

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Modulare Analyse ebener Gelenkgetriebe mit
Dreh- und Schubgelenken
Kinematische Analyse
Modular analysis of planar linkages with rotating
and sliding joints
Kinematic analysis

VDI 2729
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
1 Anwendungsbereich	3	1 Scope	3
2 Arbeitsweise und Leistungsmerkmale	4	2 Working method and features	4
2.1 Methodischer Ansatz	4	2.1 Methodical approach	4
2.2 Generelle Voraussetzungen	7	2.2 General requirements	7
2.3 Antriebsgrößen.	8	2.3 Input motion	8
2.4 Getriebestruktur	10	2.4 Mechanism structure	10
2.5 Bewegungs- und Übertragungsfunktion	12	2.5 Motion and transfer functions	12
3 Darstellungsform der Berechnungs- module	13	3 Form of presentation of the calculation modules	13
3.1 Ein- und Ausgabegrößen	14	3.1 Input and output parameters	14
3.2 Aufbau der Modulbeschreibungen	18	3.2 Organization of the module descriptions.	18
4 Modulübersicht	20	4 Overview of the modules	20
4.1 Modulgruppe „Antriebe und Gliedführung“	21	4.1 Module group “Drives and link guidance”.	21
4.2 Modulgruppe „Zweischläge“	21	4.2 Module group “two-bar linkages”	21
4.3 Modulgruppe „Hilfsoperationen“	22	4.3 Module group “auxiliary operations”	22
5 Anwendungsbeispiele	23	5 Examples of application	23
5.1 Zielsetzung und Aufbau der Beispiele	23	5.1 Objectives and structure of the examples	23
5.2 Beispiel 1.	26	5.2 Example 1	26
5.3 Beispiel 2.	30	5.3 Example 2.	30
5.4 Beispiel 3.	37	5.4 Example 3.	37
5.5 Beispiel 4.	43	5.5 Example 4.	43
5.6 Beispiel 5.	52	5.6 Example 5.	52
Schrifttum	56	Bibliography	56
Anhang Einzelbeschreibungen der Berechnungs- module	57	Annex Individual descriptions of the calculation modules	73
DAN	57	DAN	73
SAN	58	SAN	74
FGP	59	FGP	75
DDD	60	DDD	76
DSD	61	DSD	77
DDS	63	DDS	79
SSD	65	SSD	81
SDS	67	SDS	83
RKA	69	RKA	85
RPO	70	RPO	86
KMP	71	KMP	87
APA	72	APA	88

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), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

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

Eine Liste der aktuell verfügbaren Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/2729.

Einleitung

Für die Analyse des Bewegungsverhaltens (Kinematik) und der Kraftübertragung (Kinetostatik) in mechanischen Baugruppen mit Dreh- und Schubgelenken (Gelenkgetrieben) sind zahlreiche Software-Werkzeuge erhältlich. Dennoch stellt sich Entwicklern und Anwendern solcher Getriebe immer wieder die Aufgabe, für die Analyse konkret vorliegender Getriebestrukturen selber entsprechende Berechnungsabläufe zu erstellen, um diese dann z. B. in softwaretechnischen Eigenentwicklungen umzusetzen.

Dafür eignet sich in besonderem Maß der methodische Ansatz der sogenannten modularen Getriebeanalyse. Dieser beruht darauf, dass in vielen praktischen Aufgabenstellungen der erforderliche Rechengang gemäß dem strukturellen Aufbau des jeweils vorliegenden Getriebes in eine lineare Abfolge von relativ einfachen Teilaufgaben unterteilt werden kann, die lediglich mit anderen Daten und gegebenenfalls in anderer Reihenfolge, aber inhaltlich gleichartig auch bei anderen Getrieben und anderen Berechnungsaufgaben benötigt werden. Dafür stellt die vorliegende Richtlinie in Form von ausgearbeiteten Formelsätzen ein System von aufeinander abgestimmten Berechnungsmodulen zur Verfügung und zeigt theoretisch sowie anhand von praktischen Beispielen, wie diese aufgabenspezifisch zu komplexen Rechenabläufen kombiniert werden können.

In dieser Richtlinie werden die allgemeinen Grundlagen der modularen Getriebeanalyse und speziell deren Anwendung zur Analyse des Bewegungsverhaltens behandelt. Ergänzend wird VDI 2729 Blatt 2 die Berechnung von Kraftwirkungen in Getrieben zeigen. Die vorliegende Richtlinie ist inhaltlich im Wesentlichen identisch mit der Richtlinie VDI 2729:

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 specified (www.vdi.de/richtlinien) 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/2729.

Introduction

A large number of software tools are available for the analysis of motion (kinematics) and power transmission (kinetostatics) in mechanical assemblies with revolute and prismatic joints (linkage mechanisms). Nevertheless the developers and users of mechanisms of this kind are faced with the task of drawing up calculation procedures themselves for the analysis of specific mechanism structures in order to implement them in, for example, their own software developments.

The methodical approach of the so-called modular analysis of mechanisms is eminently suitable for this. This is based on the fact that in many practical tasks the necessary calculation sequence can, following the structural arrangement of the mechanism in question, be broken down into a linear sequence of relatively simple sub-tasks which are required only to process different data and possibly be in a different order but whose content is of the same kind even for different mechanisms and different calculation tasks. Here the present standard provides a system of mutually compatible calculation modules in the form of prepared sets of formulas and demonstrates both theoretically as well as with the aid of practical examples how these modules can be combined into complex calculation sequences appropriate for the particular task.

