



(19)  
 Bundesrepublik Deutschland  
 Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 029 304 A1** 2009.12.24

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 029 304.0**  
 (22) Anmeldetag: **20.06.2008**  
 (43) Offenlegungstag: **24.12.2009**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **B29C 47/60** (2006.01)  
**B23F 13/02** (2006.01)

(71) Anmelder:  
**Bayer Technology Services GmbH, 51373  
 Leverkusen, DE**

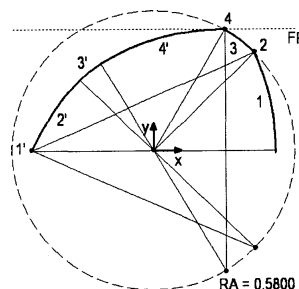
(72) Erfinder:  
**Bierdel, Michael, Dr., 51373 Leverkusen, DE;  
 König, Thomas, Dr., 51375 Leverkusen, DE;  
 Liesenfelder, Ulrich, 51469 Bergisch Gladbach, DE**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Erzeugung von Schneckenelementen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung dicht kämmender, selbstreinigender, gleichsinnig drehender Schneckenprofile, die Verwendung der Schneckenprofile in Schnecken- und Übergangselementen, neuartige Schneckenprofile, die durch das Verfahren erzeugt wurden und ein Computerprogrammprodukt zur Ausführung des Verfahrens auf einem Computersystem.



1)  $R = 0.9999$   $Mx = -0.4998$   
 $\alpha = 0.4187$   $My = 0.0000$   
 2)  $R = 0.0000$   $Mx = 0.4137$   
 $\alpha = 0.3580$   $My = 0.4065$   
 3)  $R = 0.5800$   $Mx = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2627$   $My = 0.0000$   
 4)  $R = 0.0000$   $Mx = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $My = 0.5000$   
 4')  $R = 1.0000$   $Mx = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $My = -0.5000$   
 3')  $R = 0.4200$   $Mx = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2627$   $My = 0.0000$   
 2')  $R = 1.0000$   $Mx = 0.4137$   
 $\alpha = 0.3580$   $My = -0.4065$   
 1')  $R = 0.0001$   $Mx = -0.4998$   
 $\alpha = 0.4187$   $My = 0.0000$

**Beschreibung**

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Erzeugung dicht kämmender, selbstreinigender, gleichsinnig drehender Schneckenprofile, ein Computerprogrammprodukt zur Ausführung des Verfahrens auf einem Computersystem, neuartige Schneckenprofile, die durch das Verfahren erzeugt wurden und die Verwendung der Schneckenprofile in Schnecken- und Übergangselementen.

**[0002]** Gleichläufige Zwei- und Mehrwellenextruder sind dem Fachmann aus der Patent- und Fachliteratur bekannt. Beispielhaft sei hier die folgende Veröffentlichung [1] erwähnt: K. Kohlgrüber: „Der gleichläufige Doppelschneckenextruder“, Hanser Verlag, 2007. In dieser Veröffentlichung werden der Aufbau, die Funktion und der Betrieb von Zwei- und Mehrwellenextrudern ausführlich erläutert. Ein eigenes Kapitel (Seiten 227–248) ist den Schneckenelementen und ihrer Wirkungsweise gewidmet. Hier werden der Aufbau und die Funktion von Förder-, Knet- und Mischelementen detailliert erläutert. Um den Übergang zwischen Schneckenelementen unterschiedlicher Gangzahl zu ermöglichen, werden häufig Unterslegscheiben als Distanzhülse eingesetzt. In Sonderfällen werden sogenannte Übergangselemente eingesetzt, die einen kontinuierlichen Übergang zwischen zwei Schneckenprofilen unterschiedlicher Gangzahl ermöglichen, wobei an jedem Punkt des Übergangs ein sich selbst reinigendes Paar von Schneckenprofilen vorliegt. Wenn im Folgenden Schneckenelemente und Schneckenprofile genannt und beschrieben werden, sollen darunter auch Übergangselemente und deren Profile verstanden werden. Die zu den Übergangselementen gehörigen Profile werden auch als Übergangsprofile bezeichnet.

**[0003]** Wie der Fachmann weiß und wie es zum Beispiel in [1] auf den Seiten 96 bis 98 nachzulesen ist, ist das bekannte selbstreinigende Erdmenger-Schneckenprofil durch die Angabe der drei Größen Gangzahl  $z$ , Schneckenaußenradius  $r_a$  und Achsabstand  $a$  eindeutig definiert. Die Gangzahl  $z$  ist eine ganze Zahl, die größer oder gleich 1 ist. Eine weitere wichtige Kenngröße eines Schneckenprofils ist der Kernradius  $r_i$ . Eine weitere wichtige Kenngröße eines Schneckenprofils ist die Gangtiefe  $h$ .

**[0004]** Wie der Fachmann weiß und wie es zum Beispiel in [1] auf den Seiten 96 bis 98 nachzulesen ist, ist das bekannte selbstreinigende Erdmenger-Schneckenprofil aus Kreisbögen aufgebaut. Die Größe eines Kreisbogens ist durch die Angabe seines Zentriwinkels und seines Radius gegeben. Im Folgenden wird der Zentriwinkel eines Kreisbogens kurz als der Winkel eines Kreisbogens bezeichnet. Die Position eines Kreisbogens ist durch die Position seines Mittelpunkts und durch die Position seines An-

fangs- oder Endpunkts gegeben, wobei es nicht festgelegt ist, welches der Anfangs- und welches der Endpunkt ist, da ein Kreisbogen ausgehend vom Anfangspunkt und endend im Endpunkt im Uhrzeigersinn oder gegen den Uhrzeigersinn konstruiert werden kann. Anfangs- und Endpunkt sind vertauschbar.

**[0005]** Die bisher bekannten Verfahren zur Erzeugung von dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen besitzen den Nachteil, dass sie mathematisch aufwändig sind und immer an spezielle Schneckenprofile wie zum Beispiel dem Erdmenger-Schneckenprofil gebunden sind. Bekannte Verfahren zur Erzeugung von Erdmenger-Schneckenprofilen finden sich z. B. in [1] oder der Veröffentlichung von Booy [2]: „Geometry of fully wiped twin-screw equipment“, Polymer Engineering and Science 18 (1978) 12, Seiten 973–984. In den genannten Veröffentlichungen wird zur Erzeugung von Schneckenprofilen die kinematische Besonderheit ausgenutzt, dass die gleichsinnige Rotation zweier Wellen um ihre ortsfesten Achsen kinematisch gleichwertig mit der „Schiebung ohne Rotation“ einer Welle um die andere, dann feststehende Welle ist. Diese Besonderheit kann dazu verwendet werden, schrittweise Schneckenprofile zu erzeugen. Die erste Schnecke (die „erzeugte“) steht bei der Betrachtung still und die zweite Schnecke (die „erzeugende“) wird um die erste translatorisch auf einem Kreisbogen verschoben. Man kann nun einen Teil des Profils auf der zweiten Schnecke vorgeben und untersuchen, welches Profil auf der ersten Schnecke dadurch erzeugt wird. Die erzeugte Schnecke wird durch die erzeugende gewissermaßen „herausgeschnitten“. In [1] ist jedoch kein Verfahren angegeben, wie der Teil auf der zweiten Schnecke, der vorgegeben wird, selbst zu erzeugen ist. In [2] ist ein möglicher Ansatz beschrieben, wie der Profilabschnitt, von dem man ausgehen kann und aus dem das restliche Profil erzeugt wird generiert werden kann. Dieser Ansatz ist jedoch mathematisch sehr aufwändig und vor allem nicht allgemeingültig, das heißt es lassen sich keine beliebigen Profile für Schnecken- und Übergangselemente erzeugen.

**[0006]** Es stellt sich daher, ausgehend vom Stand der Technik, die Aufgabe, ein Verfahren zur Erzeugung von Schneckenprofilen bereitzustellen, mit dem Schneckenprofile ohne Vorgabe bereits existierender Profile und/oder Profilabschnitte erzeugt werden können. Es stellt sich ferner die Aufgabe, ein Verfahren bereitzustellen, mit dem beliebige Profile für dicht kämmende Schnecken- und Übergangselemente erzeugt werden können. Es stellt sich weiterhin die Aufgabe, ein Verfahren bereitzustellen, mit dem Profile für dicht kämmende Schnecken- und Übergangselemente auf einfache Weise erzeugt werden können. Das Verfahren soll mit Zirkel und Winkellineal durchführbar sein, ohne dass komplizierte Berechnungen nötig sind.

**[0007]** Überraschend wurde gefunden, dass die Aufgabe durch ein Verfahren gelöst werden kann, bei dem die Profile von Schneckenelementen vollständig aus Kreisbögen gebildet werden, die tangential ineinander übergehen, wobei ein Kreisbogen auch einen Radius der Größe Null haben kann.

**[0008]** Gegenstand der Erfindung ist daher ein Verfahren zur Erzeugung von ebenen, dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen mit einem wählbaren Achsabstand  $a$  zwischen den Drehachsen eines erzeugenden und eines erzeugten Schneckenprofil, dadurch gekennzeichnet, dass das erzeugende Schneckenprofil aus  $n$  Kreisbögen und das erzeugte Schneckenprofil aus  $n'$  Kreisbögen gebildet wird.

**[0009]** Das erfindungsgemäße Verfahren ist nicht auf Schneckenelemente aus der heutzutage üblichen Modulbauweise einer Schnecke aus Schneckenelementen und Kernwellen beschränkt, sondern auch auf Schnecken in Massivbauweise anwendbar. Daher sind unter dem Begriff Schneckenelemente auch Schnecken in Massivbauweise zu verstehen.

