

# 2. Getriebetechnik / Koppelgetriebe

Prof. Krieger  
Dr. Besler

## Inhaltsverzeichnis:

1. Einführung
2. Getriebesystematik
3. Kinematische Analyse
4. Kinetostatische Analyse

## Literatur / Quellenverzeichnis:

- [1] Kerle H., Corves B., Hüsing M.: Getriebetechnik; Vieweg + Teubner Verlag; 4. Auflage, 2011
- [2] Volmer J.: Getriebetechnik, Grundlagen; Verlag Technik; 1. Auflage, 1992
- [3] Volmer J.: Getriebetechnik, Leitfaden; Vieweg Verlag; 3. Auflage, 1989
- [4] Hain K.: Getriebelehre, Grundlagen und Anwendung; Carl Hanser Verlag; 1963

### *Hinweis:*

*Die Nummerierungen und Bezeichnungen der Abbildungen wurden zum leichteren Auffinden direkt aus den jeweiligen Quellen übernommen.*

## weitere Literatur:

Luck K., Modler, K.-H.: Getriebetechnik; Springer Verlag; 2. Auflage, 1995  
Fricke, A., Günzel, D., Schaeffler, T.: Bewegungstechnik; Carl Hanser Verlag; 2015

## Software:

ARTAS - Engineering Software: SAM  
Universität Hannover: GENESYS  
Nolte NC-Kurventechnik: OPTIMUS MOTUS  
RWTH Aachen: KIDS  
TU München und PH Schwäbisch-Gmünd: Cinderella

## Web:

[www.dmg-lib.org](http://www.dmg-lib.org)

## 1.) Einführung

### 1.1) Was versteht man unter einem Getriebe?

Volmer et. al.:

eine mechanische Einrichtung zum Übertragen (Wandeln oder Umformen) von Bewegungen und Kräften oder zum Führen von Punkten eines Körpers auf bestimmten Bahnen. Es besteht aus beweglich miteinander verbundenen Teilen (Gliedern), wobei deren gegenseitige Bewegungsmöglichkeiten durch die Art der Verbindungen (Gelenke) bestimmt sind. Ein Glied ist stets Bezugskörper (Gestell), die Mindestzahl der Glieder und Gelenke beträgt jeweils 3.

Bsp.: 1-stufiges Zahnradgetriebe

=> 3 Glieder: 1) Gestell = Gehäuse 2) Zahnrad a 3) Zahnrad b

Wikipedia:

Maschinenelement mit dem Bewegungsgrößen geändert werden. Die Änderung einer Kraft oder eines Drehmoments spielt oft die entscheidende Rolle. Zu ändernde Bewegung ist oft eine Drehbewegung.

### 1.2) Was versteht man unter Getriebetechnik?

Volmer:

Getriebetechnik untersucht das Zusammenwirken einzelner miteinander beweglich verbundener Funktionsteile von Maschinen und Geräten.

### 1.3) Getriebe-Systematik

nach Franz Reuleaux (Begründer der Getriebetechnik, 1829-1905):

- Kurbelgetriebe (Koppelgetriebe)
- Rädergetriebe (Zahn-, Reibräder)
- Rollengetriebe (Zugmittelgetriebe)
- Schraubengetriebe (Schraubgetriebe)
- Sperrgetriebe

### 1.4) Hauptaufgabengebiete (= Einteilung) der Getriebetechnik

#### I) Getriebeanalyse

Analyse bestehender Getriebe hinsichtlich

- a) strukturellem Aufbau und der beteiligten Elemente (= „Getriebesystematik“)
- b) Bewegungen und Kräfte (= „Getriebekinetik und -dynamik“)

#### II) Getriebesynthese

Entwicklung von Getrieben aus bekannten Aufbauelementen für vorgegebene Forderungen, oft durch „iterative Analyse“

### 1.5) Unterscheidung von „Übertragungsgetrieben“ und „Führungsgetrieben“

#### a) Übertragungsgetriebe

Getriebe zum Übertragen von Bewegung bzw. Leistung

Einteilung in

- gleichmäßig übersetzende Getriebe (G-Getriebe)  
-> Übersetzungsverhältnis  $i = \text{const.}$   
Bsp. Zahnradgetriebe
- ungleichmäßig übersetzende Getriebe (U-Getriebe)  
-> Übersetzungsverhältnis  $i \neq \text{const.}$   
Bsp. Schubkurbelgetriebe

