

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Was ist ein Mechanismus? .....	1
1.1.1	Einteilung der Mechanismen.....	2
1.1.2	Häufig verwendete Elementar-Mechanismen .....	6
1.2.	Mechanismen mit speziellen Funktionen .....	7
1.3	Methoden für den Entwurf von Mechanismen .....	15
1.4	Programme zur Analyse und Synthese von Mechanismen .....	16
1.5	Literatur und Nachschlagewerke.....	18
1.5.1	Getriebetechnik.....	18
1.5.2	Finite Elemente Methode und Mehrkörperdynamik .....	18
1.5.3	Robotik.....	18
1.5.4	Referenzen .....	18



# 1 Einleitung

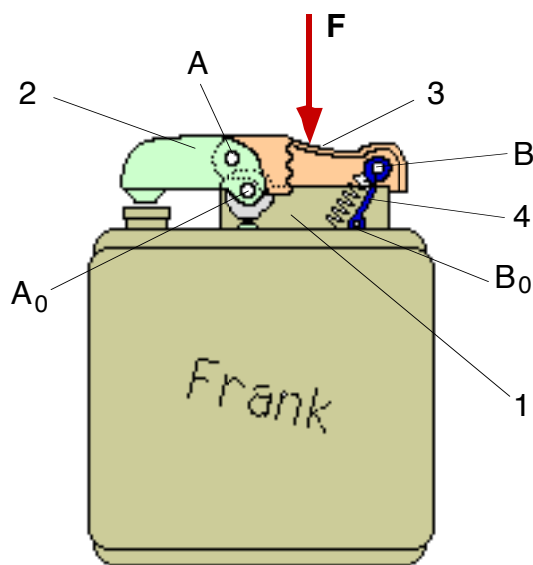
## 1.1 Was ist ein Mechanismus?

Mechanismus (auch Getriebe genannt)

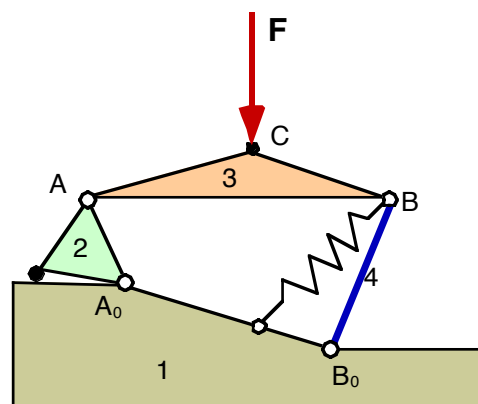
☞ ist ein mechanisches System zur Übertragung von **Bewegungen** oder zur Weiterleitung von **Energien**

☞ er besteht aus **Gliedern (Körpern)** und **Gelenken** sowie **Kraftelementen**, wie Federn und Dämpfern.

Beispiel 1: Mechanismus eines Tischfeuerzeuges – Übertragung der Energie



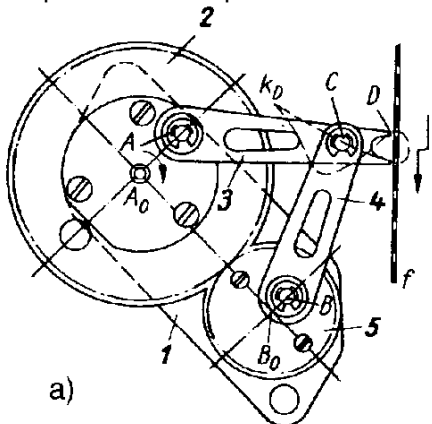
a) Konstruktive Ausführung



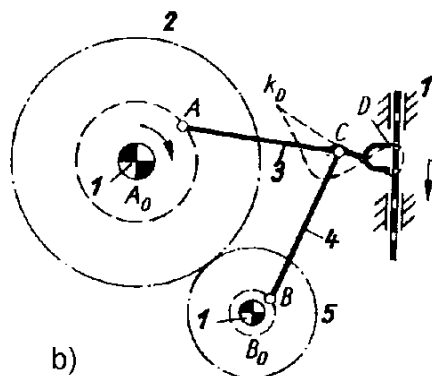
4-Gelenkmechanismus  
mit 4 Gliedern (#1 = Gestell)  
mit 4 Gelenken (Drehgelenke bei  $A_0$ , A, B,  $B_0$ )  
mit einer Feder und 2 Anschlägen  
Das System hat einen Freiheitsgrad (1 FHG)

b) Getriebeschema

Beispiel: Filmtransport in einer Filmkamera (Volmer 1989), – Übertragung von Bewegungen



a) Konstruktive Ausführung

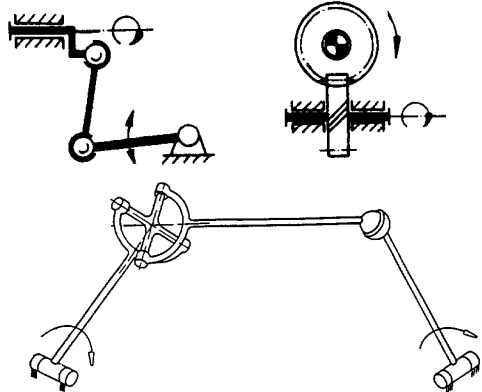
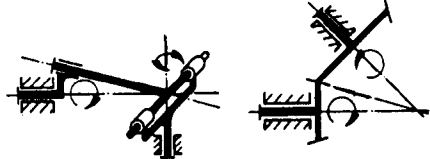



b) Getriebeschema

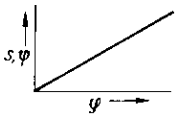


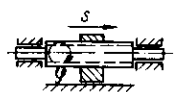
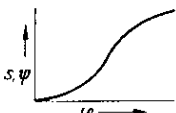
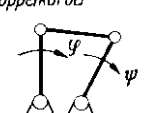



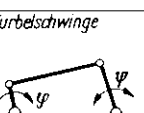
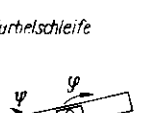
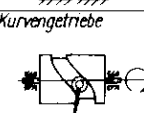

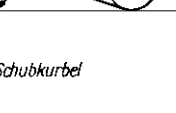

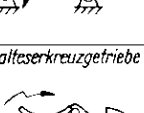
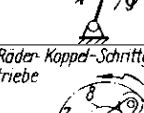
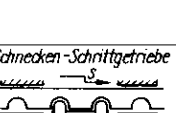
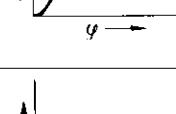

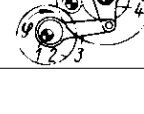
Übung: Nennen Sie bitte weitere Mechanismen.

### 1.1.1 Einteilung der Mechanismen

☞ Mechanismen unterschiedlicher Bewegungen, aus (Volmer 1989), Tafel 2.3

Benennung	Merkmale	Beispiele
räumliche Mechanismen	die Drehachsen kreuzen sich	
sphärische Mechanismen	alle Drehachsen schneiden sich in einem Punkt	
ebene Mechanismen	alle Drehachsen liegen parallel	