**[0010]** Einerseits lässt das erfindungsgemäße Verfahren dem Anwender dieses Verfahrens gewisse Freiheitsgrade. Derartige Freiheitsgrade sind daran zu erkennen, dass gewisse Größen frei gewählt werden können. Um gültige Schneckenprofile zu erhalten, sind andererseits gewisse Bedingungen zu erfüllen. Derartige Bedingungen sind daran zu erkennen, dass gewisse Größen einen bestimmten Wert haben oder innerhalb eines Wertebereichs liegen müssen. Als gültige Schneckenprofile werden hier Schneckenprofile verstanden, die die geforderten Eigenschaften erfüllen, das heißt eben, dicht kämmend, selbstreinigend und gleichsinnig drehend sind. Derartige Schneckenprofile können zur Fertigung von Schnecken- und Übergangselementen in Mehrwellenextrudern verwendet werden.

**[0011]** Das erfindungsgemäße Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass

- das erzeugende Schneckenprofil und das erzeugte Schneckenprofil in einer Ebene liegen,
- die Drehachse des erzeugenden Schneckenprofils und die Drehachse des erzeugten Schneckenprofils jeweils senkrecht auf der besagten Ebene der Schneckenprofile stehen, wobei der Schnittpunkt der Drehachse des erzeugenden Schneckenprofils mit der besagten Ebene als Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils und der Schnittpunkt der Drehachse des erzeugten Schneckenprofils mit der besagten Ebene als Drehpunkt des erzeugten Schneckenprofils bezeichnet wird,
- die Anzahl der Kreisbögen  $n$  des erzeugenden Schneckenprofils gewählt wird, wobei  $n$  eine ganze Zahl ist, die größer oder gleich 1 ist,

- ein Außenradius  $r_a$  des erzeugenden Schneckenprofils gewählt wird, wobei  $r_a$  einen Wert annehmen kann, der größer als 0 ( $r_a > 0$ ) und kleiner oder gleich dem Achsabstand ( $r_a \leq a$ ) ist,
- ein Kernradius  $r_i$  des erzeugenden Schneckenprofils gewählt wird, wobei  $r_i$  einen Wert annehmen kann, der größer als 0 ( $r_i > 0$ ) und kleiner oder gleich  $r_a$  ( $r_i \leq r_a$ ) ist,
- die Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils im oder gegen den Uhrzeigersinn um die Drehachse des erzeugenden Schneckenprofils entsprechend den nachfolgenden Anordnungsregeln derart angeordnet werden, dass:
  - alle Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils derart tangential ineinander übergehen, dass sich ein geschlossenes, konvexes Schneckenprofil ergibt, wobei ein Kreisbogen, dessen Radius gleich 0 ist, wie ein Kreisbogen behandelt wird, dessen Radius gleich  $\epsilon$  ist, wobei  $\epsilon$  eine sehr kleine positive reelle Zahl ist, die gegen 0 strebt ( $\epsilon \ll 1$ ,  $\epsilon \rightarrow 0$ ),
  - jeder der Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils innerhalb oder auf den Grenzen eines Kreisrings mit dem Außenradius  $r_a$  und dem Kernradius  $r_i$  liegt, dessen Mittelpunkt auf dem Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils liegt,
  - mindestens einer der Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils den Außenradius  $r_a$  des erzeugenden Schneckenprofils berührt,
  - mindestens einer der Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils den Kernradius  $r_i$  des erzeugenden Schneckenprofils berührt,
  - die Größe eines ersten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils, die durch einen Winkel  $\alpha_1$  und einen Radius  $r_1$  festgelegt ist, derart gewählt wird, dass der Winkel  $\alpha_1$  im Bogenmaß größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich  $2\pi$  ist, wobei unter  $\pi$  die Kreiszahl zu verstehen ist ( $\pi \approx 3,14159$ ), und der Radius  $r_1$  größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich dem Achsabstand  $a$  ist, und die Position dieses ersten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils, die sich durch das Positionieren von zwei verschiedenen Punkten dieses ersten Kreisbogens ergibt, entsprechend den besagten Anordnungsregeln festgelegt wird, wobei ein erster zu positionierender Punkt dieses ersten Kreisbogens bevorzugt ein zu diesem ersten Kreisbogen zugehöriger Anfangspunkt ist und wobei ein zweiter zu positionierender Punkt dieses ersten Kreisbogens bevorzugt der zu diesem ersten Kreisbogen zugehörige Mittelpunkt ist,
  - die Größen von weiteren  $n - 2$  Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils, die durch die Winkel  $\alpha_2, \dots, \alpha_{(n-1)}$  und die Radien  $r_2, \dots, r_{(n-1)}$  festgelegt sind, derart gewählt werden, dass die Winkel  $\alpha_2, \dots, \alpha_{(n-1)}$  im Bogenmaß größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich  $2\pi$  sind und die Radien  $r_2, \dots, r_{(n-1)}$  größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich dem Achsabstand

a sind,  
 und die Positionen dieser weiteren  $n - 2$  Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils entsprechend den besagten Anordnungsregeln festgelegt sind,  
 – die Größe eines letzten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils, die durch einen Winkel  $\alpha_n$  und einen Radius  $r_n$  festgelegt ist, dadurch gegeben ist, dass die Summe der  $n$  Winkel der  $n$  Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils im Bogenmaß gleich  $2\pi$  ist, wobei der Winkel  $\alpha_n$  im Bogenmaß größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich  $2\pi$  ist, und der Radius  $r_n$  das erzeugende Schneckenprofil schließt, wobei der Radius  $r_n$  größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich dem Achsabstand  $a$  ist, und die Position dieses letzten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils entsprechend den besagten Anordnungsregeln festgelegt ist,  
 – sich die  $n'$  Kreisbögen des erzeugten Schneckenprofils aus den  $n$  Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils dadurch ergeben, dass  
 – die Anzahl der Kreisbögen  $n'$  des erzeugten Schneckenprofils gleich der Anzahl der Kreisbögen  $n$  des erzeugenden Schneckenprofils ist, wobei  $n'$  eine ganze Zahl ist,  
 – der Außenradius  $ra'$  des erzeugten Schneckenprofils gleich der Differenz des Achsabstandes minus des Kernradius  $ri$  des erzeugenden Schneckenprofils ist ( $ra' = a - ri$ ),  
 – der Kernradius  $ri'$  des erzeugten Schneckenprofils gleich der Differenz des Achsabstandes minus des Außenradius  $ra$  des erzeugenden Schneckenprofils ist ( $ri' = a - ra$ ),  
 – der Winkel  $\alpha_{i'}$  des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils gleich dem Winkel  $\alpha_i$  des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils ist, wobei  $i$  und  $i'$  ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich von 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen  $n$  beziehungsweise  $n'$  durchlaufen ( $\alpha_{1'} = \alpha_1, \dots, \alpha_{n'} = \alpha_n$ ),  
 – die Summe des Radius  $r_{i'}$  des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils und des Radius  $r_i$  des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils gleich dem Achsabstand  $a$  ist, wobei  $i$  und  $i'$  ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen  $n$  beziehungsweise  $n'$  durchlaufen ( $r_{1'} + r_{1'} = a, \dots, r_{n'} + r_n = a$ ),  
 – der Mittelpunkt des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils einen Abstand von dem Mittelpunkt des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils besitzt, der gleich dem Achsabstand  $a$  ist, und der Mittelpunkt des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils einen Abstand von dem Drehpunkt des erzeugten Schneckenprofils besitzt, der gleich dem Abstand des Mittelpunkts des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils von dem Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils ist, und die Ver-

bindungslinie zwischen dem Mittelpunkt des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils und dem Mittelpunkt des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils eine Parallele zu einer Verbindungslinie zwischen dem Drehpunkt des erzeugten Schneckenprofils und dem Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils ist, wobei  $i$  und  $i'$  ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen  $n$  beziehungsweise  $n'$  durchlaufen ( $i' = i$ ),  
 – ein Anfangspunkt des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils in einer Richtung bezogen auf den Mittelpunkt des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils liegt, die entgegengesetzt derjenigen Richtung ist, die ein Anfangspunkt des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils bezogen auf den Mittelpunkt des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils besitzt, wobei  $i$  und  $i'$  ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen  $n$  beziehungsweise  $n'$  durchlaufen ( $i' = i$ ).

**[0012]** Aus dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Erzeugung von ebenen, dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen folgt für das erzeugte Schneckenprofil, dass

- das erzeugte Schneckenprofil geschlossen ist,
- das erzeugte Schneckenprofil konvex ist,
- jeder der Kreisbögen des erzeugten Schneckenprofils tangential in den nachfolgenden Kreisbogen des erzeugten Schneckenprofils übergeht, wobei ein Kreisbogen, dessen Radius gleich 0 ist, wie ein Kreisbogen behandelt wird, dessen Radius gleich  $\epsilon$  ist, wobei  $\epsilon$  eine sehr kleine positive reelle Zahl ist, die gegen 0 strebt ( $\epsilon \ll 1$ ,  $\epsilon \rightarrow 0$ ),
- jeder der Kreisbögen des erzeugten Schneckenprofils innerhalb oder auf den Grenzen eines Kreisrings mit dem Außenradius  $ra'$  und dem Kernradius  $ri'$  liegt, dessen Mittelpunkt auf dem Drehpunkt des erzeugten Schneckenprofils liegt,
- mindestens einer der Kreisbögen des erzeugten Schneckenprofils den Außenradius  $ra'$  des erzeugten Schneckenprofils berührt,
- mindestens einer der Kreisbögen des erzeugten Schneckenprofils den Kernradius  $ri'$  des erzeugten Schneckenprofils berührt.