Unterscheidung von

Antriebsfunktion:  $\varphi = \varphi(t)$

Übertragungsfunktion (= Getriebefunktion):  $\psi = \psi(\varphi)$  und

Abtriebsfunktion:  $\psi = \psi(t)$

Beispiele: Zahnradgetriebe, Nocken-Stößel-Verbindung, Kurbelgetriebe,

#### b) Führungsgetriebe

Getriebe, bei denen ein Glied so geführt wird, dass es bestimmte Lagen einnimmt bzw. Punkte des Gliedes bestimmte Bahnen beschreiben

Beispiele: Schaufellader, Cabriooverdeck, Scheibenwischer, Pantograf („Storchschnabel“)

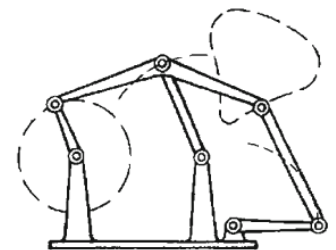
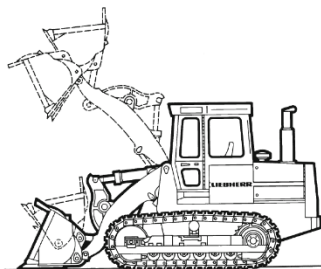


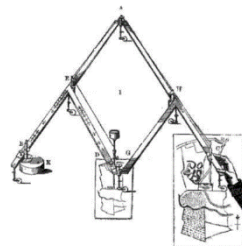
Bild 2.1  
Ebenes Getriebe

Quelle: [1]

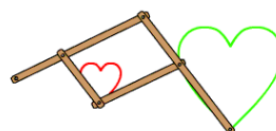


Quelle: [1]

Bild 1.10  
Schaufellader (Werkbild: Liebherr-  
International AG, Bulle/FR, Schweiz)

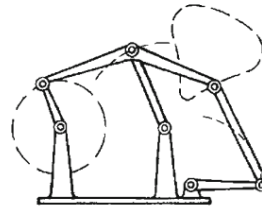


Quelle:  
Wikipedia: „Pantograf“



### 1.6) Unterscheidung nach Lage der Drehachsen im Raum

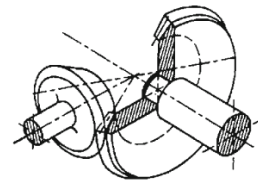
- ebene Getriebe:  
alle Drehachsen parallel;  
Bewegungsbahnen in parallelen Ebenen



Quelle: [1]

Bild 2.1  
Ebenes Getriebe

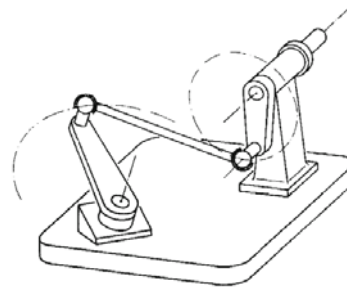
- sphärische Getriebe:  
alle Drehachsen schneiden sich in einem Punkt;  
Bewegungsbahnen auf konzentrischen Kugelschalen



Quelle: [1]

Bild 2.2  
Sphärisches Getriebe (2 Kegelräder)

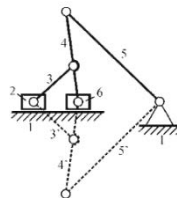
- räumliche Getriebe:  
Drehachsen kreuzen sich;  
Bewegungsbahnen nicht in parallelen Ebenen



Quelle: [1]

Bild 2.3  
Räumliches Getriebe [2.2]

- kombinierte Bauformen:  
meist mehrere gleiche,  
eben Teile räumlich angeordnet



Quelle: [1]

Bild 2.5  
Automatik-Regenschirm

## 2.) Getriebesystematik

### 2.1) Aufbau der Getriebe

- a) Getriebeglieder:  
stehen dauernd in gegenseitiger Berührung und sind relativ zueinander beweglich
- b) Gelenke:  
bewegliche Verbindungen
- c) Hilfsglieder (= Getriebeorgane):  
für Sonderfunktionen in einem Getriebe,  
z.B. Riemen, Ketten, Seile als Zugmittel, Federn, Dämpfer, Anschläge, Ausgleichsmassen

Unterscheidung:

entfernt man die Hilfsglieder entfällt lediglich die Sonderfunktion;

entfernt man ein Getriebeglied oder Gelenk wird das Getriebe i.A. funktionsunfähig

Für Getriebesystematik sind die Definitionen und Gesetzmäßigkeiten von Gelenken und Getriebegliedern entscheidend.



