



Doctoral Thesis

## Computerunterstützte Toleranzfestlegung zur Qualitätssicherung und Optimierung der Fertigungskosten

**Author(s):**

Jourdan, Federico A.

**Publication Date:**

2003

**Permanent Link:**

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004550613> →

**Rights / License:**

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

DISS. ETH Nr. 14954

Computerunterstützte Toleranzfestlegung zur  
Qualitätssicherung und Optimierung  
der Fertigungskosten

ABHANDLUNG  
Zur Erlangung des Titels  
DOKTOR DER TECHNISCHEN WISSENSCHAFTEN

der  
EIDGENÖSSISCHEN TECHNISCHEN HOCHSCHULE  
ZÜRICH

Vorgelegt von

Federico Andrés Jourdan  
Dipl. Masch. Ing. UTP  
geboren am 20. September 1968  
von Liestal (BL) und Kolumbien

Angenommen auf Antrag von:

Prof. Dr. habil. A. Breiing, Referent  
Prof. Dr. habil. M. Hiller, Korreferent  
Prof. Dr. U. Meyer, Korreferent

2003

## Zusammenfassung

Der optimale Produkt-Entwicklungsprozess erfordert neben fachlichem Wissen auch Erfahrung, Kenntnis der Fertigungsmittel und -prozesse im Betrieb sowie methodische Kompetenz, um die Auswirkung von Konstruktionsmassnahmen auf Funktionstauglichkeit, Qualität und Fertigungssicherheit des Produktes voraussagen zu können. Dies gilt vor allem auch für die Vergabe von Toleranzen (Mass-, Form- und Lagetoleranzen). Die funktionalen Toleranzen beschränken die möglichen Abweichungen von funktionswichtigen Geometrie-Elementen gegenüber ihrem idealen Mass, ihrer Form oder ihrer Lage. Sie legen dadurch die Grenzen der Funktionstauglichkeit des Bauteils fest. Die Angabe einer Toleranz sagt aber auch viel über die erforderlichen Bearbeitungsschritte und die anzuwendenden Verfahren im Fertigungsprozess aus. Wegen dieser vielfältigen Verknüpfungen, welche die Toleranzen mit anderen Bereichen der Produkt-Entwicklung aufweisen, ist es für einen einzelnen Konstrukteur schwierig, den Überblick über alle Aspekte des Produktes und Prozesses zu behalten, die von einer Toleranz betroffen werden. Dieser Sachverhalt erschwert die Entscheidungsfindung bei der Festlegung von Toleranzen.

In dieser Dissertation wird ein neuer Ansatz vorgelegt, nach welchem Bauteile nicht nur mit Rücksicht auf ihre vorgesehene Funktion, im Produkt sondern auch auf ihre verfahrenstechnische und wirtschaftliche Herstellbarkeit hin computerunterstützt toleriert werden können.

Die Ausarbeitungsphase, die Konstruktions- und Prozess-FMEA werden in dieser Arbeit als Szenarien im Produkt-Entwicklungsprozess betrachtet, in den das Entwicklungsteam mit Fragestellungen im Zusammenhang mit Toleranzen konfrontiert wird. Dabei wird vom Wissensstand der Produktentwickler bezüglich Gestalt und Herstellprozess des Produktes ausgegangen, um die Informationen über Betrieb, einzusetzende Fertigungsmittel und Verfahren zu erörtern, die für die Beurteilung einer Toleranz aus fertigungstechnischer und wirtschaftlicher Sicht nötig sind. Im Hinblick auf den Aufbau eines Modells zur Berechnung der Toleranz-Herstellkosten werden diese Informationen strukturiert.

