



universitätsverlag
ilmenau

Zentner, Lena:

Klassifikation nachgiebiger Mechanismen und Aktuatoren

URN: urn:nbn:de:gbv:ilm1-2012100142-003-1

URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:ilm1-2012100142-003-1>

Erschienen in:

Mechanismentechnik in Ilmenau, Budapest und Niš : Technische Universität Ilmenau, 29. - 31. August 2012. - Ilmenau : Univ.-Verl. Ilmenau, 2012. - S. 3-12. (Berichte der Ilmenauer Mechanismentechnik ; 1)

ISSN: 2194-9476

ISBN: 978-3-86360-034-1 [Druckausgabe]

URN: urn:nbn:de:gbv:ilm1-2012100142

URL: <http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:gbv:ilm1-2012100142>

KLASSIFIKATION NACHGIEBIGER MECHANISMEN UND AKTUATOREN

Lena Zentner

TU Ilmenau, Fachgebiet Mechanismentechnik

Kurzfassung

Nachgiebigkeit wird heute nicht mehr nur als ein Nachteil mechanischer Systeme aufgefasst, sondern es werden deren Vorteile, wie Ausnutzung elastischer Kräfte, Möglichkeit der Energiespeicherung, Kohärenz der Struktur etc., gezielt eingesetzt, um qualitativ neue Eigenschaften eines Systems zu erreichen. Um die Anwendung nachgiebiger Systeme voranzutreiben, wird in diesem Beitrag Klassifikation nachgiebiger Mechanismen und Aktuatoren gegeben. Außerdem wird die Nachgiebigkeit, als eine wichtige Eigenschaft derartiger Systeme, sowie deren Ursache und Wirkung betrachtet. Diese Ausführungen sollen bei einem Entwurf bzw. einer Wahl nachgiebiger Systeme helfen.

Abstract

Today compliance is not more understood as one disadvantage of mechanical systems, but their advantages (like exploitation of elastic forces, possibility of the energy storage and coherence of the structure) are used to reach qualitatively new properties of a system. To promote the use of compliant systems, classification of compliant mechanisms and actuators is given in this contribution. Moreover, the compliance as well as their cause and effect are considered. This contribution should help in a development or a choice of compliant systems.

1. Einleitung

Eine spezifische differenzierte Nachgiebigkeit in technischen Systemen ist in vielen Anwendungsbereichen, wie in der Medizintechnik und Mensch-Maschine-Interaktion, eine notwendige Voraussetzung ([1]). Auch in klassischen zweigen der Maschinenbau bei vielen Aufgaben für die Bewegungs- bzw. Kraftübertragung, beispielweise in der Greifertechnik, werden konventionelle Starrkörpermechanismen immer mehr durch nachgiebige Systeme erfolgreich ersetzt bzw. ergänzt. Diese Tendenz wird durch die Entwicklung neuartiger Werkstoffe und entsprechender Fertigungstechnologien unterstützt. Um Möglichkeiten für den Einsatz nachgiebiger Systeme überblicken zu können, sollen diese strukturiert betrachtet werden. Deshalb werden folgend wichtige Klassifikationen bezogen auf nachgiebige Systeme und einige Termini ergänzend zu Definitionen von IFToMM [2] eingeführt.

2. Nachgiebige Mechanismen

Die Nachgiebigkeit ist nach [2] ein Maß für die Fähigkeit eines Systems oder Körpers zur Deformation unter der Wirkung äußerer Kräfte. Hier wird bewusst mit dem Begriff Nachgiebigkeit und nicht Elastizität operiert, weil unter Nachgiebigkeit die Eigenschaften der Elastizität, Plastizität bzw. viskoelastische Eigenschaften verstanden werden. Ein System, dessen Beweglichkeit ausschließlich oder vorrangig durch die Nachgiebigkeit seiner Strukturabschnitte bestimmt ist, wird als nachgiebiger Mechanismus bezeichnet (s. auch [3]).

