

# Das RSSR-Getriebe als Wellenkupplung

Karl-Heinz Modler\*, Kerstin Becker\*

\* TU Dresden, Institut für Festkörpermechanik,  
Karl-Heinz.Modler@tu-dresden.de, Kerstin.Becker@tu-dresden.de

## Kurzfassung

Es wird für das räumliche RSSR-Getriebe und seine sphärischen und ebenen Ausführungen sowie weitere Sonderfälle die einheitliche mathematische Struktur ihrer Übertragungsfunktionen dargelegt. Wesentlich für die Übertragungsfunktion 0-ter Ordnung ist, dass sie aufgefasst werden kann als die Einschränkung einer nicht notwendig regulären korrelativen Abbildung einer Ebene in ihr Dual auf einem Kreis. Am Beispiel Doppelkurbel werden die Anwendungsmöglichkeiten demonstriert.

## Abstract

Spatial mechanisms of type RSSR, inclusive spherical and plane forms and other special cases, have functional relationships between input and output of unit mathematical structure. It seems to be essential view interpreting the functional relationship as a correlative mapping not necessary regular of a plane in its dual restricted on a circle. The applicability of this method will be illustrated by double crank mechanism.

## 1 Einführung

Aus [1] ist bekannt, dass die einfachen ebenen und sphärischen Mechanismen (4gliedrige Getriebe) und die einfachen räumlichen Mechanismen (RSSR-,  $RS_P$ R-,  $RP_S$ R- und  $RC_C$ R-Getriebe) Übertragungsgleichungen mit gleicher Struktur besitzen. Für die

Verwendung als Wellenkupplung ist aus konstruktiven Gründen nur das RSSR-Getriebe in Form der Doppelkurbel interessant.

In [2] wurde gezeigt, dass das einfache RSSR-Getriebe für einen Kreuzungswinkel  $\vartheta > \vartheta_{max}$  in eine „neue“ Doppelschwinge übergeht. Gilt das auch allgemein? Kann dieser Grenzwinkel  $\vartheta_{max}$ , der die Anwendung als Wellenkupplung beschränkt, einfach bestimmt werden? Diese Fragen sind Gegenstand dieses Beitrages.

## 2 Theorie der Übertragungskegelschnitte

Alle in der Einführung genannten Mechanismen haben eine Übertragungsgleichung der Form

$$0 = [1 \quad \cos \psi \quad \sin \psi] \mathbf{M} [1 \quad \cos \varphi \quad \sin \varphi]^T \quad (1)$$

$$\text{mit } \mathbf{M} = \begin{bmatrix} u_0 & u_3 & u_4 \\ u_1 & u_5 & u_8 \\ u_2 & u_7 & u_6 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Gleichung (1) ausführlich geschrieben lautet

$$\begin{aligned} 0 = & u_0 + u_1 \cos \psi + u_2 \sin \psi + u_3 \cos \varphi + u_4 \sin \varphi \\ & + u_5 \cos \psi \cos \varphi + u_6 \sin \psi \sin \varphi + u_7 \sin \psi \cos \varphi \\ & + u_8 \cos \psi \sin \varphi. \end{aligned} \quad (3)$$