Die Überprüfung der Toleranzen auf die Einhaltung der an das Produkt gestellten funktionalen Anforderungen ist die wichtigste Aufgabe bei der Toleranzfestlegung. In den letzten Jahren sind mehrere Modelle entwickelt worden, in denen angestrebt wird, das Zusammenwirken von Toleranzen auf die Funktionstauglichkeit des Produktes zu bestimmen. Nach einer Bilanz der Vor- und Nachteile der bekanntesten Modelle wurde in der vorliegenden

### III

Arbeit ein neues Modell entwickelt, in dem die zu tolerierenden Formelemente als Anordnung von Vektoren (Vektorstrukturen) abgebildet werden. Die Mass-, Lage- und teilweise auch die Formabweichungen sowie funktionswichtige Masse im Produkt werden durch Vektoren aus solchen Vektorstrukturen ausgedrückt. Durch diese Vektorensommen werden die Abhängigkeiten abgebildet, die es zwischen der Bauteilgeometrie, den Toleranzangaben und den funktionalen Anforderungen modelliert.

Die so entstehenden Modelle, für die Toleranz-Herstellkostenberechnung sowie zur Überprüfung der Funktionsfähigkeit des Produktes werden durch die sogenannten Bearbeitungselemente verknüpft. Diese wirken als Träger geometrischer Informationen und fertigungstechnischen Wissens. Aus der Verknüpfung dieser zwei Modelle entsteht ein Gesamtmodell, in dem die Beurteilung von Toleranzen nach funktionalen, fertigungstechnischen und wirtschaftlichen Kriterien möglich ist. Als Resultat liefert das Modell Sätze von Gleichungen und Ungleichungen, auf die bekannte Optimierungsmethoden angewendet werden können.

Die hier erarbeiteten Ansätze wurden in einem Softwareprototyp umgesetzt, dessen Aufbau am Ende dieser Dissertation beschrieben wird.

## Abstract

In addition to specialist knowledge, an optimized product development process calls for experience, knowledge of both the means and processes of production within the company, plus methodological expertise in order to be able to predict the effects of design measures on the functionality, quality and production reliability of the product. In particular, this applies to the definition of tolerances (tolerances relating to the dimensions, shape and position). Functional tolerances limit the possible deviations of geometry features important from a functional aspect compared with their ideal dimension, shape or position. As such, they define the limits of the component's functionality. The specification of a tolerance also says a great deal about the necessary processing steps and the procedures to be used in the production process. Due to this multitude of interdependencies, which highlight the tolerances with other areas within the product development phase, it is difficult for an individual designer to maintain the overview of all the aspects of the product and processes that are affected by tolerances. This situation renders the decision-making process difficult when it comes to defining tolerances.

My dissertation presents a new approach, on the basis of which components can be tolerated with the aid of computers both by taking account of their designated function within the product and also with respect to their ability to be produced in terms of technical procedures and cost-efficiency aspects. Within this paper, the preparatory phase, the design and process FMEA are viewed as scenarios within the product development process, in which the development team is confronted with problems relating to tolerances. At the same time, the product developers' level of knowledge in terms of the design and production process of the product is assumed in order to discuss the information on operation, the means of production and procedures to be deployed and the information required to assess a tolerance from both a production-related and cost-efficiency aspect. This information is structured with regard to constructing a model for calculating the tolerance production costs.

The checking of the tolerances in terms of their keeping to the functional requirements placed on the product is the most important task in defining tolerances. In recent years, a number of models have been devised, whose aim is to determine the interaction of tolerances on the product's functionality. After weighing up the pros and cons of the better-known models, this paper

presents a new model, in which the features that are to be tolerated are depicted as an arrangement of vectors (vector structures). The dimensional, positional and, in some cases, the shape deviations, along with the dimensions important for the function are expressed by means of vectors of such vector structures. These vector sums are in turn used to map the interdependencies, which are modeled between the component geometry, the tolerance specifications and the functional requirements.

The models created in this way are interlinked by means of ‘processing features’ in order to calculate the tolerance production costs and to check the functionality of the product. These act as bearers of geometric information and production-related knowledge. The interlinking of these two models creates an overall model, which in turn permits the assessment of tolerances on the basis of functional, manufacturing-related and cost-efficiency criteria. By way of a result, the model supplies sets of equations and inequations to which known optimization methods can be applied.

The approaches devised in this thesis have been implemented in the form of a software prototype, the structure of which is described at the end of this dissertation.