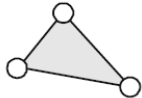
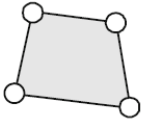
### 2.2) Getriebeglieder

- Gestellglieder (festes Glied, Bezugsglied): fest mit Koordinatensystem verbunden
- Antriebsglieder
- Übertragungsglieder (bzw. Führungsglieder bei Führungsgetrieben, führend/geführt)
- Koppelglieder: verbinden bewegliche Glieder ohne mit Gestell verbunden zu sein
- Abtriebsglieder

### Einteilung der Getriebeglieder nach Gelenkelementen

- Eingelenkglied
- Zweigelenkglied (binäres Glied)
- Dreigelenkglied (ternäres Glied)
- Viergelenkglied (quaternäres Glied)

Tafel 2.2 Einteilung der Getriebeglieder nach Gelenkelementen

|  |                                    |              |
|--|------------------------------------|--------------|
|   | Eingelenkglied                     | Anzahl $n_1$ |
|   | Zweigelenk- oder binäres Glied     | Anzahl $n_2$ |
|  | Dreigelenk- oder ternäres Glied    | Anzahl $n_3$ |
|  | Viergelenk- oder quaternäres Glied | Anzahl $n_4$ |
| ⋮  | ⋮                                  | ⋮            |

Quelle: [1]

## 2.3) Gelenke

Bewegliche Verbindungsstelle zweier Getriebeteile;

Ordnung der Gelenke nach unterschiedlichen Gesichtspunkten:

a) Form der Relativbewegung:

Drehgelenk, Schubgelenk, Schraubgelenk

Tafel 2.2. Gleitgelenke

Quelle: [2]

$f$  Gelenkfreiheitsgrad, D Drehung, S Schiebung, Sch Schraubung

| Benennung                                | Punktberührung | Linienberührung | Flächenberührung | Sinnbilder |
|--|----------------|-----------------|------------------|------------|
| Kugelgelenk<br>$f=3$<br>3D               |                |                 |                  |            |
| Plattengelenk<br>$f=3$<br>1D<br>2S       |                |                 |                  |            |
| Drehschubgelenk<br>$f=2$<br>1D<br>1S     |                |                 |                  |            |
| Drehgelenk<br>$f=1$<br>1D                |                |                 |                  |            |
| Schubgelenk<br>$f=1$<br>1S               |                |                 |                  |            |
| Schraubgelenk<br>$f=1$<br>1Sch = 1D + 1S |                |                 |                  |            |

Tafel 2.3. Ebene Kurvgelenke

Quelle: [2]

| Bezeichnung                                | Konstruktive Ausführung | Sinnbild |
|--|-------------------------|----------|
| Gleitwälgelenk<br>$f = 2$                  |                         |          |
| Kurvgelenk<br>mit Rolle (Organ)<br>$f = 2$ |                         |          |
| Verzahnung<br>$f = 2$                      |                         |          |
| Wälzhebel<br>$f = 1$                       |                         |          |

Quelle: [1]

Tafel 2.4 Grundformen von Gelenken [2.3]

| Gelenk                   | Symbol   |      | Freiheits-<br>grad $f$ |
|--------------------------|----------|------|------------------------|
|                          | räumlich | eben |                        |
| Drehgelenk<br>           |          |      | einfach: 1             |
|                          |          |      | doppelt: 2             |
| Schubgelenk<br>          |          |      | 1                      |
| Kurven-<br>gelenk<br>    |          |      | räumlich: 5            |
|                          |          |      | eben: 2                |
| Schraub-<br>gelenk<br>   |          |      | 1                      |
| Drehschub-<br>gelenk<br> |          |      | 2                      |
| Kugelgelenk<br>          |          |      | 3                      |

