Getriebefreiheitsgrad

Wälzgelenk

Gleitwälzgelenk

$$\boxed{F = 3 \cdot (n-1) - 2 \cdot g_1 - 1 \cdot g_2}$$

n = Zahl der Glieder
g_1 = Zahl der Gelenke mit f=1
g_2 = Zahl der Gelenke mit f=2

F=1 bedeutet Zwanglauf; bei F=m müssen m Getriebeglieder angetrieben werden.

Bei Ersetzen von Gelenk mit f=2 durch ein binäres Glied gilt:

$$\boxed{F = 3 \cdot (n-1) - 2 \cdot g}$$

n = Zahl der Glieder
g = Zahl der Gelenke mit f=1

Zwangläufige Getriebe mit höherer Gliederzahl:

$$\boxed{g = \frac{3}{2} \cdot n - 2}$$

Differenzenverfahren

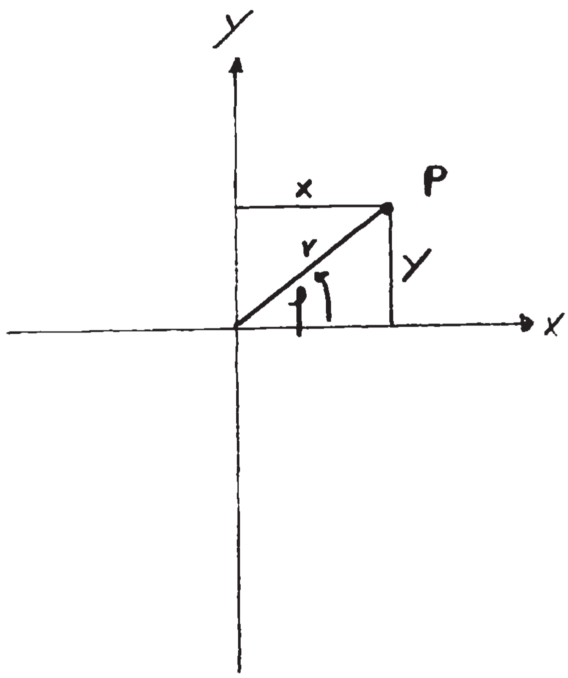
PR-Rechnung

Umwandlung Polar-Rechtwinklig

$R,\varphi \overset{P\,R}{\rightarrow} x,y$ mit $\boxed{x = R \cdot \cos\varphi}$, $\boxed{y = R \cdot \sin\varphi}$

Umwandlung Rechtwinklig-Polar

$x,y \overset{R\,P}{\rightarrow} R,\varphi$ mit $\boxed{R = \sqrt{x^2 + y^2}}$, $\boxed{\varphi^* = \arctan\left(\frac{y}{x}\right)}$



I. Quadrant	x>0	y>0	$\varphi=\varphi^*$
II. Quadrant	x<0	y>0	$\varphi=180°+\varphi^*$
III. Quadrant	x<0	y<0	$\varphi=180°+\varphi^*$
IV. Quadrant	x>0	y<0	$\varphi=360°+\varphi^*$

Sonderfälle

x=0	y>0	$\varphi=90°$
x=0	y<0	$\varphi=270°$
x>0	y=0	$\varphi=0°$
x<0	y=0	$\varphi=180°$

Gerichtete Strecke

Punkt 1 (x_{10}, y_{10}) ; Punkt 2 (x_{20}, y_{20})

Bestimmung der Koordinaten von 2 bzgl. 1

$$\boxed{\begin{array}{l} x_{21} = x_{20} - x_{10} \\ \hline y_{21} = y_{20} - y_{10} \end{array}}$$

Bestimmung von Betrag und Richtung der Stecke 1 nach 2

$$x_{21}, y_{21} \xrightarrow{RP} \varphi, r$$

Achtung bei Vektorschreibweise !!!

$$\vec{r}_1 = \begin{pmatrix} x_{10} \\ y_{10} \end{pmatrix}; \quad \vec{r}_2 = \begin{pmatrix} x_{20} \\ y_{20} \end{pmatrix}; \quad \vec{r}_{12} = \vec{r}_2 - \vec{r}_1 = \begin{pmatrix} x_{21} \\ y_{21} \end{pmatrix}$$

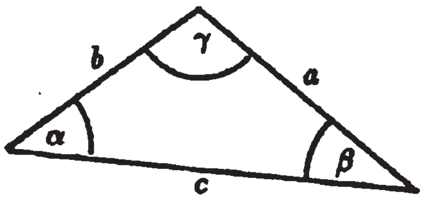
Trigonometrie:

