  
Klaus Hetsch

# **Toleranzmanagement im Automobilbau**

HANSER

*Die Autoren:*

Dr. Martin Bohn,  
Leiter Toleranzmanagement, Forschung und Entwicklung, Daimler AG, 71059 Sindelfingen  
Klaus Hetsch,  
Forschung und Entwicklung Toleranzmanagement, Daimler AG, 71059 Sindelfingen

Bibliografische Information Der Deutschen Bibliothek:

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

ISBN: 978-3-446-43496-7

E-Book-ISBN: 978-3-446-43544-5

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 erstellt und mit Sorgfalt getestet. Dennoch sind Fehler nicht ganz auszuschließen. Aus diesem Grund sind die in diesem Buch enthaltenen Verfahren und Daten mit keiner Verpflichtung oder Garantie irgendeiner Art verbunden. Autor und Verlag übernehmen infolgedessen keine Verantwortung und werden keine daraus folgende oder sonstige Haftung übernehmen, die auf irgendeine Art aus der Benutzung dieser Verfahren 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.

© Carl Hanser Verlag, München 2013

Herstellung: Steffen Jörg

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

Coverrealisierung: Stephan Rönigk

Satz, Druck und Bindung: Kösel, Krugzell

Printed in Germany

# Inhalt

<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	IX
<b>Kurzzeichen</b> .....	XI
<b>1 Einleitung</b> .....	1
1.1 Ziele des Buchs .....	2
1.2 Aufbau des Buchs .....	2
<b>2 Toleranzmanagement im Automobilbau</b> .....	5
2.1 Begriffsdefinition Toleranzmanagement .....	5
2.2 Weitere Begriffsdefinitionen aus dem Toleranzmanagement .....	6
<b>3 Grundlagen</b> .....	9
3.1 Normung .....	10
3.2 Konstruktionsmethodische Grundlagen .....	11
3.3 Koordinatensystem .....	13
3.4 Bauteilgeometrie .....	14
3.5 Bezüge .....	14
3.5.1 Definition eines Bezuges .....	14
3.5.2 Definition einer Bezugsstelle .....	15
3.5.3 Definition eines Bezugssystems .....	16
3.6 Toleranzen .....	18
3.6.1 Verwendete Toleranzen im Fahrzeugbau .....	19
3.6.1.1 Symbolik des Toleranzrahmens .....	20
3.6.1.2 Symbolik des Toleranzpfeils .....	21
3.6.1.3 Positionstoleranz .....	23
3.6.1.4 Profil einer Linie .....	24
3.6.1.5 Profil einer Fläche .....	24
3.6.1.6 Verbundene Tolerierung .....	24

3.6.2	Allgemeintoleranzen .....	25
3.6.3	Tolerierungsgrundsatz .....	26
3.7	Qualitätssicherung .....	27
3.7.1	Normalverteilung .....	27
3.7.2	Standardabweichung .....	28
3.7.3	Erforderliche Stichprobengröße .....	29
3.7.4	Qualitätskenngrößen .....	31
3.7.5	Qualitätsregelung .....	35
3.8	Toleranzrechnung .....	38
3.8.1	Analytische Worst-Case Rechnung .....	38
3.8.2	Analytische statistische Rechnung .....	40
3.8.3	Numerische statistische Rechnung .....	41
3.8.4	Beurteilung der Rechenverfahren .....	42
3.9	Fahrzeugtechnische Grundlagen .....	44
3.9.1	Die Karosserie .....	44
3.9.2	Hauptanbauteile .....	45
3.9.3	Fügen .....	47
3.9.4	Verfahren zum Vermitteln von Toleranzen .....	47
3.9.5	Verfahren zur Unterbrechung von Toleranzketten .....	49
<b>4</b>	<b>Methodik zur Erstellung des Toleranzkonzepts .....</b>	<b>53</b>
4.1	Funktion klären .....	54
4.1.1	Optische Funktionen .....	56
4.1.2	Technische Funktionen .....	59
4.1.2.1	Anbindungsfunktion .....	59
4.1.2.2	Kinematik .....	60
4.1.2.3	Dichtfunktion .....	63
4.1.2.4	Beispiel Dichtfunktion .....	63
4.2	Funktionsmaß .....	65
4.3	Beurteilungskriterien für die Funktion festlegen .....	67
4.4	Fügefølge festlegen .....	69
4.5	Bezugsstellen vergeben .....	71
4.5.1	Regeln zur Vergabe von Bezugsstellen .....	71
4.5.2	Vergabe von Bezugsstellen am Einzelteil .....	77
4.5.3	Vergabe von Bezugsstellen im Zusammenbau .....	80
4.5.4	Wechsel von Bezugsstellen .....	81
4.6	Ausrichtkonzept festlegen .....	83
4.7	Toleranzen vergeben .....	84