**[0013]** Aus dem Verfahren zur Erzeugung von ebenen, dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen folgt ferner, dass nur in dem Fall, in dem der Kernradius  $ri$  des erzeugenden Schneckenprofils gleich der Differenz des Achsabstandes  $a$  minus dem Außenradius  $ra$  des erzeugenden Schneckenprofils ist ( $ri = a - ra$ ), der Außenradius  $ra'$  des erzeugten Schneckenprofils gleich dem Außenradius  $ra$  des erzeugenden Schneckenprofils und der Kernradius  $ri'$  des erzeugten Schneckenprofils gleich dem Kernradius  $ri$  des erzeugenden

den Schneckenprofilen ist.

**[0014]** Besitzt das erzeugende Schneckenprofil einen Kreisbogen mit dem Radius  $r_i = 0$ , so weist das Schneckenprofil an der Stelle des Kreisbogens einen Knick auf, dessen Größe durch den Winkel  $\alpha_i$  gekennzeichnet ist. Besitzt das erzeugte Schneckenprofil einen Kreisbogen mit dem Radius  $r_{i'} = 0$ , so weist das Schneckenprofil an der Stelle des Kreisbogens einen Knick auf, dessen Größe durch den Winkel  $\alpha_{i'}$  gekennzeichnet ist.

**[0015]** Das Verfahren zur Erzeugung von ebenen, dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen ist ferner dadurch charakterisiert, dass es sich allein mit Winkellineal und Zirkel ausführen lässt. So wird der tangentielle Übergang zwischen dem  $i$ -ten und dem  $(i + 1)$ -ten Kreisbogen des erzeugenden Schneckenprofils konstruiert, indem um den Endpunkt des  $i$ -ten Kreisbogens ein Kreis mit dem Radius  $r_{(i + 1)}$  geschlagen wird und der näher zum Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils gelegene Schnittpunkt dieses Kreises mit der Gerade, die durch den Mittelpunkt und den Endpunkt des  $i$ -ten Kreisbogens definiert ist, der Mittelpunkt des  $(i + 1)$ -ten Kreisbogens ist. Praktischerweise wird man anstelle von Winkellineal und Zirkel ein Computerprogramm zur Konstruktion der Schneckenprofile verwenden.

**[0016]** Die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erzeugten Schneckenprofile sind unabhängig von einer Gangzahl  $z$ .

**[0017]** Das erzeugte Schneckenprofil kann ungleich dem erzeugenden Schneckenprofil sein. Wie der Fachmann anhand der Ausführungen leicht versteht, ist dieses Verfahren insbesondere dazu geeignet, Übergangselemente zwischen Schneckenelementen unterschiedlicher Gangzahl zu erzeugen. Ausgehend von einem  $z$ -gängigen Schneckenprofil ist es möglich, das erzeugende und das erzeugte Schneckenprofil Schritt für Schritt so zu ändern, dass man schließlich ein Schneckenprofil mit einer Gangzahl  $z'$  ungleich  $z$  erhält. Es ist hierbei zulässig, die Anzahl der Kreisbögen während des Übergangs zu verringern oder zu vergrößern.

**[0018]** Typische, in der Praxis verwendete Schneckenprofile zeichnen sich dadurch aus, dass das erzeugende und das erzeugte Schneckenprofil für eine ungerade Gangzahl identisch sind und für eine gerade Gangzahl das erzeugte Schneckenprofil nach einer Rotation des erzeugenden oder des erzeugten Schneckenprofils um einen Winkel von  $\pi/z$  mit dem erzeugenden Schneckenprofil zur Deckung gebracht werden kann. Solche nach dem Stand der Technik bekannten Schneckenprofile mit der Gangzahl  $z$  sind dadurch gekennzeichnet, dass sie genau  $z$  Symmetrieebenen aufweisen, die senkrecht auf der Ebene

des erzeugenden Schneckenprofils stehen und durch die Drehachse des erzeugenden Schneckenprofils führen. Analoges gilt für das erzeugte Schneckenprofil. Die Schneckenprofile bestehen jeweils aus  $2 \cdot z$  Abschnitten mit einem Abschnittswinkel von  $\pi/z$  bezogen auf den jeweiligen Drehpunkt des dazugehörigen Schneckenprofils, die durch Rotation oder durch Spiegeln an den Symmetrieebenen untereinander zur Deckung gebracht werden können. Derartige Schneckenprofile werden als symmetrisch bezeichnet. In einer besonderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Erzeugung ebener, dicht kämmender, selbstreinigender, gleichsinnig drehender Schneckenprofile gibt es eine Gangzahl  $z$ , die Schneckenprofile in  $2 \cdot z$  Abschnitte unterteilt. Mit der besonderen Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens lassen sich jedoch nicht nur symmetrische Schneckenprofile erzeugen, bei denen sich die  $2 \cdot z$  Abschnitte durch Rotation und/oder durch Spiegeln an den Symmetrieebenen untereinander zur Deckung bringen lassen, sondern auch asymmetrische.

**[0019]** Diese besondere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass

- eine Gangzahl  $z$  gewählt wird, wobei  $z$  eine ganze Zahl ist, die größer oder gleich 1 ist,
- die Anzahl der Kreisbögen  $n$  des erzeugenden Schneckenprofils so gewählt wird, dass sie ein ganzes Vielfaches  $p$  von  $4 \cdot z$  ist,
- das erzeugende Schneckenprofil in  $2 \cdot z$  Abschnitte eingeteilt wird, die dadurch gekennzeichnet sind, dass
  - jeder Abschnitt durch zwei Geraden begrenzt ist, die zueinander einen Winkel im Bogenmaß von  $\pi/z$  bilden und die sich im Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils schneiden, wobei diese beiden Geraden als Abschnittsgrenzen bezeichnet werden, wobei unter  $\pi$  die Kreiszahl zu verstehen ist ( $\pi \approx 3,14159$ ),
  - jeder dieser  $2 \cdot z$  Abschnitte in einen ersten und einen zweiten Teil untergliedert wird,
  - der erste Teil eines Abschnitts aus  $p$  Kreisbögen gebildet wird, die in aufsteigender oder absteigender Reihenfolge nummeriert sind,
  - zu den  $p$  Kreisbögen zugehörige Winkel  $\alpha_1, \dots, \alpha_p$  so gewählt werden, dass die Summe dieser Winkel gleich  $\pi/(2 \cdot z)$  ist, wobei die Winkel  $\alpha_1, \dots, \alpha_p$  im Bogenmaß größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich  $\pi/(2 \cdot z)$  sind,
  - der zweite Teil eines Abschnitts aus  $p'$  Kreisbögen gebildet wird, die in umgekehrter Reihenfolge nummeriert sind, wie die Kreisbögen des ersten Teils eines Abschnitts, wobei  $p'$  eine ganze Zahl ist, die gleich  $p$  ist,
  - zu den  $p'$  Kreisbögen zugehörige Winkel  $\alpha_{p'}, \dots, \alpha_{1'}$  dadurch bestimmt sind, dass der Winkel  $\alpha_{j'}$  des  $j'$ -ten Kreisbogens des zweiten Teils eines Abschnitts gleich dem Winkel  $\alpha_j$  des  $j$ -ten Kreis-

bogens des ersten Teils eines Abschnitts ist, wobei  $j$  und  $j'$  ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen  $p$  beziehungsweise  $p'$  durchlaufen ( $\alpha_{1'} = \alpha_1, \dots, \alpha_{p'} = \alpha_p$ ),

– die Summe des Radius  $r_{j'}$  des  $j'$ -ten Kreisbogens des zweiten Teils eines Abschnitts und des Radius  $r_j$  des  $j$ -ten Kreisbogens des ersten Teils eines Abschnitts gleich dem Achsabstand  $a$  ist, wobei  $j$  und  $j'$  ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen  $p$  beziehungsweise  $p'$  durchlaufen ( $r_{1'} + r_1 = a, \dots, r_{p'} + r_p = a$ ),

– ein zu dem Kreisbogen, mit dem das Schneckenprofil im ersten Teil eines Abschnitts beginnt, zugehöriger Mittelpunkt und zugehöriger Anfangspunkt in Abhängigkeit von der Anordnung der Kreisbögen im oder gegen den Uhrzeigersinn auf eine der Abschnittsgrenzen dieses Abschnitts gelegt wird,

– ein zu dem Kreisbogen, mit dem das Schneckenprofil im ersten Teil eines Abschnitts endet, zugehöriger Endpunkt eine Gerade FP in einem Punkt tangiert, wobei die Gerade FP senkrecht auf der Winkelhalbierenden der beiden Abschnittsgrenzen dieses Abschnitts steht und einen Abstand vom Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils in Richtung dieses Abschnitts besitzt, der gleich dem halben Achsabstand ist, wobei die Winkelhalbierende wie die Abschnittsgrenzen durch den Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils führt.

**[0020]** Aus dem Verfahren zur Erzeugung von ebenen, dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen mit einer Gangzahl  $z$  folgt für das erzeugte Schneckenprofil, dass jeder der Abschnitte des erzeugten Schneckenprofils derart aufgebaut ist, das die Radien der Kreisbögen des erzeugten Schneckenprofils in umgekehrter Reihenfolge gleich den Radien der Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils sind.

