

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

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 (= „Getriebekinematik 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

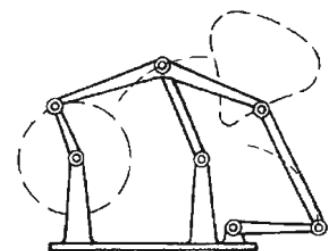


Bild 2.1
Ebenes Getriebe

Quelle: [1]

Unterscheidung von

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

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

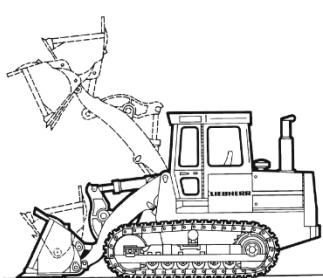
Abtriebsfunktion: $\psi = \psi(t)$

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

b) Führungsgetriebe

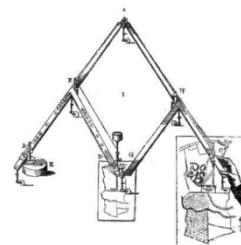
Getriebe, bei denen ein Glied so geführt wird, dass es bestimmte Lagen einnimmt bzw. Punkte des Gliedes bestimmte Bahnen beschreiben

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

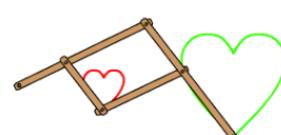


Quelle: [1]

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

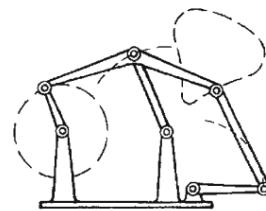


Quelle:
Wikipedia: „Pantograf“



1.6) Unterscheidung nach Lage der Drehachsen im Raum

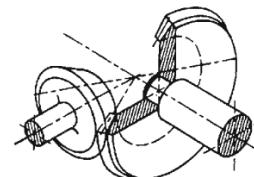
- ebene Getriebe:
alle Drehachsen parallel;
Bewegungsbahnen in parallelen Ebenen



Quelle: [1]

Bild 2.1
Ebenes Getriebe

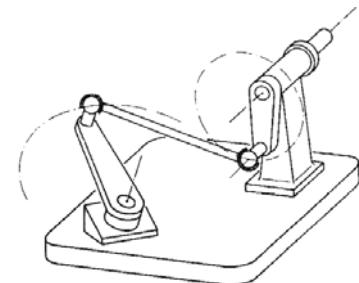
- sphärische Getriebe:
alle Drehachsen schneiden sich in einem Punkt;
Bewegungsbahnen auf konzentrischen Kugelschalen



Quelle: [1]

Bild 2.2
Sphärisches Getriebe (2 Kegelräder)

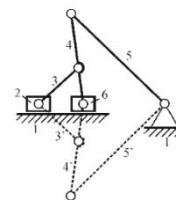
- räumliche Getriebe:
Drehachsen kreuzen sich;
Bewegungsbahnen nicht in parallelen Ebenen



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

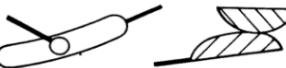
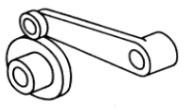
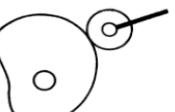
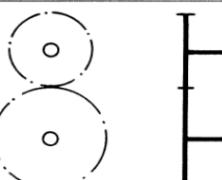
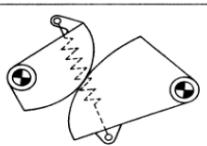
Quelle: [2]

f Gelenkfreiheitsgrad, D Drehung, S Schiebung, Sch Schraubung

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

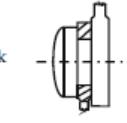
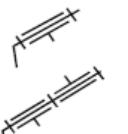
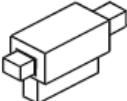
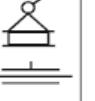
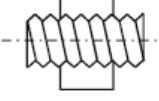
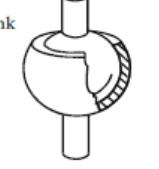
Tafel 2.3. Ebene Kurvengelenke

Quelle: [2]

Bezeichnung	Konstruktive Ausführung	Sinnbild
Gleitwälzgelenk $f = 2$		
Kurvengelenk mit Rolle (Organ) $f = 2$		
Verzahnung $f = 2$		
Wälzhebel $f = 1$		

Quelle: [1]

Tafel 2.4 Grundformen von Gelenken [2.3]