☞ Mechanismen mit unterschiedlicher Übertragungen, aus (Volmer 1989), Tafel 2.4

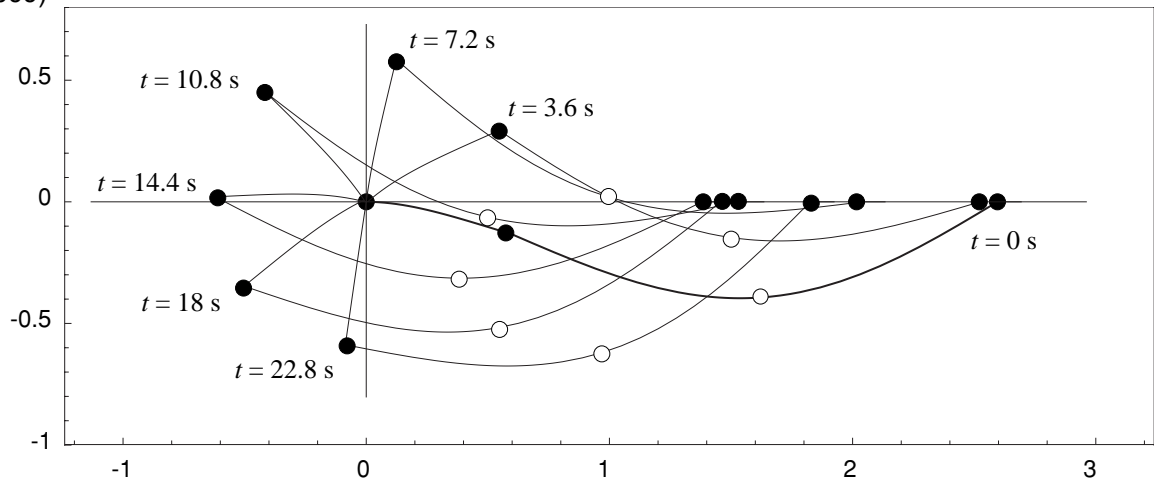
Übertragung	Übertragungsfkt.	Beispiele		
konstant		Zahnradgetriebe 	Parallelkurbelgetriebe 	Schraubenge triebe 
ungleichmäßig fortlaufend		Doppelkurbel 	Kurvengetriebe 	Bandgetriebe 
ungleichmäßig schwingend		Kurbelschwinge  Kurbelschleife 	Kurvengetriebe  Koppelgetriebe 	Schubkurbel 
ungleichmäßig fortlaufend mit Rast		Maltesserkreuzgetriebe 	Räder-Koppel-Schnittgetriebe 	Schnecken-Schnittgetriebe 
ungleichmäßig schwingend mit Anstieg, Rast, Abstieg		Koppelrastgetriebe 	Kurvengetriebe 	

Achtung: es gibt auch unrunde Zahnräder, vgl. Abschn. 1.2

☞ Mechanismen mit starren Körpern

☞ Mechanismen mit elastischen Körpern

Beispiel einer Schubkurbel mit elastischer Kurbel und Koppel, aus (Schwertassek and Wallrapp 1999)



☞ Mechanismen mit unterschiedlichen Gelenken

(Drehgelenk, Schubgelenk, Reibgelenk, Schraubgelenk, etc.)

## Mechanismen als Handhabungsgeräte

aus (VDI-2860 1990) (Gliederungskriterium ist die Bewegungsvorgabe)

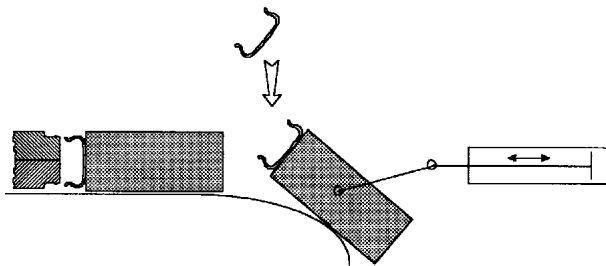
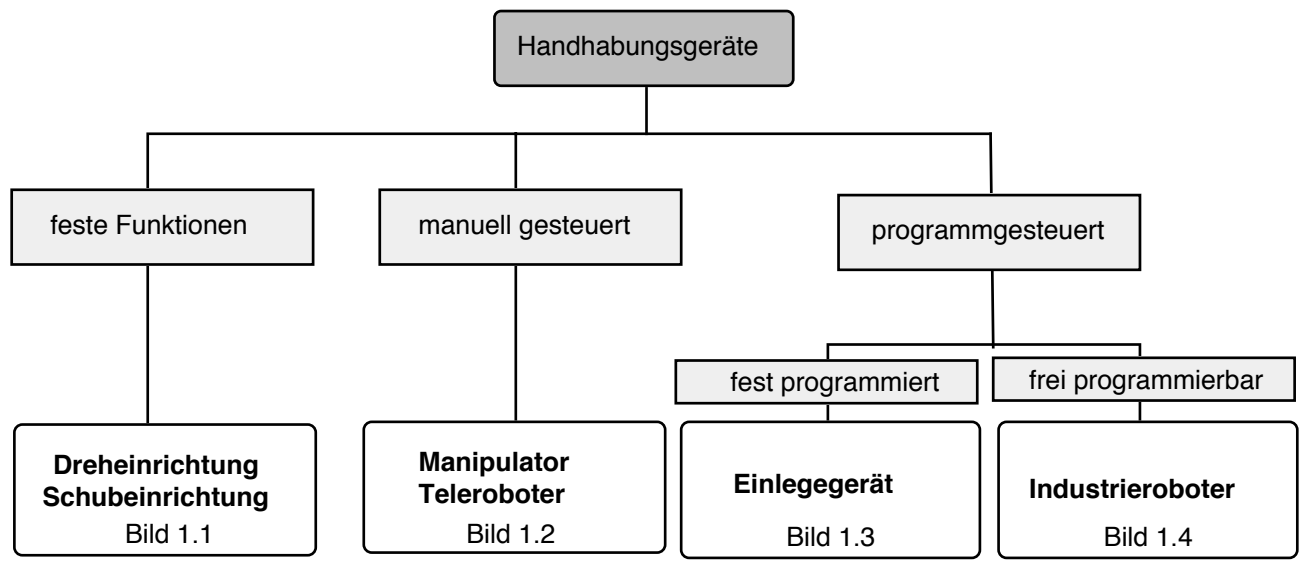


Bild 1.1: Einlegegerät zum Aufdrücken von Klammern (Pick und place)

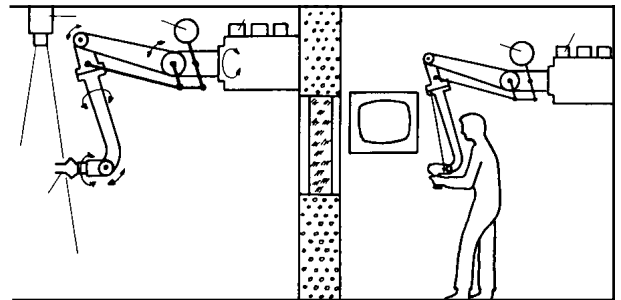


Bild 1.2: Master-Slave Manipulator (Teleroboter)

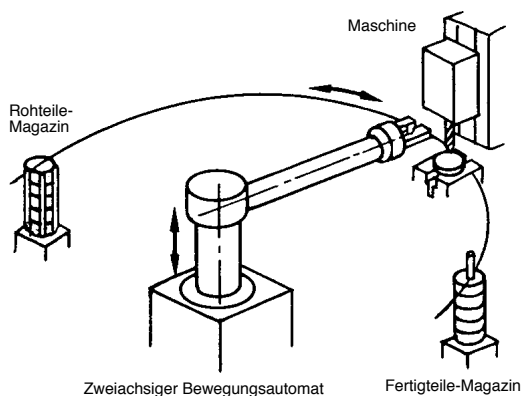


Bild1.3: Fest programmiertes Einlegegerät

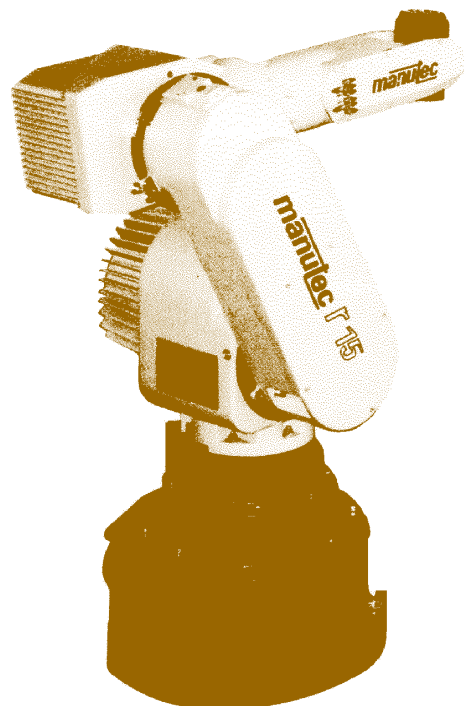
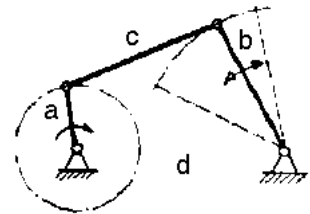


