

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Toleranzen und Toleranzmanagement  
bei Gelenkgetrieben  
Checklisten  
Vorgehen und Werkzeuge  
Tolerances and dimensional management  
in mechanical linkages  
Checklists  
Approach and tools

VDI 2730  
Blatt 1 / Part 1

Ausg. deutsch/englisch  
Issue German/English

*Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.*

*The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.*

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung .....	2	Preliminary note.....	2
Einleitung.....	2	Introduction.....	2
<b>1 Anwendungsbereich.....</b>	<b>3</b>	<b>1 Scope.....</b>	<b>3</b>
<b>2 Formelzeichen.....</b>	<b>4</b>	<b>2 Symbols .....</b>	<b>4</b>
<b>3 Theoretische Grundlagen.....</b>	<b>5</b>	<b>3 Theoretical foundations .....</b>	<b>5</b>
3.1 Beispielgetriebe.....	5	3.1 Example mechanism.....	5
3.2 Empfindlichkeitsanalyse .....	6	3.2 Sensitivity analysis .....	6
3.3 Toleranzanalyse .....	9	3.3 Dimensional variation analysis.....	9
3.4 Toleranzsynthese.....	12	3.4 Tolerance synthesis.....	12
<b>4 Checklisten.....</b>	<b>14</b>	<b>4 Checklists.....</b>	<b>14</b>
4.1 Problemcheckliste .....	14	4.1 Problem checklist.....	14
4.2 Vorgehens-Checkliste .....	15	4.2 Procedure checklist.....	15
4.3 Toleranzmanagement mittels Vorgehens-Checkliste .....	16	4.3 Dimensional management using the procedure checklist.....	16
<b>5 Werkzeuge.....</b>	<b>30</b>	<b>5 Tools .....</b>	<b>30</b>
5.1 Arithmetische Toleranzanalyse .....	30	5.1 Arithmetical dimensional variation analysis .....	30
5.2 Statistische Toleranzrechnung .....	33	5.2 Statistical tolerance calculation .....	33
5.3 Optimierungsstrategien .....	39	5.3 Optimisation strategies .....	39
Schrifttum .....	46	Bibliography .....	46

VDI-Gesellschaft Produkt- und Prozessgestaltung (GPP)  
Fachbereich Getriebe und Maschinenelemente

VDI-Handbuch Getriebetechnik I: Ungleichförmig übersetzende Getriebe

## Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/2730](http://www.vdi.de/2730).

## Einleitung

Ziel dieser Richtlinie ist die Bereitstellung einer Methodik und damit einer allgemeingültigen Vorgehensweise zum Toleranzmanagement von Gelenkgetrieben. Gelenkgetriebe werden auch als ungleichmäßig übersetzende Getriebe, Mechanismen oder Koppelgetriebe bezeichnet.

Die Motivation zur Behandlung von Gelenkgetrieben begründet sich aus spezifischen Fragestellungen wie hochgradiger Nichtlinearität und Stellungsabhängigkeit sowie nicht eindeutiger Montageabfolgen.

Es wird davon ausgegangen, dass ein Getriebe mit seinen geometrischen Abmessungen vorliegt.

Die theoretischen Grundlagen behandeln Werkzeuge und Verfahren zur Empfindlichkeitsanalyse, Toleranzanalyse und -synthese. Diese sollen in einem frühen Stadium eine quantitative Bewertung und eine anschließende Optimierung des Produkts und der damit verbundenen Prozesse ermöglichen.

Die vorgestellte Methodik wird anhand von Checklisten, die die wichtigsten Kriterien und Arbeitspunkte hinsichtlich eines erfolgreichen Produktentstehungsprozesses beinhalten, vermittelt (siehe Abschnitt 4). Das Toleranzmanagement wird in 16 Schritte unterteilt, wobei die einzelnen Checklisten für jeden Punkt separat verwendet werden können. Ziel ist die Bereitstellung von Richtlinien für das Toleranzmanagements zu jedem Zeitpunkt des Produktentstehungsprozesses sowie des Produktlebenszyklus. Durch den Gebrauch der Richtlinie VDI 2730 sowie die Nutzung der Checklisten ergibt sich ein wirtschaftlicher Nutzen, weil Werkzeuge bereitgestellt werden, die es erlauben, bei der Toleranzfestlegung der Einzelbauteile nach dem

## Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions ([www.vdi.de/richtlinien](http://www.vdi.de/richtlinien)) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

A catalogue of all available parts of this series of standards can be accessed on the Internet at [www.vdi.de/2730](http://www.vdi.de/2730).

## Introduction

The aim of this standard is to provide a methodology and thus a general approach to the dimensional management of linkages. Linkages are also referred to as mechanisms or coupler mechanisms.