Gelenk	Symbol		Freiheitsgrad f
	räumlich	eben	
Drehgelenk			einfach: 1 doppelt: 2
Schubgelenk			1
Kurvengelenk			räumlich: 5 eben: 2
Schraubgelenk			1
Drehschubgelenk			2
Kugelgelenk			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 Punktberührungen der Gelenkelemente
nach Reuleaux Unterscheidung zwischen
 - Niedere Elementpaare: Flächenberührungen (niedriger Druck an der Berührstelle)
 - Höhere Elementpaare: Linien- oder Punktberührungen (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 $b = 6 = 3 \times$ Translation (Schiebung) + $3 \times$ Rotation (Drehung)
- i.d. Ebene: Bewegungsgrad $b = 3 = 2 \times$ Translation (Schiebung) + $1 \times$ 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; $u = b - f$

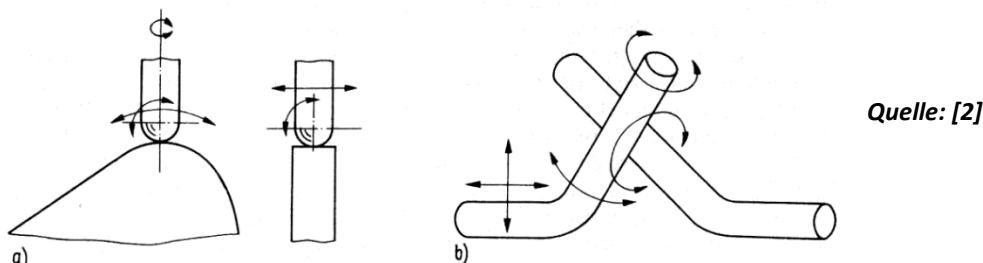


Bild 2.9. Gelenke mit Gelenkfreiheitsgrad $f = 5$

- 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

a)

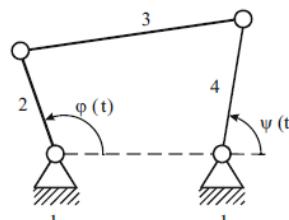
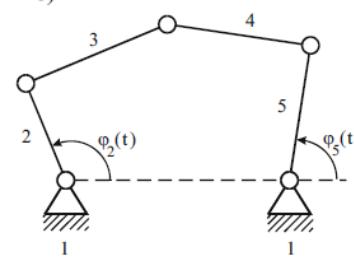


Bild 2.7

b)



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:

$$b = 3$$

$$n = 4$$

$$g = 4$$

$$\Sigma f = 4$$

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

\Rightarrow Zwangsläufig!

ebenes Fünfgelenkgetriebe:

$$b = 3$$

$$n = 5$$

$$g = 5$$

$$\Sigma f = 5$$

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

\Rightarrow zwanglos! (mit 2 Antrieben wäre es zwangsläufig)

ebenes Kurvengetriebe:

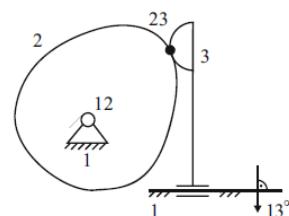
$$b = 3$$

$$n = 3$$

$$g = 3$$

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

(Gleiten und Rollen = Gleitwälzen)



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

\Rightarrow zwangsläufig!

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 Zwanglaufgleichung:

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

Beispiele für Getriebe mit passiven Bindungen:

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

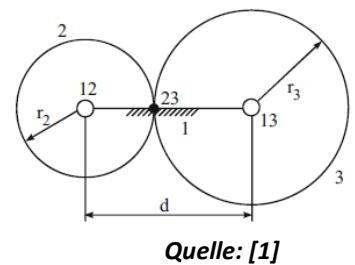
$$b = 3$$

$$n = 3$$

$$g = 3$$

$\Sigma f = 3$ reines Rollen in 23 EP 23 hat nur eine Freiheit! (reines Rollen)

$s = 1$ Achsabstand $d = r_2 + r_3$ ist exakt einzuhalten



Quelle: [1]

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

⇒ zwangsläufig!

für Zahnradpaarung im Gelenk 23 gibt es zwei Möglichkeiten:

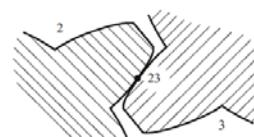
I) ein Berührpunkt $f = 2$ (Gleitwälzen), $s = 0$

$$b = 3$$

$$n = 3$$

$$g = 3$$

$\Sigma f = 4$ EP 23 hat zwei Freiheiten! (Gleiten und Rollen = Gleitwälzen)



Quelle: [1]

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

⇒ zwangsläufig!