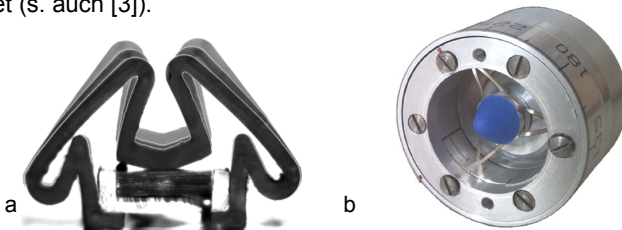


Abb. 1: (a) – ein Greifer als ein vollständig nachgiebiger Mechanismus [4], (b) – ein hybrider nachgiebiger Mechanismus [5]

In einem Extremfall können nachgiebige Mechanismen vollständig nachgiebig sein, andererseits können diese nur teilweise Nachgiebigkeit aufweisen. Die Letzteren werden als hybride Mechanismen bezeichnet. In

der Abb. 1 sind zwei Beispiele dargestellt, ein Greifer als ein vollständig nachgiebiger Mechanismus und ein Sicherheitsventil, eingebaut in einem Sockel, als ein hybrider nachgiebiger Mechanismus [5]. Nachgiebige Aufhängungen des Ventils sorgen für die Bewegung des Verschlusses, welcher bei einem Überdruck eine Öffnung schließt und somit die Strömung unterbricht. Die nachgiebigen Strukturabschnitte nachgiebiger Mechanismen können als Gelenke betrachtet werden. Derartige Gelenke verbinden einzelne Teile eines nachgiebigen Mechanismus mit einander, wobei eine Verbindung stoffschlüssig, formschlüssig oder kraftschlüssig realisiert werden kann, wie die Abb. 2 zeigt.

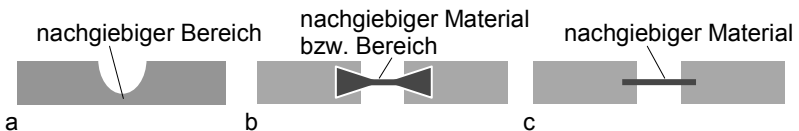


Abb. 2: Gelenke eines nachgiebigen Mechanismus als: (a) – eine stoffschlüssige, (b) – formschlüssige oder (c) – eine kraftschlüssige Verbindung z.B. durch eine Einspannung

Daraus folgen zwei unterschiedliche Arten eine differenzierte Nachgiebigkeit bzw. Gelenke zu erzielen. Einerseits kann eine erhöhte Nachgiebigkeit durch Änderung der Geometrie, z.B. durch eine geometrische Verjüngung im lokalen Bereich, erreicht werden (Abb. 3a). Andererseits lässt sich ein Gelenk durch die Einführung eines anderen Materials ins System, der eine höhere Nachgiebigkeit aufweist, gestalten (Abb. 3b).

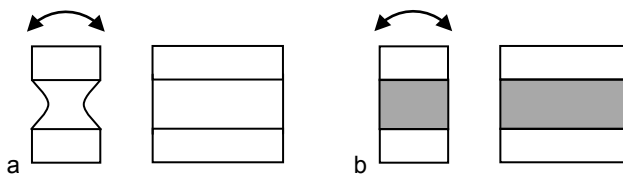


Abb. 3: Gelenke eines nachgiebigen Mechanismus, realisiert durch: (a) – geometrische Gestaltung, (b) – zusätzliche nachgiebige Materialien

In Natur kommen nachgiebige Systeme mit Gelenken beider Arten vor. Ein Beispiel für Gelenke, die nur durch geometrische Gestaltung gebildet werden, ist im mehrgelenkigen Spinnenbein zu finden. Ein Spinnenbein ist

mit einer relativ harten Schalle, die ein Exoskelett bildet, umhüllt. Sie stellt an lokalen Stellen gelenkige Ausbildungen und entsprechenden Membranen dar, wobei diese Bereiche aus einem Stoff (Cuticula) bestehen. Unter Druckerhöhung im Inneren der Schalle, entfaltet sich die Membran und das Bein wird gestreckt (Abb. 4).

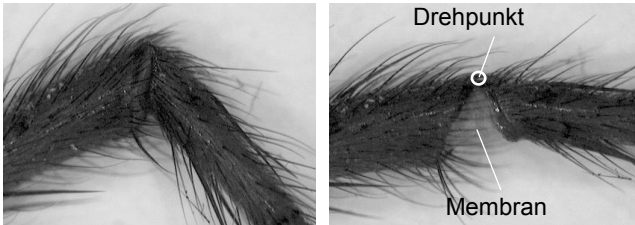


Abb. 4: Ein typisches Spinnenbeingelenk mit hydraulischem Antrieb als ein Beispiel für ein nachgiebiges System

In einer Abhängigkeit von der Geometrie derartiger Gelenke kann es sich entweder um rein hydraulisch angetriebenes Gelenk, wobei die Drehachse durch ein Peripheriepunkt verläuft und somit die Teilnahme der Muskeln an der Streckung ausgeschlossen ist (Abb. 5a), oder um ein Gelenk, bei dem die Muskeln an der Streckung teilweise oder vollständig beteiligt sind (Abb. 5b-c), handeln ([7]).

