

# HANSER



## Leseprobe

zu

## „Funktionsorientiertes Toleranzdesign“

von Martin Bohn und Klaus Hetsch

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

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

Weitere Informationen und Bestellungen unter  
<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-46002-7>

sowie im Buchhandel

© Carl Hanser Verlag, München

# 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 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>

# 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.

# 4

# Funktionen

Die Funktion bildet den Kern des Produkts. Daher ist es wichtig, alle Aspekte der Funktion ausführlich zu betrachten.

## ■ 4.1 Grundlagen zur Funktion

Die Funktion ist nach Pahl/Beitz [Pah 07] definiert als:



„Allgemeiner und gewollter Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang eines Systems mit dem Ziel, eine Aufgabe zu erfüllen.“ [Pah 07]

Um die Funktion klar zu beschreiben, gilt folgende Regel:



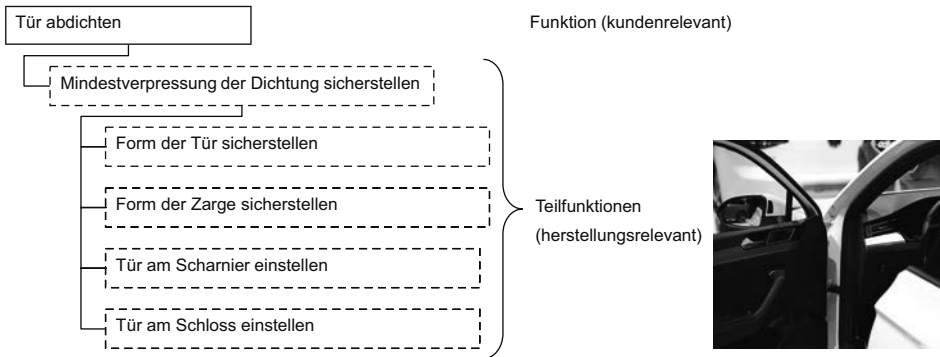
Eine Funktion wird durch ein Substantiv und ein Verb beschrieben.

Ein Beispiel für eine Funktion ist „Tür abdichten“.

Ein technisches Produkt muss viele Funktionen in seinem Produktlebenslauf erfüllen. Dies gilt nicht nur für das fertige Produkt, sondern auch in allen Stufen des Herstellungsprozesses. Das Ziel des Toleranzmanagements ist die Funktionserfüllung auf der Produktebene, da diese kundenrelevant ist. Diese soll mit möglichst minimalen Toleranzanforderungen – d.h. möglichst großen Toleranzen – an die Funktionsmaße des Herstellungsprozesses erfolgen, da diese nicht kundenrelevant sind.

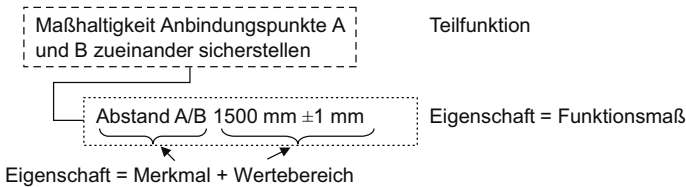
Eine Funktion kann in Teilfunktionen zerlegt und hierarchisch gestuft werden, siehe Bild 4.1.





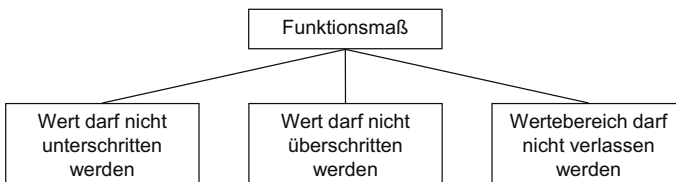
**Bild 4.1** Zerlegung in Teilfunktionen

Alle diese Funktionen werden durch Maß-, Form- und Lageabweichungen beeinflusst. Daher wird der Begriff des Funktionsmaßes als Eigenschaft der Funktion definiert. Diese Eigenschaft besteht wiederum aus einem Merkmal und einem Wert. Der Wert muss hier gegenüber der sonst gängigen Definition auf einen Wertebereich ausgedehnt werden.



