



Leseprobe

Martin Bohn, Klaus Hetsch

Funktionsorientiertes Toleranzdesign

Maßgeschneiderte Präzision im Maschinen-, Fahrzeug- und Gerätebau

ISBN (Buch): 978-3-446-45009-7

ISBN (E-Book): 978-3-446-45010-3

Weitere Informationen oder Bestellungen unter

<http://www.hanser-fachbuch.de/978-3-446-45009-7>

sowie im Buchhandel.

Inhalt

Abkürzungsverzeichnis	IX
Kurzzeichen	XI
Vorwort	XIII
1 Einleitung	1
2 Funktionsorientiertes Toleranzdesign	3
2.1 Entwicklungsprozess	4
2.2 Toleranzkonzept	7
2.3 Prozess zur Festlegung des Toleranzkonzepts	8
3 Anforderungen	11
4 Funktionen	13
4.1 Grundlagen zur Funktion	13
4.2 Funktion klären	16
4.3 Typische Funktionen	19
4.3.1 Optische Funktionen	20
4.3.2 Technische Funktionen	27
4.3.2.1 Abdichtung sicherstellen	27
4.3.2.2 Kinematik sicherstellen	28
4.3.2.3 Positionierung von Bauteilen zueinander sicherstellen ..	29
4.3.2.4 Anbindungsfunktion	30
4.4 Beispiel zur Ableitung von Funktionen	31

5	Fügefolge und Fertigungsprozess	35
5.1	Fügefolge	35
5.2	Fertigungsprozesse	38
6	Ausrichtung und Aufnahmen	41
7	Bezüge	43
7.1	Begrifflichkeiten	43
7.2	Definition eines Bezugs	45
7.3	Verwendung von Bezugsstellen	48
7.4	Bezugsstellen bei nicht eigensteifen Bauteilen	50
7.5	Bezeichnung von Bezugsstellen	51
7.6	Einschränkung eines Bezugs	52
7.7	Definition eines Bezugssystems	54
7.8	Bezugssysteme in der Praxis	57
7.9	Beispiele von Bezügen	62
7.10	Bezugsstellen vergeben	64
7.10.1	Regeln zur Vergabe von Bezugsstellen	64
7.10.2	Vergabe von Bezugsstellen am Einzelteil	75
7.10.3	Vergabe von Bezugsstellen im Zusammenbau	79
7.10.4	Wechsel von Bezugsstellen	81
8	Toleranzen	83
8.1	Dimensionelle Tolerierung	85
8.2	Form- und Lagetolerierung nach DIN EN ISO 1101 bzw. DIN EN ISO 5458	89
8.2.1	Symbolik des Toleranzrahmens	91
8.2.2	Symbolik des Toleranzpfeils	93
8.2.3	Schnitt- und Orientierungsebenen sowie Richtungsgeometrieelemente	95
8.2.4	Rundum-Symbol und Toleranzzonen	97
8.2.5	Mehrere gleich zu tolerierende Geometrieelemente	98
8.2.6	Mehrere Toleranzen an einem Geometrieelement	99
8.2.7	Ungleich aufgeteilte Toleranzzone	99
8.2.8	Positionstoleranz	103
8.2.9	Profil einer Linie	109
8.2.10	Profil einer Fläche	111
8.2.11	Getrennte Einschränkung von Form und Lage	112

8.2.12	Geradheitstoleranz	113
8.2.13	Ebenheitstoleranz	114
8.2.14	Parallelitätstoleranz	115
8.2.15	Rechtwinkligkeitstoleranz	116
8.2.16	Koaxialitätstoleranz einer Achse	117
8.2.17	Symmetrietoleranz	118
8.3	Allgemeintoleranzen	119
8.4	Toleranzen vergeben	121
8.5	Toleranzänderungen	121
9	Prozessfähigkeiten und Toleranzen	123
9.1	Prozessfähigkeitskennwerte	123
9.2	Zusammenhang Verteilung, Toleranzen und Prozessfähigkeit	128
10	Analyse des Toleranzkonzepts	131
10.1	Toleranzrechnung	131
10.1.1	Analytische Worst-Case-Rechnung	132
10.1.2	Analytische statistische Rechnung	134
10.1.3	Numerische statistische Rechnung	135
10.1.4	Beurteilung der Rechenverfahren	139
10.1.5	Optimierungsstrategien	141
10.2	Verifikation an Hardware	142
10.2.1	Grundlagen	143
10.2.2	Aufbau der Analyse	144
10.2.3	Messtechnische Analyse	149
11	Optimierungsstrategien	153
12	Umsetzung des Toleranzkonzepts	157
12.1	Lieferantenvergabe von Einzelteilen bzw. Zusammenbauten	158
12.2	Anlagen- und Prozessplanung	160
12.3	Erstbemusterung	161
12.4	Serienbegleitende Messung	162
12.5	Prozessregelung	162
13	Anhang	167
13.1	Übersicht über die GPS-Normung	167
13.2	Zeichnung	169