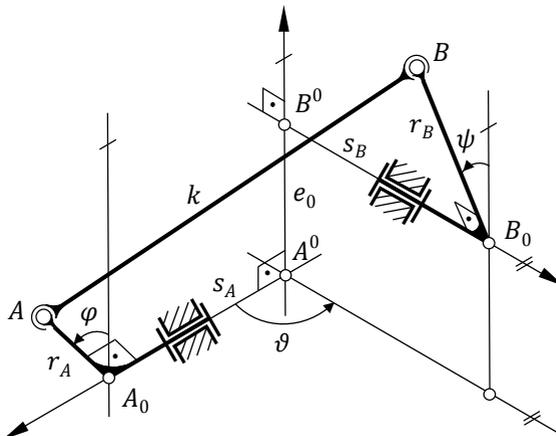


Abb. 1: Allgemeines räumliches RSSR-Getriebe

Für das RSSR-Getriebe (s. Abb. 1) gilt

$$\begin{aligned}
 u_0 &= e_0^2 - k^2 + r_A^2 + r_B^2 + s_A^2 + s_B^2 - 2s_A s_B \cos \vartheta \\
 u_1 &= 2e_0 r_B & u_2 &= -2r_B s_A \sin \vartheta \\
 u_3 &= -2e_0 r_A & u_4 &= 2r_A s_B \sin \vartheta \\
 u_5 &= -2r_A r_B & u_6 &= -2r_A r_B \cos \vartheta \\
 u_7 &= u_8 = 0.
 \end{aligned} \tag{4}$$

Wird  $[1 \ \cos \psi \ \sin \psi]$  durch  $[1 \ x \ y]$  ersetzt, entsteht für das RSSR-Getriebe die Geradenschar

$$\begin{aligned}
 0 &= G(x, y, \varphi) \\
 &= u_0 + u_1 x + u_2 y + u_3 \cos \varphi + u_4 \sin \varphi + u_5 x \cos \varphi \\
 &\quad + u_6 y \sin \varphi.
 \end{aligned} \tag{5}$$

Gleichung (5) nach  $\varphi$  differenziert liefert

$$\begin{aligned}
 0 &= G'(x, y, \varphi) \\
 &= -u_3 \sin \varphi + u_4 \cos \varphi - u_5 x \sin \varphi + u_6 y \cos \varphi.
 \end{aligned} \tag{6}$$

Die Geradenschar (5) hüllt einen Kegelschnitt ein, den man durch Elimination von  $\varphi$  aus (5) und (6) erhält:

$$\begin{aligned}
 0 &= (u_1^2 - u_5^2)x^2 + 2u_1 u_2 xy + (u_2^2 - u_6^2)y^2 \\
 &\quad - 2(u_3 u_5 - u_0 u_1)x - 2(u_4 u_6 - u_0 u_2)y \\
 &\quad + (u_0^2 - u_3^2 - u_4^2).
 \end{aligned} \tag{7}$$

Die Art des Kegelschnitts (7) und sein Schnittverhalten mit dem Einheitskreis

$$x^2 + y^2 = 1 \tag{8}$$

bestimmen den Getriebetyp.

Für eine Doppelkurbel muss gelten, dass der Kegelschnitt (7) eine Ellipse ist, die ganz im Inneren des Einheitskreises liegt. Die Tangenten der Ellipse (Geraden der Geradenschar (5), die einem Winkel  $\varphi$  entsprechen) schneiden den Einheitskreis in zwei Punkten, die den Winkeln  $\psi_1 = \psi_1(\varphi)$  und  $\psi_2 = \psi_2(\varphi)$  zugeordnet sind.

### 3 Das allgemeine RSSR-Getriebe

Der Übertragungskegelschnitt (7) hat eine beliebige Lage. Er müsste um den Winkel  $\alpha$ , für den

$$\tan 2\alpha = \frac{2u_1u_2}{u_1^2 - u_5^2 - u_2^2 + u_6^2} \quad (9)$$

gilt, gedreht werden, damit die Achsen parallel zu den Koordinatenachsen sind und somit überschaubare qualitative Aussagen über die Art des Kegelschnittes und sein Schnittverhalten mit dem Einheitskreis ermöglicht werden.

Das Problem löst sich einfach, wenn

$$u_1u_2 = 0 \quad (10)$$

gefordert wird. Die Größe  $u_1$  ist beim allgemeinen RSSR-Getriebe stets ungleich Null (s. (4)), die Größe  $u_2$  ist,  $\vartheta \neq 0$  vorausgesetzt, gleich Null für

$$s_A = 0. \quad (11)$$

Abbildung 2 zeigt dieses spezielle RSSR-Getriebe.

