

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Mikrogetriebe
Grundlagen

VDI 2731

Blatt 1 / Part 1

Microgears
Basic principles

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The German version of this guideline 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 Normative Verweise	3	2 Normative references	3
3 Begriffe	4	3 Terms and definitions	4
4 Formelzeichen und Abkürzungen	7	4 Symbols and abbreviations	7
5 Grundlagen zu Betrieb und Umfeld	8	5 Fundamentals of operation and the operational environment	8
5.1 Einführung	8	5.1 Introduction	8
5.2 Geometrische Randbedingungen	10	5.2 Geometric constraints	10
5.3 Leistungsrandbedingungen	11	5.3 Performance constraints	11
5.4 Funktionsrelevante Randbedingungen	12	5.4 Functionally relevant constraints	12
5.5 Mikrogetriebespezifische Randbedingungen	12	5.5 Microgear-specific constraints	12
6 Herstellung und Werkstoffe	13	6 Manufacturing and materials	13
6.1 Zuordnung Fertigungsverfahren – Werkstoffgruppen – Losgrößen	14	6.1 Allocation of manufacturing process – groups of materials – batch sizes	14
6.2 Werkstoffgruppen	14	6.2 Groups of materials	14
6.3 Fertigungsverfahren	16	6.3 Manufacturing processes	16
7 Berechnung und Konstruktion	34	7 Analysis and design	34
7.1 Mikrospezifische Aspekte bei der Auslegung des Getriebes	34	7.1 Microscale-specific aspects of gear design	34
7.2 Verzahnung, Zahnform und Toleranzen	35	7.2 Tooth system, tooth shape, and tolerances	35
7.3 Geometrische Auslegung	36	7.3 Geometric design	36
7.4 Festigkeitsnachweis von Mikrozahlrädern	36	7.4 Strength analysis of microgear wheels	36
7.5 Weitere Elemente und sonstige Einflussgrößen bei der Auslegung	41	7.5 Further elements and other influencing variables in the design	41
8 Systemaufbau	44	8 System structure	44
8.1 Automatisierungstechnik und Montage	44	8.1 Automation and assembly	44
8.2 Verbindungstechnik	45	8.2 Connection technology	45

VDI-Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb

Ausschuss A222

VDI-Handbuch Getriebetechnik II: Gleichförmig übersetzte Getriebe

	Seite
9 Validierung	48
9.1 Mikrospezifische Bauteilprüfverfahren.	48
9.2 Funktionsgruppenprüfung	48
9.3 Systemprüfung	49
Schrifttum	51

	Page
9 Validation	48
9.1 Microspecific component testing methods.	48
9.2 Function group check	48
9.3 System testing	49
Bibliography	51

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 VDI-Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi-richtlinien.de), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

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

Einleitung

Zum Themengebiet Mikrogetriebe existiert kein allgemein zusammenfassendes Werk in der Fachliteratur. Der VDI-Richtlinienausschuss A222 hat sich daher zum Ziel gesetzt, die Grundlagen zu Entwicklung, Auslegung, Herstellung und Nutzung von Mikrogetrieben in Form einer Richtlinie bereitzustellen.

Die klassische Anwendung für fein- und mikrotechnische Getriebe findet sich seit vielen Jahren in der Uhrenindustrie. Dort werden jährlich über 10 Milliarden Verzahnungsteile im Modulbereich $m < 0,3$ mm verbaut [1]. Daneben entwickeln sich in den letzten Jahren Anwendungen in immer kleineren Baugrößen zur Bewegungsübertragung und zum Antrieb in vielerlei Bereichen des täglichen Lebens, der Automobiltechnik, des Maschinenbaus, der Flugzeug- und Raumfahrtindustrie, der Medizintechnik und der Robotik. Die steigende Nachfrage nach Produkten der Mikroantriebstechnik deutet auf eine prosperierende Zukunft für diesen Industriezweig hin. Mit zunehmender Miniaturisierung steigen aber auch die Anforderungen derartiger Antriebselemente hinsichtlich ihrer Herstellbarkeit und Funktionalitäten wie Leistungsdichte, Laufruhe, Positioniergenauigkeit oder Lebensdauer. In den meisten Anwendungen werden Mikromotoren zur Erfüllung dieser Anforderungen mit Mikrogetrieben gekoppelt und schaffen damit erst die Voraussetzung für eine große Anwendungsband-

Preliminary note

The content of this guideline has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the guideline 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 guideline without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions specified in the VDI notices (www.vdi-richtlinien.de).