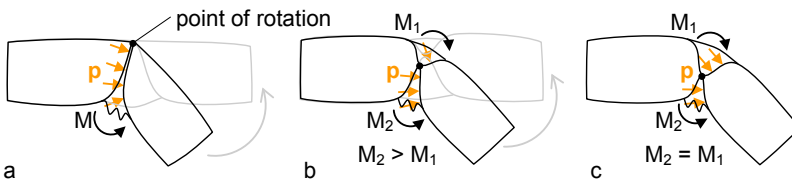


Abb. 5: Schematische Darstellung von Spinnengelenken: (a) – ein rein hydraulisches Gelenk; (b) – ein kombiniertes, hydraulisch und durch Muskeln angetriebenes, Gelenk; (c) – ein rein durch Muskeln angetriebenes Gelenk

Im Zusammenhang mit Gelenken, die mithilfe zusätzlicher nachgiebiger Materialien zu erzielen sind, können Bandscheiben der Wirbelsäule genannt werden. Zwischen den knöchernen Wirbelkörpern der Wirbelsäule befinden sich die Bandscheiben, welche aus einem äußeren stabilen

Faserknorpelring und einem gelartigen Kern bestehen (Abb. 6). Sie sind flächig mit den Grund- bzw. Deckplatten der Wirbelkörper verwachsen. Die Bandscheiben, die eine höhere Nachgiebigkeit besitzen, ermöglichen erst die Beweglichkeit der Wirbelsäule.

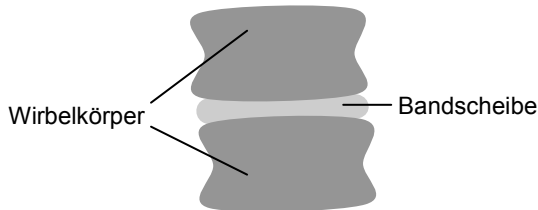


Abb. 6: Schematische Darstellung von zwei Wirbelkörpern der Wirbelsäule; Wirbelkörper sind unter einander durch eine Bandscheibe verbunden, die elastische Bandscheibe stellt ein Gelenk dar

Wenn ein Gelenk eines nachgiebigen Mechanismus zwei benachbarte Glieder bzw. Gliedsegmente stofflich miteinander verbindet und ihre relative Beweglichkeit durch Nachgiebigkeit ermöglicht, dann wird solches Gelenk nach [2] ein stoffschlüssiges Gelenk genannt. In den beiden letzten Beispielen handelt es sich um stoffschlüssige Gelenke, da eine stoffliche Verbindung zwischen den nachgiebigen Gelenkelementen und den Teilen eines Systems vorhanden ist. Die meisten nachgiebigen Mechanismen besitzen stoffschlüssige Gelenke, wodurch auch deren Vorteile hervorgehen. Im Allgemeinen lassen sich diese wie folgt zusammenfassen: weniger Reibung bzw. Schmierung, gute Voraussetzungen zur Miniaturisierung, oft leichte Fertigung durch einfachere bzw. keine Montage und geringe Wartung. Zu berücksichtigen sind meist komplizierte Pfade eines Wirkelementes, die theoretisch schwer zu beschreiben sind, sowie die Ermüdungserscheinungen des Materials bei großen Verformungen.

3. Nachgiebige Aktuatoren

Wenn ein nachgiebiges System bzw. ein nachgiebiger Mechanismus nicht nur als eine geometrische Struktur betrachtet wird, sondern die Ursachen für die Bewegungsfähigkeit berücksichtigt werden, dann kann so ein Begriff wie nachgiebiger Aktuator eingeführt werden (s. auch [6]). Ein nachgiebiger Körper oder ein nachgiebiges System, bei welchem die Umwandlung einer

Energieart in die Verformungsenergie unmittelbar an der Deformationsstelle stattfindet, wird ein nachgiebiger Aktuator genannt (Abb. 7). Handelt es sich dabei um die Energie eines fluidischen Mediums (Gas, Flüssigkeit, Gel), die eine Deformation des nachgiebigen Strukturabschnittes hervorruft, dann wird solcher Aktuator als ein fluid-mechanischer nachgiebiger Aktuator bezeichnet (Abb. 7b).