**Bild 4.2** Eigenschaft einer Teilfunktion

Durch die Einhaltung der Toleranz eines Funktionsmaßes wird die Funktion sichergestellt. Dieses Funktionsmaß besteht aus einem Nominalwert (Nennwert) und der Toleranz. Aus Funktionsicht gibt es einen direkten Zusammenhang zwischen dem Nennwert und der Toleranz. Das Bild 4.3 zeigt die drei Möglichkeiten des Zusammenhangs.



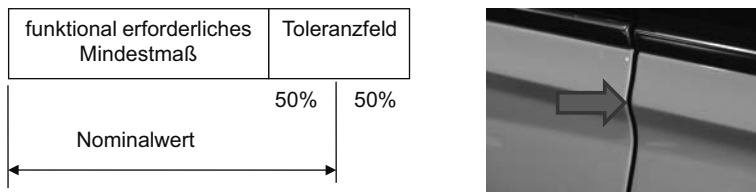
**Bild 4.3** Funktionsmaßgrenzen

Bei Funktionsmaßen sind Nominalwerte mit symmetrischer Toleranz zu bevorzugen. Der Grund liegt u. a. darin, dass Fehlerquellen vermieden werden. Diese sind beispielsweise eine falsche Richtung der Toleranz oder Fehler bei der Erzeugung verschobener Geometrien.

Temperatureinflüsse, eventuell erforderliche Sicherheiten etc. sind im funktional erforderlichen Mindestmaß zu berücksichtigen.

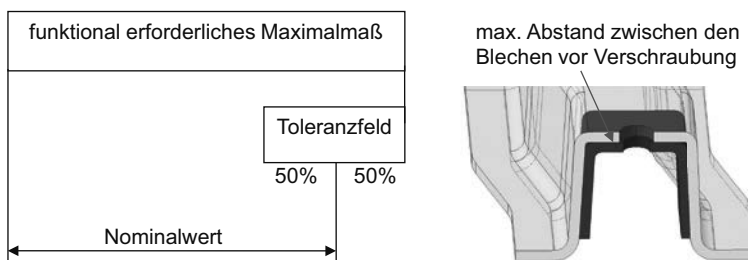
Ein Beispiel für den Fall, dass ein Wert nicht unterschritten werden darf, ist eine Türfuge. Wenn das Fugenmaß zu klein wird, droht die Kollision beim Öffnen. Dies ist gravierender als der Fall eines zu großen Werts, der lediglich die Optik verschlechtert.

Das nominale Funktionsmaß bei funktional erforderlichem Mindestmaß wird gemäß Bild 4.4 ermittelt.



**Bild 4.4** Nominalwert bei funktional erforderlichem Mindestmaß

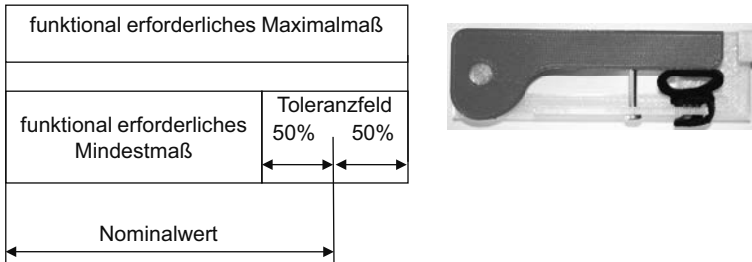
Wenn der Maximalwert nicht überschritten werden darf, errechnet sich der Nominalwert entsprechend der folgenden Darstellung. Ein Beispiel dafür ist der maximale Luftspalt in einer Schraubverbindung vor dem Anziehen.