**[0021]** Schneckenprofile, die gemäß dem obigen Verfahren erzeugt werden, bestehen aus  $2 \cdot z$  Abschnitten, die voneinander verschieden sein können. Sind die Abschnitte voneinander verschieden, so erhält man asymmetrische Schneckenprofile.

**[0022]** Bei achsensymmetrischen Schneckenprofilen lassen sich alle  $2 \cdot z$  Abschnitte durch Rotation und/oder durch Spiegelung an den Abschnittsgrenzen zur Deckung bringen. Die Abschnittsgrenzen liegen dann auf den Schnittgeraden der Symmetrieebenen des jeweiligen Profils mit der Ebene, in der das Profil liegt. Es ergibt sich eine besondere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Erzeugung ebener, achsensymmetrischer, dicht kämmender, selbstreinigender, gleichsinnig drehender Schneckenprofile mit einer Gangzahl  $z$ . Diese be-

sondere Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens ist dadurch gekennzeichnet, dass

- nur ein erster Abschnitt des erzeugenden Schneckenprofils festgelegt wird und
- die weiteren Abschnitte durch fortlaufende Spiegelung an den Abschnittsgrenzen erzeugt werden.

**[0023]** Ferner ist es möglich, mit dem erfindungsgemäßen Verfahren Schneckenprofile zu erzeugen, die punktsymmetrisch zum Drehpunkt sind. In diesem Fall wird jeweils ein Abschnitt festgelegt, während sich der auf dem Profil gegenüber liegende Abschnitt durch Punktspiegelung des festgelegten Abschnitts am Drehpunkt ergibt. Auf diese Weise lassen sich punktsymmetrische Schneckenprofile abschnittsweise erzeugen, wobei die oben genannten Anordnungsregeln befolgt werden müssen, um ein geschlossenes, konvexes Profil zu erhalten.

**[0024]** Die geschilderten Verfahren sind dadurch charakterisiert, dass sie sich allein mit Winkellineal und Zirkel ausführen lassen. So wird der tangentielle Übergang zwischen dem  $j$ -ten und dem  $(j + 1)$ -ten Kreisbogen des ersten Teils eines Abschnitts des erzeugenden Schneckenprofils konstruiert, indem um den Endpunkt des  $j$ -ten Kreisbogens ein Kreis mit dem Radius  $r_{(j + 1)}$  geschlagen wird und der näher zum Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils gelegene Schnittpunkt dieses Kreises mit der Gerade, die durch den Mittelpunkt und den Endpunkt des  $j$ -ten Kreisbogens definiert ist, der Mittelpunkt des  $(j + 1)$ -ten Kreisbogens ist. Ferner wird der  $p$ -te Kreisbogen des ersten Teils eines Abschnitts des erzeugenden Schneckenprofils konstruiert, indem am Endpunkt des  $(p - 1)$ -ten Kreisbogens eine Tangente an den  $(p - 1)$ -ten Kreisbogen gelegt wird, der Schnittpunkt der Tangente mit der Gerade FP der Mittelpunkt eines Kreises ist, dessen Radius gleich der Länge der Strecke zwischen dem Endpunkt des  $(p - 1)$ -ten Kreisbogens und dem Schnittpunkt der Tangente mit der Gerade FP ist, und indem der in Richtung des gewählten Uhrzeigersinns gelegene Schnittpunkt des Kreises mit der Gerade FP der gesuchte Berührungspunkt des Endpunktes des  $p$ -ten Kreisbogens mit der Gerade FP ist. Praktischerweise wird man anstelle von Winkellineal und Zirkel ein Computerprogramm zur Konstruktion der Schneckenprofile verwenden.

**[0025]** Wie der Fachmann anhand der Ausführungen leicht versteht, sind die Verfahren insbesondere dazu geeignet, Übergangselemente zwischen Schneckenelementen gleicher Gangzahl zu erzeugen. Ausgehend von einem  $z$ -gängigen Schneckenprofil ist es möglich, ein anderes  $z$ -gängiges Schneckenprofil zu erhalten, indem das Schneckenprofil im Übergang Schritt für Schritt geändert wird. Es ist hierbei zulässig, die Anzahl der Kreisbögen während des Übergangs zu verringern oder zu vergrößern.

**[0026]** In der Praxis wird ein Schneckenprofil zweckmäßigerweise in ein Koordinatensystem gelegt, um es durch Angabe der Koordinaten charakteristischer Größen eindeutig und in einer für die weitere Verwendung zweckmäßigen Form beschreiben zu können. Sinnvollerweise arbeitet man mit dimensionslosen Kennzahlen, um die Übertragbarkeit auf unterschiedliche Extruderbaugrößen zu vereinfachen. Als Bezugsgröße für geometrische Größen wie zum Beispiel Längen oder Radien bietet sich der Achsabstand  $a$  an, da diese Größe an einem Extruder nicht verändert werden kann. Für den dimensionslosen Achsabstand folgt  $A = a/a = 1$ . Für den dimensionslosen Schneckenaußenradius eines Schneckenprofils folgt  $RA = ra/a$ . Der dimensionslose Kernradius eines Schneckenprofils berechnet sich zu  $RI = ri/a$ . Die dimensionslose Gangtiefe eines Schneckenprofils berechnet sich zu  $H = h/a = RA - RI$ .

**[0027]** Es ist zweckmäßig, den Drehpunkt eines Schneckenprofils, z. B. des erzeugenden in den Ursprung eines kartesischen Koordinatensystem zu legen ( $x = 0, y = 0$ ) und den Drehpunkt des erzeugten Schneckenprofils dann in den Punkt  $x = 1, y = 0$  zu legen.

**[0028]** Bei Verwendung eines Koordinatensystems mit dem Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils im Ursprung ( $x = 0, y = 0$ ) und dem Drehpunkt des erzeugten Schneckenprofils im Punkt mit den Koordinaten  $x = 1, y = 0$  eines kartesischen Koordinatensystems und unter Verwendung dimensionsloser Größen ergibt sich eine konkrete Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens. Diese konkrete Ausführungsform ist dadurch gekennzeichnet, dass

- das erzeugende Schneckenprofil aus 1, 2, ...,  $(i - 1)$ ,  $i$ ,  $(i + 1)$ , ...,  $(n - 1)$ ,  $n$  Kreisbögen gebildet wird, die entgegen oder im Uhrzeigersinn angeordnet werden, wobei  $n$  eine ganze Zahl größer oder gleich 1 ist und wobei  $i$  eine ganze Zahl ist, die größer oder gleich 1 und kleiner oder gleich  $n$  ist
- der Außenradius  $RA$  größer als der halbe Achsabstand ( $RA > 0,5$ ) und kleiner als der Achsabstand ( $RA < 1$ ) gewählt wird,
- die Summe der Winkel  $\alpha_1, \dots, \alpha_n$  der Kreisbögen 1, ...,  $n$  des erzeugenden Schneckenprofils gleich  $2\pi$  ist, wobei unter  $\pi$  die Kreiszahl ( $\pi \approx 3,14159$ ) zu verstehen ist,
- die Radien  $R_1, \dots, R_n$  der Kreisbögen 1, ...,  $n$  des erzeugenden Schneckenprofils größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich 1 sind,
- der Anfangspunkt eines ersten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils bevorzugt auf die  $x$ -Achse, im Bereich  $x = RI$  bis  $x = RA$  gelegt wird,
- für  $i < n$  der Endpunkt des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils gleich dem Anfangspunkt des  $(i + 1)$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils ist,
- für  $i = n$  der Endpunkt des  $i$ -ten Kreisbogens des

erzeugenden Schneckenprofils gleich dem Anfangspunkt des ersten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils ist,

- jeder der Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils tangential in den nächsten Kreisbogen übergeht, wobei ein Kreisbogen mit  $R_i = 0$  wie ein Kreisbogen mit  $R_i = \epsilon$  behandelt wird, wobei  $\epsilon$  eine sehr kleine positive reelle Zahl ist, die gegen 0 strebt ( $\epsilon \ll 1, \epsilon \rightarrow 0$ ),
- das erzeugende Schneckenprofil an keiner Stelle einen Abstand vom Drehpunkt größer als den Außenradius  $RA$  besitzt,
- das erzeugende Schneckenprofil an mindestens einer Stelle einen Abstand vom Drehpunkt besitzt, der gleich dem Außenradius  $RA$  ist,
- das erzeugende Schneckenprofil an keiner Stelle einen Abstand vom Drehpunkt kleiner als den Kernradius  $RI$  besitzt,
- das erzeugende Schneckenprofil an mindestens einer Stelle einen Abstand vom Drehpunkt besitzt, der gleich dem Kernradius  $RI$  ist,
- das erzeugende Schneckenprofil konvex ist,
- das erzeugte Schneckenprofil aus  $1', 2', \dots, (i - 1)', i', (i + 1)', \dots, (n - 1)', n'$  Kreisbögen besteht, die im selben Uhrzeigersinn angeordnet werden wie die Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils, wobei die Anzahl der Kreisbögen  $n'$  des erzeugten Schneckenprofils gleich der Anzahl der Kreisbögen  $n$  des erzeugenden Schneckenprofils ist und wobei  $i'$  eine ganze Zahl ist, die größer oder gleich 1 und kleiner oder gleich  $n'$  ist,
- der Winkel  $\alpha_{i'}$  des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils gleich dem Winkel  $\alpha_i$  des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils ist,
- die Summe des Radius  $R_{i'}$  des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils und des Radius  $R_i$  des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils gleich 1 ist,
- der Anfangspunkt des ersten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils gleich dem Anfangspunkt des ersten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils ist,
- für  $i' < n'$  der Endpunkt des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils gleich dem Anfangspunkt des  $(i + 1)'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils ist,
- für  $i' = n'$  der Endpunkt des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils gleich dem Anfangspunkt des  $1'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils ist,
- jeder der Kreisbögen des erzeugten Schneckenprofils tangential in den nächsten Kreisbogen übergeht, wobei ein Kreisbogen mit  $R_{i'} = 0$  wie ein Kreisbogen mit  $R_{i'} = \epsilon$  behandelt wird, wobei  $\epsilon$  eine sehr kleine positive reelle Zahl ist, die gegen 0 strebt ( $\epsilon \ll 1, \epsilon \rightarrow 0$ ),
- das erzeugte Schneckenprofil konvex ist.