13.2.1 Tolerierung in der Zeichnung und im 3D-Datensatz	169
13.2.2 Theoretisch exakte Dimensionen	171
13.2.3 Analyse der Zeichnung	176
13.3 Festlegung von Bezugsstellen an einem elastischen Bauteil	180
13.4 Vorgehensweise bei der Verwendung von Kunststoffen	183
13.5 Anwendungsbeispiel: Toleranzdesign am Beispiel einer Fuge	183
13.6 Tolerierung bei Losgröße 1	191
13.7 Statistik	192
13.7.1 Normalverteilung	192
13.7.2 Standardabweichung	193
13.7.3 Erforderliche Stichprobengröße	194
13.7.4 Verteilungen und Verteilungsadditionen	197
13.8 Begriffsdefinitionen	199
13.9 Literaturverzeichnis	202
Stichwortverzeichnis	205

Vorwort

Das Buch soll die Vorgehensweise vermitteln, wie ausgehend von der Funktion die Form- und Lagetoleranzen nach den GPS-Standards 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 Fertigungsprozess
- 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 dem aktuellsten Stand zu sein.

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.

Dieses Buch basiert auf dem Konzept des Buches *Toleranzmanagement im Automobilbau* der Autoren. Es stellt die dortigen Vorgehensweisen in einen wesentlich breiteren Kontext und geht deutlich ausführlicher auf die Normen und die normgerechte Anwendung ein.

12

Umsetzung des Toleranzkonzepts

Die Umsetzung gliedert sich in mehrere Schritte (Bild 12.1).

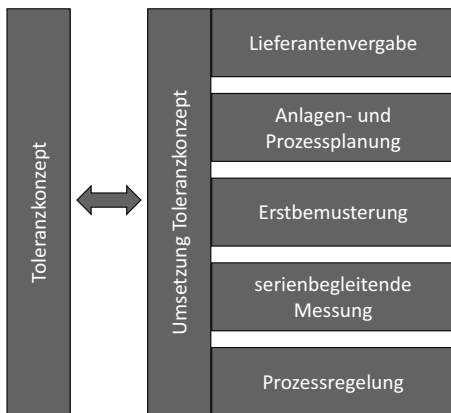


Bild 12.1
Umsetzung der Toleranzkonzepts

Da die Umsetzung bereits parallel zur Erstellung des Toleranzkonzepts geplant wird, gibt es auch Rückflüsse in das Toleranzkonzept. Daher ist es wichtig, dass diese Erkenntnisse so früh wie möglich in die Konzepterstellung zurückfließen. Die Schritte auf der rechten Seite in Bild 12.1 entsprechen der Gliederung der folgenden Unterkapitel.



Da in vielen Firmen die Verantwortlichkeiten für die einzelnen Schritte getrennt sind (Entwicklung, Einkauf, Fertigungsplanung, Qualitätssicherung etc.), ist das Thema der Verbindlichkeit des Toleranzkonzepts bei der Umsetzung essenziell.

■ 12.1 Lieferantenvergabe von Einzelteilen bzw. Zusammenbauten

In vielen Industrien liegt die Wertschöpfungskette nicht zu 100% im eigenen Haus. Es werden Einzelteile und Baugruppen fremdbezogen.

Da Bezüge und Toleranzen kostenrelevant sind, müssen diese bereits in den Anfrageunterlagen enthalten sein. Wie im Kapitel 9.2 beschrieben, gibt es einen direkten Zusammenhang zwischen Toleranzen und geforderten Prozessfähigkeitskennwerten. Daher muss definiert werden, an welchen Stellen die Prozessfähigkeit eingehalten werden soll. In dieser sehr frühen Projektphase kann es ausreichend sein, die Geometrielemente und die Anzahl der Messstellen ohne den genauen Messort anzugeben.