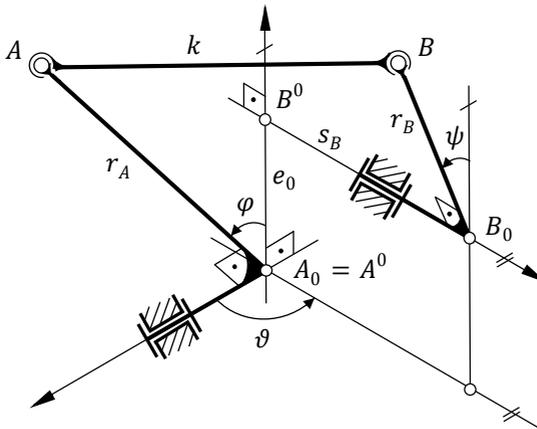


Abb. 2: Spezielles räumliches RSSR-Getriebe mit  $s_A = 0$

Mit (11) lautet der Übertragungskegelschnitt (7)

$$0 = (u_1^2 - u_5^2)x^2 - u_6^2y^2 - 2(u_3u_5 - u_0u_1)x - 2u_4u_6y + (u_0^2 - u_3^2 - u_4^2). \quad (12)$$

Der Kegelschnitt (12) ist eine Ellipse für

$$u_6^2(u_5^2 - u_1^2) > 0 \quad (13)$$

und damit für

$$\cos^2\vartheta(r_A^2 - e_0^2) > 0. \quad (14)$$

Die x-Koordinate des Ellipsenmittelpunktes M und die Halbachse a der Ellipse hängen nicht von  $\vartheta$  ab, da  $u_0, u_1, u_3$  und  $u_5$  nicht von  $\vartheta$  abhängen. Die y-Koordinate von M und die Halbachse b hängen von  $\vartheta$  ab, da  $u_4$  und  $u_6$  von  $\vartheta$  abhängen.

Um zu bestimmen, welcher Getriebetyp vorliegt, muss das Schnittverhalten der Ellipse (12) mit dem Einheitskreis (8) betrachtet werden. Liegt die Ellipse ganz im Inneren des Einheitskreises, liegt eine Doppelkurbel vor. Haben Ellipse und Einheitskreis zwei reelle verschiedene Schnittpunkte, ist das Getriebe eine Totalschwinge. Bei vier reellen verschiedenen Schnittpunkten ist eine Doppelschwinge das zugehörige Getriebe. Liegen Ellipse und Mittelpunkt der Ellipse außerhalb des Einheitskreises, haben wir eine Schwingkurbel vorliegen. Der Fall, dass der Einheitskreis ganz im Inneren der Ellipse liegt, bedeutet die Nichtexistenz eines zugehörigen Getriebes.

Es soll nun untersucht werden, für welches  $\vartheta = \vartheta_{max}$  die Doppelkurbel in eine Doppelschwinge (oder Totalschwinge) übergeht, d.h. wann die Ellipse den Einheitskreis von innen berührt. Numerisch ist diese Aufgabe jederzeit lösbar. Einfach und überschaubar wird sie, wenn der Mittelpunkt M der Ellipse auf der y-Achse liegt, also (s. (12))

$$0 = u_3u_5 - u_0u_1 \quad (15)$$

ist. Dann gilt für die Berührungspunkte  $P_1$  und  $P_2$  von Ellipse und Einheitskreis:

$$P_1 = P_1(0,1) \text{ und } P_2 = P_2(0,-1). \quad (16)$$

Aus (15) folgt mit (4) und (11)

$$0 = r_A^2 + k^2 - e_0^2 - r_B^2 - s_B^2. \quad (17)$$



Wegen  $s_B = 0$  wird  $u_4 = 0$  und der Mittelpunkt M der Ellipse liegt im Koordinatenursprung. Der Fall Totalschwinge kann also nicht vorkommen. Mit den Abmessungen

$$(e_0, r_A, k, r_B, s_B) = (1, \sqrt{6}, 2, 3, 0), \quad (22)$$

die der Bedingung (17) genügen, folgt

$$\cos \vartheta = \pm \frac{1}{r_B} \sqrt{r_A^2 - e_0^2} = \pm \frac{\sqrt{5}}{3} \quad (23)$$

und damit

$$\vartheta_{\max}^{\circ} = \pm 41,81^{\circ}. \quad (24)$$

Für  $\vartheta > |\vartheta_{\max}|$  geht die Doppelkurbel in die besagte „neue“ Doppelschwinge, bei der die Koppel nicht das kleinste Glied ist, über.