The motivation for treating linkages is based on specific issues such as extreme nonlinearity and positional dependence as well as unclear assembly sequences.

It is assumed that we have a mechanism, together with its geometric dimensions.

The theoretical background covers tools and procedures for sensitivity analysis, dimensional variation analysis (DVA) and tolerance synthesis. This should make possible at an early stage a quantitative assessment and a subsequent optimisation of the product and the associated processes.

The methodology presented is put across with the aid of checklists containing the most important criteria and work points with regard to a successful product creation process (see Section 4). Dimensional management is divided into 16 steps, whereby the individual checklists can be used separately for each point. The aim is to provide guidelines for dimensional management for each stage of the product development process and product lifecycle. Using both the standard VDI 2730 and the checklists yields an economic benefit since tools are provided which allow tolerances to be set for the individual components on the principle of “as accurate as necessary, as inaccurate as possible”.

Grundsatz „so genau wie nötig, so ungenau wie möglich“ zu verfahren.

Folgende Vorteile ergeben sich in verschiedenen Bereichen:

- Absicherung der Konstruktion
  - Durchführung von Toleranzsimulationen
  - Bestimmung der Prozessstreuung/Fehlerrate/Prozessfähigkeit vor dem Aufbau von Prototypen
  - Verstehen des Einflusses von Toleranzänderungen
  - Verständnis der Abhängigkeit der Getriebe-  
stellung von Toleranzauswirkungen
- Erhöhung der Produktivität
  - verbesserte Kommunikation zwischen Entwicklung und Produktion; Reduzierung von Zeichnungsänderungen
  - Identifikation von und Konzentration auf kritische Produktbereiche
  - Identifikation von und Konzentration auf die Hauptbeitragsleister kritischer Bauteile
- Unterstützung der Produktion
  - Vermeidung von Ausschuss
  - Lieferantenmanagement und Vermeidung von Produktionsausfällen
  - reduzierte Produktkosten
  - Verfügbarkeit montageprozessrelevanter Informationen
  - Vergleich verschiedener Montage- und Ausrichtkonzepte
- Einfluss auf den Produktlebenszyklus
  - Reduzierung von Qualitätsproblemen, Rückrufaktionen, Ausfällen im Betrieb
  - Vermeidung von Produktrisiken und Haftung
  - Verkürzung von Entwicklungszeiten „Time to Market“

## 1 Anwendungsbereich

Gelenkgetriebe erfüllen im Allgemeinen Führungsaufgaben als Führungsgetriebe und Übertragungsaufgaben als Übertragungsgetriebe. Die Richtlinie behandelt sowohl Führungs- als auch Übertragungsgetriebe.

Die Checklisten unterstützen das Toleranzmanagement sowohl bei der Getriebeentwicklung als auch bei der Detailkonstruktion. Bei der Getriebeentwicklung liegen im Allgemeinen nur die kinematischen oder konstruktiven Hauptabmessungen vor. Meist wird hier die ebene Kinematik be-

The following advantages arise in different areas:

- verification of design
  - carrying out tolerance simulations
  - determining process variation/out-of-spec rate/process capability before building prototypes
  - understanding the influence of tolerance changes
  - understanding the dependence of variation on the mechanism position
- increasing productivity
  - improved communication between development and production; reduction in drawing changes
  - identifying and concentrating on critical product areas
  - identifying and concentrating on the principal contributors to critical components
- supporting production
  - preventing rejects and scrap
  - supplier management and prevention of production losses
  - reduced product costs
  - availability of information relevant to assembly processes
  - comparison of different assembly and alignment concepts
- influence on the product life cycle
  - reduction of quality problems, product recalls, failures during operation
  - prevention of product risks and liability
  - shortening development process time to market

## 1 Scope

Linkages generally carry out guidance tasks as guiding mechanisms and transmission tasks as transmission mechanisms. This standard covers both guiding and transmission mechanisms.

The checklists support dimensional management in both mechanism pre-development and in the detailed design. At the mechanism pre-development stage only the principal kinematic or design dimensions are generally available. In most cases, it is plane kinematics, which is considered here. Within

trachtet. Im Rahmen der Detailkonstruktion werden auch räumliche Aspekte (3-D-Konstruktion) und Montageprozesse behandelt.

Diese Richtlinie behandelt ebene Problemstellungen, wobei die hier vorgestellten allgemeinen Vorgehensweisen auch auf räumliche Problemstellungen angewendet werden können. Auftretendes Gelenkspiel soll in dieser Richtlinie nicht behandelt werden.

the context of detailed design, spatial aspects (3D design) and assembly processes are also dealt with.

This standard deals with planar problems, whereby the general approaches presented here can also be applied to spatial problems. This standard does not aim to cover any joint clearance, which occurs.