In einer ergänzenden Dokumentation des Qualitätsmanagements werden diese zusätzlichen Informationen dokumentiert.

Messstellen in der Zeichnung werden nach DIN 406 Teil 1 mit dem in Bild 12.2 dargestellten Symbol gekennzeichnet.

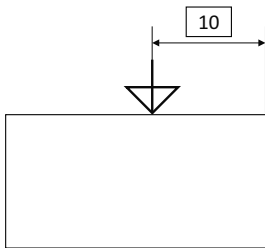


Bild 12.2

Symbol Messstelle nach DIN 406 T1

Prüfmaße werden nach DIN 406 Teil 10 in einem Rahmen mit zwei Halbkreisen dokumentiert (Bild 12.3).

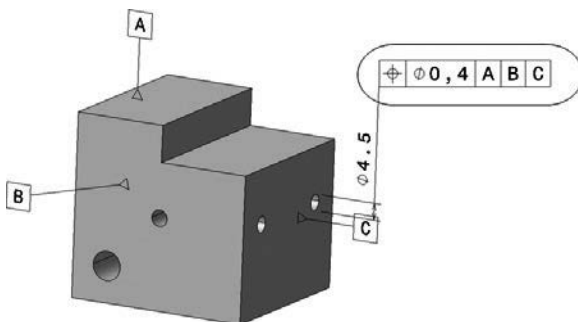


Bild 12.3 Symbol für ein Prüfmaß nach DIN 406 T10

Welche Konsequenzen ein Prüfmaß hat, wird normalerweise in Firmennormen, Lieferbedingungen oder ähnlichem festgelegt. Empfehlenswert ist es den Prozessfähigkeitskennwert in den Lieferbedingungen etc. zu definieren und auf der Zeichnung lediglich die Merkmale zu kennzeichnen.

Oft finden sich in den Lieferbedingungen Sätze wie „Vom Lieferanten ist für die besonderen Merkmale die vorläufige Prozessfähigkeit $P_{pk} \geq 1,67$ und Langzeitfähigkeit $C_{pk} \geq 1,33$ zu erbringen.“ Diese werden teilweise mit Forderungen wie einer maximalen Mittelwertabweichung $\leq 25\%$ ergänzt.

Bild 12.4 zeigt exemplarisch Zeichnungseinträge und Hinweise aus den Lieferbedingungen verschiedener Firmen.

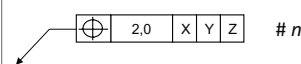
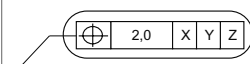
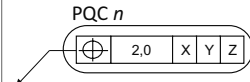
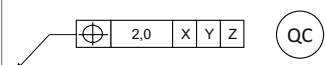
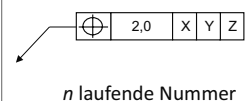
	Symbol	Lieferbedingung
Firma A		Prozessfähigkeit $P_{pk} \geq 1,67$ und Langzeitfähigkeit $C_{pk} \geq 1,33$
Firma B		Prozessfähigkeit $P_{pk} \geq 1,67$ und Langzeitfähigkeit $C_{pk} \geq 1,33$
Firma C		Prozessfähigkeit $P_{pk} \geq 1,67$ und Langzeitfähigkeit $C_{pk} \geq 1,33$
Firma D		Prozessfähigkeit $P_{pk} \geq 1,67$ und Langzeitfähigkeit $C_{pk} \geq 1,33$
Firma E		$P_{pk} \geq 1,67$ $C_{pk} \geq 1,33$ nichts

Bild 12.4 Beispiele verschiedener Symbolik bei besonderen Merkmalen

Aus den verschiedenen Möglichkeiten und dem Fehlen eines generellen Standards wird ersichtlich, dass es zwingend erforderlich ist, einen firmenspezifischen Standard zu definieren.

Die Mindestwerte für P_{pk} , C_p und C_{pk} können als Legende neben dem Symbol, in der Nähe des Schriftfelds oder in einem separaten Dokument definiert sein. Die Zielwerte für die Prozessfähigkeitskennwerte hängen direkt mit den Toleranzen zusammen (vgl. auch Kapitel 9.2). Besonders wichtig ist die Festlegung einer Vorgehensweise, falls die Prozessfähigkeit später nicht erreicht werden sollte. Falls dann nur eine 100%-Prüfung bei gleichen Toleranzgrenzen gefordert wird, ist die Forderung nach einer hohen Prozessfähigkeit unvorteilhaft (Bild 12.5).