**Bild 4.5** Nominalwert bei funktional erforderlichem Maximalmaß

Der kritischste Fall ist die funktional erforderliche beidseitige Einschränkung, denn die technisch machbare Streubreite muss kleiner sein als der Abstand beider Grenzen. Der Nominalwert ist, wie im folgenden Bild gezeigt, der Mittelwert aus der oberen und unteren Funktionsgrenze. Ein Beispiel dafür ist die Dichtung. Auf der rechten Seite von Bild 4.6 ist ein Funktionsmodell einer Dichtung im Schnitt

dargestellt. Bei zu kleiner Verpressung des Dichtprofils ist sie undicht. Bei zu großer Verpressung steigen die Kräfte über das gewünschte Maß an.



**Bild 4.6** Nominalwert für beidseitig beschränktes Funktionsmaß

Die Funktionsgrenzen bzw. das funktional erforderliche Minimal- oder Maximalmaß müssen im Vorfeld durch Versuche, Simulationen oder Messungen an Vergleichskonzepten, etc. bestimmt werden. Die DIN EN ISO 8015 formuliert dies noch genauer. *Die Funktionsgrenzen beruhen auf einer vollständigen Untersuchung, die experimentell oder theoretisch oder als eine Kombination von beidem durchgeführt worden ist, und sind ohne Unsicherheit bekannt.*



Das Funktionsmaß ist die Maßangabe, die durch ihr Antragen und ihre Anwendung die Einhaltung der Funktion gewährleistet.

Dementsprechend ist dieses Maß nach der Funktion zu tolerieren.

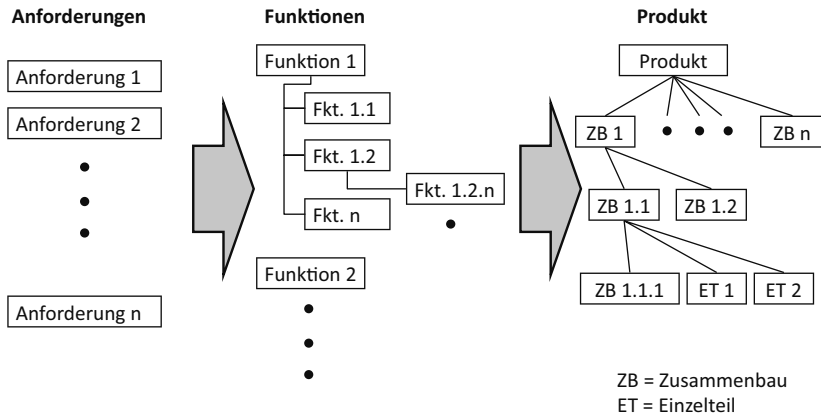
## ■ 4.2 Funktion klären

Im Idealfall sind alle Anforderungen in der Anforderungsliste enthalten. Die Funktionen können aus den Anforderungen durch weitere Klärung und Detailierung ermittelt werden. Falls für ein Projekt keine Anforderungen dokumentiert vorliegen und auch keine Anforderungsliste erstellt werden kann, müssen die Funktionen aus Sicht des Endkunden sowie aus den Anforderungen aus den einzelnen Schritten des Produktlebenszyklus (z. B. Herstellungsprozess) ermittelt und dokumentiert werden.

Das Bild 4.7 zeigt die verschiedenen Gliederungen von Anforderungen, Funktionen und Produkten.