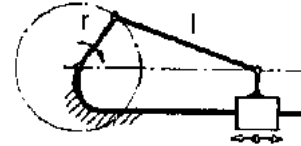
Bild 1.4: Industrieroboter (frei programmierbarer Handhabungsautomat)

## 1.1.2 Häufig verwendete Elementar-Mechanismen

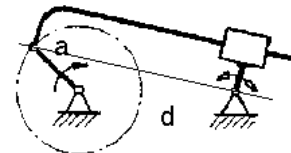
☞ Viergelenkgetriebe mit 4 Gliedern und 4 Drehgelenken



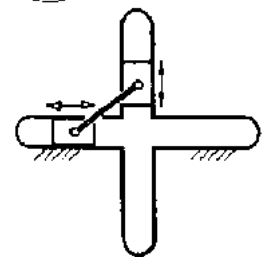
☞ Schubkurbelgetriebe mit 4 Gliedern, 3 Drehgelenken und 1 Schubgelenk



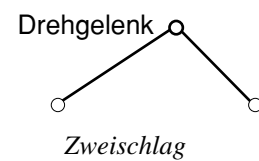
☞ Kurbelschleife mit 4 Gliedern, 3 Drehgelenken und 1 Schubgelenk



☞ Kreuzschleife oder Schubschleife mit 4 Gliedern, 2 Drehgelenken und 2 Schubgelenken



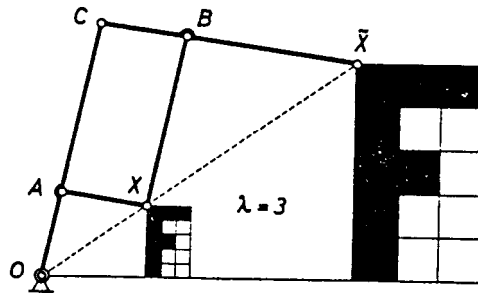
☞ Aus oben genannten Elementarmechanismen lassen sich durch Anhängen z.B. eines Zweischlages komplexere Mechanismen aufbauen



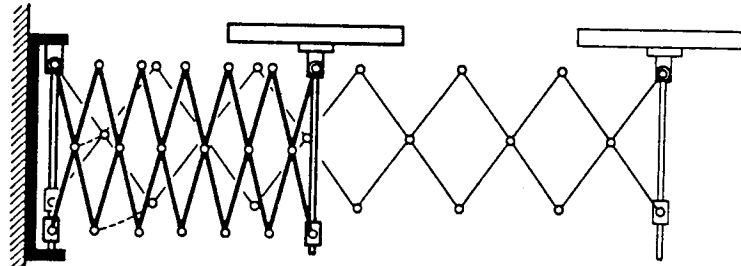


## 1.2. Mechanismen mit speziellen Funktionen

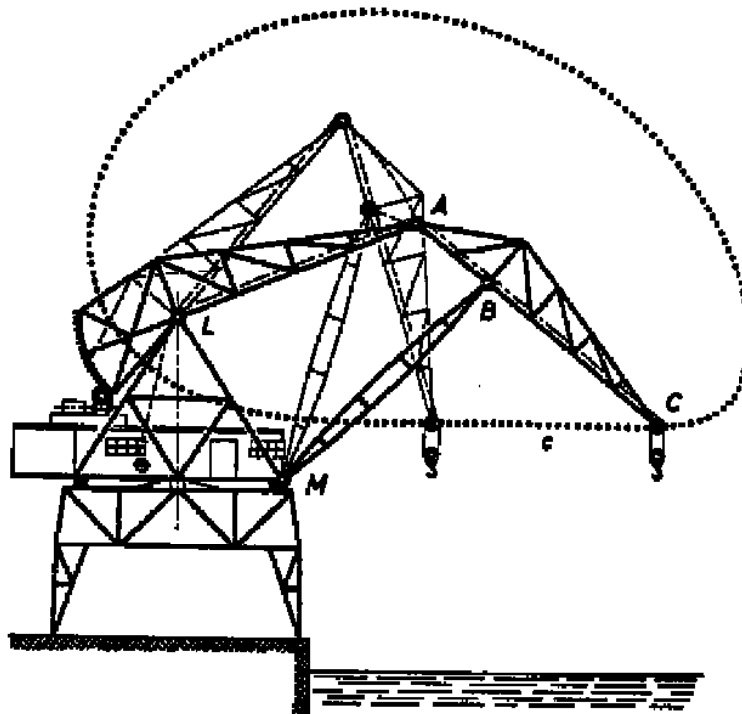
Beispiel: Pantograph (Übersetzung  $\lambda = \text{Strecke OC zu Strecke OA}$ )



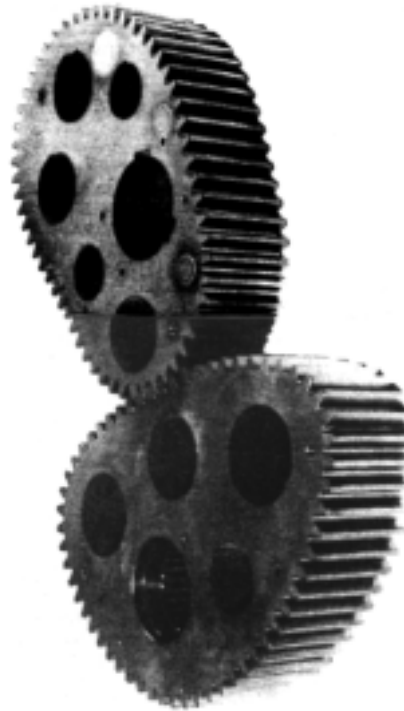
Beispiel: Nürnberger Schere



Beispiel: Geradführung eines Krans: Gelenkviereck mit Koppelpunkt



## Beispiel: Unrunde Zahnräder mit einer nichtlinearen Übertragungsfunktion



Unten das Antriebszahnrad und oben das Abtriebszahnrad für die Tiefziehpressen. Die Bohrung für die Exzenterwelle des Abtriebsrads mit den zwei Paßfedernuten hat 160 mm Durchmesser. Die übrigen Bohrungen sparen Gewicht. Foto: ifum

## ZUM THEMA

## Unrund-Zahnräder flexibilisieren die Stoßelbewegung

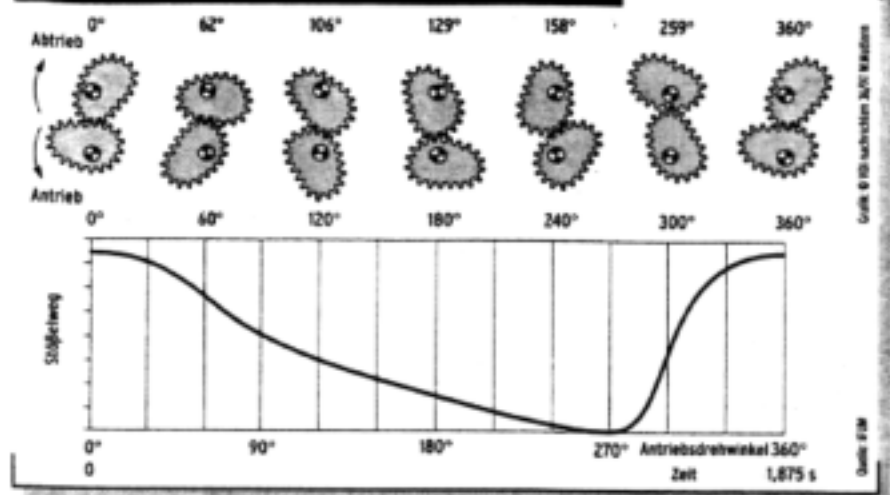
Der Prototyp, der am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen an der Universität Hannover den Dauerbelastungstest bestanden hat, war ursprünglich eine normale Exzenterpresse mit einer Nennkraft von 2000 kN. Inzwischen ist die Presse um ein unruntes Zahnradpaar mit Evolventenverzahnung erweitert worden. Je 59 Zähne vom Modul 10 mm übersetzen den Antrieb. Die beiden Zahnräder sind 15 cm dick und 70 cm breit.