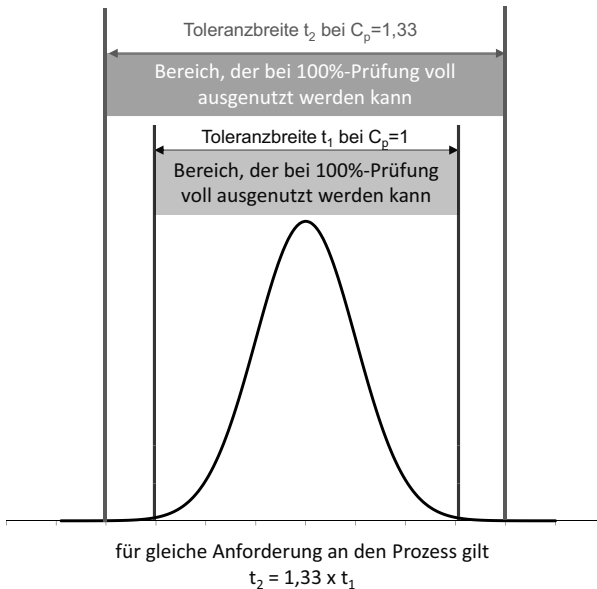


Bild 12.5 Größe des Bereichs bei 100%-Prüfung

Daher sollte insbesondere für hohe C_{pk} -Zielwerte im Falle der Nichterreichung eine verringerte Toleranzzone für die 100%-Kontrolle vereinbart werden.

Das Angebot des Lieferanten muss sich auf die Zeichnung bzw. den Datensatz beziehen und diesen bestätigen. Damit sind die Toleranzvorgaben durch den Lieferanten verbindlich akzeptiert. Der finale Auftrag muss sich dann auf das Angebot beziehen.

Wenn der Lieferant im Angebot Teile der Toleranzspezifikation ausschließt und dennoch den Auftrag bekommt, hat der Kunde keinen Anspruch auf die ausgeschlossenen Umfänge. Grund dafür ist, dass der Auftrag auf Basis des Angebots und nicht auf Basis der Anfrage erteilt wurde.

■ 12.2 Anlagen- und Prozessplanung

Die Prozessplanung läuft mit leichtem Zeitversatz zur Produktentwicklung (s. Bild 2.4). Bei guter Zusammenarbeit ist das komplette Toleranzkonzept, bestehend aus Fügefolge, Aufnahmen, Ausrichtung, Bezugsstellen und Toleranzen, abgestimmt. Die Prozessplanung detailliert sich weiter bis hin zur Anlagenplanung. Diese Anlagen müssen dann das Toleranzkonzept umsetzen. Zu den Bezugsstellen aus dem Toleranzkonzept kann aufgrund der Fügetechnik noch weitere Spanntechnik hinzukommen.

Dabei ist es erforderlich, die Fügefolge einzuhalten, die Bauteile an den Bezugsstellen aufzunehmen und mit der entsprechenden Methode auszurichten. Falls Anlagen und Vorrichtungen von extern bezogen werden sollen, muss das komplette Toleranzkonzept für den entsprechenden Umfang Basis der Anfrage sein. Für das Kunden/Lieferantenverhältnis gilt das Gleiche wie bei der Vergabe von Bauteilen. Die Genauigkeit der Anlagen und die Reproduzierbarkeit von manuellen Prozessen müssen bekannt sein und sich im Toleranzkonzept widerspiegeln.

■ 12.3 Erstbemusterung

Die Erstbemusterung ist beispielsweise für die Automobilindustrie in der DIN SPEC 1115 bzw. der DIN ISO/TS 16949 und weitergehend im VDA Band 2 beschrieben. Der VDA Band 2 wird hier als Beispiel für die Erstbemusterung herangezogen.

Bei der Erstbemusterung ist die Einhaltung aller expliziten Tolerierungen nachzuweisen. Am Anfang des Messberichts sind das Aufnahmekonzept und die Bezugsstellen zu dokumentieren. Je nach Vereinbarung bzw. Messspezifikation können verschiedene Messberichte erforderlich sein. Bei elastischen Bauteilen kann beispielsweise gefordert sein, einmal im Zustand mit nur den ersten sechs Bezugsstellen gespannt zu messen und einmal im Zustand, dass alle Bezugsstellen gespannt sind.