Gleichung (23) liefert nur Lösungen für  $\vartheta_{\max}$ , wenn

$$r_B > \sqrt{r_A^2 - e_0^2} \quad (25)$$

ist. Die allgemeine Lösung von (21) ist

$$\tan \frac{\vartheta}{2} = \frac{-s_B + \sqrt{r_B^2 + s_B^2 - r_A^2 + e_0^2}}{r_B + \sqrt{r_A^2 - e_0^2}}. \quad (26)$$

Die Ellipsengleichung (7) lautet mit (11) und (15)

$$0 = (u_1^2 - u_5^2)x^2 - u_6^2y^2 - 2u_4u_6y - (u_3^2 + u_4^2 - u_0^2) \quad (27)$$

bzw. in Achsenform

$$\frac{x^2}{\left(\frac{u_0^2 - u_3^2}{u_5^2 - u_1^2}\right)} + \frac{\left(y + \frac{u_4}{u_6}\right)^2}{\left(\frac{u_0^2 - u_3^2}{u_6^2}\right)} = 1. \quad (28)$$

Damit die Ellipse ganz im Einheitskreis liegt, muss gelten

$$a = \sqrt{\frac{u_0^2 - u_3^2}{u_5^2 - u_1^2}} = \sqrt{\frac{r_A^2 - e_0^2}{r_B^2 - e_0^2}} < 1 \quad \text{und} \quad (29)$$

$$y_M + b = -\frac{u_A}{u_6} + \frac{\sqrt{u_0^2 - u_3^2}}{u_6} = \frac{s_B}{r_B} \tan \vartheta + \frac{\sqrt{r_A^2 - e_0^2}}{r_B \cos \vartheta} < 1. \quad (30)$$

Aus (30) folgt für  $y_M + b = 1$  :

$$s_B \sin \vartheta + \sqrt{r_A^2 - e_0^2} = r_B \cos \vartheta ,$$

also die Gleichung (21), aus der  $\vartheta_{max}$  berechnet wird.

Beispiel:

Gegeben sind die Abmessungen

$$(e_0, r_A, k, r_B, s_B) = (1, \sqrt{5}, 3, 3, 2), \quad (31)$$

die der Bedingung (17) genügen.

Aus (29) folgt

$$a = \frac{\sqrt{2}}{2} < 1 \quad (32)$$

und aus (30) für  $\vartheta = 0$  :

$$y_M + b = b = \frac{2}{3} < 1, \quad (33)$$

d.h. die Ellipse liegt ganz im Einheitskreis.

Aus (26) kann nun  $\vartheta_{max}$  berechnet werden:

$$\vartheta_{max} = \pm 2 \arctan \frac{-s_B + \sqrt{r_B^2 + s_B^2 - r_A^2 + e_0^2}}{r_B + \sqrt{r_A^2 - e_0^2}}. \quad (34)$$

Die zwei Lösungen sind

$$(\vartheta_{max})_{1/2} = \pm 2 \arctan \frac{1}{5} \hat{=} \pm 22,62^\circ. \quad (35)$$

Für

$$\vartheta > \vartheta_{max 1} \quad (\text{bzw. } \vartheta < \vartheta_{max 2}) \quad (36)$$

geht die Doppelkurbel in eine Totalschwinge über.