Die Presse-Kinematik wird durch die unrunten Räder so verändert, daß das Werkzeug langsam auf das Werkstück aufsetzt und es gleichbleibend langsam umformt. Im Vergleich zu anderen Pressen setzt die unrunde Presse bei gleicher Hubzahl dreimal langsamer auf dem Werkstück auf. Damit ist sie gut zum Tiefziehen geeignet und durch die im Verhältnis höhere Produktivität auch aus wirtschaftlicher Sicht vorbildlich.

Die Steigerung des Nennkraft-Stoßelweges gibt das IFUM mit rund 250 % an. Das Antriebsmoment, bei dem die Stoßelnennkraft erreicht wird, verringert sich beim Antrieb mit unrunten Zahnrädern. Pressen könnten mit dem neuen Antrieb also kleiner und kostengünstiger ausgelegt werden.

## Unrundzahnrad drehen schnell und langsam

VDI nachrichten



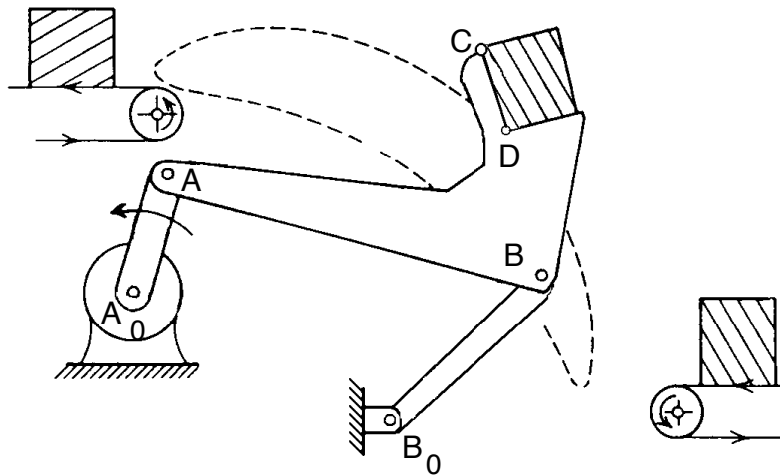
**Zuordnung von Zahnradstellungen und Stoßelweg:** Bei gleichen Antriebsdrehwinkel-Intervallen dreht das Abtriebszahnrad in verschiedenen Schritten weiter. Durch den nachgeordneten Kurbeltrieb entsteht die in der unteren Bildhälfte gezeigte Stoßelbewegung beim Tiefziehen.

Und noch einen Vorteil sehen die Ingenieure: Gelenkpressen, die sonst bei ungewöhnlichen Anforderungen an die Stoßelkinematik eingesetzt werden, können immer nur für einen Verlauf konzipiert werden.

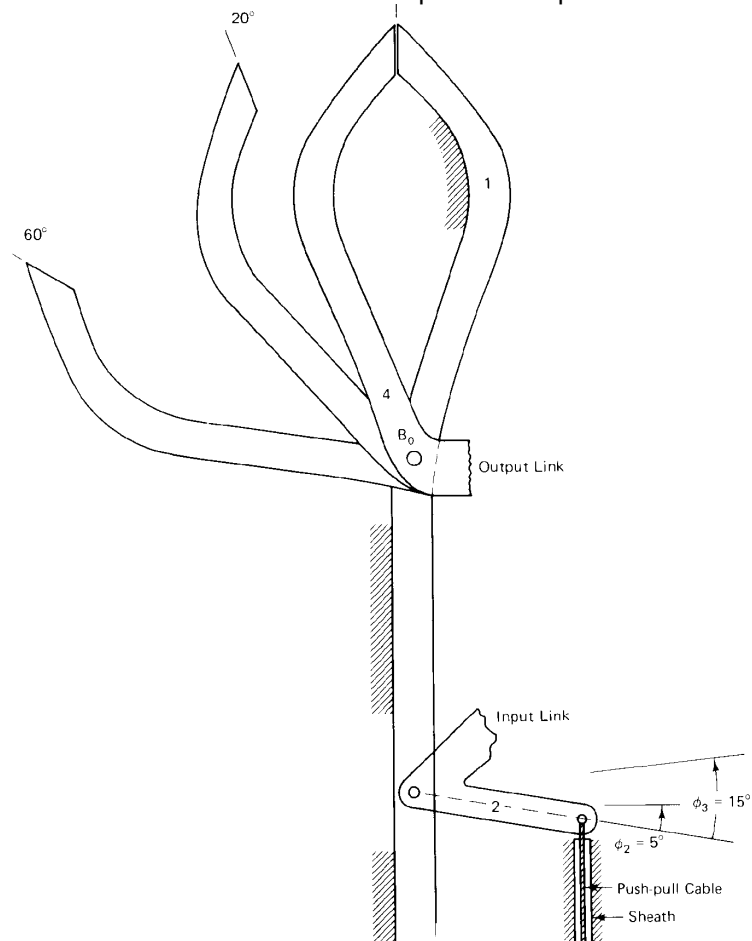
den, die unrunten Antriebe dagegen sind flexibel. Verändert sich der gewünschte Stoßelhub, müssen lediglich neue, entsprechend veränderte Zahnräder in die Presse eingebaut werden. FörfKäm

## Beispiel: Transportmaschine

"Finde die Abmessungen, so daß Würfel rechts aufgenommen, um  $90^\circ$  gedreht und links abgelegt werden können"