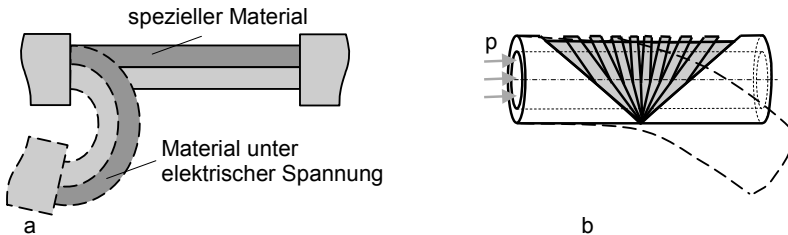


Abb. 7: Darstellung von nachgiebigen Antrieben: (a) – unter Anwendung von speziellen Materialien, die z.B. ihre Länge bzw. Volumen unter Wirkung von elektrischer Spannung vergrößern, (b) – ein fluid-mechanischer Aktuator, welcher unter Erhöhung des Innendruckes eine Biegung vollführt

4. Nachgiebigkeit

Die Nachgiebigkeit, als eine der bedeutendsten Eigenschaften nachgiebiger Mechanismen soll genauer betrachtet werden, damit diese sinnvoll und gezielt in mechanischen Systemen eingesetzt werden kann. Das Verstehen der Einflüsse, die Nachgiebigkeit verändern bzw. manipulieren können, eröffnet die Möglichkeiten diese gezielt an bestimmte Bedingungen anzupassen.

4.1. Einteilung der Nachgiebigkeit

Die Nachgiebigkeit kann bezüglich der geometrischen Ausbreitung in die konzentrierte und verteilte Nachgiebigkeit eines Körpers bzw. Systems (Mechanismus) aufgeteilt werden. Dabei handelt es sich um eine Potenz 10^1 als eine Vergleichsgröße. Wenn die maximale Abmessung eines nachgiebigen Bereiches zehn und mehr Mal kleiner als eine maximale Abmessung eines Körpers bzw. Systems (Mechanismus) ist, dann handelt

es sich um eine konzentrierte Nachgiebigkeit. Im Gegensatz dazu wird ein verformbarer Bereich mit einer Ausdehnung, die mit den maximalen Abmessungen des Systems vergleichbar ist, eine verteilte Nachgiebigkeit dem System verleihen (Abb. 8).

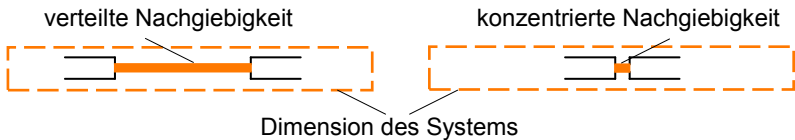


Abb. 8: Schematische Darstellung des Unterschiedes zwischen verteilter und konzentrierter Nachgiebigkeit

Diese Einteilung bzw. die angegebene Vergleichsgröße soll als ein ungefähre Wert betrachtet werden. Diese Auffassung der Nachgiebigkeit bezogen auf deren geometrische Ausbreitung hilft bei Anwendung und Wahl von Modellierungsmethoden für nachgiebige Mechanismen. Nach der aufgeführten Einteilung der Nachgiebigkeit, aber angewandt auf Gelenke, kann es nun zwischen nachgiebigen Gelenken mit verteilter und konzentrierter Nachgiebigkeit unterschieden werden. In der Abb. 9 sind zwei Beispiele nachgiebiger Mechanismen mit stoffschlüssigen Gelenken gezeigt, die eine verteilte bzw. konzentrierte Nachgiebigkeit aufweisen. Stoffschlüssige Gelenke mit verteilter Nachgiebigkeit können in einem Mechanismus auch als nachgiebige Glieder abstrahiert werden. Wenn die verteilte Nachgiebigkeit gar den ganzen Mechanismus ergreift, dann geht es um einen vollständig nachgiebigen Mechanismus (Abb. 1a).