**[0029]** Für Schneckenprofile mit einer Gangzahl  $z$

zeichnet sich eine konkrete Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens dadurch aus, dass

- die Gangzahl  $z$  eine ganze Zahl ist, die größer oder gleich 1 gewählt wird,
- die Anzahl der Kreisbögen  $n$  des erzeugenden Schneckenprofils so gewählt wird, dass sie ein ganzes Vielfaches  $p$  von  $4 \cdot z$  ist,
- das erzeugende Schneckenprofil, bevorzugt beginnend vom ersten Kreisbogen des erzeugenden Schneckenprofils, in  $2 \cdot z$  Teile eingeteilt wird, die dadurch gekennzeichnet sind, dass jedes dieser  $2 \cdot z$  Teile des erzeugenden Schneckenprofils aus  $1, \dots, j, \dots, p, p', \dots, j', \dots, 1'$  Kreisbögen gebildet wird, wobei  $p'$  eine ganze Zahl ist, die gleich  $p$  ist, und wobei unter  $j$  und  $j'$  ganze Zahlen zu verstehen sind, die größer oder gleich 1 und kleiner oder gleich  $p$  bzw.  $p'$  sind,
- die Winkel  $\beta_1, \dots, \beta_p$  der Kreisbögen  $1, \dots, p$  des ersten Teils des erzeugenden Schneckenprofils so gewählt werden, dass deren Summe gleich  $\pi/(2 \cdot z)$  ist, wobei unter  $\pi$  die Kreiszahl zu verstehen ist ( $\pi \approx 3,14159$ ),
- der Winkel  $\beta_{j'}$  des  $j'$ -ten Kreisbogens des ersten Teils des erzeugenden Schneckenprofils gleich dem Winkel  $\beta_j$  des  $j$ -ten Kreisbogens des ersten Teils des erzeugenden Schneckenprofils ist ( $\beta_{1'} = \beta_1, \dots, \beta_{p'} = \beta_p$ ),
- die Radien  $R_1, \dots, R_p$  der Kreisbögen  $1, \dots, p$  des ersten Teils des erzeugenden Schneckenprofils größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich 1 gewählt werden
- die Summe des Radius  $R_{j'}$  des  $j'$ -ten Kreisbogens des ersten Teils des erzeugenden Schneckenprofils und des Radius  $R_j$  des  $j$ -ten Kreisbogens des ersten Teils des erzeugenden Schneckenprofils gleich 1 ist ( $R_{1'} + R_1 = 1, \dots, R_{p'} + R_p = 1$ ),
- der Mittelpunkt und der Anfangspunkt des ersten Kreisbogens des ersten Teils des erzeugenden Schneckenprofils auf eine Gerade gelegt wird, die durch den Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils geht, und der Abstand des Anfangspunkts des ersten Kreises des ersten Teils des erzeugenden Schneckenprofils von dem Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils so gewählt wird, dass dieser größer oder gleich  $RI$  und kleiner oder gleich  $RA$  ist, wobei besagte Gerade bevorzugt identisch mit der X-Achse ist und wobei der Anfangspunkt des ersten Kreises des ersten Teils des erzeugenden Schneckenprofils bevorzugt in positiver X-Richtung liegt,
- der Endpunkt des  $p$ -ten Kreisbogens des ersten Teils des erzeugenden Schneckenprofils eine Gerade  $FP$  in einem Punkt tangiert, wobei die Gerade  $FP$  einen Abstand vom Drehpunkt besitzt, der dem halben Achsabstand entspricht, und eine Steigung, die für  $z = 1$  gleich 0 und für  $z > 1$  gleich  $-1/\tan(\pi/(2 \cdot z))$  ist,
- für achsensymmetrische Schneckenprofile, die weiteren Teile des erzeugenden Schneckenprofils

dadurch gekennzeichnet sind, dass

- die Winkel der Kreisbögen des ersten Teils des erzeugenden Schneckenprofils unter Beibehaltung der Reihenfolge auf die Winkel der Kreisbögen der weiteren Teile des erzeugenden Schneckenprofils kopiert werden,
- die Radien der Kreisbögen des ersten Teils des erzeugenden Schneckenprofils in umgekehrter Reihenfolge auf die Radien der Kreisbögen des zweiten Teils des erzeugenden Schneckenprofils kopiert werden,
- die Radien der Kreisbögen des ersten und des zweiten Teils des erzeugenden Schneckenprofils unter Beibehaltung der Reihenfolge auf die Radien der Kreisbögen der weiteren Teile des erzeugenden Schneckenprofils kopiert werden,
- für punktsymmetrische Schneckenprofile, die weiteren Teile des erzeugenden Schneckenprofils dadurch gekennzeichnet sind, dass
- aus dem ersten Teil durch Punktspiegelung am Drehpunkt ein zweites Teil erzeugt wird, das dem ersten Teil gegenüberliegt,
- weitere Teile des erzeugenden Schneckenprofils sinngemäß nach dem Verfahren für das erste Teil des erzeugenden Schneckenprofils erzeugt werden und ihre gegenüberliegenden Teile durch Punktspiegelung an dem Drehpunkt erzeugt werden,
- für asymmetrische Schneckenprofile, die weiteren Teile des erzeugenden Schneckenprofils unabhängig voneinander und sinngemäß nach dem Verfahren für das erste Teil des erzeugenden Schneckenprofils erzeugt werden.

**[0030]** Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind weiterhin Profile von Schnecken- und Übergangselementen, die mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens erzeugt wurden. Überraschend wurden mit dem erfindungsgemäßen Verfahren völlig neuartige Profile für Schnecken- und Übergangselemente gefunden. Erfindungsgemäße Profile von Schnecken- und Übergangselementen sind in den Beispielen näher spezifiziert.

**[0031]** Die Schneckenprofile, die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Erzeugung dicht kämmender, selbstreinigender, gleichsinnig drehender Schneckenprofile erhalten werden, können in Schnecken- und Übergangselementen eingesetzt werden. Insbesondere können derartige Schneckenprofile in Förder-, Knet- und Mischelementen verwendet werden. Gegenstand der vorliegenden Erfindung sind daher auch Förder-, Knet- und Mischelemente mit einem erfindungsgemäßen Profil bzw. mit einem Profil, das mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens erzeugt worden ist, sowie Verfahren zu deren Herstellung.

**[0032]** Ein Förderelement zeichnet sich bekanntlich dadurch aus (siehe zum Beispiel [1], Seiten

227–248), dass das Schneckenprofil in Achsrichtung kontinuierlich schraubenförmig verdreht und fortgesetzt wird. Dabei kann das Fördererelement rechts- oder linksgängig sein.

**[0033]** Die Steigung des Fördererelements liegt bevorzugt im Bereich des 0,1-fachen bis 10-fachen des Achsabstandes, wobei unter der Steigung die axiale Länge verstanden wird, die für eine vollständige Drehung des Schneckenprofils erforderlich ist, und die axiale Länge eines Fördererelements liegt bevorzugt im Bereich des 0,1-fachen bis 10-fachen des Achsabstandes.

**[0034]** Ein Knetelement zeichnet sich bekanntlich dadurch aus (siehe zum Beispiel [1], Seiten 227–248), dass das Schneckenprofil in Achsrichtung absatzweise in Form von Knetscheiben fortgeführt wird. Die Anordnung der Knetscheiben kann rechts- oder linksgängig oder neutral erfolgen. Die axiale Länge der Knetscheiben liegt bevorzugt im Bereich des 0,05-fachen bis 10-fachen des Achsabstandes. Der axiale Abstand zwischen zwei benachbarten Knetscheiben liegt bevorzugt im Bereich des 0,002-fachen bis 0,1-fachen des Achsabstandes.

**[0035]** Mischelemente werden bekanntlich dadurch gebildet (siehe zum Beispiel [1], Seiten 227–248), dass Fördererelemente mit Durchbrüchen in den Schneckenkämmen ausgeführt werden. Die Mischelemente können rechts- oder linksgängig sein. Ihre Steigung liegt bevorzugt im Bereich des 0,1-fachen bis 10-fachen des Achsabstandes und die axiale Länge der Elemente liegt bevorzugt im Bereich des 0,1-fachen bis 10-fachen des Achsabstandes. Die Durchbrüche haben bevorzugt die Form einer u- oder v-förmigen Nut, die bevorzugt gegenförmig oder achsparallel angeordnet sind.