- b) Anzahl der möglichen relativen Einzelbewegungen (Gelenkfreiheitsgrad  $f$ ):  
Gelenke mit  $f = 1$ ,  $f = 2$ , usw.
- c) Bewegungsverhalten an der Berührstelle:  
Gleitgelenk, Wälz- oder Rollgelenk, Gleitwälz- oder Gleitrollgelenk
- d) Gegenseitige Lage der Drehachsen am Gelenk:  
ebene Gelenke, räumliche Gelenke
- e) Berührungsart der Gelenkelemente:  
Flächen-, Linien- oder Punktberührung der Gelenkelemente  
nach Reuleaux Unterscheidung zwischen
  - Niedere Elementpaare: Flächenberührung (niedriger Druck an der Berührstelle)
  - Höhere Elementpaare: Linien- oder Punktberührung (hoher Druck an der Berührstelle)
- f) Art der Paarung der Gelenkelemente:  
form-, kraft- oder stoffschlüssig
- g) Statische Bestimmtheit, Grad der Überbestimmung:  
statisch bestimmte oder statisch unbestimmte (überbestimmte) Gelenke

## 2.4) Gelenkfreiheitsgrad $f$

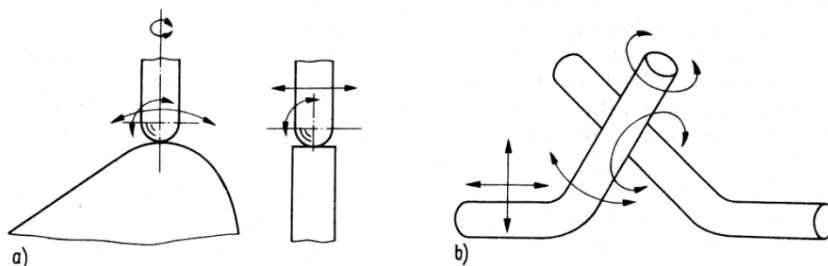
Anzahl prinzipiell möglicher Bewegungen von Getriebeelementen

- im Raum: Bewegungsgrad  $b = 6 = 3 \times \text{Translation (Schiebung)} + 3 \times \text{Rotation (Drehung)}$
- i.d. Ebene: Bewegungsgrad  $b = 3 = 2 \times \text{Translation (Schiebung)} + 1 \times \text{Rotation (Drehung)}$

Gelenkfreiheitsgrad  $f$ : Anzahl voneinander unabhängig möglicher Einzelbewegungen (Freiheiten) zweier Gelenkelemente.

$1 \leq f \leq 5$  (bei  $f = 0$  feste Verbindung, bei  $f \geq 6$  Elemente nicht verbunden)

Unfreiheiten  $u$ : durch das Gelenk verhinderte Einzelbewegungen;  $u = b - f$



Quelle: [2]

Bild 2.9. Gelenke mit Gelenkfreiheitsgrad  $f = 5$

- a) Kugelfläche auf Kurvenflanke, Bewegungsmöglichkeiten: 4 Drehungen, eine Schiebung;
- b) Zylinderflächen aufeinander, Bewegungsmöglichkeiten: 3 Drehungen, 2 Schiebungen

## 2.5) Getriebefreiheitsgrad (Laufgrad) $F$

Der Getriebefreiheitsgrad  $F$  stimmt mit der Anzahl relativer Bewegungen überein, die verhindert werden müssten, um alle Glieder eines Getriebes bewegungsunfähig zu machen. Er bestimmt im Allgemeinen die Anzahl der Getriebeglieder, die in einem Getriebe unabhängig voneinander angetrieben werden können.