## 4 Das allgemeine sphärische RSSR-Getriebe

Aus dem allgemeinen RSSR-Getriebe folgt das allgemeine sphärische RSSR-Getriebe (s. Abb. 4) für

$$e_0 = 0. \quad (37)$$

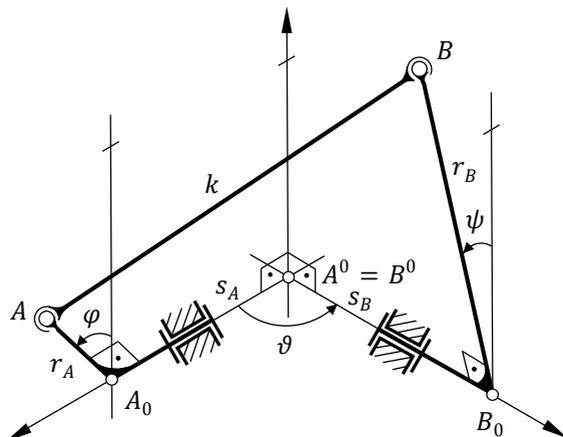


Abb. 4: Allgemeines sphärisches RSSR-Getriebe

Da mit (37)

$$u_1 = u_3 = 0 \quad (38)$$

gilt, wird (7) zu

$$0 = -u_5^2 x^2 + (u_2^2 - u_6^2) y^2 - 2(u_4 u_6 - u_0 u_2) y + (u_0^2 - u_4^2). \quad (39)$$

Gleichung (39) ist eine Ellipse für

$$u_5^2 (u_6^2 - u_2^2) > 0, \quad (40)$$

also für

$$\tan \vartheta < \frac{r_A}{S_A}. \quad (41)$$

Aus (39) bzw. (28) ist schon ersichtlich, dass  $y_M$  und die Halbachsen  $a$  und  $b$  der Ellipse von  $\vartheta$  abhängen, d.h. die Berührungspunkte mit dem Einheitskreis (8) sind nur numerisch berechenbar. Das Problem wird wieder überschaubar, wenn wie beim allgemeinen RSSR-Getriebe (11) gilt. Dann ist  $u_2 = 0$  und (39) geht über in

$$0 = u_5^2 x^2 + u_6^2 y^2 + 2u_4 u_6 y - (u_0^2 - u_4^2). \quad (42)$$

Abbildung 5 zeigt dieses spezielle sphärische RSSR-Getriebe.

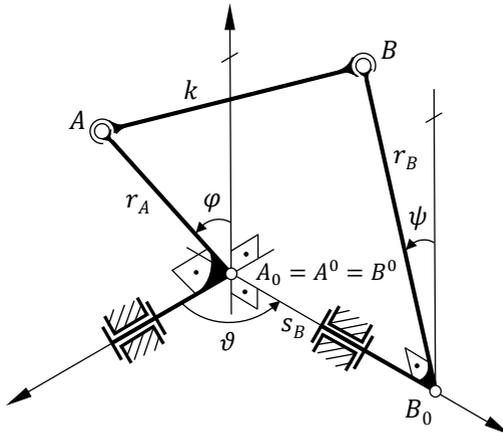


Abb. 5: Spezielles sphärisches RSSR-Getriebe mit  $s_A = 0$

Für die Berührungspunkte  $P_1$  und  $P_2$  (s. (16)) folgt aus (42)

$$0 = u_6^2 \pm 2u_4 u_6 - u_0^2 + u_4^2, \quad (43)$$

also

$$u_6 \pm u_4 = u_0. \quad (44)$$

Ausführlich:

$$r_B \cos \vartheta \mp s_B \sin \vartheta = \frac{1}{2r_A} (k^2 - r_A^2 - r_B^2 - s_B^2). \quad (45)$$

Gleichung (45) entspricht in der Struktur Gleichung (21).

Beispiel 1:

Gegeben sind die Abmessungen

$$(r_A, k, r_B, s_B) = (2, 3, 2, 1). \quad (46)$$

Dann wird

$$k^2 - r_A^2 - r_B^2 - s_B^2 = 0 \quad (47)$$

und damit

$$|\vartheta_{max}| = \arctan \frac{r_B}{s_B} = \arctan 2 \triangleq 63,43^\circ. \quad (48)$$

Die Ellipse zerfällt in die zwei Minimalgeraden durch (0,1) und für das zugehörige Getriebe gilt  $\psi = \psi(\varphi) = \frac{\pi}{2}$ . Die Bedingung (47) liefert keine Doppelkurbeln. Das Abtriebsglied befindet sich stets in Ruhelage.