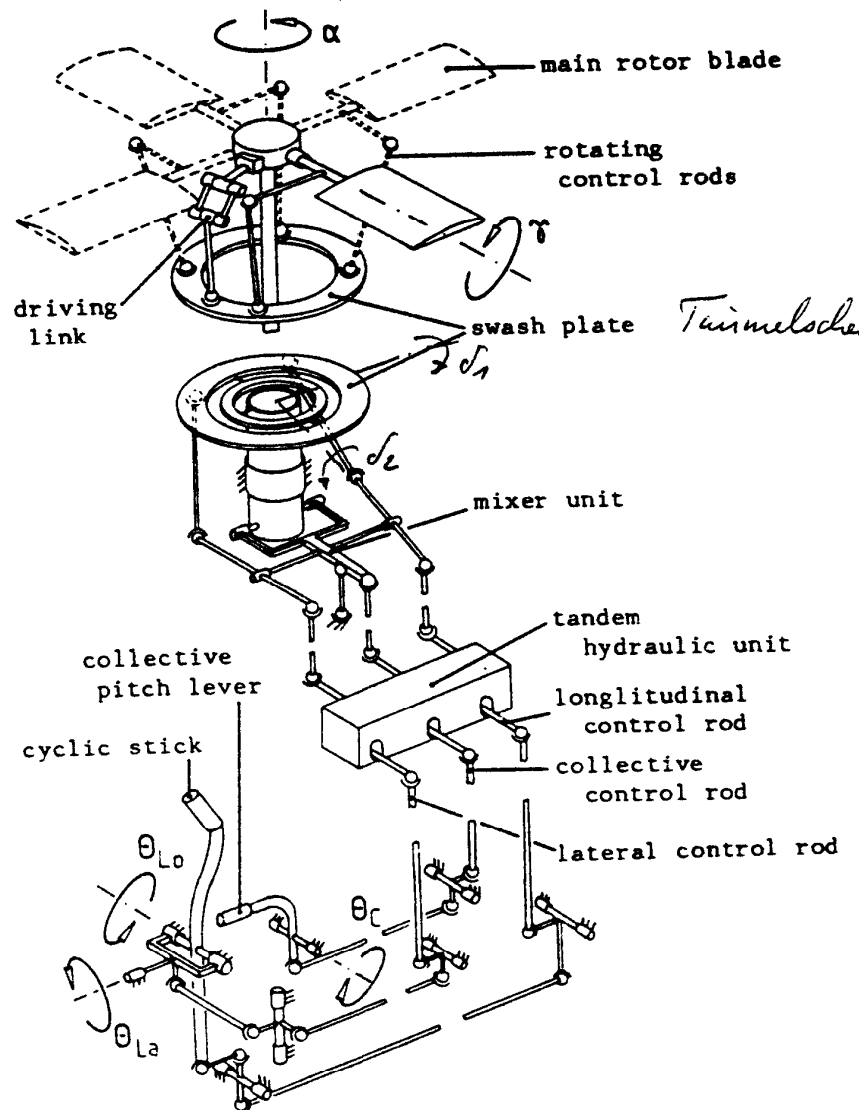


## Beispiel: Greifarm "Finde den Mechanismus zwischen Input und Output"

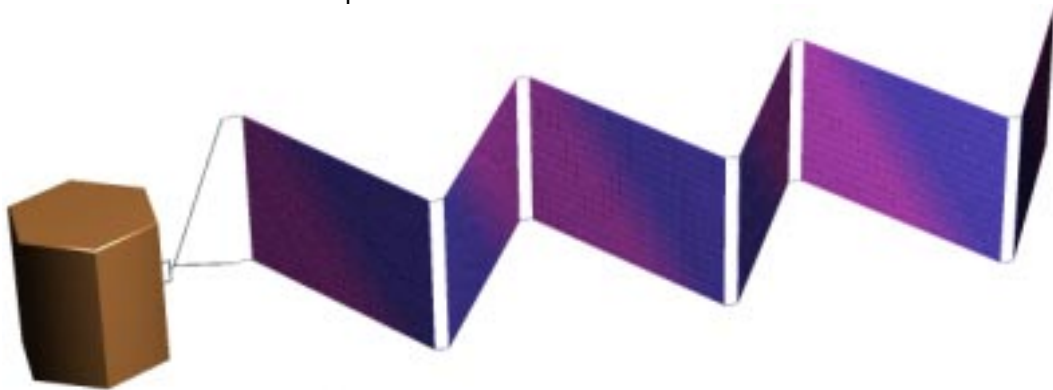




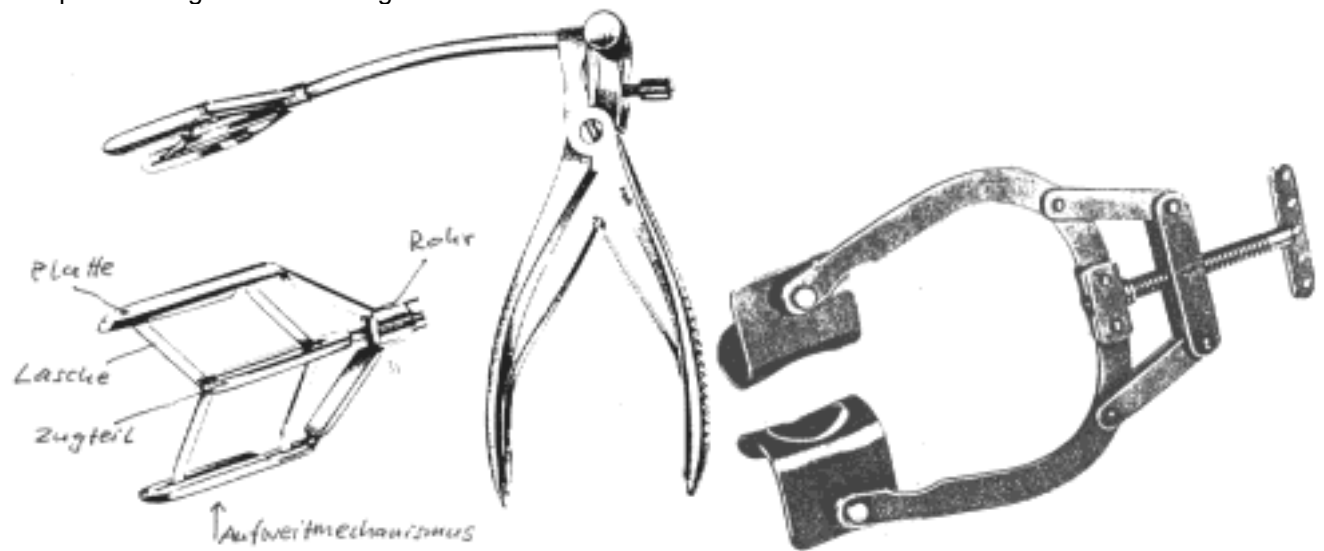
## Beispiel: Hauptrotorsteuerung eines Hubschraubers (43 Glieder, 4 FHG)



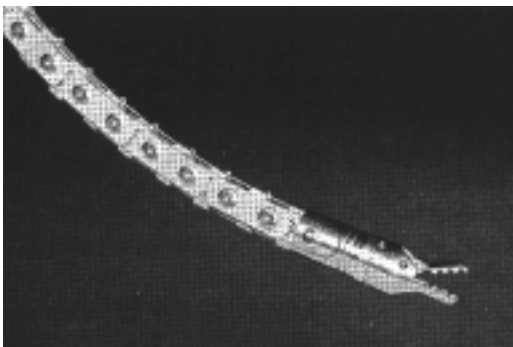
## Beispiel: Satellit mit Joch und 6 Solarpanels



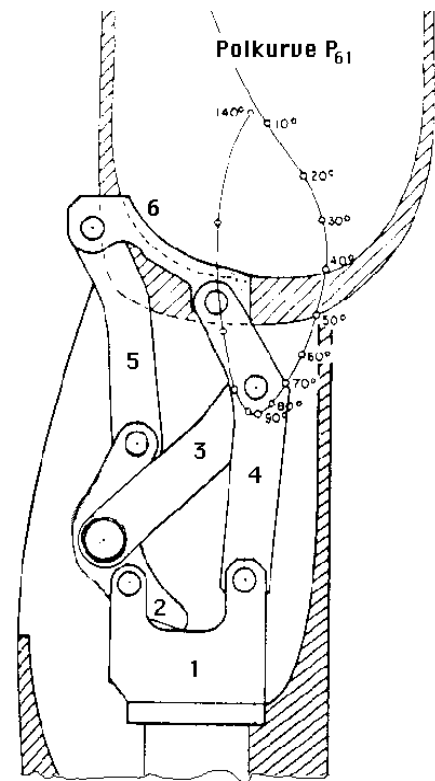
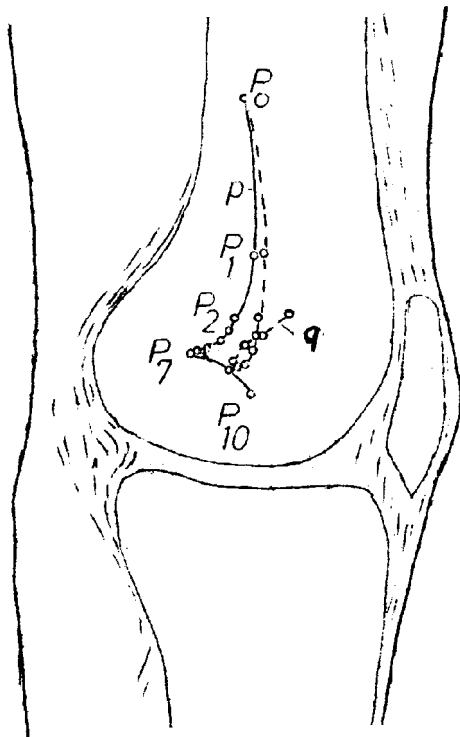
## Beispiel: Chirurgische Werkzeuge