Cosinussatz

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab\cos\gamma$$

Pythagoras

$$c^2 = a^2 + b^2, \text{ falls } \gamma = 90^0.$$



Sinussatz

$$\frac{\sin\alpha}{a} = \frac{\sin\beta}{b} = \frac{\sin\gamma}{c}$$

Aufstellen von Tabelle

	1	2	3
	α_1	α_2	α_3
	...	...	...
	x_{10}	x_{20}	x_{30}
	y_{10}	y_{20}	y_{30}
	φ_1	φ_2	φ_3

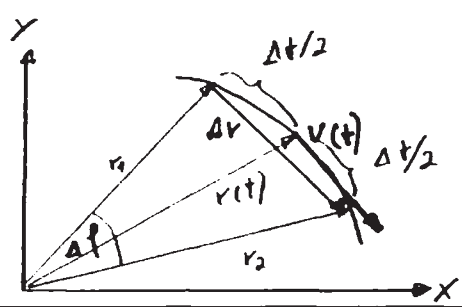
Angabe:
4 Stellen hinter Komma

Geschwindigkeitsbestimmung

2 nah beieinanderliegende Punkte notwendig ! (Es werden die Punkte aus obiger Tabelle verwendet, also Bestimmung der Geschwindigkeit zw. Punkt 1 und Punkt 3)

Bestimmung des Zeitintervalls:

$$\boxed{\Delta t_v = \frac{|(\alpha_1° - \alpha_3°)| \cdot \pi}{\omega_1 \cdot 180°}}$$



$$\boxed{\begin{array}{l} x_{31} = x_{30} - x_{10} \\ y_{31} = y_{30} - y_{10} \end{array}} \qquad x_{31}, y_{31} \xrightarrow{RP} \varphi_v, |\vec{r}_{13}| \qquad \boxed{|\vec{v}| = \frac{|\vec{r}_{13}|}{\Delta t_v}}$$

φ_v gibt Richtung der Geschwindigkeit an

Winkelgeschwindigkeit

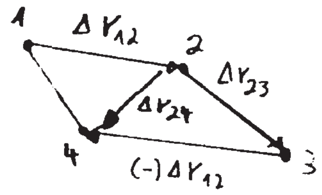
$$\boxed{\dot{\varphi} = \frac{(\varphi_3{}^\circ - \varphi_1{}^\circ) \cdot \pi}{\Delta t_v \cdot 180^\circ}} \qquad [s^{-1}]$$

Achtung: Δt_v ist die Zeit von 1→3

Es gilt also: $\boxed{\Delta t_a = \frac{1}{2} \cdot \Delta t_v}$

Beschleunigungsbestimmung

3 nah beieinanderliegende Punkte notwendig !



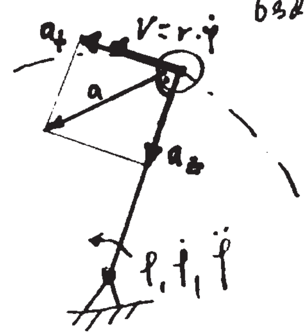
$$\boxed{\begin{array}{l} x_{42} = x_{30} - 2 \cdot x_{20} + x_{10} \\ y_{42} = y_{30} - 2 \cdot y_{20} + y_{10} \end{array}} \qquad x_{42}, y_{42} \xrightarrow{RP} \varphi_a, |\vec{r}_{24}| \qquad \boxed{|\vec{a}| = \frac{|\vec{r}_{24}|}{\Delta t_a{}^2}}$$

φ_a gibt Richtung der Beschleunigung an

$a = \sqrt{a_t^2 + a_z^2}$	$a_t = r \cdot \ddot{\varphi}$ (Winkelbeschl.)
	$a_z = \cdot r \cdot \dot{\varphi}^2$ (Zentripetal-beschleunigung)

Winkelbeschleunigung

$$\boxed{\ddot{\varphi} = \frac{(\varphi_3{}^\circ - 2 \cdot \varphi_2{}^\circ + \varphi_1{}^\circ) \cdot \pi}{\Delta t_a{}^2 \cdot 180^\circ}}$$



Achtung: Δt_a ist die Zeit von 1→2 bzw. von 2→3 $\quad \Delta t_a = \frac{1}{2} \cdot \Delta t_v$

Formeln

Für Kreisbewegung gilt:

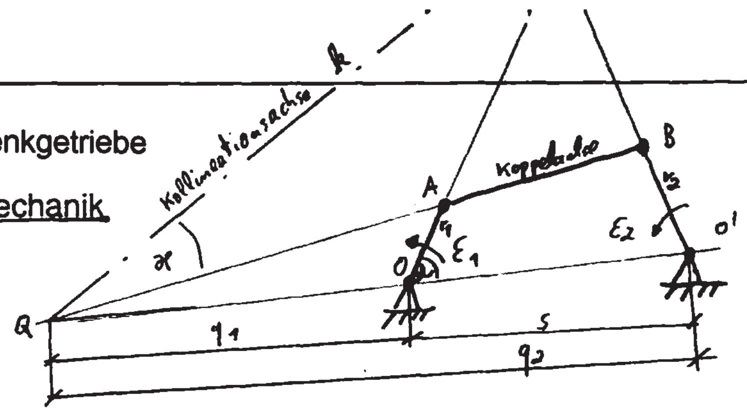
$$\boxed{\omega = \frac{\pi \cdot n}{30}} \quad \text{für} \quad [\omega] = \frac{1}{s} \quad , \quad [n] = \frac{1}{\min}$$

$$\boxed{\Delta t = \frac{(\varphi_2{}^\circ - \varphi^\circ{}_1) \cdot \pi}{\omega \cdot 180^\circ}}$$

$$\boxed{v = r \cdot \omega}$$

Übersetzungsverhältnis

$$\boxed{i = \frac{\text{Antriebsdrehzahl}}{\text{Abtriebsdrehzahl}} = \frac{n_{An}}{n_{Ab}} = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{M_2}{M_1}}$$



Kinematik Viergelenkgetriebe

Arbeitssatz der Mechanik

$$\boxed{M_1 \cdot \omega_1 = M_2 \cdot \omega_2}$$

$$\boxed{i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{q_2}{q_1}}$$

Winkelbeschleunigung

$$\boxed{\varepsilon_2 = \omega_1^2 \cdot \frac{1}{i} \cdot \left(1 - \frac{1}{i}\right) \cdot \cot(\chi) + \frac{1}{i} \cdot \varepsilon_1}$$

Speziell für ω_1=const. (konstante Antriebswinkelgeschw.) → $\varepsilon_1 = 0$ folgt

$$\boxed{\frac{\varepsilon_2}{\omega_1^2} = \frac{(q_2 - s) \cdot s}{q_2^2 \cdot \tan(\alpha)}}$$

Zeichnerisch-rechnerische Bestimmung der Größen !!!

q_1= Stecke Q0
q_2= Strecke Q0'
χ= Winkel zwischen Kollineationsachse und Koppelachse

Bestimmung Kollineationsachse :

- Koppelachse schneidet 00' in Punkt Q
- Verlängerungen von r_1 und r_2 schneiden sich in P
- Verbindung QP = Kollineationsachse

Wenn sich r_1 und r_2 nicht auf dem Zeichenblatt schneiden, ist wie folgt vorzugehen:

- Koppelachse schneidet 00' in Punkt Q
- Parallel zu 00'=G1 beliebig
- G1 schneidet 0'B (Abtriebsglied) in Punkt C
- G1 schneidet 0A (Antriebsglied) in Punkt D
- G1 unter beliebigen Winkel in 0' antragen = G2
- Strecke CD in 0' auf G2 antragen → 0'D'
- D' mit 0 verbinden
- Parallele zu D'0 durch Q zeichnen
- Parallele zu D'0 durch Q schneidet G2 in E'
- Strecke D'E' an G1 in D antragen → E
- Gerade durch EQ = Kollineationsachse

Kinematik Geradschubkurbelgetriebe

Für zentr. Geradschubkurbelgetriebe (e=0) gilt:
(Kolbenweg wird üblicherweise von OT aus angegeben → s=r+l-x !!!):

$$\boxed{x = r \cdot \cos(\omega \cdot t) + l \cdot \sqrt{1 - \lambda^2 \cdot \sin^2(\omega \cdot t)}} \quad \boxed{\text{mit} \quad \lambda = \frac{r}{l}} \quad \text{(Stangenverhältnis)}$$

$$\dot{x} = -r \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \omega - \frac{l}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin(\omega \cdot t)^2}} \lambda^2 \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \omega$$

$$\ddot{x} = -r \cos(\omega t)\, \omega^2 - \frac{l}{\left(1 - \lambda^2 \sin(\omega t)^2\right)^{\left(\frac{3}{2}\right)}} \lambda^4 \sin(\omega t)^2 \cos(\omega t)^2 \omega^2 - \frac{l}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin(\omega t)^2}} \lambda^2 \cos(\omega t)^2 \omega^2 + \frac{l}{\sqrt{1 - \lambda^2 \sin(\omega t)^2}} \lambda^2 \sin(\omega t)^2 \omega^2$$

