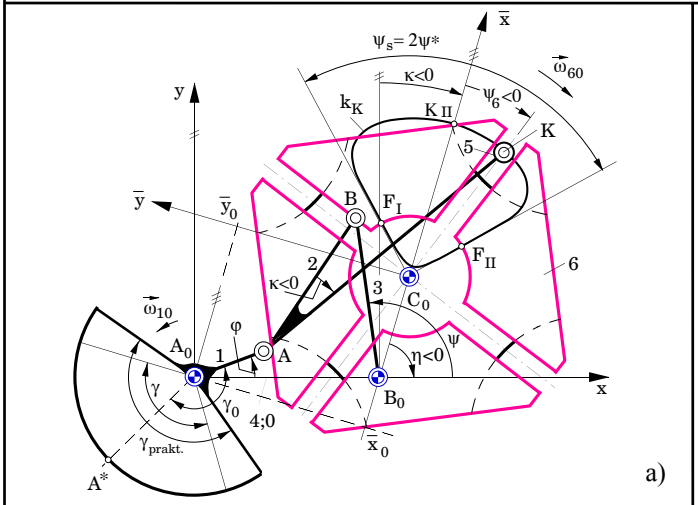
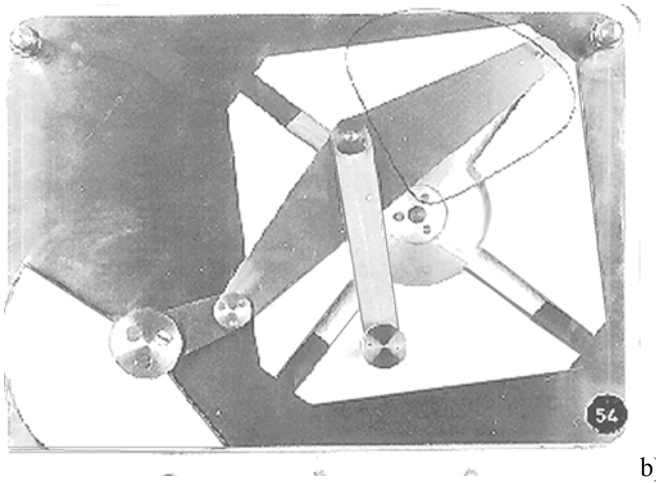
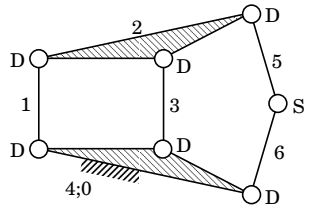
# Koppelkurvengesteuertes Malteserkreuzgetriebe 316

- Übertragungsgetriebe zur Umwandlung einer umlaufenden Drehung in eine periodisch durch Stillstände unterbrochene Drehung
- Ebenes sechsgliedriges Kurbelgetriebe



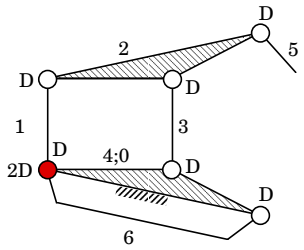




**Bild 1.** Malteserkreuzgetriebe

a) Kinematisches Schema

b) Modellgetriebe

c) Strukturbild während der Schrittbewegung des Abtriebsgliedes 6

d) Strukturbild während des Stillstandes des Abtriebsgliedes 6

Symbole im Strukturbild:
**D** für Drehung **S** für Schiebung **W** für Schraubung (Windung) Antriebsgelenk; Abtriebsglied
Beispiel **$D_2S$**: Gelenk mit dem Freiheitsgrad 3; 2 Drehungen, 1 Schiebung

**Zugriffsmerkmale:**

| | | | |
|---|---|---|---|
| Anzahl der Antriebsgelenke | : 1, davon | 1 am Gestell | |
| Anzahl der Abtriebsglieder | : 1, davon | 1 am Gestell | |
| Anzahl der Glieder | : 6, davon | 4 binär, 2 ternär | |
| Anzahl der Gelenke | : 7, davon | 6 Drehgelenke (D) | |
| | und | 1 Schubgelenk (S) | |
| | | während der Schrittbewegung | |