**[0036]** Übergangselemente können rechts- oder linksgängig sein. Ihre Steigung liegt bevorzugt im Bereich des 0,1-fachen bis 10-fachen des Achsabstandes und ihre axiale Länge liegt bevorzugt im Bereich des 0,1-fachen bis 10-fachen des Achsabstandes.

**[0037]** Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist auch ein gleichsinnig drehender Mehrwellenextruder mit mindestens einem Schneckenelement, dessen Profil nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erzeugt worden ist, wobei der Mehrwellenextruder zwei oder mehr Wellen besitzt.

**[0038]** Gegenstand der vorliegenden Erfindung ist weiterhin ein Computerprogrammprodukt zur Durchführung des Verfahrens zur Erzeugung dicht kämmernder, selbstreinigender, gleichsinnig drehender Schneckenprofile auf einem Computersystem.

**[0039]** Die Durchführung des erfindungsgemäßen

Verfahrens auf einem Computersystem ist vorteilhaft, da die Koordinaten und Abmessungen der Profile in einer Form vorliegen, die von einem Computer weiter verarbeitet werden können. Insbesondere ist die Durchführung von Strömungssimulationen auf einfache Weise möglich. Hierbei wird das nach dem erfindungsgemäßen Verfahren generierte Profil in Achsrichtung fortgesetzt, um ein dreidimensionales Modell eines Schnecken- oder Übergangselement im Computer zu erzeugen. Ein Modell eines Fördererelements wird beispielsweise dadurch erzeugt, dass das Profil schraubenförmig in Achsrichtung verdreht wird. Ein Modell eines Knetelements wird beispielsweise erzeugt, indem das Profil abschnittsweise in Achsrichtung fortgesetzt wird, wobei die Abschnitte gegeneinander versetzt werden, sodass gegeneinander versetzte Scheiben entstehen. Die Modellierung eines Schnecken- oder Übergangselements im Computer erfolgt in Form eines so genannten Rechengitters. Hierbei wird das Volumen zwischen der Innenoberfläche des Gehäuses und den Oberflächen eines Schnecken- oder Übergangselements mit einem Rechengitter vernetzt, welches aus Polyedern wie zum Beispiel Tetraedern oder Hexaedern besteht. Das Rechengitter sowie die Stoffdaten des viskosen Fluids und die Betriebsdaten der Schneckenmaschine, in der die Schneckenelemente und das viskose Fluid eingesetzt werden, werden in einem Programm zur Strömungssimulation eingegeben und die Strömungsverhältnisse simuliert. Anschließend erfolgt eine Analyse der berechneten Strömungsfelder, aus der unter anderem die Güte des Schneckenprofils hinsichtlich charakteristischer Eigenschaften wie zum Beispiel das Mischverhalten oder das Leistungsverhalten bezogen auf die verwendeten Stoffdaten und die verwendeten Betriebsparameter ermittelt werden kann.

**[0040]** Das erfindungsgemäße Computerprogrammprodukt ist dadurch gekennzeichnet, dass das erfindungsgemäße Verfahren in Form von Programmcodes auf einem Datenträger gespeichert ist. Der Datenträger ist computerlesbar, sodass das erfindungsgemäße Verfahren mittels eines Computers ausgeführt werden kann, wenn das Computerprogrammprodukt auf dem Computer ausgeführt wird. Ein geeigneter Datenträger ist zum Beispiel eine Diskette, ein optischer Datenträger wie zum Beispiel eine CD, DVD, oder Blu-ray Disc, eine Festplatte, ein Flash-Speicher, ein Memory-Stick und andere. Bevorzugt weist das Computerprogrammprodukt, wenn es auf einem Computer ausgeführt wird, eine grafische Benutzeroberfläche (GUI) auf, die es einem Benutzer auf einfache Weise erlaubt, die frei wählbaren Größen zur Erzeugung von Schneckenprofilen über Eingabegeräte, wie z. B. Maus und/oder Tastatur einzugeben. Weiterhin weist das Computerprogrammprodukt bevorzugt eine grafische Ausgabe auf, mittels derer die berechneten Schneckenprofile auf einem grafischen Ausgabegerät wie z. B. Bildschirm

und/oder Drucker visualisiert werden können. Bevorzugt weist das Computerprogrammprodukt die Möglichkeit auf, berechnete Schneckenprofile zu exportieren, d. h. in Form von speicherbaren Datensätzen, welche die geometrischen Maße der berechneten Schnecken umfassen, für weitere Verwendungszwecke entweder auf einem Datenträger zu speichern oder an ein angeschlossenes Gerät zu übertragen. Insbesondere ist das Computerprogrammprodukt so gestaltet, dass es, wenn es auf einem Computer ausgeführt wird, sowohl Schneckenprofile als auch aus den Schneckenprofilen generierte Schnecken- und Übergangselemente berechnen und die berechneten Geometrien in einem Format ausgeben kann, die von einer Maschine zur Herstellung von Schnecken- und Übergangselementen z. B. einer Fräsmaschinen verwendet werden kann, um reale Schneckenelemente herzustellen. Solche Formate sind dem Fachmann bekannt.

**[0041]** Die vorliegende Erfindung erlaubt die Erzeugung von Schneckenprofilen, Schneckenelementen und Übergangselementen ab initio. Im Gegensatz zum Stand der Technik geht das erfindungsgemäße Verfahren nicht von bestehenden Schneckenprofilen aus, sondern erlaubt die Erzeugung beliebiger Profile, indem die Werte charakteristischer Größen wie z. B. Achsabstand und Zahl der Kreisbögen, aus denen die Schneckenprofile aufgebaut werden sollen, gewählt werden und die Schneckenprofile Schritt für Schritt unter Beachtung einfacher Regeln generiert werden. Das erfindungsgemäße Verfahren ist einfach anwendbar und lässt sich sogar mit Zirkel und Winkellineal ausführen, ohne dass komplizierte Berechnungen nötig sind. Das erfindungsgemäße Verfahren ist allgemeingültig, d. h. es ist zum Beispiel nicht auf eine konkrete Gangzahl beschränkt, sondern es ist sogar möglich, durch Variation von Werten Profile zu erzeugen, die von einer Gangzahl in einer andere übergehen. Ferner erlaubt die Erfindung die Erzeugung von symmetrischen und asymmetrischen Schneckenprofilen, Schneckenelementen und Übergangselementen. Es ist auch möglich, Schneckenprofile zu erzeugen, bei denen das erzeugende und das erzeugte Profil verschieden sind, d. h. nicht zur Deckung gebracht werden können.

**[0042]** Die Erfindung wird nachstehend anhand der Figuren beispielhaft näher erläutert, ohne sie jedoch auf diese zu beschränken. Alle Figuren wurden mit Hilfe eines Computerprogramms erzeugt.

**[0043]** Sinnvollerweise arbeitet man mit dimensionslosen Kennzahlen, um die Übertragbarkeit auf unterschiedliche Extruderbaugrößen zu vereinfachen. Als Bezugsgröße für geometrische Größen wie zum Beispiel Längen oder Radien bietet sich der Achsabstand  $a$  an, da diese Größe an einem Extruder nicht verändert werden kann. Für den dimensionslosen Achsabstand folgt  $A = a/a = 1$ . Für den di-

mensionslosen Schneckenaußenradius eines Schneckenprofils folgt  $RA = ra/a$ . Der dimensionslose Kernradius eines Schneckenprofils berechnet sich zu  $RI = ri/a$ . Die dimensionslose Gangtiefe eines Schneckenprofils berechnet sich zu  $H = h/a = RA - RI$ .

**[0044]** In den Figuren werden alle geometrischen Größen in ihrer dimensionslosen Form verwendet. Alle Winkelangaben erfolgen im Bogenmaß.

**[0045]** Das Verfahren zur Erzeugung ebener, dicht kämmender, selbstreinigender, gleichsinnig drehender Schneckenprofile wird anhand der **Fig. 61** näher erläutert, ohne das Verfahren jedoch auf diese Figur zu beschränken.

**[0046]** Die **Fig. 61a** bis **Fig. 61f** zeigen den Übergang von einem Paar zweigängiger Schneckenprofile auf ein Paar eingängiger Schneckenprofile. Alle diese Figuren weisen den gleichen Aufbau auf, der nachfolgend im Detail beschrieben wird. Das erzeugende Schneckenprofil wird durch das linke Schneckenprofil dargestellt. Das erzeugte Schneckenprofil wird durch das rechte Schneckenprofil dargestellt. Beide Schneckenprofile bestehen aus 16 Kreisbögen. Die Kreisbögen des erzeugenden und des erzeugten Schneckenprofils sind durch dicke, durchgezogene Linien gekennzeichnet, die mit den jeweiligen Nummern der Kreisbögen versehen sind. Bedingt durch die Vielzahl der Kreisbögen und bedingt durch die Erzeugung der Figuren mittels eines Computerprogramms kann es vorkommen, dass sich die Nummern einzelner Kreisbögen überlappen und daher schlecht lesbar sind, siehe zum Beispiel die Kreisbögen **3'**, **4'** und die Kreisbögen **5'**, **6'**, **7'** in **Fig. 61a**. Trotz der teilweisen schlechten Lesbarkeit einzelner Nummern, wird der Aufbau der Profile aus dem Zusammenhang in Verbindung mit dieser Beschreibung dennoch deutlich.

**[0047]** Die Mittelpunkte der Kreisbögen werden durch kleine Kreise dargestellt. Die Mittelpunkte der Kreisbögen sind mit dünnen, durchgezogenen Linien sowohl mit dem Anfangspunkt als auch mit dem Endpunkt des dazugehörigen Kreisbogens verbunden. Der Schneckenaußenradius ist jeweils für das erzeugende und das erzeugte Schneckenprofil annähernd gleich groß. Im Bereich des Schneckengehäuses ist der Schneckenaußenradius durch eine dünne, gestrichelte Linie gekennzeichnet, im Zwickelbereich durch eine dünne, gepunktete Linie.