Für allgemeine Geradschubkurbelgetriebe (e≠0):

$$\boxed{x = r \cdot \cos(\omega \cdot t) + \sqrt{l^2 - (r \cdot \sin(\omega \cdot t) - e)^2}}$$

$$\dot{x} = -r \cdot \sin(\omega \cdot t) \cdot \omega - \frac{1}{\sqrt{l^2 - (r \cdot \sin(\omega \cdot t) - e)^2}} \cdot (r \cdot \sin(\omega \cdot t) - e) \cdot r \cdot \cos(\omega \cdot t) \cdot \omega$$

$$\ddot{x} = -r \cos(\omega \cdot t) \cdot \omega^2 - \frac{1}{\left[l^2 - (r \cdot \sin(\omega \cdot t) - e)^2\right]^{\left(\frac{3}{2}\right)}} (r \cdot \sin(\omega \cdot t) - e)^2 r^2 \cdot \cos(\omega t)^2 \cdot \omega^2 - \frac{1}{\sqrt{l^2 - (r \sin(\omega t) - e)^2}} \cdot r^2 \cos(\omega \cdot t)^2 \cdot \omega^2$$
$$+ \frac{1}{\sqrt{l^2 - (r \sin(\omega t) - e)^2}} (r \sin(\omega \cdot t) - e)\, r \sin(\omega \cdot t)\, \omega^2$$

Drehschubstrecke

Leistungsbilanz (M=Antriebsmoment, H=Kraft auf Kolben in Bewegungsrichtung):

$$\boxed{M \cdot \omega = H \cdot v_B}$$

Drehschubstrecke:

$$\boxed{p = \frac{v_B}{\omega}}$$

Geschwindigkeit:

$$\boxed{v_B = p \cdot \omega}$$

Beschleunigung:

$$\boxed{a_B = \frac{p}{\tan\chi}\cdot\omega^2}$$

Zeichnerisch-rechnerische Bestimmung der Größen !!!

p= Stecke Q0
χ= Winkel zwischen Kollineationsachse und Koppelachse (AB)

Bestimmung Kollineationsachse

- Senkrechte (bezogen auf Kolbenweg !) durch 0 schneidet Koppelachse in Q
- Senkrechte (bezogen auf Kolbenweg !) durch B (Kolben) schneidet 0A in P
- Verbindung QP = Kollineationsachse

Wenn P nicht auf dem Zeichenblatt liegt, ist wie folgt vorzugehen:

- Senkrechte (bezogen auf Kolbenweg !) durch 0 schneidet Koppelachse in Q
- Parallel zu AB=G1 beliebig
- G1 schneidet Senkrechte durch B (Kolben) in Punkt C
- G1 schneidet 0A (Antriebsglied) in Punkt D
- G1 unter beliebigen Winkel in B antragen = G2
- Strecke CD in B auf G2 antragen → BD'
- D' mit A verbinden
- Parallele zu D'A durch Q zeichnen
- Parallele zu D'A durch Q schneidet G2 in E'
- Strecke D'E' an G1 in D antragen → E
- Gerade durch EQ = Kollineationsachse

Kinematik Kurbelschleife

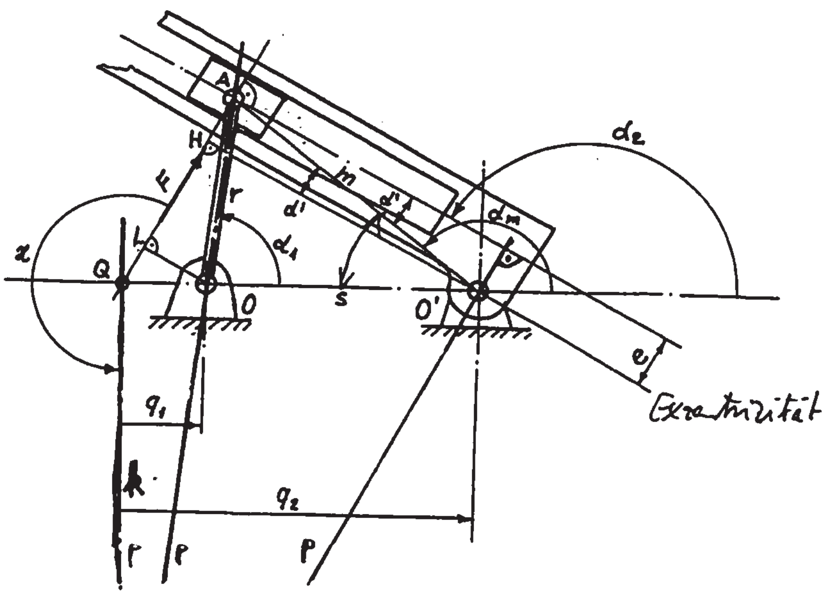
Arbeitssatz der Mechanik

$$\boxed{M_1\cdot\omega_1 = M_2\cdot\omega_2}$$

$$\boxed{i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{q_2}{q_1}}$$

Winkelbeschleunigung

$$\boxed{\varepsilon_2 = \omega_1^2\cdot\frac{1}{i}\cdot\left(1-\frac{1}{i}\right)\cdot\cot(\chi)+\frac{1}{i}\cdot\varepsilon_1}$$