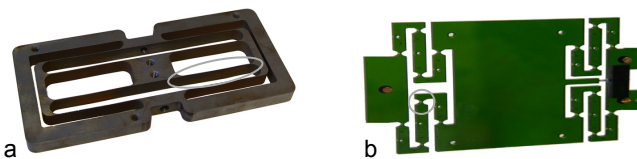


Abb. 9: Beispiele nachgiebiger Mechanismen mit stoffschlüssigen Gelenken (a) – mit verteilter Nachgiebigkeit und (b) – mit konzentrierter Nachgiebigkeit

Außerdem wird die Nachgiebigkeit nach der Fähigkeit sich zu verändern unterschieden. Die meisten Gelenke nachgiebiger Mechanismen besitzen eine konstante Nachgiebigkeit, die sich nicht verändert. Eine veränderliche

Nachgiebigkeit eines Körpersegmentes wird bei Veränderung von Struktur- oder Umgebungsbedingungen erreicht. Das Letztere kann beispielsweise durch Temperaturänderung bzw. Erwärmung einer lokalen Stelle des Materials in einem System geschehen. Dadurch werden mechanische Eigenschaften eines speziellen Materials geändert, seine Nachgiebigkeit wird lokal erhöht wodurch diese Stelle die Rolle eines Gelenkes übernimmt. Die veränderliche Nachgiebigkeit, die nach Rücknahme der Veränderungen von Struktur- oder Umgebungsbedingungen den ursprünglichen Zustand wieder gewährleistet, wird als reversible Nachgiebigkeit bezeichnet. Im Gegensatz dazu, wenn die veränderte Nachgiebigkeit in ihren ursprünglichen Zustand, nach der Wegnahme der Ursache der Veränderung, nicht zurück kehrt, handelt es sich um eine irreversible Nachgiebigkeit. Solche Systeme werden demzufolge ihre Funktion einmalig ausführen können.

4.2. Änderung der Nachgiebigkeit, Empfindlichkeit

In der Natur bleibt die Nachgiebigkeit biologischer Systeme nicht konstant. Im Gegenteil dazu, in einem theoretischen Modell ist es oft vorteilhaft und auch sinnvoll mit konstanter Nachgiebigkeit zu arbeiten. Bei mathematischen Modellen wird es zwischen linearen und nichtlinearen Modellen unterschieden. Dabei werden entweder geometrische Linearität, wobei nur kleine Verschiebungen zugelassen sind, oder materialeseitige Linearität, bei der das Hook'sche Gesetz gilt, gemeint. Bei diesen beiden Voraussetzungen der Linearität wird beispielhaft ein Modell eines nachgiebigen Gelenkes als ein eingespannter Balken mit einer Länge l , einem Elastizitätsmodul E und einem Flächenträgheitsmoment I_z betrachtet. Der Balken wird durch eine Kraft F an seinem Ende belastet (Abb. 10). Die Nachgiebigkeit, die allgemein als $\partial v / \partial F$ und in diesem Fall als ein Quotient zwischen der Verschiebung v und der Kraft darzustellen ist, wird wie folgt ausgedrückt:

$$\eta = \frac{v}{F} = \frac{l^3}{EI_z}.$$

Die Nachgiebigkeit ist in genanntem Fall konstant. Wenn die Elastizität E von einem anderen Parameter, beispielsweise von der Temperatur T und zwar linear, um eine Transparenz beizubehalten, abhängt dann wird auch

die Nachgiebigkeit temperaturabhängig $\eta(T)$ sein (Abb. 10a). Der Parameter T kann nun genutzt werden, um die Nachgiebigkeit gezielt zu verändern ([8]). Was in einem derartigen System nicht zu gewährleisten wäre, ist die Änderung der Empfindlichkeit des Systems $\partial\eta/\partial T$ für eine bestimmte Verschiebung und auch für einen gewünschten Temperaturzustand, da dieser im Zusammenhang mit Abhängigkeit $E(T)$ bereits vorgegeben ist. Die Abb. 10b zeigt eine Abhängigkeit $\eta(T)$, wobei die Empfindlichkeit des Systems durch den Winkel α_1 charakterisiert wird. Wird noch ein Parameter, z.B. die elektrische Spannung U betrachtet, die ebenfalls die Elastizität des Materials verändern soll $E(T,U)$, dann wird es möglich sein die Empfindlichkeit des Systems $\partial\eta/\partial T$, bezogen auf den Parameter T , für einen bestimmten Zustand, beschrieben durch T und v , zu verändern.