**Abmessungen** (in Längeneinheiten):

$\overline{A_0A} \equiv l_1 = 0{,}4013$; $\overline{AB} \equiv l_2 = 0{,}8787$; $\overline{B_0B} \equiv l_3 = 0{,}8787$;

$\overline{A_0B_0} \equiv l_4 = 1$; $\overline{BK} \equiv l = 0{,}8787$; $\overline{AK} \equiv k = 1{,}6859$;

$\sphericalangle BAK \equiv \kappa = -16{,}404°$; $\overline{B_0C_0} \equiv l_4^* = 0{,}5693$; $\overline{C_0F_I} \equiv r_I = 0{,}33755$;

$z = 4$ (Anzahl der Schlitze des Malteserkreuzrades);

$\sphericalangle A_0AA^* \equiv \gamma_0 = 154{,}805°$; $\gamma = 122{,}808°$ ($\gamma \le \gamma_{praktisch} \le 1{,}3\gamma$)

**Erläuterung:**

Das Malteserkreuzgetriebe nach **Bild 1** besteht aus einer gleichschenkligen Kurbelschwinge $A_0ABB_0$ mit einem im Koppelpunkt K gelagerten Treiber 5 und aus einem Innenmalteserkreuzrad 6. Der Antrieb des Malteserkreuzgetriebes erfolgt durch die um den Gelenkpunkt $A_0$ umlaufende Kurbel 1 der Kurbelschwinge, Abtriebsglied ist das im Gelenkpunkt $C_0$ drehbar gelagerte und zur Kurbel gegenläufig drehende Malteserkreuzrad, in dessen 4 Schlitze der Treiber nacheinander von innen eingreift. Der Treiber durchläuft dabei eine symmetrische Koppelkurve mit zwei symmetrisch zueinander liegenden Flachpunkten $F_I$ und $F_{II}$ (vierpunktige Geradführung). Die Symmetrieachse der Koppelkurve geht durch den Schwingendrehpunkt $B_0$ und liegt gegenüber der Senkrechten in $B_0$ und $A_0B_0$ um den Koppelwinkel $\kappa = -16{,}4°$ geneigt. Der von den Tangenten an die beiden Flachpunkte der Koppelkurve eingeschlossene Winkel $2\psi^* = 90°$ entspricht dem Schrittwinkel $\psi_S$. Die Tangenten schneiden sich im Drehpunkt $C_0$ des Malteserkreuzrades. Der Treibereintritt erfolgt beim Flachpunkt $F_I$, der Treiberaustritt beim Flachpunkt $F_{II}$, so dass das Malteserkreuzrad ohne Beschleunigungssprung (ruckfrei) weitergedreht wird. Der Abstand $\overline{C_0F_I} \equiv r_I = \overline{C_0F_{II}}$ der Flachpunkte vom Punkt $C_0$ kann zugleich als konstruktives Maß für den Radius des Innenfreiraumes des Malteserkreuzrades genommen werden. Das Malteserkreuz steht still (Rast), solange der Treiber und das Malteserkreuz außer Eingriff sind. Das Malteserkreuzrad wird in dieser Zeit durch eine Stillstandssicherung gegen Verdrehen gesichert. Beim vorliegenden Getriebe wird eine formschlüssige Kreissegmentsperre benutzt. Das Malteserkreuzrad besitzt hierfür kreisförmige Aussparungen, in die ein entsprechendes Kreissegment eingreift, das auf der Kurbel befestigt ist.