Speziell für ω_1=const. (konstante Antriebswinkelgeschw.) → $\varepsilon_1=0$ folgt

$$\boxed{\frac{\varepsilon_2}{\omega_1^2}=\frac{(q_2-s)\cdot s}{q_2^2\cdot\tan(\alpha)}}$$

Zeichnerisch-rechnerische Bestimmung der Größen !!!

q_1= Stecke Q0
q_2= Strecke Q0'
χ= Winkel zwischen Kollineationsachse und Koppelachse

Bestimmung Kollineationsachse

- Koppelachse (Senkrechte auf Kolbenweg in Punkt A (Kolben))schneidet 00' in Punkt Q
- Verlängerungen von r (A0) und Senkrechte auf Kolbenweg durch Punkt 0' schneiden sich in P
- Verbindung QP = Kollineationsachse

Pole, Polbahnen

Momentanpol

Schnittpunkt der Bahnnormalen (= Richtung der gedrehten Geschwindigkeiten) ist der Momentanpol.
Die allgemeine Bewegung der Ebene erfolgt als augenblickliche Drehung um Momentanpol.
Bewegt sich ein Getriebeglied rein translatorisch, so liegt der Momentanpol im unendlichen.

Rastpolbahn

Beobachter in Gestellebene
Rastpolbahn = in der Gestellebene aufgezeichnete Polbahn.
Konstruktionshinweis:
Beide Lenker in neue Lage bringen und Momentanpol ermitteln.

Gangpolbahn
Beobachter auf Koppelebene
Gangpolbahn = Verbindungskurve der Pole in Koppelebene. Beobachter sieht nacheinander Pole P_1, P_2, ... jeweils in den Spitzen der Dreiecke.
Konstruktionshinweis:
Konstruktion nur für ausgewählte Lage möglich !! Also Lage wählen, Punkt festhalten und die aus der Rastpolbahn konstruierten Dreiecke in den festgehaltenen Punkt nach Winkellage antragen.

Rast- und Gangpolbahn rollen aufeinander ab !!!

Relativpole

Pole der relativen Bewegung von Glied x gegen Glied y
Immer 3 Relativpole auf einer Geraden.

Kleinste Zahl immer zuerst (32=23).
Polverbindung JX-KX schneidet Polverbindung JY-KY in JK. (24-12, 23-13 →21=12).
3 Pole auf einer Geraden sind als Doppelziffer so zusammengesetzt, dass 3 verschiedene Einzelziffern 3-mal verschieden gepaart werden. (2,3,4 →23,24,34)

Anzahl der Relativpole

$$\boxed{n_R = \frac{1}{2} \cdot n \cdot (n-1)}$$

12	13	14	15	16
	23	24	25	26
		34	35	36
			45	46
				56

Dreieck zur Bestimmung d. Pole

n = Anzahl der Glieder

Reelle Pole = Körperlich ausgeführte Pole
Ideellen Pole = Momentanpole

Zeichnerische Ermittlung

Maßstäbe

Geschwindigkeit

$\boxed{m_v = \frac{v}{V}}$ wobei v = physikalische Größe (z. B. m/s) und V = Zeichnerische Größe (mm)

Längen

$\boxed{m_l = \frac{l}{L}}$ wobei l = tatsächliche Länge und L = Zeichnungslänge

Zusammenhang

$$\boxed{m_v = \omega \cdot m_l}$$

Methoden zu Ermittlung von Geschwindigkeiten

- Strahlensatz
- Addition
- Satz von Burmester
- Relativbewegung

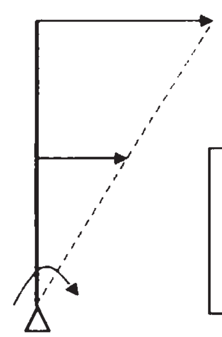
siehe Blatt GL-3.17-1 ff.

Methode der gedrehten Geschwindigkeiten

Nur anwendbar auf Punkte, die auf einem Getriebeglied liegen (z. B. Koppel) !
Die Richtung der gedrehten Geschwindigkeiten entspricht der Verbindung des Punktes auf dem Getriebeglied mit dem Momentanpol !