Der Getriebefreiheitsgrad  $F$  ist i.A. nicht abhängig von

- den Abmessungen der Getriebeglieder
- der Funktion der Getriebeglieder
- der Art der Gelenke

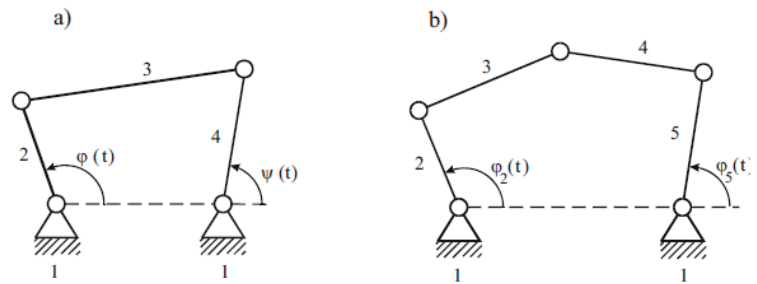


Bild 2.7

Vier- a) und Fünfgelenkgetriebe b) mit  $F = 1$  bzw.  $F = 2$

Quelle: [1]

sondern ist eine Funktion von

- der Anzahl  $n$  der Glieder
- der Anzahl  $g$  der Gelenke
- der Anzahl  $f_i$  der Freiheiten des  $i$ -ten Gelenks

$F = 1$  bedeutet Getriebe ist „zwangsläufig“

Gedankenmodell: Getriebe mit  $n$  Gliedern, die nicht untereinander verbunden sind, sondern jedes für sich frei beweglich  $\Rightarrow$  jedes Glied kann  $b$  Einzelbewegungen ausführen. Ein Glied (Gestell) ist immer unbeweglich  $\Rightarrow b \cdot (n-1)$  Einzelbewegungen

Jedes Gelenk schränkt Bewegung ein.

$\Rightarrow$

$$\sum_{i=1}^g u_i = \sum_{i=1}^g (b - f_i)$$

Getriebefreiheitsgrad  $F$  ist Anzahl der verbleibenden nicht eingeschränkten Freiheiten

$\Rightarrow$  Zwanglaufgleichung:

$$F = b(n - 1) - \sum_{i=1}^g (b - f_i) \quad (2.1)$$

Für räumliche Getriebe mit  $b = 6$  gilt

$$F = 6(n - 1) - 6g + \sum_{i=1}^g (f_i)$$

bzw.

$$F = 6(n - g - 1) + \sum_{i=1}^g (f_i)$$

Für ebene und sphärische Getriebe mit  $b=3$  gilt

$$F = 3(n - 1) - 3g + \sum_{i=1}^g (f_i)$$

bzw.

$$F = 3(n - g - 1) + \sum_{i=1}^g (f_i)$$

Beispiel zur Bestimmung von F

ebenes Viergelenkgetriebe:

$$b = 3$$

$$n = 4$$

$$g = 4$$

$$\Sigma f = 4$$

$$F = 3 \cdot (4 - 4 - 1) + 4 = 1$$

⇒ Zwangläufig!

ebenes Fünfgelenkgetriebe:

$$b = 3$$

$$n = 5$$

$$g = 5$$

$$\Sigma f = 5$$

$$F = 3 \cdot (5 - 5 - 1) + 5 = 2$$

⇒ zwanglos! (mit 2 Antrieben wäre es zwangläufig)

ebenes Kurvengetriebe:

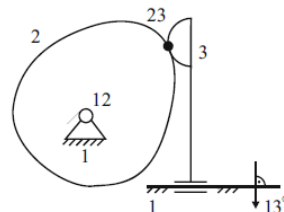
$$b = 3$$

$$n = 3$$

$$g = 3$$

$$\Sigma f = 4 \quad \text{EP 23 hat zwei Freiheiten!}$$

(Gleiten und Rollen = Gleitwälzen)



$$F = 3 \cdot (3 - 3 - 1) + 4 = 1$$

⇒ zwangläufig!

**ACHTUNG:**

Ausnahme von obiger Abzählformel (2.1) bei sog. „passiven Bindungen“  
und bei sog. „identischen Freiheiten“

Passive Bindungen  $s$ : strukturelle Besonderheiten; erhöhen den Getriebefreiheitsgrad;  
meist schwer identifizierbar

identische Freiheiten  $f_{id}$ : Einzelbewegungen, die keine Bewegungen anderer Glieder zur Folge  
haben; verringern den Getriebefreiheitsgrad

⇒ Erweiterung der Zwangsgleichung:

$$F = b(n - 1) - \sum_{i=1}^g (b - f_i) - \sum_j (f_{id})_j + \sum_j s_j \quad (2.2)$$

Beispiele für Getriebe mit passiven Bindungen:

ebenes Reibradgetriebe mit Wälz- oder Rollgelenk (KEIN Gleiten):