**Berechnung der Koppelkurve**

Die Koordinaten der Bahnkurve $k_K$ lassen sich in einem $\bar{x}, \bar{y}$-Koordinatensystem mit dem Ursprung in $C_0$ in Abhängigkeit vom Kurbelwinkel $\varphi = \sphericalangle B_0A_0A$ berechnen:

$$\bar{x}(\varphi) = \bar{x}_0 + x_K(\varphi)\cos\eta - y_K(\varphi)\sin\eta,$$
$$\bar{y}(\varphi) = \bar{y}_0 + x_K(\varphi)\sin\eta + y_K(\varphi)\cos\eta.$$

Hierbei sind $x_K(\varphi)$ und $y_K(\varphi)$ die Koppelpunktskoordinaten des

**Autor:** Prof. Dr.-Ing. G. Dittrich
Vorveröffentlichung in [1] und Erstveröffentlichung im Internet am 30.05.2000

Punktes K bezüglich des x,y-Koordinatensystems mit dem Ursprung in $A_0$ (siehe Getriebebeschreibung Nr. 611). Mit $\bar{x}_0$ und $\bar{y}_0$ wird die Lage des Punktes $A_0$ im $\bar{x},\bar{y}$-Koordinatensystem und mit $\eta$ die Verdrehung der beiden Koordinatensysteme angegeben. Mit $\eta = -\kappa - \pi/2 < 0$ und $l_4^* \equiv \overline{B_0C_0}$ gilt: $\bar{x}_0 = -l_4^* + l_4 \sin\kappa$, $\bar{y}_0 = l_4 \cos\kappa$.

**Übertragungsfunktionen**

Für das Getriebe aus Bild 1 sind die Übertragungsfunktionen in **Bild 2** dargestellt. Zur besseren Darstellung wurde der Winkel $\varphi^* = 2\pi - \varphi_0 + \varphi$ zusätzlich eingeführt. Der Winkel $\varphi_0$ entspricht hierbei dem Kurbelwinkel, bei dem der Koppelpunkt K den Flachpunkt $F_I$ seiner Bahnkurve (Treibereintritt) durchläuft. Er kann mit $\varphi_0 = \pi + \psi^* - \kappa$ angegeben werden. Der Antriebswinkel $\varphi_R$ für Rast, der gleich dem theoretischen Sperrwinkel $\gamma$ ist, berechnet sich zu $\varphi_R \equiv \gamma = 2\,(\pi/z - \kappa)$. Dementsprechend ergibt sich der Antriebswinkel $\varphi_S$ für Schritt zu $\varphi_S = 2\pi - \varphi_R = 2(\pi - \pi/z + \kappa)$.

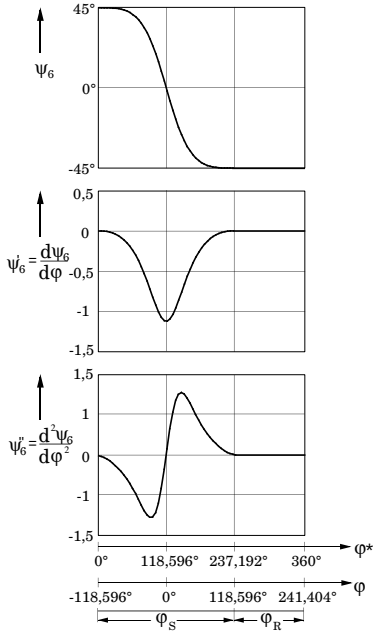



**Bild 2.** Übertragungsfunktionen

Die Übertragungsfunktion 0. Ordnung $\psi_6 = \psi_6(\varphi)$ folgt nach Bild 1 für eine nichtversetzte Schleife aus $\tan\psi_6 = \bar{y}_K / \bar{x}_K$.