Beispiel 2:

Gegeben sind die Abmessungen

$$(r_A, k, r_B, s_B) = (3, 5, 3, 1). \quad (49)$$

Gleichung (45) geht über in

$$3 \cos \vartheta \mp \sin \vartheta = 1 \quad (50)$$

und es folgt

$$|\vartheta_{max}| = 2 \arctan \frac{1}{2} \triangleq 53,13^\circ. \quad (51)$$

Für  $\vartheta > |\vartheta_{max}|$  geht die Doppelkurbel in eine Totschwinge über.

Beispiel 3: (s. Abb. 6)

Gegeben sind die Abmessungen

$$(r_A, k, r_B, s_B) = (3, 2\sqrt{5}, 3, 0). \quad (52)$$

Für  $\vartheta = 0$  ergibt sich damit  $d\psi/d\varphi = 1$ . Aus (45) folgt

$$\vartheta = \arccos \left( \frac{1}{2r_A r_B} (k^2 - r_A^2 - r_B^2) \right) \quad (53)$$

und somit

$$\vartheta_{max} = \arccos \frac{1}{9} \cong 83,62^\circ . \tag{54}$$

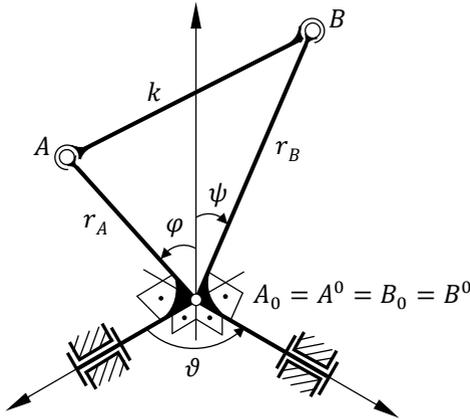


Abb. 6: Spezielles sphärisches RSSR-Getriebe mit  $s_A = s_B = 0$

### 5 Anwendungsorientierte RSSR-Getriebe

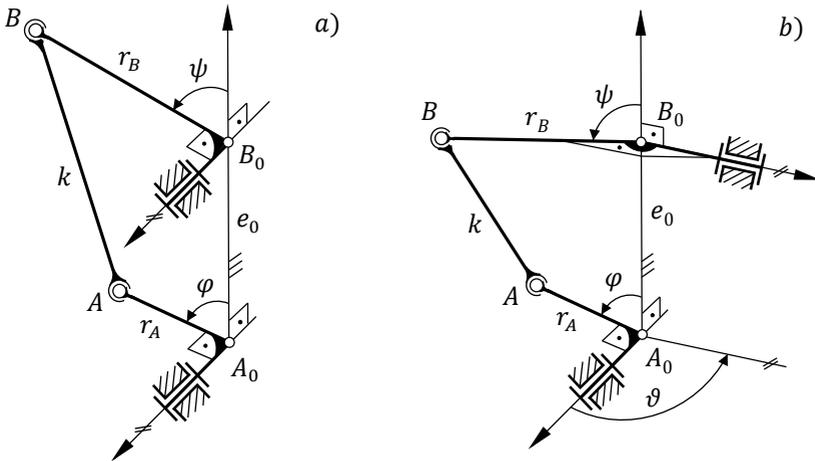


Abb. 7: Drehungsvorgang um  $e_0$   
 a) ebenes RSSR-Getriebe

b) einfaches räumliches RSSR-Getriebe

Ausgehend von der ebenen Doppelkurbel erscheinen für die praktische Anwendung zwei Varianten bedeutungsvoll.

Variante 1 (s. Abb. 7): Die Drehachse durch  $B_0$  wird um  $e_0$  um den Winkel  $\vartheta$  gedreht und  $x_M \neq 0$  vorausgesetzt (einfaches RSSR-Getriebe).