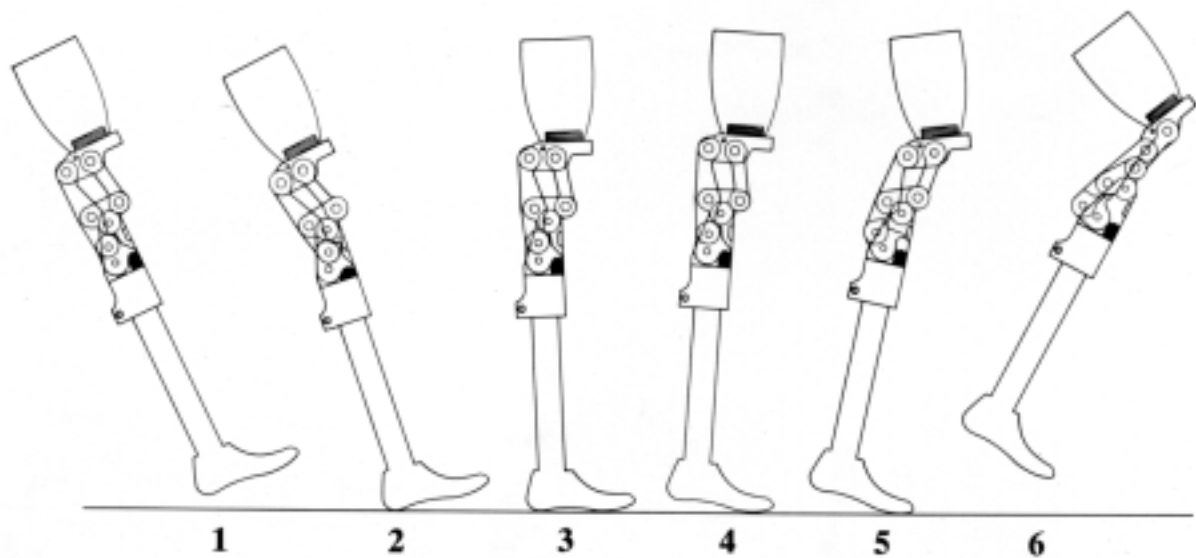
## Beispiel: Werkzeuge der Minimal-Invasive-Chirurgie, aus (Kunad, Müglitz et al. 1994)



Beispiel: Kniegelenkprothese, entwickelt vom Biomechanics Laboratory, University of California, Berkeley, USA.

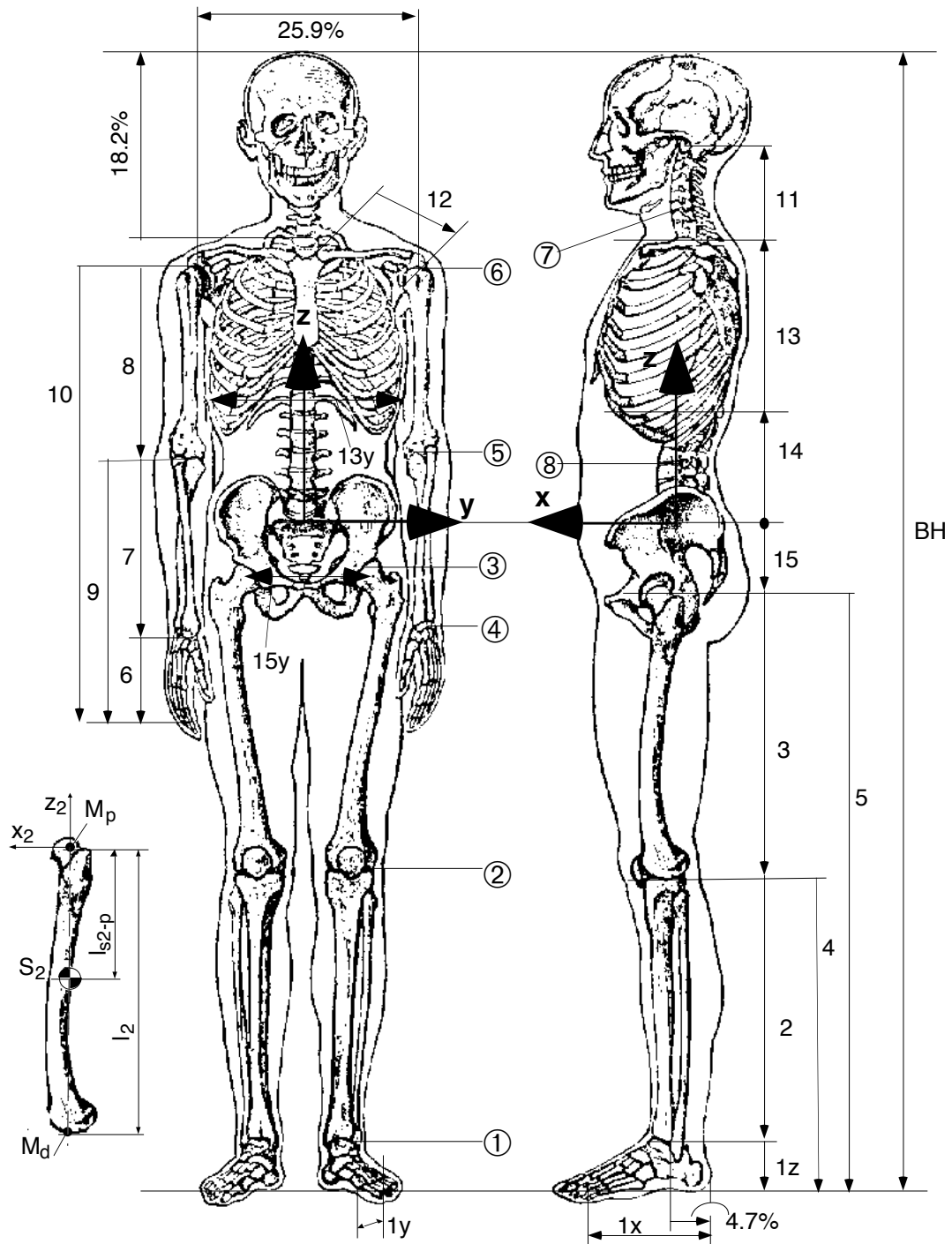


Beispiel: Kniegelenkprothese



Übung: Finde weitere Beispiele für Mechanismen oder Getriebe.

Beispiel: Das menschliche Skelett als Mehrkörpersystem, siehe die Vorlesung **Biomechanik**



Übung: Wo könnte man ein mechanisches Modell im Bereich Sport einsetzen?



## 1.3 Methoden für den Entwurf von Mechanismen

☞ **Entwurf** umfasst die **Analyse** und die **Synthese**

Synthese?

*Gegeben:*

*Gesucht:*

Bewegung eines Punktes oder Ebene infolge einer Antriebsbewegung

Erforderlicher Mechanismus mit Bemaßung der Längen, Winkel der Glieder, sowie die erforderlichen Gelenke.

Analyse der Kinematik?

*Gegeben:*

*Gesucht:*

Mechanismus mit seiner Antriebsbewegung

Bewegung des Abtriebes, Übertragungsfunktionen, Bewegung der Koppelglieder

Analyse der Dynamik?

*Gegeben:*

*Gesucht:*

Mechanismus mit seiner Antriebsbewegung und Antriebskräfte/-momente

(Bewegung des Abtriebes, Übertragungsfunktion, Bewegung der Koppelglieder)  
Kräfte und Momente am Abtrieb,  
Kräfte und Momente in den Gelenken

Weitere Stichworte

Technische Mechanik

befaßt sich mit der Analyse der Bewegungen starrer und elastischer Körper unter Einwirkung von Kräften und Momenten

Getriebetechnik

betrachtet vorwiegend die Kinematik und Kinetostatik sowie die kinematische Synthese ebener Mechanismen

Mehrkörperdynamik

beschäftigt sich mit der Kinematik und Dynamik räumlicher Mechanismen mit starren (und elastischen) Körpern und beliebigen Gelenken

Mechatronik

kommt zur Anwendung, wenn das System neben mechanischen auch elektrische, elektronische, hydraulische Komponenten aufweist

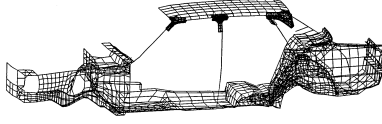
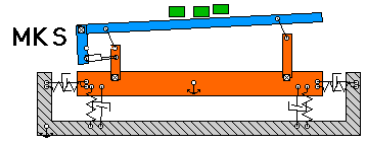
Maschinendynamik