Die Übertragungsfunktion 1. Ordnung, die der Übersetzung $i = \dot{\psi}_6/\dot{\varphi}$ und damit der bezogenen Winkelgeschwindigkeit $\psi_6'$ entspricht, erhält man aus

$$i \equiv \frac{\omega_{60z}}{\omega_{10z}} = \frac{\dot{\psi}_6}{\dot{\varphi}} = \psi_6' = \frac{\bar{x}_K\bar{y}_K' - \bar{y}_K\bar{x}_K'}{\bar{x}_K^{\,2} + \bar{y}_K^{\,2}} \quad \text{mit } \bar{x}_K' = \frac{d\bar{x}_K}{d\varphi},\ \bar{y}_K' = \frac{d\bar{y}_K}{d\varphi}.$$

Die Übersetzung i hat mit $\lambda \equiv l_1/l_4$, $\nu^* \equiv l_2/l_4$, $\sigma^* \equiv l_4^*/l_4$ ihr Extremum bei $\varphi = 0°$ in $K_{II}$:

$$i(0°) = -\frac{\lambda}{\lambda - 1}\,\frac{2\nu^*\sin(\psi_{tII} + \kappa)}{2\nu^*\sin(\psi_{tII} + \kappa) - \sigma^*}\ .$$

Der Winkel $\psi_{tII}$ berechnet sich gemäß Getriebebeschreibung Nr. 611 aus

$$\cos\psi_{tII} = \frac{l_4 - l_1}{2l_2} = \frac{1-\lambda}{2\nu^*}\ .$$

Der Vorteil des koppelkurvengesteuerten Malteserkreuzgetriebes gegenüber kreisgesteuerten Malteserkreuzgetrieben zeigt sich im Verlauf der Übertragungsfunktion 2. Ordnung, da hier bei Ein- und Austritt des Treibers kein Beschleunigungssprung zu verzeichnen ist. Für das vorliegende Getriebe mit $z = 4$, $\kappa = -16{,}404°$ ergeben sich folgende Werte:

$\varphi_0 = 241{,}404°$ bzw. $\varphi_0 = -118{,}596°$, $\varphi_R \equiv \gamma = 122{,}808°$,

$\varphi_S = 237{,}192°$, $|i|_{max} \equiv |i(0°)| = 1{,}121$ mit $\psi_{tII} = 70{,}08°$.

Das Schrittperiodenverhältnis $\nu = \varphi_S/(\varphi_S+\varphi_R) = \varphi_S/2\pi = 1 - 1/z + \kappa/\pi$ kann mit $\nu = 0{,}6588$ angegeben werden.

**Auslegung**

Zur Ermittlung von Koppelkurven mit symmetrisch gelegenen Flachpunkten eignet sich die Viereckparallellage einer gleichschenkligen Kurbelschwinge mit $\overline{AB} = \overline{B_0B}$, **Bild 3**.