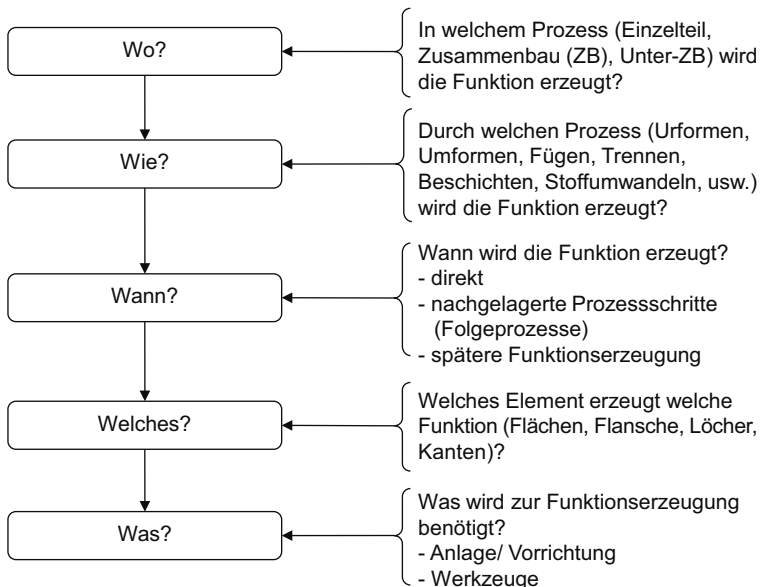
Zwischen den Anforderungen und den Funktionen ist die Überleitung noch relativ einfach möglich. So führt beispielsweise die Anforderung der Wasserdichtheit zu einer Funktion „Dichtung sicherstellen“. Im Schritt zur Produktstruktur wird dies

schon komplex, da diese von der konkreten Gestaltung abhängt. Es werden irgendwo in der Produktstruktur mindestens eine Dichtung und zwei Dichtflächen benötigt. Die Dichtung kann ein eigenes Bauteil sein, die Dichtflächen sind oft nur Bestandteile von Bauteilen.



**Bild 4.7** Anforderungen, Funktionen und Produkt

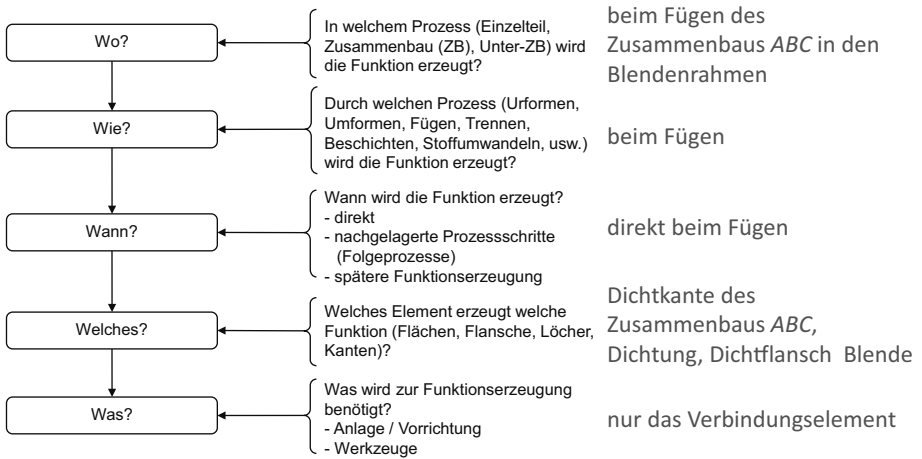
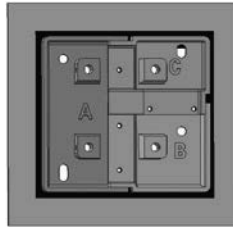
Zum Verständnis der funktionalen Zusammenhänge ist es erforderlich, diese anhand von Leitfragen zu klären. Die Grundlage für eine Funktionsklärung sind die methodischen (offenen) Fragen, welche zu Beginn gestellt werden müssen. Diese Fragen basieren auf den prozesstechnischen „W-Fragen“, die in Bild 4.8 dargestellt sind.



**Bild 4.8** Leitfragen zur Funktionsklärung

Das Bild 4.9 zeigt an einem einfachen Beispiel die Anwendung auf das Produkt aus Bild 3.10.