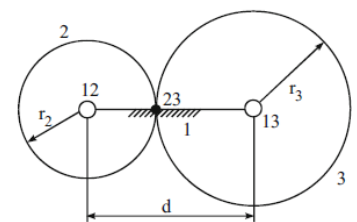
$$b = 3$$

$$n = 3$$

$$g = 3$$

$$\sum f = 3 \quad \text{reines Rollen in 23} \quad \text{EP 23 hat nur eine Freiheit! (reines Rollen)}$$

$$s = 1 \quad \text{Achsabstand } d = r_2 + r_3 \text{ ist exakt einzuhalten}$$



Quelle: [1]

$$F = 3 \cdot (3 - 3 - 1) + 3 + 1 = 1$$

⇒ zwangsläufig!

für Zahnradpaarung im Gelenk 23 gibt es zwei Möglichkeiten:

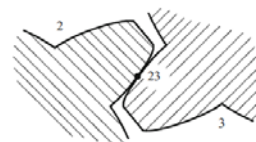
I) ein Berührungspunkt  $f = 2$  (Gleitwälzen),  $s = 0$

$$b = 3$$

$$n = 3$$

$$g = 3$$

$$\sum f = 4 \quad \text{EP 23 hat zwei Freiheiten! (Gleiten und Rollen = Gleitwälzen)}$$



Quelle: [1]

$$F = 3 \cdot (3 - 3 - 1) + 4 = 1$$

⇒ zwangsläufig!

II) zwei Berührungspunkte  $f = 1$  (nur Drehung möglich)

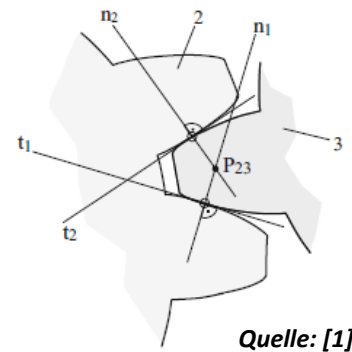
$$b = 3$$

$$n = 3$$

$$g = 3$$

$$\Sigma f = 3 \quad \text{EP 23 hat nur eine Freiheit!}$$

$s = 1$  Achsabstand ist exakt einzuhalten,  
sonst gibt es keine zwei Berührungspunkte



$$F = 3 \cdot (3 - 3 - 1) + 3 + 1 = 1$$

⇒ zwangsläufig!

## 2.6) Struktursystematik

Analyse von Getrieben nach den Strukturmerkmalen:

- Anzahl der Glieder
- Anzahl der Gelenke
- Anzahl der Gelenkfreiheiten
- Anzahl der Gelenkelemente an den einzelnen Gliedern
- gegenseitige Anordnung der Glieder und Gelenke

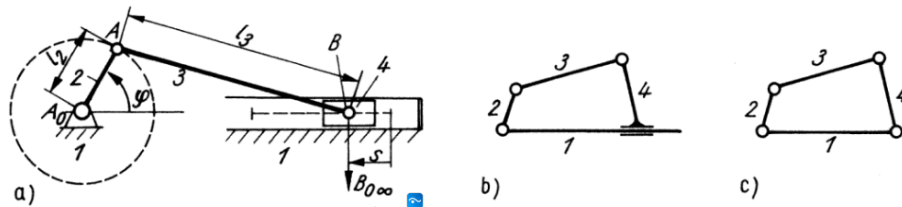
### Kinematische Ketten

Eine kinematische Kette ist das vereinfachte Strukturmodell eines Getriebes. Es zeigt, wie viele Glieder und Gelenke ein Getriebe besitzt, welche Getriebeglieder miteinander verbunden sind und welche Gelenkfreiheiten auftreten. Die Angabe der konstruktiven Gestalt, also geometrisch-kinematischer Abmessungen und der Gelenkarten ist unüblich.

Darstellung von gelenkig verbundenen binären, ternären, quaternären usw. Getriebegliedern, wobei Gelenke jeweils durch kleine Kreise dargestellt werden.