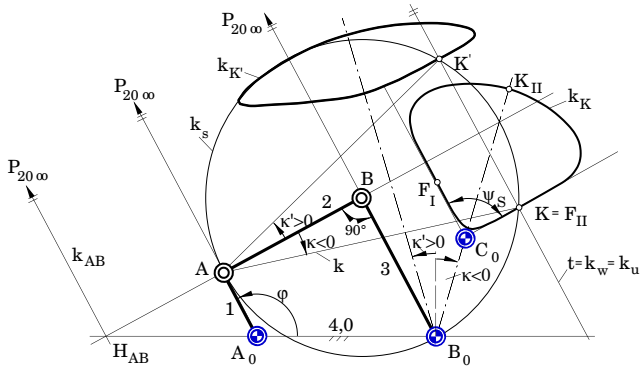



**Bild 3.** Viereckparallellage einer Kurbelschwinge

Für den Fall, dass die Koppelgerade AB senkrecht auf der Schwingengerade $B_0B$ steht, entartet die Kreisungspunktkurve $k_u$, d.h. der Ort der Koppelpunkte in der bewegten Ebene, die Bahnstellen mit vierpunktig berührendem Krümmungskreis durchlaufen, in die Polbahntangente t sowie in eine unendlich ferne Gerade und in die Koppelgerade AB. Da der Wendekreis $k_W$, d.h. der geometrische Ort aller Koppelpunkte, die Bahnstellen mit mindestens dreipunktig berührender Bahntangente durchlaufen, ebenfalls mit der Polbahntangente zusammenfällt, sind alle Punkte der Polbahntangente "Ballsche Punkte" und durchlaufen momentan einen Flachpunkt ihrer Bahn. Da alle Punkte auf dem Kreis $k_S$ mit dem Radius $r = \overline{AB}$ um B symmetrische Bahnkurven beschreiben, ergeben sich die beiden Schnittpunkte K und K' von Polbahntangente und Kreis $k_S$ als die gesuchten Koppelpunkte. Für einen bestimmten Schrittwinkel $\psi_S = 2\psi^* = 2\pi/z$ ($z$ = Anzahl der Schlitze, $z \in \mathbb{N}$) muss zunächst der Wert $\zeta$ mit Hilfe der Gleichung

$$\tan\psi^* = \frac{1 \pm \zeta\sqrt{2\zeta - 1}}{\zeta \mp \sqrt{2\zeta - 1}}$$

iterativ bestimmt werden. Das obere Vorzeichen ist dabei dem Koppelpunkt K' mit $\kappa' > 0$, das untere dem Koppelpunkt K mit $\kappa = \kappa' < 0$ zuzuordnen. Die Abmessungen und Winkel ergeben sich dann zu:

$$\frac{l_1}{l_4} \equiv \lambda = \frac{1-\zeta}{\sqrt{1+\zeta^2}},\quad \frac{l_2}{l_4} = \frac{l_3}{l_4} \equiv \nu^* = \frac{1}{\sqrt{1+\zeta^2}},\quad \frac{k}{l_2} \equiv \frac{\overline{AK}}{\overline{AB}} = \frac{\sqrt{2\zeta}}{\zeta},$$

$$\frac{l_4^*}{l_4} \equiv \frac{\overline{B_0C_0}}{\overline{A_0B_0}} = \frac{\zeta \pm \sqrt{2\zeta - 1}}{\zeta\sqrt{1+\zeta^2}\,\sin\psi^*},\quad \kappa' = \frac{1}{2}\left|\arccos\left(\frac{1-\zeta}{\zeta}\right)\right|,\ \kappa = -\kappa'.$$

Der Abstand $\overline{C_0F_I} \equiv r_I = \overline{C_0F_{II}}$ berechnet sich zu

$$\frac{r_I}{l_4} \equiv \frac{\overline{C_0F_I}}{\overline{A_0B_0}} = \lambda\nu^*\,\frac{\sin\kappa + \cos\kappa}{\sin\psi^*}\ .$$

Im vorliegenden Fall wurde ein Schrittwinkel $\psi_s = 90°$ vorgegeben. Die Abmessungen des Kurbelgetriebes $A_0ABB_0$ mit dem Koppelpunkt K ($\kappa < 0$) ergeben sich dann mit $\zeta = 0{,}5433$. Der auf $\overline{A_0B_0}$ bezogene Abstand $\overline{C_0F_I} \equiv r_I$ berechnet sich zu $r_I/l_4 = 0{,}33755$.

**Literatur:**

[1] Dittrich, G., Müller, J.: Koppelkurvengesteuertes Malteserkreuzgetriebe. Der Konstrukteur 25 (1994) Nr. 1-2, S. 37/38.

[2] Meyer zur Capellen, W.; Janssen, B.: Spezielle Koppelkurvenrast- und Schaltgetriebe. Forschungsbericht Nr. 1226 des Landes Nordrhein-Westfalen. Köln und Opladen: Westdeutscher Verlag, 1964.

[3] Dittrich, G.; Müller, J.: Kurbelschwinge mit symmetrischen Koppelkurven. Der Konstrukteur 23 (1992) Nr. 5, S. 53/54.

[4] Dittrich, G.; Wehn, V.: Innen-Malteserkreuzgetriebe. Der Konstrukteur 21 (1990) Nr. 11, S. 17/18.