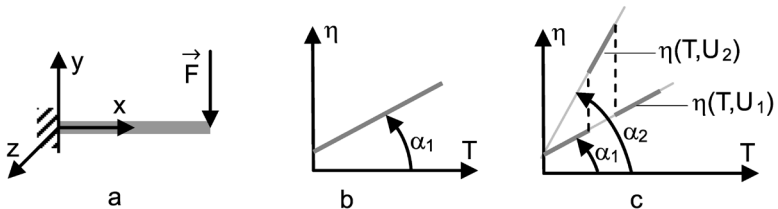


Abb. 10: (a) – Beispiel eines eingespannten Balkens, (b) – die Nachgiebigkeit $\eta(T)$ mit unveränderlicher Empfindlichkeit für einen beliebigen Punkt T , (c) – die Nachgiebigkeit hängt von zwei Parametern ab $\eta(T,U)$, wodurch eine Veränderung der Empfindlichkeit möglich ist, charakterisiert durch α_1 und α_2

Der Fall, in dem die Nachgiebigkeit von zwei Parametern abhängt, wodurch auch die Veränderung der Empfindlichkeit möglich ist, präsentiert die Abb. 10c. Wegen Einfachheit, wurde ein linearer Zusammenhang zwischen der Nachgiebigkeit und den beiden Parametern angenommen. Die Änderung der Empfindlichkeit wird erst möglich, wenn eine Abhängigkeit von zwei und mehr Parametern vorhanden ist. Eine gezielte Einstellung der Empfindlichkeit ist insbesondere in der Messtechnik wichtig.

5. Zusammenfassung

In diesem Beitrag sind Definitionen und Klassifizierungen bezogen auf Nachgiebigkeit gegeben. Diese sollen helfen nachgiebige Mechanismen und

Aktuatoren strukturiert zu betrachten, um eine modellbasierte Analyse sowie Entwicklung derartiger Systeme zu erleichtern. Bei einer Modellbildung sollen Eigenschaften eines Systems, die seine Funktionsfähigkeit teilweise oder vollständig beeinflussen, berücksichtigt werden. Anhand gegebener Klassifizierungen wird es möglich sein, eine Auswahl der funktionswichtigen und demzufolge modellrelevanten Eigenschaften eines Systems zu erleichtern. Auch eine Entwicklung von neuen Systemen könnte anhand einer strukturierten Betrachtung möglicher Eigenschaften, welche die Funktionsfähigkeit eines nachgiebigen Systems ausmachen, vereinfacht werden.

Mit ehrendem Dank an Herrn Prof. Bögelsack

Literatur

- [1] Zinn, M. Khatib, O., Roth, B., Salisbury, J. K.: A new actuation approach for human friendly robot design, The International Journal of Robotics Research, Vol. 23, No.4-5, ISSN 0278-3649, 2004
- [2] IFToMM dictionaries online: <http://www.iftomm.3me.tudelft.nl/>
- [3] Christen, G., Pfefferkorn, H.: Mehr Beweglichkeit, MM – Das Industrie-Magazin · 37/2002
- [4] Jentzsch, A.: Ein Beitrag zur Entwicklung von nachgiebigen Greiferstrukturen auf Ferroelastomerbasis, TU Ilmenau, Bachelor-Arbeit, 68 S, 2010
- [5] Griebel, S.; Linß, S.; Risto, U.; Uhlig, R.; Zentner, L.: Neue Anwendungen durch elastische Eigenschaften, Erfinder-Visionen. - Schmalkalden : ERiNET. S. 15-16, 2008
- [6] Bögelsack, G.: On Fluidmechanical Compliant Actuators, 19th Working Meeting of IFToMM, Kaunas-Technologija, 2000
- [7] Zentner, L.: Untersuchung und Entwicklung nachgiebiger Strukturen basierend auf innendruckbelasteten Röhren mit stoffschlüssigen Gelenken, Ilmenau ISLE Verlag, ISBN 3-932633-77-6, 2003
- [8] Zentner L, Böhm V: On the Mechanical Compliance of Technical Systems, Intech: Mech. Engineering, ISBN: 978-953-51-0505-3, 2012