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

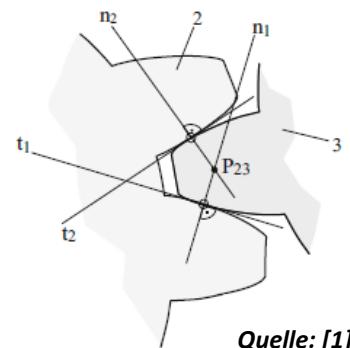
$b = 3$

$n = 3$

$g = 3$

$\Sigma f = 3$ EP 23 hat nur eine Freiheit!

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



Quelle: [1]

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

\Rightarrow 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

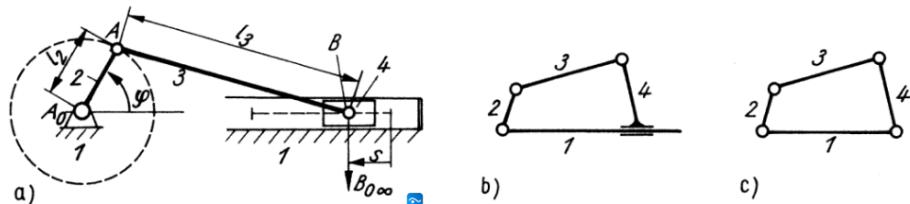
Eine kinematische Kette ist das vereinfachte Strukturmodell eines Getriebes. Es zeigt, wie viele Glieder und Gelenke ein Getriebe besitzt, welche Getriebeglieder miteinander verbunden sind und welche Gelenkfreiheiten auftreten. Die Angabe der konstruktiven Gestalt, also geometrisch-kinematischer Abmessungen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

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

Reihenfolge der Abstraktion:

ausgeföhrte Konstruktion --> kinematisches Schema --> kinematische Kette

Beispiel Schubkurbel

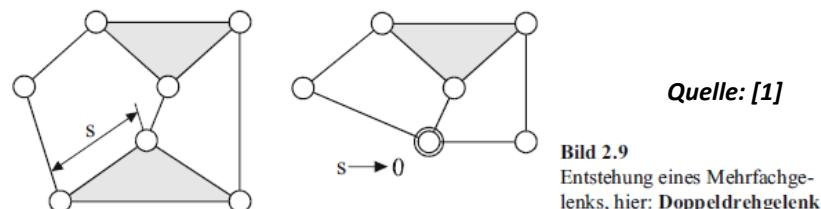


Quelle: [2]

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 $f = 2$

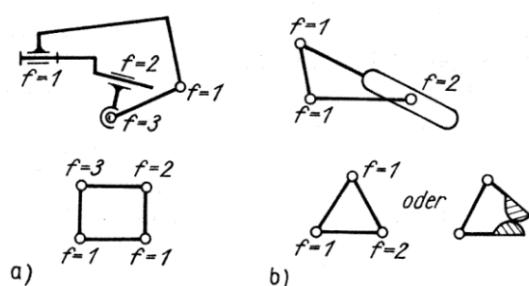


Quelle: [1]

Bild 2.9
Entstehung eines Mehrfachgelenks, hier: Doppeldrehgelenk

räumliche oder ebene kinematische Ketten möglich:

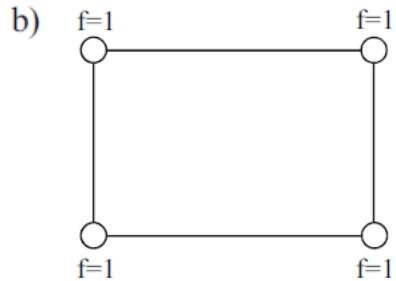
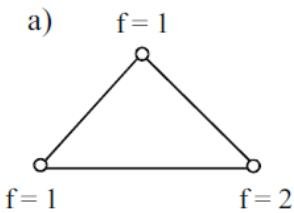
Beispiel:



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]

I 	1 	2 		$2 \cdot n_3 = 6$ $4 \cdot n_2 = 8$ \hline $6 \quad 14$
II 	3 	4 	5 	$2 \cdot n_3 = 6$ $4 \cdot n_2 = 8$ \hline $6 \quad 14$
III 	6 	7 	8 	9
IV 	10 			

Quelle: [1], [4]