**[0048]** Die **Fig. 61a** zeigt ein Paar von zweigängigen Schneckenprofilen, mit denen der Übergang gestartet wird. Das erzeugende und das erzeugte Schneckenprofil sind zueinander symmetrisch. Die Kreisbögen **1** und **9** des erzeugenden Schneckenprofils berühren auf ihrer gesamten Länge den Schneckenaußenradius. Die Kreisbögen **4**, **5** und **12**, **13** des erzeugenden Schneckenprofils berühren auf

ihrer gesamten Länge den Kernradius. Die Kreisbögen **4'**, **5'** und **12'**, **13'** des erzeugten Schneckenprofils berühren auf ihrer gesamten Länge den Schneckenaußenradius. Die Kreisbögen **1'** und **9'** des erzeugten Schneckenprofils berühren auf ihrer gesamten Länge den Kernradius.

**[0049]** Die [Fig. 61f](#) zeigt ein Paar von eingängigen Schneckenprofilen, mit denen der Übergang endet. Das erzeugende und das erzeugte Schneckenprofil sind zueinander symmetrisch. Die Kreisbögen **1** und **12** des erzeugenden Schneckenprofils berühren auf ihrer gesamten Länge den Schneckenaußenradius. Die Kreisbögen **4** und **9** des erzeugenden Schneckenprofils berühren auf ihrer gesamten Länge den Kernradius. Die Kreisbögen **4'** und **9'** des erzeugten Schneckenprofils berühren auf ihrer gesamten Länge den Schneckenaußenradius. Die Kreisbögen **1'** und **12'** des erzeugten Schneckenprofils berühren auf ihrer gesamten Länge den Kernradius.

**[0050]** Die [Fig. 61b](#) zeigt ein Paar von Übergangprofilen, bei denen der Übergang von den zweigängigen Schneckenprofilen zu den eingängigen Schneckenprofilen zu 20% vollzogen ist. Die [Fig. 61c](#) zeigt ein Paar von Übergangprofilen, bei denen der Übergang zu 40% vollzogen ist. Die [Fig. 61d](#) zeigt ein Paar von Übergangprofilen, bei denen der Übergang zu 60% vollzogen ist. Die [Fig. 61e](#) zeigt ein Paar von Übergangprofilen, bei denen der Übergang zu 80% vollzogen ist.

**[0051]** Der Übergang erfolgt dergestalt, dass immer der Kreisbogen **1** des erzeugenden Schneckenprofils auf seiner gesamten Länge den dimensionslosen Schneckenaußenradius  $RA$  berührt, wodurch der zugehörige Kreisbogen **1'** des erzeugten Schneckenprofils auf seiner gesamten Länge den dimensionslosen Kernradius  $RI'$  berührt. Der Übergang erfolgt dergestalt, dass immer der Kreisbogen **4'** des erzeugten Schneckenprofils den dimensionslosen Schneckenaußenradius  $RA'$  berührt, wodurch der zugehörige Kreisbogen **4** des erzeugenden Schneckenprofils den dimensionslosen Kernradius  $RI$  berührt. Dadurch, dass immer ein Kreisbogen des erzeugenden und des erzeugten Schneckenprofils auf dem Schneckenaußenradius liegt oder ihn berührt, wird während des gesamten Übergangs die Abreinigung der Gehäuseinnenoberfläche gewährleistet. Ferner ist aus den [Fig. 61b](#) bis [Fig. 61e](#) ersichtlich, dass das erzeugende und das erzeugte Schneckenprofil asymmetrisch sind. Ein Paar von Übergangselementen besteht immer aus einem ersten Übergangselement, welches auf den erzeugenden Übergangprofilen beruht, und aus einem zweiten Übergangselement, welches auf den erzeugten Übergangprofilen beruht.

**[0052]** Die [Fig. 61](#) zeigt Übergangprofile, in denen der dimensionslose Schneckenaußenradius des erzeugenden Schneckenprofils und der dimensionslo-

se Schneckenaußenradius des erzeugten Schneckenprofils im Bereich von  $RA = RA' = 0,6146$  bis  $RA = RA' = 0,6288$  liegen. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung von ebenen, dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen ist nicht auf diesen Bereich des dimensionslosen Schneckenaußenradius limitiert. Unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens können Schneckenprofile mit einem dimensionslosen Schneckenaußenradius des erzeugenden Schneckenprofils zwischen  $RA$  größer 0 und  $RA$  kleiner oder gleich 1, bevorzugt im Bereich von  $RA = 0,52$  bis  $RA = 0,707$  erzeugt werden. Unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens können Schneckenprofile mit einem dimensionslosen Schneckenaußenradius des erzeugten Schneckenprofils zwischen  $RA'$  größer 0 und  $RA'$  kleiner oder gleich 1, bevorzugt im Bereich von  $RA' = 0,52$  bis  $RA' = 0,707$  erzeugt werden.

**[0053]** Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung ebener, dicht kämmender, selbstreinigender und gleichsinnig drehender Schneckenprofile soll beispielhaft an dem Paar von Schneckenprofilen in [Fig. 61d](#) erläutert werden.

**[0054]** Das erzeugende und erzeugte Schneckenprofil liegen erfindungsgemäß in einer Ebene. Der Einfachheit halber wird diese Ebene in die  $xy$ -Ebene eines kartesischen Koordinatensystems gelegt. Ebenfalls der Einfachheit halber wird der Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils in den Ursprung des kartesischen Koordinatensystems gelegt ( $x = 0$ ,  $y = 0$ ). Der dimensionslose Achsabstand zwischen den beiden Drehpunkten des erzeugenden und des erzeugten Schneckenprofils beträgt  $A = 1$ . Der Einfachheit halber wird der Drehpunkt des erzeugten Schneckenprofils auf die Koordinate  $x = A = 1$ ,  $y = 0$  gelegt.

**[0055]** Die Anzahl der Kreisbögen  $n$  des erzeugenden Schneckenprofils wird erfindungsgemäß so gewählt, dass  $n$  größer oder gleich 1 ist. In dem vorliegenden Beispiel wird die Anzahl der Kreisbögen zu  $n = 16$  gewählt. Der dimensionslose Schneckenaußenradius  $RA$  des erzeugenden Schneckenprofils wird erfindungsgemäß so gewählt, dass er größer 0 und kleiner oder gleich dem dimensionslosen Achsabstand  $A$  ist. In dem vorliegenden Beispiel wird der dimensionslose Schneckenaußenradius des erzeugenden Schneckenprofils zu  $RA = 0,6203$  gewählt. Der dimensionslose Kernradius  $RI$  des erzeugenden Schneckenprofils wird erfindungsgemäß so gewählt, dass er größer 0 und kleiner oder gleich dem dimensionslosen Schneckenaußenradius  $RA$  ist. In dem vorliegenden Beispiel wird der dimensionslose Kernradius des erzeugenden Schneckenprofils zu  $RI = 0,3798$  gewählt.

**[0056]** Die Kreisbögen des erzeugenden Schne-

ckenprofils können im oder gegen den Uhrzeigersinn um die Drehachse des erzeugenden Schneckenprofils angeordnet werden. In dem vorliegenden Beispiel werden die Kreisbögen gegen den Uhrzeigersinn um die Drehachse des erzeugenden Schneckenprofils angeordnet.

**[0057]** Der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils wird erfindungsgemäß so gewählt, dass er im Bogenmaß größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich  $2\pi$  ist. In dem vorliegenden Beispiel wird der Winkel des 1. Kreisbogens zu  $\alpha_1 = 0,2744$  gewählt. Der dimensionslose Radius  $R_1$  des 1. Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils wird erfindungsgemäß so gewählt, dass er größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich dem dimensionslosen Achsabstand  $A$  ist. In dem vorliegenden Beispiel wird der dimensionslose Radius des 1. Kreisbogens zu  $R_1 = RA = 0,6203$  gewählt. Die Position des 1. Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils wird erfindungsgemäß so gewählt, dass der 1. Kreisbogen innerhalb oder auf den Grenzen eines Kreisrings mit dem dimensionslosen Außenradius  $RA$  und dem dimensionslosen Innenradius  $RI$  liegt, dessen Mittelpunkt auf dem Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils liegt. Die Position wird bevorzugt durch die Positionierung des Anfangspunkts und des Mittelpunkts des 1. Kreisbogens festgelegt. In dem vorliegenden Beispiel wird der Anfangspunkt des 1. Kreisbogens auf die Koordinate  $x = RA = 0,6203$ ,  $y = 0,0000$  und der Mittelpunkt des 1. Kreisbogens auf die Koordinate  $Mx_1 = 0,0000$ ,  $My_1 = 0,0000$  gelegt. Damit liegt der 1. Kreisbogen auf dem Schneckenaußenradius  $RA$  und die Anordnungsregel, dass mindestens ein Kreisbogen den Schneckenaußenradius  $RA$  berührt, ist erfüllt.