Entsprechend der Konformität nach DIN EN ISO 14253-1 hat die Bewertung innerhalb der Toleranzgrenzen abzüglich der Messunsicherheit zu erfolgen.

Die Erstbemusterung muss aus Serienanlagen und Serienprozessen am Serienstandort unter Serienbedingungen erfolgen. Bei allen tolerierten Merkmalen, die einer Prozessfähigkeitsanforderung unterliegen, ist der Nachweis der Prozessfähigkeit zu erbringen.

Falls keine Zielwerte für die Fähigkeitsindizes festgelegt wurden, gelten nach VDA 2 *Sicherung der Qualität* folgende Zielwerte:

- Maschinenfähigkeitsindex, Kurzzeituntersuchung $C_{mk} \geq 1,67$
- Prozessfähigkeitsindex, Langzeituntersuchung stabiler Prozess $C_{pk} \geq 1,33$
- Prozessleistungsindex, Langzeituntersuchung instabiler Prozess $P_{pk} \geq 1,33$.

■ 12.4 Serienbegleitende Messung

Die serienbegleitenden Messungen müssen sicherstellen, dass die Toleranzanforderungen eingehalten werden. Die Vorgehensweise wird durch die Qualitätssicherung bestimmt. Bei der Festlegung der Messhäufigkeit wird auf das Wissen über die Fertigungsprozesse zurückgegriffen. Bild 12.6 zeigt ein Beispiel für ein gering streuendes Merkmal.

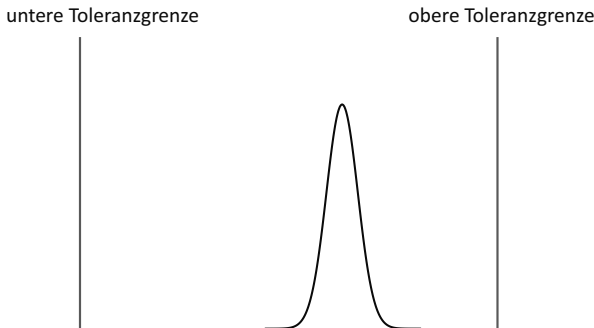


Bild 12.6 Streuung eines Merkmals

Bei bekannter enger Streuung eines Merkmals kann die Messhäufigkeit herun­ter­gesetzt werden. Es kann ausreichend sein, nur den aktuellen Mittelwert zu bestimmen und den Prozess anhand des Mittelwerts zu steuern.

■ 12.5 Prozessregelung

Sind die Ziele für die Qualitätskenngrößen bekannt, kann auf ihrer Basis der Prozess geregelt werden.

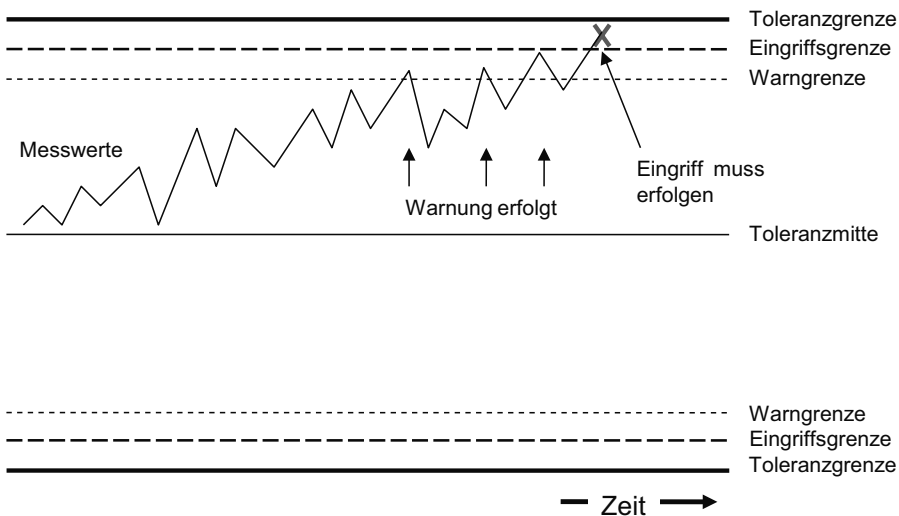
Solange C_p und C_{pk} in ähnlicher Größenordnung und größer 1 bzw. größer als der vertraglich vereinbarte Grenzwert, besteht kein Handlungsbedarf. Erst wenn sich der C_{pk} -Wert dem Grenzwert annähert, besteht die Notwendigkeit eines Eingriffs. Im Folgenden ist der erforderliche Prozess beschrieben.