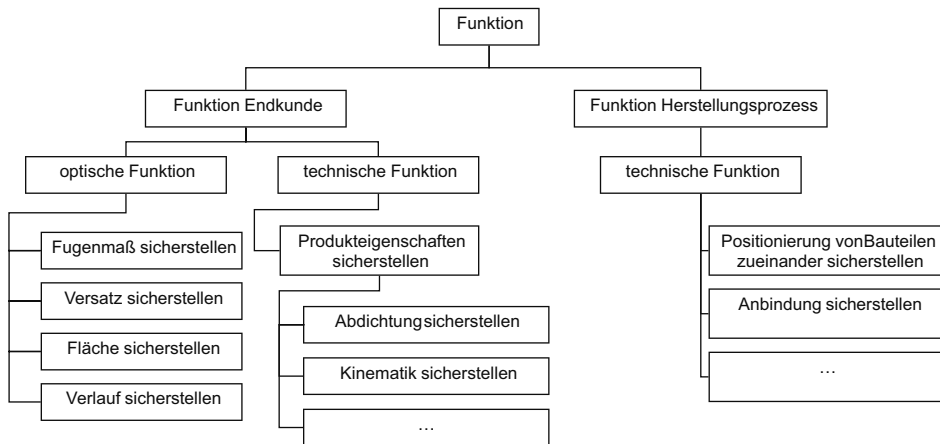
Funktion: Abdichtung sicherstellen



**Bild 4.9** Anwendungsbeispiel zur Funktionsklärung

## ■ 4.3 Typische Funktionen

Das Bild 4.10 enthält einige typische Funktionen und gliedert diese nach den vom Endkunden gewünschten Funktionen und internen Erfordernissen aus dem Herstellungsprozess.



**Bild 4.10** Gegliedertes Beispiel typischer Funktionen

### 4.3.1 Optische Funktionen

Ziel der optischen Funktionen ist es u. a., hohe Qualität zu symbolisieren. Dies wird u. a. durch schmale, gleichmäßige Fugenverläufe erreicht. Auch Struktur- und Spiegelkanten sind von hoher Bedeutung bei der optischen Beurteilung von Produkten.



**Bild 4.11** Fugen am Beispiel eines Fahrzeugexteriours

Fugen gliedern zum einen das Design und deuten Kundenfunktionen an, z. B. die Größe des Einstiegs. Zum anderen stören sie ein monolithisches Design. Die Wirkung der Fugen hängt von verschiedenen Parametern ab. Diese sind beispielsweise:

- Länge der Fuge
- Fugenmaß

- Radien
- Lage der Fuge im Sichtbereich, Abstand zum Betrachter
- räumliche Krümmung der Fuge
- Materialien
- Farben
- Anzahl der Fugen im Umfeld
- Erwartungshaltung des Kunden

Das Bild 4.12 zeigt den Unterschied in der Wirkung von Fugen in Abhängigkeit von Material und Verlauf.



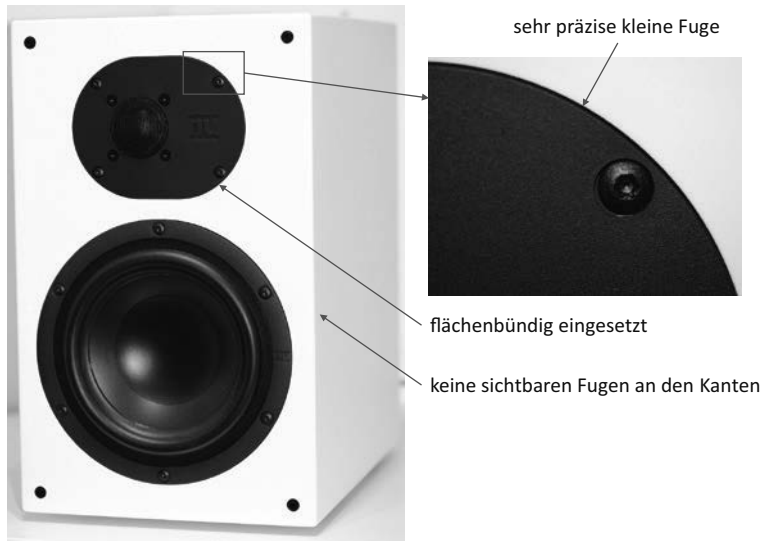
**Bild 4.12** Wirkung der Fugen in Abhängigkeit der Materialien

Im Fahrzeugexterieur gibt es wenige langgestreckte Fugen. Es fallen vor allem die Fugen zwischen lackierten Bauteilen bzw. zwischen verchromten Bauteilen auf. Die Fugen in schwarzen Bereichen, z. B. bei Gummi, fallen kaum ins Gewicht. Im Fahrzeuginterieur gibt es extrem viele kurze Fugen mit einer großen Vielfalt an Materialien. Die Nullfugen weich eingebetteter Bauteile fallen kaum auf. Der Fokus liegt stärker auf den großen Fugen, den Hartteulfugen und den Zeigerwirkungen.