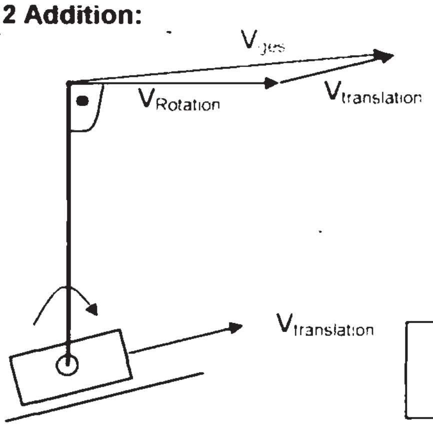
Geschwindigkeiten:

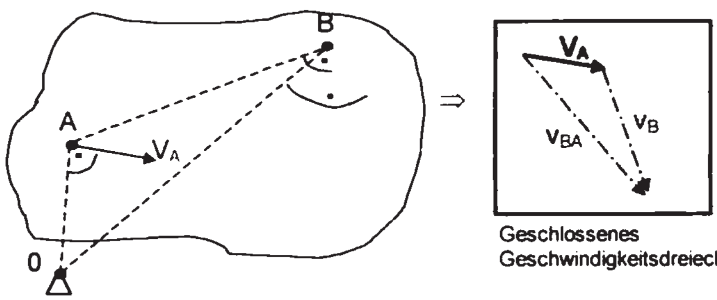
1 Strahlensatz:



- Reine Rotation
- Gleiches Getriebeglied

2 Addition:

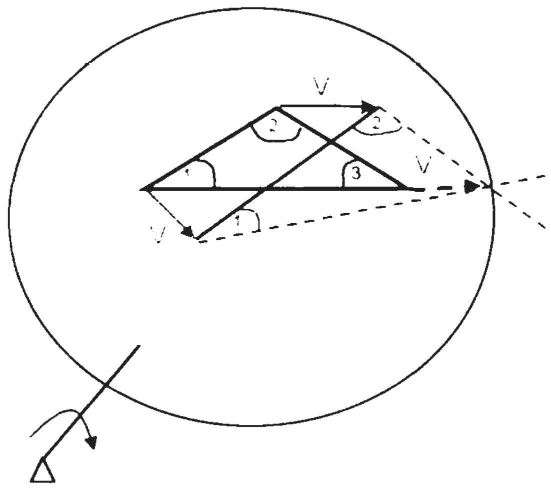




Geschlossenes Geschwindigkeitsdreieck

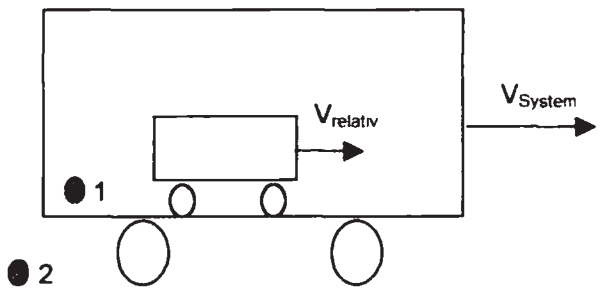
- Addition von Geschwindigkeiten an einem Punkt

3 Satz von Burmester:



- Bei 3 Punkten und 2 Geschwindigkeiten kann über das Dreieck der Punkte über die Winkel 1 und 2 auf die dritte Geschwindigkeit geschlossen werden

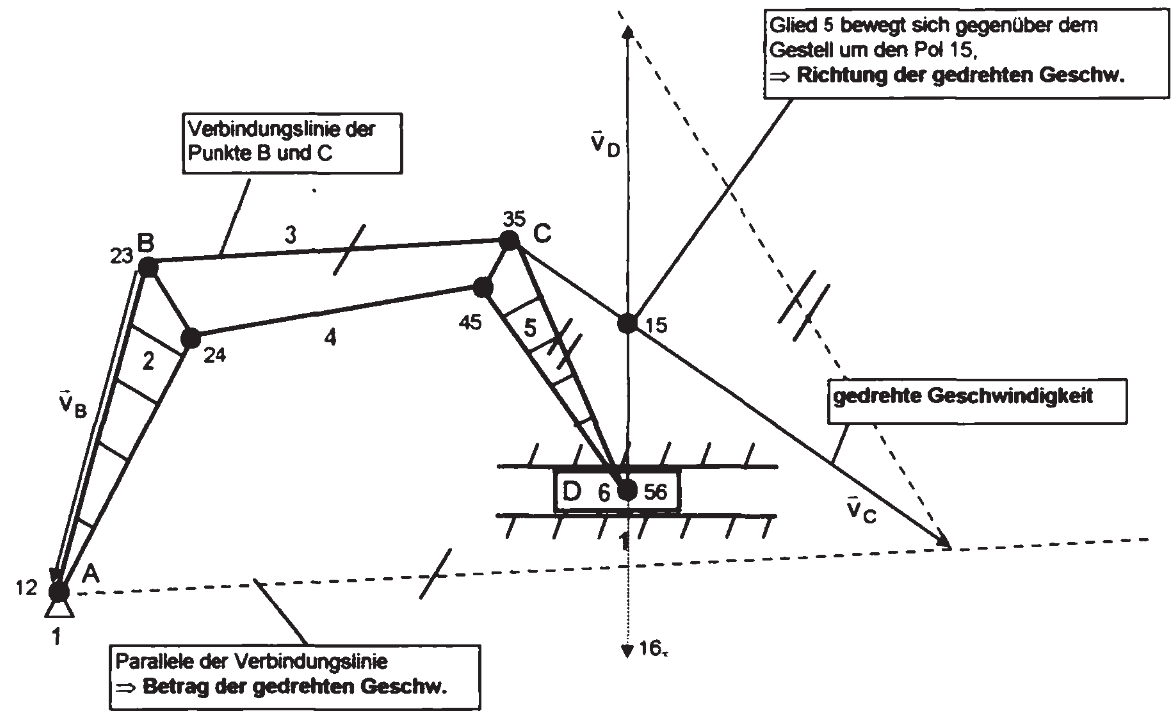
4 Relativbewegung:



Punkt 1: $V_{relativ}$

Punkt 2: $V_{absolut} = V_{relativ} + V_{System}$

5 gedrehte Geschwindigkeit:



- Die gedrehte Geschwindigkeit liegt **immer** in Richtung des Momentanpols gegenüber dem Gestell (12, 13, 14, 15, ...)
- Sie muss stückweise über jedes Glied (= gleiche Scheibe) konstruiert werden z.B. von Glied 2 über Glied 3 durch Geschwind. v_B, anschließend von Glied 3 über Glied 5 durch Geschw. v_C
- Eine Parallele der Verbindungslinie der bewegten Punkte über die Spitzen der gedrehten Geschwindigkeit bestimmt den Betrag der Geschwindigkeit

Kraftanalyse

Resultierende Trägheitskraft

Aus Trägheitskraft und Trägheitsmoment wird eine resultierende Kraft im Abstand e:

$m \cdot a, \quad J_s \cdot \ddot{\varphi} \quad \Rightarrow \quad F = m \cdot a \qquad \boxed{e = \dfrac{J_s \cdot \ddot{\varphi}}{m \cdot a}}$

Gelenkkraftverfahren

Lösung durch Anwendung der Gesetze der Statik. Jedes Getriebeglied muss für sich im Gleichgewicht sein.
Doppelindizes bei Kräften:
F_{32} (sprich: Kraft von 3 auf 2)= Kraft von Glied 3 auf Glied 2
Gleichgewicht = geschlossenes Krafteck !
Bestimmung nur möglich, indem alle Kräfte (inkl. Gelenkkräfte) die zwischen der gesuchten Kraft und der gegebenen liegen bestimmt werden.
Deshalb bei vielgliedrigen Getrieben sehr aufwendig !

Gewöhnliches Polkraftverfahren

Berechnung über Gelenkkräfte der ideellen Pole (Momentanpole).
Vorgehensweise (siehe GL-4.2 ff.):

1. Wirkungslinien von Kraft F_{12} und gesuchter Gegenkraft F_{14} zum Schnitt bringen → T_1
2. Relativpol bestimmen, der sich aus den ungleichen Indexziffern der Kräfte ergibt 12,14 → Pol 24 (ebenfalls Pole 12, 14 bestimmen)
3. Durch Pol 24 beliebige Gerade K, die die Wirkungslinien der Kräfte schneidet → Schnittpunkte S_{12} und S_{14}
4. S_{12} mit Pol 12 und S_{14} mit Pol 14 verbinden → Schnittpunkt T_2
5. Hilfsgerade y durch T_1 und T_2
6. Geschlossenes Krafteck aus F_{12}, F_{14} und y.

Erweitertes Polkraftverfahren

Vorgehensweise (siehe GL-4.4 ff.):

1. Wirkungslinien von Kraft F_{43} und gesuchter Gegenkraft F_{12} zum Schnitt bringen → T_1
2. Relativpole bestimmen, die sich aus den paarweisen Indexziffern der Kräfte ergeben 12,34 → Pol 14 und Pol 23 (2 Pole) !!!
3. Gerade K durch beide Pole 14, 23 schneidet Wirkungslinien von F_{43} und F_{12} → Schnittpunkte mit Wirkungslinien der Kräfte: S_{12} und S_{34}.
4. S_{12} mit Pol 12 und S_{34} mit Pol 34 verbinden → Schnittpunkt T_2
5. Hilfsgerade y durch T_1 und T_2
6. Geschlossenes Krafteck aus F_{12}, F_{34} und y.

Ergibt die Zuordnung der Kraftindizes zwei Pole, so ist die Gerade K durch diese beiden Pole zu legen ! K ist dann eine Kollineationsachse = Verbindungsgerade von Polen, die keine Indexziffer gemeinsam haben !