4.8	Bauteilgestalt optimieren .....	86
4.9	Optimierungsstrategien .....	92
<b>5</b>	<b>Toleranzmanagement im Entwicklungsprozess .....</b>	<b>95</b>
5.1	Entwicklungsprozess .....	95
5.2	Interdisziplinäre Zusammenarbeit .....	97
<b>6</b>	<b>Analyse des Toleranzkonzepts .....</b>	<b>99</b>
6.1	Grundlagen .....	99
6.2	Aufbau der Analyse .....	100
6.3	Prozessanalyse .....	103
6.4	Messtechnische Analyse .....	105
<b>7</b>	<b>Anwendungsbeispiel .....</b>	<b>109</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>121</b>
<b>9</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>123</b>
9.1	Checkliste zum toleranzgerechten Konstruieren .....	123
9.2	Fragen und Übungen .....	124
<b>Index</b>	.....	<b>145</b>



# Abkürzungs- verzeichnis

CFK	Kohlenstofffaserverstärkter Kunststoff
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Normung
ET	Einzelteil
FEM	Finite-Elemente-Methode
GPS	Geometrische Produktspezifikation
ISO	Internationale Organisation für Normung
OTG	Obere Toleranzgrenze
RB	Rohbau
SMC	Sheet molding compound
STF&P	Soft Touch Form & Pierce
UTG	Untere Toleranzgrenze
ZB	Zusammenbau



# Kurzzeichen

$C_p$	Prozesspotenzial
$C_{pk}$	Prozessfähigkeit
$n$	Stichprobengröße
$s$	Standardabweichung der Stichprobe
$x_i$	Messwert der Messung $i$
$1-\alpha$	Wahrscheinlichkeit
$\mu$	Mittelwert
$\sigma$	Standardabweichung der Grundgesamtheit
$\chi$	Quantil der Chi-Quadrat-Verteilung
TOL	Breite des Toleranzfeldes der Bezugstoleranz
A	Primärebene des Bezugssystems (im allgemeinen Fall)
B	Sekundärebene des Bezugssystems (im allgemeinen Fall)
C	Tertiärebene des Bezugssystems (im allgemeinen Fall)
X, Y, Z	Achsrichtungen des Fahrzeugkoordinatensystems



# 1

## Einleitung

In der vorindustriellen Zeit (bis Mitte des 18. Jahrhunderts) spielten Toleranzen keine Rolle, da in der reinen Handfertigung alle Bauteile zueinander angepasst wurden. In der industriellen Fertigung kommt der Gedanke der Austauschbarkeit der Teile neu hinzu. Dadurch entfällt die individuelle Anpassung der Einzelteile zueinander. Dies bildete den Ursprung für die Betrachtung von Toleranzen.

Der Fokus zu Beginn des 20. Jahrhunderts lag vor allem auf den Themen Maßtoleranz und Passung. Für die Passungen haben sich bei den Welle-Nabe-Verbindungen die Systeme „Einheitsbohrung“ oder „Einheitswelle“ entwickelt. Später kamen dann die Form- und Lagetoleranzen hinzu.

Im klassischen Maschinenbau werden diese Verfahren und Methoden seit langem erfolgreich angewendet. Dieser zeichnet sich durch vorwiegend starre Körper und die Gestaltung anhand von Regelgeometrien aus.