Variante 2 (s. Abb. 8): Die Drehachse durch  $B_0$  wird im Abstand  $e_0$  so verdreht, dass sie die Drehachse durch  $A_0$  schneidet.

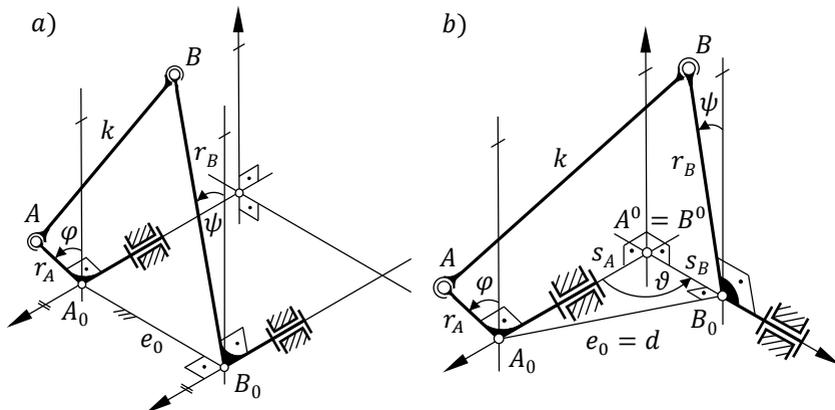


Abb. 8: Drehungsvorgang mit  $e_0$

a) ebenes RSSR-Getriebe

b) einfaches sphärisches RSSR-Getriebe

## 5.1 Einfaches räumliches RSSR-Getriebe

Da  $s_B = 0$  gilt, ist  $u_4 = 0$  und (12) geht über in

$$0 = (u_1^2 - u_5^2)x^2 - u_6^2y^2 - 2(u_3u_5 - u_0u_1)x + (u_0^2 - u_3^2). \quad (55)$$

Mit (8) folgt

$$0 = (u_1^2 - u_5^2)x^2 - u_6^2(1 - x^2) - 2(u_3u_5 - u_0u_1)x + (u_0^2 - u_3^2). \quad (56)$$

Wenn die Ellipse den Einheitskreis berühren soll, darf es nur eine Lösung für  $x$  geben, d.h. es muss

$$0 = (u_3 u_5 - u_0 u_1)^2 - (u_0^2 - u_3^2 - u_6^2)(u_1^2 - u_5^2 + u_6^2) \quad (57)$$

sein. Nach einigen Umformungen erhält man

$$0 = u_6^4 - u_6^2(u_0^2 - u_1^2 - u_3^2 + u_5^2) + (u_0 u_5 - u_1 u_3)^2. \quad (58)$$

Unter Verwendung von

$$u_6^2 = u_5^2 \cos^2 \vartheta \text{ (s.(4))} \quad \text{und} \quad 2 \cos^2 \vartheta = 1 + \cos 2\vartheta \quad (59)$$

folgt

$$\vartheta = \frac{1}{2} \arccos \left( \frac{1}{u_5^2} \left( u_0^2 - u_1^2 - u_3^2 - \sqrt{(u_0^2 - u_1^2 - u_3^2 + u_5^2) - 4(u_1 u_3 - u_0 u_5)} \right) \right). \quad (60)$$

Mit den Abmessungen für eine übertragungsgünstige ebene Doppelkurbel

$$(e_0, r_A, k, r_B) = (1, 3, 2, \sqrt{6}) \quad (61)$$

erhält man

$$\vartheta_{max} = 41,81^\circ. \quad (62)$$

Für  $\vartheta > \vartheta_{max}$  geht die Doppelkurbel in eine Doppelschwinge über, die in [2] als „neue“ Doppelschwinge bezeichnet wird, da die Koppel hier nicht das kleinste Glied ist.