**Reihenfolge der Abstraktion:**

ausgeführte Konstruktion --> kinematisches Schema --> kinematische Kette

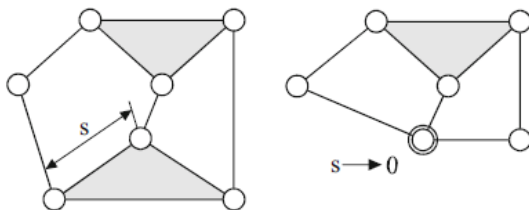
**Beispiel Schubkurbel**

Quelle: [2]

Bild 2.21. Schubkurbel (s. auch Bild 1.3)

a) kinematisches Schema; b) kinematische Kette mit 3 Drehgelenken und einem Schubgelenk; c) kinematische Kette mit 4 Drehgelenken mit  $f = 1$

Mehrfachgelenke möglich durch Wegfall des Abstand zwischen zwei Gelenken, z.B. bei ebenen Getrieben -> Doppeldrehgelenk mit  $f = 2$

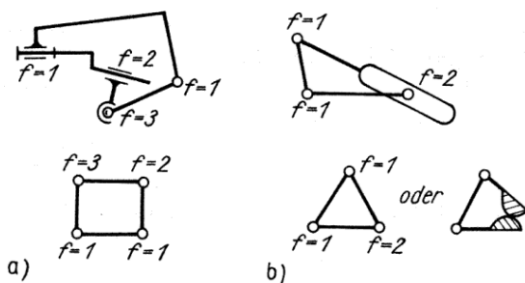


Quelle: [1]

Bild 2.9  
Entstehung eines Mehrfachgelenks, hier: Doppeldrehgelenk

räumliche oder ebene kinematische Ketten möglich:

Beispiel:

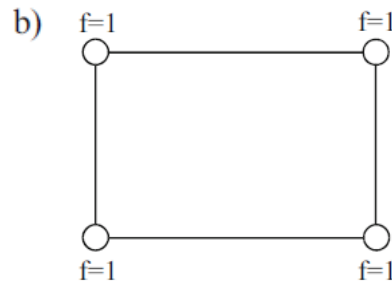
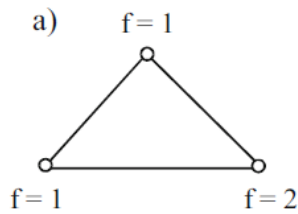


Quelle: [2]

Bild 2.22. Kinematische Ketten (Beispiele) mit Angabe der Gelenkart (oben) und vereinfacht dargestellt (unten)

a) eines räumlichen Getriebes;  
b) eines ebenen Getriebes

Einfachste KK besteht aus 3 Gliedern, wobei ein Gelenk  $f = 2$  aufweist. Auflösung des Gelenks mit  $f = 2$  in zwei mit jeweils  $f = 1$  führt zu Gelenkviereck mit vier NEP (Dreh- oder Schubgelenke). Daraus bereits Entwicklung einer Vielzahl von Getrieben möglich, mit  $F = 1$ .



Quelle: [1]

Erhöhung der Gliederanzahl für Getriebe mit  $F = 1$  sind sechsgliedrige Ketten; davon nur zwei Grundformen möglich: WATTsche Kette (I) und STEPHENSONsche Kette (II). Durch Einführung von Doppeldrehgelenken entstehen daraus Derivate (III und IV).

Tafel 2.5 Sechsgliedrige kinematische Ketten I bis IV und daraus abgeleitete Getriebe 1 bis 10 mit dem Laufgrad  $F = 1$  [2.4]

|                |               |              |              |  |
|----------------|---------------|--------------|--------------|--|
| <b>I</b><br>   | <b>1</b><br>  | <b>2</b><br> |              | $\begin{array}{r} 2 \cdot n_3 = 6 \\ 4 \cdot n_2 = 8 \\ \hline 6 \quad 14 \end{array}$ |
| <b>II</b><br>  | <b>3</b><br>  | <b>4</b><br> | <b>5</b><br> | $\begin{array}{r} 2 \cdot n_3 = 6 \\ 4 \cdot n_2 = 8 \\ \hline 6 \quad 14 \end{array}$ |
| <b>III</b><br> | <b>6</b><br>  | <b>7</b><br> | <b>8</b><br> | <b>9</b><br>   |
| <b>IV</b><br>  | <b>10</b><br> |              |              |  |

Quelle: [1], [4]