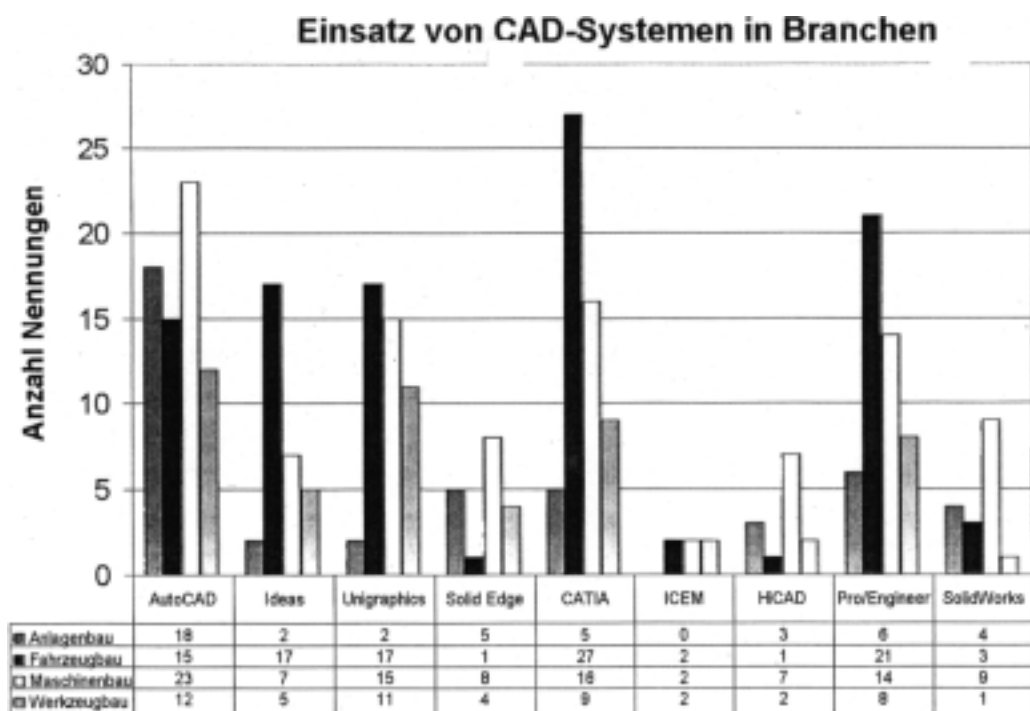
umfaßt die Berechnung und Auslmit Hilfe von Nachschlagewerken, z.B. für Schrauben, Kugellager, etc.

Finite Elemente Methode

ist ein Lösungsverfahren zur Berechnung der Verformungen und Spannungen von elastischen Körpern infolge seiner Belastungen.

## 1.4 Programme zur Analyse und Synthese von Mechanismen

Thema	CAD	FEM	MKD
=			
			
Einsatz	Konstruktion eines Systems, Datenerfassung für Geometrie und Material	Berechnung der Verformungen und Spannungen infolge Belastungen	Berechnung der nichtlinearen Kinematik und Dynamik von Systemen mit starren Körpern
Zusatzoptionen	Analyse der Kinematik, Synthesemöglichkeiten, FE-Netzgenerierung	Nichtlineare Kinematik und Dynamik, Bereitung von Daten für MKD	und mit elastischen Körpern, Spannungsberechnung
Programme	Catia, Euklid Pro-Engineer, AutoCAD, Solid Edge SolidWorks  <i>siehe Graphik</i>	ANSYS, ABAQUS, MARC, Nastran (Brebba 1982)	ADAMS, DADS, SIMPACT, WorkingModel RecurDyn siehe (KnowledgeRevolution 1999); (Schiehlen 1990; Kortüm, Sharp et al. 1993)



## Programme zur Getriebetechnik

- LINKAN (Erdman and Sandor 1991)
- SAM (Hagedorn, Thonfeld et al. 1997)
- MGA (Kerle and Pittschellis 1998)
- Approx (Strauchmann, TU-Dresden, 2002)
- MDA** (Exercise tool for Mechanism Design and Analysis)

oder siehe (VDI-Berichte-1281 1996)

Beachte internet-links zu GT-Programmen unter

[http://www.fh-muenchen.de/fb06/professoren/wallrapp/d\\_wallrapp\\_o.html](http://www.fh-muenchen.de/fb06/professoren/wallrapp/d_wallrapp_o.html)

Nehme einfach die Programme der Computermathematik:

- ☞ Mathematica, Maple, Matlab, etc. und programmiere und löse die Gleichungen selbst!
- ☞ **Siehe die Ankündigung für den Maple Kurs!**

## 1.5 Literatur und Nachschlagewerke

### 1.5.1 Getriebetechnik

(Blaschke and Müller 1956; Kraus 1956; VDI-Berichte-12 1956; Dizioglu 1965; Dizioglu 1966; Dizioglu 1967; Wunderlich 1970; VDI-2120 1971; VDI-2156 1975; Paul 1979; Krämer 1984; Rankers 1984; VDI-2130 1984; Lohse 1986; Dittrich and Braune 1987; VDI-2127 1988; Dresig and I.I.Vul'fson 1989; Volmer 1989; Luck and Modler 1990; Erdman and Sandor 1991; Kraemer 1991; Sandor and Erdman 1991; Steinhilper, Hennerici et al. 1993; VDI-Berichte-1111 1994; VDI-Berichte-1281 1996; Hagedorn, Thonfeld et al. 1997; Kerle and Pittschellis 1998; Beyer 19953)

### 1.5.2 Finite Elemente Methode und Mehrkörperdynamik

(Clough and Penzien 1975; Wittenburg 1977; Brebbia 1982; Zienkiewicz 1984; Kane and Levinson 1985; Bathe 1986; Adams 1987; Roberson and Schwertassek 1988; DeSalvo and Gorman 1989; Haug 1989; Link 1989; Shabana 1989; Meirovitch and Kwak 1990; Rulka 1990; Knothe and Wessels 1991; Meirovitch 1991; Bremer and Pfeiffer 1992; Kortüm 1992; Kortüm and Sharp 1993; Wallrapp 1993; ABAQUS 1995; Schwertassek 1997; Wallrapp, Eichberger et al. 1997; Schwertassek and Wallrapp 1999)

### 1.5.3 Robotik

(VDI-2120 1971; Warnecke, Löhr et al. 1975; Paul 1979; Blume and Dillmann 1981; Desoyer, Kopacek et al. 1985; Freitag 1985; Volmer 1985; Paul 1986; McCloy and Harris 1989; VDI-2860 1990; Sandor and Erdman 1991; Schmidt 1992; KnowledgeRevolution 1999; KnowledgeRevolution 1999)

### 1.5.4 Referenzen

ABAQUS (1995). User's Manual, Vol. I and Vol II. Hibbit, Karlsson & Sorensen, Inc.

Adams, L. R. (1987). Design, Development and Fabrication of a Deployable/Refractable Truss Beam Model for Large Space Structures Application, NASA.

Bathe, K. J. (1986). Finite-Elemente-Methoden. Berlin, Springer-Verlag.

Beyer, R. (19953). Kinematische Getriebesynthese. Berlin, Springer.

Blaschke, W. and H. R. Müller (1956). Ebene Kinematik. München, Oldenburg.

Blume, C. and R. Dillmann (1981). Frei programmierbare Manipulatoren. Würzburg, Vogel-Verlag.

Brebbia, C. A. (1982). Finite Element Systems, A Handbook. Berlin, Springer-Verlag.

Bremer, H. and F. Pfeiffer (1992). Elastische Mehrkörpersysteme. Stuttgart, B. G. Teubner.

Clough, R. W. and J. Penzien (1975). Dynamics of Structures. Tokyo, McGraw-Hill Kogakusha, Ltd.

DeSalvo, G. J. and G. J. Gorman (1989). ANSYS, Engineering Analysis Systems, User's Manual.

Houston, PA, Swanson Analysis System Inc.

Desoyer, K., P. Kopacek, et al. (1985). Industrieroboter und Handhabungsgeräte. München, Oldenbourg Verlag.

Dittrich, G. and R. Braune (1987). Getriebetechnik in Beispielen. München, Oldenburg Verlag.

Dizioglu, B. (1965). Getriebelehre. Braunschweig, Vieweg&Sohn.