The present standard discusses the general basic principles of modular analysis and in particular its application for analyzing motion behaviour. Supplementary to it, VDI 2729 Part 2 will demonstrate the calculation of forces in mechanisms. In its content the present standard is basically identical to standard VDI 2729:1995-04. A calculation module and an ex-

1995-04. Sie wurde um ein Berechnungsmodul und ein Beispiel erweitert sowie redaktionell angepasst.

Die Methode der modularen kinematischen Analyse von ebenen Gelenkgetrieben mit Dreh- und Schubgelenken wurde wohl zuerst von *Rehwald* publiziert [1].

Der hier präsentierte Zuschnitt der einzelnen Berechnungsmodule für die kinematische und die kinetostatische Analyse, ihre Abstimmung aufeinander und ihre Darstellungsform beruhen auf einem Konzept, das Ende der 1980er-Jahre von *Braune* am Institut für Getriebetechnik der Leibniz Universität Hannover entwickelt und in dem heute für aktuelle Betriebssysteme nicht mehr verfügbaren Programmsystem KAMOS umgesetzt wurde [2].

An der Professur Montage- und Handhabungstechnik der Technischen Universität Chemnitz wurden die Berechnungsmodule seit Mitte der 1990er-Jahre unter Nutzung der kommerziellen Berechnungssoftware Mathcad/PTC implementiert [3; 4]. Die heute als Elektronisches Handbuch (E-Book) vorliegenden Berechnungsmodule können aus der modular aufgebauten Toolbox „MATHTOOL“ sehr einfach, z.B. durch Anwendung von „Drag&Drop“-Systemfunktionalitäten, in neu zu erstellende Algorithmen und Datenblätter eingebunden werden [5].

1 Anwendungsbereich

Die Richtlinie erläutert grundlegend die Methode der sogenannten modularen Getriebeanalyse und stellt für deren praktische Anwendung ein aufeinander abgestimmtes System von Berechnungsmodulen zur Verfügung. Für jedes Berechnungsmodul wird ein jeweils spezifischer Satz von Berechnungsgleichungen angegeben, mit dem das Bewegungsverhalten einer bestimmten typischen Grundbaugruppe ebener Getriebe mit Dreh- und Schubgelenken bei gegebenen Antriebsgrößen berechnet werden kann. Zur Analyse mehr oder weniger komplex aufgebauter Gesamtgetriebe wird gemäß dem strukturellen Aufbau des Getriebes aus den definierten Grundbaugruppen eine Abfolge entsprechender Berechnungsmodule derart zu einer Berechnungsabfolge zusammengestellt, dass – ausgehend von den vorgegebenen Antriebsgrößen bis zum Erhalt der gewünschten Ergebnisgrößen – die Ausgabe eines vorhergehenden Moduls jeweils als Eingabe nachfolgender Module dient.

Die modulare Strukturierung unterstützt insbesondere die softwaretechnische Umsetzung der Analyse von unterschiedlichen Getrieben und bei unterschiedlichen Aufgabenstellungen. Der Anwender erstellt dazu vorab in der von ihm gewünschten Software-Umgebung für jedes von ihm gegebenenfalls benö-

ampte have been added and the text amended editorially.

The method of modular kinematic analysis of planar linkages with revolute and prismatic joints was probably first published by *Rehwald* [1].

The approach presented here of the individual calculation modules for kinematic and kinetostatic analysis, their mutual adjustment and the form in which they are presented is based on a concept which was developed at the end of the 1980s by *Braune* at the Institute of Mechanism Technology of the Leibniz University Hannover and was implemented in KAMOS, a program system which is however no longer available today for current operating systems [2].

In the Department of Assembly and Handling Technology at the Technical University of Chemnitz the calculation modules have been implemented since the mid-1990s using the commercial calculation application Mathcad/PTC [3; 4]. The calculation modules which are available today as an electronic manual (ebook) can, taken from the modular toolbox MATHTOOL, be very simply incorporated in the new algorithms and data sheets being created (for example, by using drag-and-drop functions) [5].

1 Scope

The present standard essentially explains the method of the so-called modular analysis, and its practical application makes a system of mutually compatible calculation modules available. For each calculation module a set of calculation equations specific to it is provided with which the motion of a typical basic assembly of planar mechanisms with revolute and prismatic joints with given drive parameters can be calculated. When more or less complexly structured gearing systems are to be analyzed, a sequence of calculation modules is put together from the defined basic modules in accordance with the structural configuration of the mechanism in such a way that – starting with the specified drive parameters and finishing with receipt of the output parameters desired – the output of one module serves in each case as an input for the modules which follow.

The modular structure supports software implementation of the analysis of different mechanisms and with different problem formulations. The user implements the needed calculation modules within his software environment each as a sub-program with the defined input and output variables. To process a specific

tigte Berechnungsmodul ein in sich abgeschlossenes Unterprogramm mit den jeweils definierten Ein- und Ausgabegrößen. Zur Bearbeitung einer konkreten Aufgabe kombiniert er dann im Rahmen der genutzten Software-Umgebung lediglich die jeweils benötigten Unterprogramme zu einem problemspezifischen Hauptprogramm.

task he combines those sub-programs he requires and thereby creates a main program for that particular problem within his software environment.