Durch den erheblich gesteigerten Qualitätsanspruch im Automobilbau wurde es notwendig, das Toleranzmanagement des klassischen Maschinenbaus immer mehr auf den Automobilbau zu übertragen.

Dementsprechend wurden die Methoden zur Anwendung angepasst, optimiert und in die Entwicklungs-, Fertigungs- und Qualitätsprozesse integriert.

Das Toleranzmanagement im Automobilbau differenziert sich heute erheblich von dem seit vielen Jahren bekannten und angewandten Toleranzmanagement im klassischen Maschinenbau.

Die größten Unterschiede bestehen in der komplexen, funktionsorientierten Ausrichtung von nachgiebigen Bauteilen zueinander und den ästhetischen Aspekten bei den optischen Funktionen.

Toleranzen sind ein integraler Bestandteil der Produktbeschreibung und haben einen signifikanten Einfluss auf die Funktion, die Herstellbarkeit und die Kosten eines Produktes. Soll die Funktion verbessert, die Herstellung vereinfacht oder die Kosten gesenkt werden, kann dies unter anderem durch die Änderung des Toleranzkonzeptes erfolgen. Dies hat direkte Auswirkung auf die Bauteilgestalt und die Bauteiltrennungen. Somit fängt das Toleranzmanagement ganz früh in der Pro-

duktentwicklung an und zieht sich bis in die Qualitätssicherung durch, die ihrerseits den Kreis durch die Rückmeldung aus der Produktion schließt.

## ■ 1.1 Ziele des Buchs

Das Buch soll Entwicklern und Planern eine Hilfestellung im Umgang mit Toleranzen bieten, da sie in der frühen Phase des Entwicklungsprozesses die größten Einflussmöglichkeiten auf das Toleranzkonzept haben. Da das Toleranzmanagement viele Bereiche wie Design, Entwicklung, Planung, Produktion und Qualitätsmanagement über den gesamten erforderlichen Produktentstehungsprozess hinweg begleitet, wird in diesem Buch das entsprechende Basiswissen dargestellt.

Eine weitere wichtige Zielgruppe sind Dozenten und Studierende, damit diese Grundlagen allgemein bekannt sind.

Die Schwerpunkte des Buchs sind:

- Beschreibung und Darstellung von Funktionen
- Methodische Grundlagen zu Bezugsstellen, Toleranzen
- Vorgehensweisen bei der Erstellung des Toleranzkonzepts
- Toleranzmanagement im Entwicklungsprozess
- Analyse des Toleranzkonzepts

Da der Stand der Richtlinien lebt, empfiehlt es sich folgenden Hinweis ernst zu nehmen.



In diesem Werk wird direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDA) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert, dennoch können die Autoren keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, für eigene Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

## ■ 1.2 Aufbau des Buchs

Zu Beginn des Buchs werden im Kapitel 2 die notwendigen Begriffsdefinitionen getroffen. Die Grundlagen zu Bezügen und Toleranzen werden in Kapitel 3 erläutert. Des Weiteren sind hier die verschiedenen Methoden zur Toleranzrechnung, die Definition von Qualitätskenngrößen sowie ein Überblick über das Fahrzeug

enthalten. Das Kapitel 4 geht auf die Methodik zur Erstellung des Toleranzkonzepts ein. Der Prozess des Toleranzmanagements selbst wird im Kapitel 5 beschrieben. Die Analyse der Toleranzkonzepte anhand von realen Messungen findet sich im Kapitel 6. Die Methode zum Erstellen des Toleranzkonzepts wird anhand eines fiktiven Praxisbeispiels in Kapitel 7 angewendet. Im Kapitel 9 finden sich eine Checkliste zur toleranzgerechten Gestaltung sowie Übungsbeispiele.



Alle dargestellten Zahlenwerte im Buch sind als Beispiele zur Veranschaulichung zu sehen und entsprechen nicht Originaldokumenten. Des Weiteren sind die vorgestellten Konzepte aus didaktischen Gründen vereinfacht.