Fugen und Versatzmaße spielen in vielen Branchen eine große Rolle. Das Bild 4.13 zeigt die Front einer Lautsprecherbox.

Früher wurden Lautsprecher einfach aufgesetzt. Heute sind sie wegen der höheren Wertanmutung flächenbündig eingesetzt. Dadurch entsteht jedoch eine direkt erkennbare Fuge mit einem erkennbaren Versatz. Durch die Präzision, die der Hersteller an diesem Merkmal erreicht, schließt der Kunde auf die restliche Präzision bzw. Qualität des Produkts. An der Lautsprecherbox ist ebenfalls der Trend zur Elimination von Fugen erkennbar. Die einzelnen Bretter der Box sind ohne sichtbare Fuge gefügt.

Viel deutlicher ist dies in der Elektronikbranche zu sehen.



**Bild 4.13** Fugen an einer Lautsprecherbox



**Bild 4.14** Fugen an Mobiltelefonen

Durch den Entfall von Fugen wirkt das Design wesentlich aufgeräumter und wertiger. Selbst die Trennung am linken Telefon zwischen Schwarz und Silber ist hinter Glas und somit nicht als Fuge beurteilbar.

Fugen wirken aufgrund der Radien optisch unterschiedlich. Dies zeigt Bild 4.15 anhand von drei Fugen mit identischem Nennmaß aber unterschiedlichen Radien.



# Index

## A

abgeleitetes Geometrieelement 40  
Anforderungen 9  
assoziiertes Geometrieelement 40  
Ausrichtkonzept 37

## B

Bezug 39  
Bezugselement 41  
Bezugsstelle 41, 69  
Bezugsstellenwechsel 81  
Bezugssystem 50

## D

Dichtfunktion 24

## E

Ebenheitstoleranz 104  
Erstbemusterung 177

## F

Flächenprofil 110  
Fuge 18  
Fügefølge 31, 33  
Fugenmaß 20  
Funktion 11  
Funktionsgrenze 29  
Funktionsklärung 15

Funktionsmaß 12

Funktionsorientiertes Toleranzdesign 3

## G

Geradheitstoleranz 102

## H

Hüllbedingung 84

## I

ideales Geometrieelement 40  
integrales Geometrieelement 40

## K

Konformität 167  
Konzeptanalyse 159

## L

Linie 41

## M

Maximum-Material-Bedingung 84  
Messprozesseignung 166  
Messrichtung 21  
Messstelle 174  
Messsystemanalyse 165  
Messunsicherheit 164

**N**

Nenngeometrieelement 40  
Normalverteilung 213

**O**

Optimierungsstrategien 169  
Optische Funktionen 17  
Orientierungsebene 95

**P**

Positionstoleranz 119  
Prozessanalyse 160  
Prozessfähigkeit 139  
Prozessregelung 178  
Prüfmaß 175

**R**

Richtungsgeometrieelement 96

**S**

Schnittebene 94  
Situationselement 40  
Standardabweichung 213

Stichprobengröße 215  
Symmetrietoleranz 127

**T**

Technische Funktionen 23  
Teilfunktion 12  
Theoretisch Exakte Dimension 44  
Toleranz 83  
Toleranzänderung 138  
Toleranzindikator 92  
Toleranzkonzept 6  
Toleranzpfeil 93  
Toleranzrechnung 147  
Toleranzvergabe 137

**U**

Unabhängigkeitsprinzip 83, 84

**V**

Verteilungsaddition 217

**Z**

Zeichnung 190  
Zweipunktmaß 85