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

Introduction

No works providing a general synoptic treatment of the topic of microgears can be found in the specialist literature. For this reason VDI Guidelines Committee A222 has set itself the task of providing the basic principles of microgear development, design, fabrication, and utilization in the form of a guideline.

For many years the classic application for precision- and micro-engineered gears has been the watch- and clock-making industry. Here more than 10 thousand million toothed parts in the $m < 0,3$ mm module range are installed every year [1]. In addition, recent years have seen motion-transmission and drive applications in ever smaller sizes in many areas of daily life, in automotive engineering, in mechanical engineering, in the aerospace industry, in medical technology, and in robotics. The growing demand for microdrive products presages a prosperous future for this branch of industry. Increasing miniaturization does, however, also mean greater demands posed by this kind of drive element with regard to their manufacturability and functionalities such as power density, running smoothness, positioning accuracy, or service life. In most applications micromotors are coupled to microgear systems to meet these requirements, thereby for the first time making possible a wide range of applications, for example, with regard to speeds, torques, or installation space. In contrast to the established

breite, z.B. hinsichtlich der Drehzahlen, der Drehmomente oder des Bauraums. Im Gegensatz zu den etablierten Getriebe- und Verzahnungsnormen für Getriebe und Zahnräder des Allgemeinen Maschinenbaus fehlen für Mikrogetriebe bisher systematisch erfasste empirische Daten zur Tolerierung und Dimensionierung. Die Richtlinie bezieht sich explizit auf Getriebe, das heißt, neben der Verzahnung gibt die Richtlinie auch Hinweise auf die Gestaltung von Gehäusen, Welle-Nabe-Verbindungen, Lager etc.

1 Anwendungsbereich

In dieser Richtlinie wird dem steigenden Bedarf an Informationen über Mikrogetriebe Rechnung getragen. Zielgruppe sind die Anwender von Mikrogetrieben. Die vorliegende Richtlinie versteht sich somit als Dachrichtlinie, die aus Erkenntnissen der Grundlagenforschung und der angewandten Forschung sowie anhand von Beispielen kommerziell erhältlicher Mikrogetriebe erstmalig verallgemeinerbare Aspekte der Entwicklung, Konstruktion und Herstellung bis hin zum Einsatz von Mikrogetrieben zusammenfasst. Die Richtlinie soll den Einstieg in die Mikroantriebstechnik erleichtern und die derzeitigen Grenzen gerade in der Herstellbarkeit aufzeigen. Sie stellt einen Grundstock an Informationen dar und soll zum Diskurs und langfristig zur Ergänzung anregen.

gear and tooth system standards for the transmissions and gear wheels used in general mechanical engineering, so far no systematically collected empirical data on tolerancing and dimensioning have become available for microgears. This guideline deals explicitly with gear systems – in other words, in addition to tooth systems the guideline also provides information about the design of housings, shaft-hub connections, bearings, and so on.

1 Scope

The present guideline seeks to satisfy the increasing need for information about microgears and is aimed at the users of microgears. It should therefore be understood as an “umbrella guideline” which, drawing on the findings of research into basic principles and applied research, and also making use of examples of commercially available microgears, brings together for the first time generalizable aspects of development, design, and fabrication as well as the actual use of microgears. The guideline should render access to microdrive technology easier and indicate current limits, particularly in manufacturability. It is intended to form a basic pool of information and to stimulate discussion, and also, in the longer term, expansion.