Dizioglu, B. (1966). Getriebelehre. Braunschweig, Vieweg&Sohn.

Dizioglu, B. (1967). Getriebelehre. Braunschweig, Vieweg&Sohn.

- Dresig, H. and I.I.Vul'fson (1989). Dynamik der Mechanismen. Wien, Springer-Verlag.
- Erdman, A. G. and G. N. Sandor (1991). Mechanism Design. Englewood Cliffs NJ, Prentice Hall.
- Freitag, R. (1985). Einführung in die Automatisierung der Montagetechnik in der Feinwerktechnik. VDI Berichte 556: Automatisierung der Montagetechnik in der Feinwerktechnik. Düsseldorf, VDI Verlag: 1-3.
- Hagedorn, I., W. Thonfeld, et al. (1997). Konstruktive Getriebelehre (mit Programm SAM). Berlin, Springer.
- Haug, E. J. (1989). Computer-Aided Kinematics and Dynamics of Mechanical Systems, Volume I: Basic Methods. Boston, Allyn and Bacon.
- Kane, T. R. and D. A. Levinson (1985). Dynamics, Theory and Applications. New York, McGraw-Hill.
- Kerle, H. and R. Pittschellis (1998). Einführung in die Getriebelehre. Stuttgart, B.G. Teubner.
- Knothe, K. and H. Wessels (1991). Finite Elemente. Berlin, Springer-Verlag.
- KnowledgeRevolution (1999). WorkingModel2D, Version 5.0. San Mateo, Ca, Knowledge Revolution.
- KnowledgeRevolution (1999). WorkingModel3D, Version 3.0. San Mateo, Ca, Knowledge Revolution.
- Kortüm, W. (1992). Software zur Modellbildung und Simulation der Dynamik mechatronischer Systeme. VDI/VDE-GMA-Aussprachetag, Modellbildung für Regelung und Simulation, Langen, VDI-Berichte Nr. 925.
- Kortüm, W., R. Sharp, et al. (1993). Review of Multibody Computer Codes for Vehicle System Dynamics. Multibody Computer Codes in Vehicle System Dynamics. W. Kortüm and R. S. Sharp. Amsterdam, Swets and Zeitlinger. **22, Supplement to Vehicle System Dynamics**.
- Kortüm, W. and R. S. Sharp, Eds. (1993). Multibody Computer Codes in Vehicle System Dynamics. Lisse, Swets and Zeitlinger.
- Kraemer, O. (1991). Getriebelehre. Karlsruhe, G. Braun.
- Krämer, E. (1984). Maschinendynamik. Berlin, Springer.
- Kraus, R. (1956). Getriebelehre, Band III. Berlin, Verlag Technik.
- Kunad, g., J. Müglitz, et al. (1994). "Getriebebewegliche Instrumente für die Minimal Invasive Chirurgie." VDI Berichte 1111: 333-349.
- Link, M. (1989). Finite Elemente in der Statik und Dynamik. Stuttgart, B. G. Teubner.
- Lohse, P. (1986). Getriebesynthese. Berlin, Springer-Verlag.
- Luck, K. and K.-H. Modler (1990). Getriebetechnik. Wien, Springer-Verlag.
- McCloy, D. and D. M. J. Harris (1989). Robotertechnik. Weinheim, VCH Verlagsgesellschaft.
- Meirovitch, L. (1991). Dynamics and Control of Large Structures. Blacksburg, Virginia.
- Meirovitch, L. and M. K. Kwak (1990). On the Modeling of Flexible Multi-Body Systems by the Rayleigh-Ritz Method. AIAA Dynamics Specialists Conference, Long Beach, CA.
- Paul, B. (1979). Kinematics and Dynamics of Planar Machinery. Englewood Cliffs NJ, Prentice Hall.
- Paul, R. P. (1986). Robot Manipulators. Cambridge, MIT Press.
- Rankers, H. (1984). Synthesis of Mechanisms. NATO ASI Series, Vol. F9, Computer Aided Analysis and Optimization of Mechanical Systems. E. J. Haug. Berlin, Springer-Verlag: 421-498.
- Roberson, R. E. and R. Schwertassek (1988). Dynamics of Multibody Systems. Berlin, Springer-Verlag.
- Rulka, W. (1990). SIMPACK - A Computer Program for Simulations of Large-Motion Multibody Systems. Multibody System Handbook. W. Schiehlen. Berlin, Springer-Verlag: 265-284.
- Sandor, G. N. and A. G. Erdman (1991). Advanced Mechanism Design. Englewood Cliffs NJ, Prentice Hall.

- Schiehlen, W. O., Ed. (1990). Multibody Systems Handbook. Berlin, Springer-Verlag.
- Schmidt, M. (1992). Konzeption und Einsatzplanung flexibler automatisierter Montagesysteme. Berlin, Springer-Verlag.
- Schwertassek, R. (1997). Dynamik von Mehrkörpersystemen – ein Teilgebiet der Computer-Mechanik. Festveranstaltung zum 65. Geburtstag von Prof. E. Brommundt.
- Schwertassek, R. and O. Wallrapp (1999). Dynamik flexibler Mehrkörpersysteme. Braunschweig, Vieweg Verlag.
- Shabana, A. A. (1989). Dynamics of Multibody Systems. New York, J. Wiley & Sons.
- Steinhilper, W., H. Hennerici, et al. (1993). Kinematische Grundlagen ebener Mechanismen und Getriebe. Würzburg, Vogel Fachbuch.
- VDI-2120 (1971). Vektorrechnung - Begriffsbestimmungen und Grundlagen. VDI-Richtlinien. Düsseldorf, VDI-Verlag.
- VDI-2127 (1988). Getriebetechnische Grundlagen - Begriffbestimmungen der Getriebe. VDI-Handbuch Getriebetechnik I & II. Düsseldorf, VDI-Verlag.
- VDI-2130 (1984). Getriebe für Hub- und Schwingbewegungen. VDI-Handbuch Getriebetechnik I. Düsseldorf, VDI-Verlag.
- VDI-2156 (1975). Einfache räumliche Kurbelgetriebe - Systematik und Begriffsbestimmungen. VDI-Handbuch Getriebetechnik I & II. Düsseldorf, VDI-Verlag.
- VDI-2860 (1990). Montage- und Handhabungstechnik; Handhabungsfunktionen, Handhabungseinrichtungen; Begriffe, Definitionen, Symbole. VDI-Richtlinien. Düsseldorf, VDI-Verlag.
- VDI-Berichte-12 (1956). Getriebetechnik. Getriebetechnik, VDI-Verlag.
- VDI-Berichte-1111 (1994). Kurvengetriebe, Gelenkgetriebe, gesteuerte Antriebe. VDI-Getriebetagung, VDI Verlag Düsseldorf.
- VDI-Berichte-1281 (1996). Kurvengetriebe, Gelenkgetriebe, gesteuerte Antriebe. VDI-Getriebetagung, VDI Verlag Düsseldorf.
- Volmer, J. (1985). Industrieroboter - Entwicklung. Heidelberg, Hüthig.
- Volmer, J. (1989). Getriebetechnik. Braunschweig, Vieweg & Sohn.
- Wallrapp, O. (1993). Standard Input Data of Flexible Bodies for Multibody System Codes, DLR, German Aerospace Establishment, Institute for Robotics and System Dynamics, Oberpfaffenhofen.
- Wallrapp, O., A. Eichberger, et al. (1997). FEMBS - An Interface Between FEM Codes and MBS Codes, User Manual for ANSYS, NASTRAN, and ABAQUS, INTEC GmbH, Wessling.
- Warnecke, H.-J., H.-G. Löhr, et al. (1975). Montagetechnik, Schwerpunkt der Rationalisierung. Mainz, Krausskopf.
- Wittenburg, J. (1977). Dynamics of Systems of Rigid Bodies. Stuttgart, B. G. Teubner.
- Wunderlich, W. (1970). Ebene Kinematik. Mannheim, BI.
- Zienkiewicz, O. C. (1984). Methode der finiten Elemente. München, Carl Hanser Verlag.