Leistungsprinzip

Die Leistung einer Kraft ist proportional dem Drehmoment der Kraft bzgl. der Spitze der gedrehten Geschwindigkeit !
Vorgehensweise:
1. Punkte der Kraftwirkungslinien auf dem entsprechenden Glied auswählen.
2. Gedrehte Geschwindigkeit vorgeben.
3. Andere gedrehte Geschwindigkeiten an den Schnittpunkten von Kraftwirkungslinie mit Getriebeglied ermitteln.
4. Jukowsky-Hebel: Gedrehte Geschwindigkeiten von einem Punkt aus antragen, an Pfeilspitze Kräfte antragen. Richtungssinn der unbekannten Kraft wählen. Summe aller „Drehmomente (Kraft mal Abstand)" = 0.

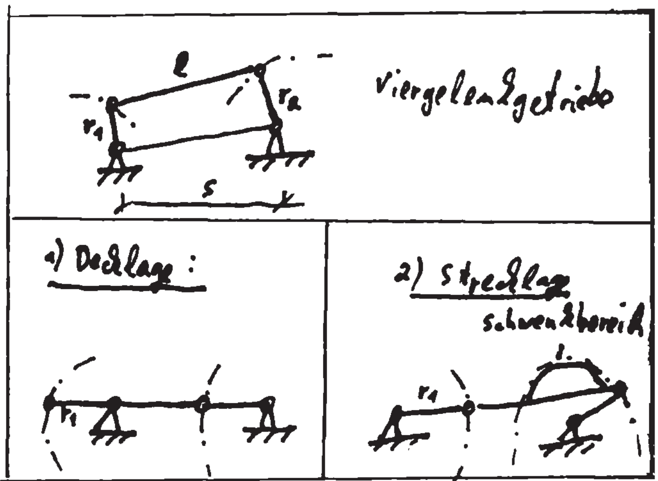
Beweglichkeitsmöglichkeiten beim Viergelenkgetriebe

Umlauffähigkeit des kleinsten Getriebegliedes, wenn gilt

$$\boxed{l_{min} + l_{max} < l_i + l_k}$$

Fälle:

1. Lenker 1 $r_1 = l_{min}$ → Kurbelschwinge
2. Lenker 2 $r_2 = l_{min}$ → Kurbelschwinge
3. Gestell $s = l_{min}$ → Doppelkurbel
4. Koppel $l = l_{min}$ → Doppelschwinge I. Art



r_1 (kleinster Getriebeglied):
1) umlauffähig : $l_{min} + l_{max} < l_i + l_k$
2) schwingfähig : $l_{min} + l_{max} > l_i + l_k$
3) instabil : $l_{min} + l_{max} = l_i + l_k$

Nur schwingfähig, wenn gilt:

$$\boxed{l_{min} + l_{max} > l_i + l_k}$$

Fälle: Doppelschwinge II. Art

Grenzfall

$$\boxed{l_{min} + l_{max} = l_i + l_k}$$

Fälle:
Parallelkurbelgetriebe
Antiparallelkurbelgetriebe

Bewegungsgrenzen

Kurbelschwinge

Wenn $r_1 = l_{min}$ (kleinstes Glied), dann Kreise $R = l + r_1$ und $r = l - r_1$ in 0 antragen. Schnittpunkte mit Kreis r_2 ergeben Schwenkbereich. r_1 läuft um !

Wenn $r_2 = l_{min}$ (kleinstes Glied), dann Kreise $R' = l + r_2$ und $r' = l - r_2$ in 0' antragen. Schnittpunkte mit Kreis r_1 ergeben Schwenkbereich. r_2 läuft um !

Doppelkurbel

$s=l_{min}$ (kleinstes Glied) → kein Schnittpunkt der Kreise !! (s läuft um)

Doppelschwinge I. Art

$l=l_{min}$

2-fach Konstruktion:

1. Kreise $R=l+r_1$ und $r=l-r_1$ in 0 antragen. Schnittpunkte mit Kreis r_2 ergeben Schwenkbereich für r_2.
2. Kreise $R'=l+r_2$ und $r'=l-r_2$ in 0' antragen. Schnittpunkte mit Kreis r_1 ergeben Schwenkbereich für r_1.

Falls r, r' < 0 → Betrag nehmen !

Doppelschwinge II. Art

3 Möglichkeiten ergeben daraus, welche Kreise sich schneiden:

1. Konstruktion über r, r'
2. Konstruktion über R, R'
3. Konstruktion über R, r' bzw. R', r

Berechnung der Bewegungsgrenzen

Berechnung über Geometrie mit Hilfe von Cosinus-Satz.

Konstruktion Kurbelschwinge für vorgegebenen Schwenkbereich

S. GL-5.2-1 ff.