Damit im Prozess noch Zeit für Reaktionen bleibt, gibt es in der klassischen statistischen Prozesskontrolle (SPC) zusätzlich zur Toleranzgrenze noch die Eingriffsgrenze und die Warn­grenze. Deren Bedeutungen sind in Tabelle 12.1 näher erläutert.

Tabelle 12.1 Bedeutung verschiedener Grenzen

Grenze	Bedeutung
Toleranzgrenze	Außerhalb ist der Prozess/das Teil nicht in Ordnung.
Eingriffsgrenze	Es müssen sofort Maßnahmen eingeleitet werden, da der Prozess/das Teil droht, n. i. O. zu werden.
Warngrenze	Es erfolgt ein Hinweis, dass ein Eingriff erforderlich werden kann.

Die genauen Abstände von der Toleranzgrenze sind im Einzelfall zu bestimmen und hängen im Wesentlichen von der Steuerungsmöglichkeit ab. Je besser der Prozess steuerbar ist, desto näher können die Eingriffsgrenzen an den Toleranzgrenzen sowie die Warnnngen an den Eingriffsgrenzen liegen. Bild 12.7 zeigt die Grenzen in einer fortlaufenden Darstellung des Prozesses bis zum erforderlichen Eingriff.

**Bild 12.7** Grenzen der Prozessregelung

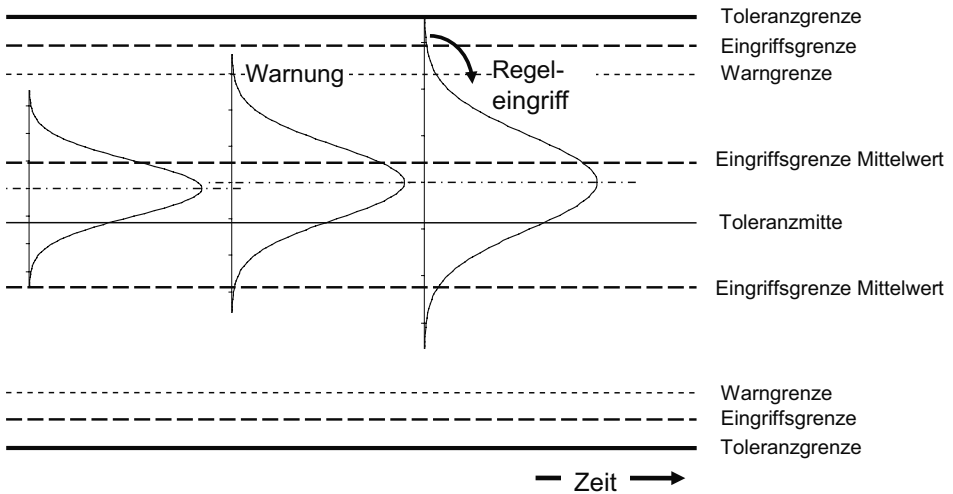
Generell kann sich bei einem Prozess über der Zeit sowohl die Streuung als auch der Mittelwert ändern. Die Kenntnis, welche der beiden Größen sich verändert hat, hilft, die Ursachen zu klären und die richtigen Maßnahmen abzuleiten. Die folgende Tabelle zeigt einige Beispiele:

Tabelle 12.2 Ursachen für Prozessverschiebungen

Prozessveränderung	Fehlerquelle
Größere Streuung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ zunehmendes Spiel in der Aufnahme ▪ wechselnde Werker
Mittelwertverschiebung	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Werkzeugverschleiß ▪ neue Charge ▪ anderer Werker

Um diese Unterscheidung zu nutzen, kann noch zusätzlich eine weitere Eingriffsgrenze für den Mittelwert eingeführt werden.

Das Diagramm in Bild 12.8 zeigt das Beispiel des Eingriffs aufgrund vergrößerter Streuung, da hier der Mittelwert noch in einem zulässigen Bereich liegt. Daher müssen Maßnahmen zur Streuungsreduzierung ergriffen werden.

**Bild 12.8** Qualitätsregelung aufgrund von Streuungen

Für eine gleichbleibende Qualität ist es erforderlich, dass der Mittelwert eines tolerierten Elements stets in der Mitte der Toleranzzone bleibt. Wird diese Forderung verletzt, entfällt die Grundlage, auf der das theoretische Toleranzkonzept basiert. Dieser Mittelwert ist über einen kurzen Zeitraum, z.B. eine Charge, eine Schicht etc., zu bilden. Der entsprechende Regeleingriff ist im Diagramm in Bild 12.9 dargestellt.