## 5.2 Einfaches sphärisches RSSR-Getriebe

Aus Abb. 8b ergibt sich mit

$$d := e_0, \quad (63)$$

$$\cos \vartheta = \frac{s_B}{s_A} \quad \text{und} \quad \sin \vartheta = \frac{d}{s_A}. \quad (64)$$

Die  $u_j$  ( $j = 0, \dots, 8$ ) aus (4) lauten jetzt

$$\begin{aligned}
 u_0 &= d^2 - k^2 + r_A^2 + r_B^2 \\
 u_2 &= -2dr_B & u_4 &= 2dr_A \cos \vartheta \\
 u_5 &= -2r_A r_B & u_6 &= -2r_A r_B \cos \vartheta \\
 u_1 &= u_3 = u_7 = u_8 = 0.
 \end{aligned} \tag{65}$$

Aus Gleichung (39) folgt mit (16)

$$0 = u_6^2 + u_4^2 \pm 2u_4 u_6 - u_2^2 - u_0^2 \pm 2u_0 u_2, \tag{66}$$

vereinfacht zu

$$u_6 \pm u_4 = u_0 \pm u_2. \tag{67}$$

Unter Berücksichtigung von (64) wird

$$2r_A(d \pm r_B) \cos \vartheta = (d \pm r_B)^2 - k^2 + r_A^2, \tag{68}$$

also

$$\vartheta = \arccos \frac{(d \pm r_B)^2 - k^2 + r_A^2}{2r_A(d \pm r_B)}. \tag{69}$$

Wieder mit den Abmessungen

$$(d, r_A, k, r_B) = (1, 3, 2, \sqrt{6}) \tag{70}$$

einer übertragungsgünstigen ebenen Doppelkurbel ergibt sich  $|\vartheta_{max}|$  wegen

$$r_A^2 + d^2 = k^2 + r_B^2 \tag{71}$$

zu

$$(\vartheta_{max})_{1/2} = \arccos \frac{r_B(r_B \pm d)}{r_A(r_B + d)}. \tag{72}$$

In Zahlenwerten sind

$$\begin{aligned}
 \vartheta_{max1} &= \arccos \frac{\sqrt{6}}{3} \triangleq 35,26^\circ \quad \text{und} \\
 \vartheta_{max2} &= \arccos \left( \frac{\sqrt{6}(\sqrt{6} - 1)}{3(\sqrt{6} + 1)} \right) \triangleq 69,93^\circ.
 \end{aligned} \tag{73}$$

Die sinnvolle Lösung ist die für  $\vartheta_{max1}$ . Da  $y_M$  und  $b$  von  $\vartheta$  abhängen, geht für  $\vartheta > \vartheta_{max1}$  die Doppelkurbel in eine Totschwingung über.

## 6 Zusammenfassung

Für das RSSR-Getriebe wurde allgemein untersucht, bis zu welchem Grenzwinkel  $\vartheta_{max}$  eine Doppelkurbel vorliegt, d.h. bis zu welchem  $\vartheta$  der Übertragungskegelschnitt Ellipse ganz im Einheitskreis liegt.

Die in [2] erstmals beschriebene „neue“ Doppelschwingung kommt nur beim einfachen RSSR-Getriebe vor. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass für das allgemeine und das sphärische RSSR-Getriebe für  $\vartheta > \vartheta_{max}$  die Doppelkurbeln in Totschwingungen übergehen.

Da die Anwendung der Doppelkurbel als Wellenkupplung auf kleine Kreuzungswinkel  $\vartheta$  beschränkt ist, liefert  $\vartheta_{max}$  einen guten Kennwert. Ist  $\vartheta_{max}$  groß, dann sind die Abweichungen von der Übertragungsfunktion der ebenen Doppelkurbel für kleine  $\vartheta$  gering.

## Literatur

- [1] Modler, K.-H. „Eine einheitliche Methode für die exakte Synthese von Koppelgetrieben zur Realisierung von Lagenzuordnungen“. Dissertation B. TU Dresden, 1978.
- [2] Baumgärtel, M. „Entwurfsgrundlagen zur Auslegung einfacher räumlicher Mechanismen“. Dissertation A. TU Dresden, 1986.