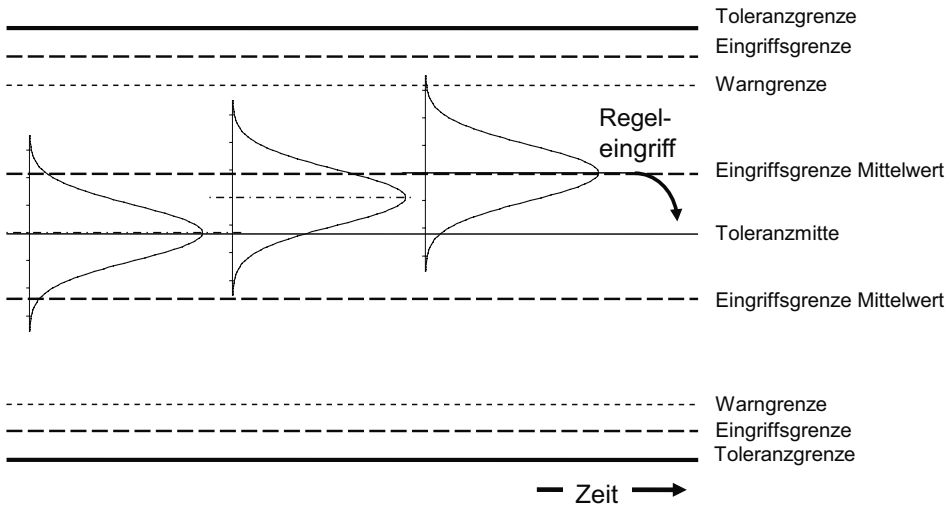


Bild 12.9 Qualitätsregelung aufgrund der Mittelwertverschiebung



Praktisch wird die Eingriffsgrenze für den Mittelwert bei 25% der Breite der halben Toleranzzone festgelegt.

Stichwortverzeichnis

A

abgeleitetes Geometrieelement 44
Allgemeintoleranz 119
Anforderungen 11
assoziiertes Geometrieelement 44
Ausrichtkonzept 41

B

Bezug 43
Bezugselement 44
Bezugsstelle 44, 64
Bezugsstellenwechsel 81
Bezugssystem 54

C

common zone 97

D

Dichtfunktion 27

E

Ebenheitstoleranz 114
elastisches Bauteil 50, 77, 180
Erstbemusterung 161

F

Fuge 21
Fügefolge 35, 37

Fugenmaß 23
Funktion 13
Funktionsgrenze 33
Funktionsklärung 17
Funktionsmaß 14
Funktionsorientiertes Toleranzdesign
3

G

Geradheitstoleranz 113

H

Hüllbedingung 84

I

ideales Geometrieelement 44
integrales Geometrieelement 44

K

Koaxialität 117
Konformität 152
Konzeptanalyse 145

L

Linie 45

M

Maximum-Material-Bedingung 84
Messprozesseignung 151
Messrichtung 23
Messstelle 158
Messsystemanalyse 150
Messunsicherheit 150

N

Nenngeometrieelement 44
Normalverteilung 192

O

Optimierungsstrategien 153
Optische Funktionen 20
Orientierungsebene 95

P

Parallelitätstoleranz 115
Positionstoleranz 103
Profil einer Fläche 111
Profil einer Linie 109
Prozessanalyse 146
Prozessfähigkeit 123
Prozessregelung 162
Prüfmaß 158

R

Rechtwinkligkeitstoleranz 116
Referenz-Punkt-System 62
Richtungsgeometrieelement 96
Rundum-Symbol 97

S

Schnittebene 95
separate zone 97
Situationselement 44
Standardabweichung 193
Stichprobengröße 194
Symmetrietoleranz 118

T

Technische Funktionen 27
Teilfunktion 14
Theoretisch Exakte Dimension 46, 171
Toleranzänderung 121
Toleranzkonzept 7
Toleranzpfeil 93
Toleranzrahmen 91
Toleranzrechnung 131

U

Unabhängigkeitsprinzip 84f.

V

Vermittelter Bezug 60
Verteilungsaddition 197

Z

Zeichnung 169, 176
Zweipunktmaß 85