**[0058]** Die Winkel  $\alpha_2, \dots, \alpha_{(n-1)}$  von  $n-2$  weiteren Kreisbögen, also 14 weiteren Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils werden erfindungsgemäß so gewählt, dass sie im Bogenmaß größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich  $2\pi$  sind. In dem vorliegenden Beispiel werden die Winkel dieser 14 weiteren Kreisbögen zu  $\alpha_2 = 0,6330$ ,  $\alpha_3 = 0,6330$ ,  $\alpha_4 = 0,2208$ ,  $\alpha_5 = 0,1864$ ,  $\alpha_6 = 0,4003$ ,  $\alpha_7 = 0,4003$ ,  $\alpha_8 = 0,3934$ ,  $\alpha_9 = 0,2744$ ,  $\alpha_{10} = 0,6330$ ,  $\alpha_{11} = 0,6330$ ,  $\alpha_{12} = 0,2208$ ,  $\alpha_{13} = 0,1864$ ,  $\alpha_{14} = 0,4143$  und  $\alpha_{15} = 0,4143$  gewählt. Die dimensionslosen Radien  $R_2, \dots, R_{(n-1)}$  dieser 14 weiteren Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils werden erfindungsgemäß so gewählt, dass sie größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich dem dimensionslosen Achsabstand  $A$  sind. In dem vorliegenden Beispiel werden die dimensionslosen Radien dieser weiteren 14 Kreisbögen zu  $R_2 = 0,0000$ ,  $R_3 = 1,0000$ ,  $R_4 = 0,3797$ ,  $R_5 = 0,7485$ ,  $R_6 = 0,4726$ ,  $R_7 = 0,4726$ ,  $R_8 = 0,1977$ ,  $R_9 = 0,4827$ ,  $R_{10} = 0,6000$ ,  $R_{11} = 0,4000$ ,  $R_{12} = 0,5173$ ,  $R_{13} = 0,1485$ ,  $R_{14} = 0,8887$  und  $R_{15} = 0,8887$  gewählt. Gemäß den Anordnungsregeln werden die Kreisbö-

gen so angeordnet, dass die Kreisbögen derart tangential ineinander übergehen, dass sich ein geschlossenes, konvexes Schneckenprofil ergibt, wobei ein Kreisbogen, dessen dimensionsloser Radius gleich 0 ist, wie ein Kreisbogen behandelt wird, dessen dimensionsloser Radius gleich  $\epsilon$  ist, wobei  $\epsilon$  eine sehr kleine positive reelle Zahl ist, die gegen 0 strebt ( $\epsilon \ll 1$ ,  $\epsilon \rightarrow 0$ ). Aus dieser Anordnungsregel folgt, dass der Endpunkt eines Kreisbogens gleich dem Anfangspunkt seines nachfolgenden Kreisbogens ist. Der geforderte tangentielle Übergang zwischen einem ersten Kreisbogen und einem zweiten, nachfolgenden Kreisbogen wird dadurch erfüllt, dass der Mittelpunkt dieses zweiten, nachfolgenden Kreisbogens so auf die Gerade, die durch den Endpunkt und den Mittelpunkt dieses ersten Kreisbogens gegeben ist, gelegt wird, dass der Abstand des Mittelpunkts dieses zweiten, nachfolgenden Kreisbogens von dem Endpunkt dieses ersten Kreisbogens gleich dem Radius dieses zweiten, nachfolgenden Kreisbogens ist und das Schneckenprofil konvex ist. Ein Kreisbogen, dessen Radius gleich 0 ist, wird wie ein Kreisbogen mit einem sehr kleinen Radius  $\epsilon$  behandelt, wobei  $\epsilon$  gegen 0 strebt, so dass sich der tangentielle Übergang weiterhin konstruieren lässt. Alternativ kann ein Kreisbogen, dessen Radius gleich 0 ist, so behandelt werden, dass das Schneckenprofil an der Position dieses Kreisbogens einen Knick aufweist, wobei die Größe des Knicks durch den Winkel dieses Kreisbogens gegeben ist. In dem vorliegenden Beispiel resultieren aus der beschriebenen Anordnungsregel die folgenden Positionen der Mittelpunkte der 14 weiteren Kreisbögen:  $Mx_2 = 0,5971$ ,  $My_2 = 0,1681$ ,  $Mx_3 = -0,0187$ ,  $My_3 = -0,6198$ ,  $Mx_4 = 0,0001$ ,  $My_4 = 0,0002$ ,  $Mx_5 = 0,0699$ ,  $My_5 = -0,3619$ ,  $Mx_6 = -0,0316$ ,  $My_6 = -0,1054$ ,  $Mx_7 = -0,0316$ ,  $My_7 = -0,1054$ ,  $Mx_8 = -0,2855$ ,  $My_8 = 0,0000$ ,  $Mx_9 = -0,0005$ ,  $My_9 = 0,0000$ ,  $Mx_{10} = 0,1124$ ,  $My_{10} = 0,0318$ ,  $Mx_{11} = -0,0107$ ,  $My_{11} = -0,1258$ ,  $Mx_{12} = -0,0072$ ,  $My_{12} = -0,0086$ ,  $Mx_{13} = 0,0626$ ,  $My_{13} = -0,3707$ ,  $Mx_{14} = -0,2097$ ,  $My_{14} = 0,3176$ ,  $Mx_{15} = -0,2097$ ,  $My_{15} = 0,3176$ . Der Endpunkt des 4. Kreisbogens bzw. der Anfangspunkt des 5. Kreisbogens liegt auf dem dimensionslosen Kernradius  $RI$  des erzeugenden Schneckenprofils und die Anordnungsregel, dass mindestens ein Kreisbogen den dimensionslosen Kernradius  $RI$  berührt, ist erfüllt.

**[0059]** Der Winkel  $\alpha_{16}$  des letzten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils ergibt sich erfindungsgemäß daraus, dass die Summe der Winkel der 16 Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils im Bogenmaß gleich  $2\pi$  ist, wobei der Winkel  $\alpha_{16}$  im Bogenmaß größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich  $2\pi$  ist. In dem vorliegenden Beispiel ergibt sich der Winkel dieses letzten Kreisbogens zu  $\alpha_{16} = 0,3654$ . Der dimensionslose Radius  $R_{16}$  des letzten Kreisbogens des erzeugenden Schnecken-

profils ergibt sich erfindungsgemäß daraus, dass dieser letzte Kreisbogen das erzeugende Schneckenprofil schließt. Da der Endpunkt des 15. Kreisbogens gleich dem Anfangspunkt des ersten Kreisbogens ist, ergibt sich der Radius des 16. Kreisbogens zu  $R_{16} = 0,0000$ . Der Mittelpunkt des 16. Kreisbogens liegt damit in den Koordinaten  $Mx_{16} = 0,6203$ ,  $My_{16} = 0,0000$ .

**[0060]** Die Anordnungsregel, dass alle Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils innerhalb oder auf den Grenzen eines Kreisrings mit dem dimensionslosen Außenradius  $RA$  und dem dimensionslosen Kernradius  $RI$  liegen, dessen Mittelpunkt auf dem Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils liegt, ist durch die im vorliegenden Beispiel getroffene Wahl der Winkel und Radien der 16 Kreisbögen und deren Positionierung ebenfalls erfüllt. Das erzeugte Schneckenprofil ergibt sich aus dem erzeugenden Schneckenprofil. Die Anzahl der Kreisbögen  $n'$  des erzeugten Schneckenprofils ist erfindungsgemäß gleich der Anzahl der Kreisbögen  $n$  des erzeugenden Schneckenprofils. In dem vorliegenden Beispiel ergibt sich die Anzahl der Kreisbögen des erzeugten Schneckenprofils zu  $n' = 16$ . Der dimensionslose Schneckenaußenradius  $RA'$  des erzeugten Schneckenprofils ist erfindungsgemäß gleich der Differenz des dimensionslosen Achsabstandes  $A$  minus des dimensionslosen Kernradius  $RI$  des erzeugenden Schneckenprofils. In dem vorliegenden Beispiel ergibt sich der dimensionslose Schneckenaußenradius des erzeugten Schneckenprofils zu  $RA' = A - RI = 0,6202$ . Der dimensionslose Kernradius  $RI'$  des erzeugten Schneckenprofils ist erfindungsgemäß gleich der Differenz des dimensionslosen Achsabstandes  $A$  minus des dimensionslosen Schneckenaußenradius  $RA$  des erzeugenden Schneckenprofils. In dem vorliegenden Beispiel ergibt sich der dimensionslose Kernradius des erzeugten Schneckenprofils zu  $RI' = A - RA = 0,3797$ .

**[0061]** Der Winkel  $\alpha_{i'}$  des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils ist erfindungsgemäß gleich dem Winkel  $\alpha_i$  des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils, wobei  $i$  und  $i'$  ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich von 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen  $n$  beziehungsweise  $n'$  durchlaufen. In dem vorliegenden Beispiel ergeben sich die Winkel der 16 Kreisbögen des erzeugten Schneckenprofils zu  $\alpha_{1'} = \alpha_1 = 0,2744$ ,  $\alpha_{2'} = \alpha_2 = 0,6330$ ,  $\alpha_{3'} = \alpha_3 = 0,6330$ ,  $\alpha_{4'} = \alpha_4 = 0,2208$ ,  $\alpha_{5'} = \alpha_5 = 0,1864$ ,  $\alpha_{6'} = \alpha_6 = 0,4003$ ,  $\alpha_{7'} = \alpha_7 = 0,4003$ ,  $\alpha_{8'} = \alpha_8 = 0,3934$ ,  $\alpha_{9'} = \alpha_9 = 0,2744$ ,  $\alpha_{10'} = \alpha_{10} = 0,6330$ ,  $\alpha_{11'} = \alpha_{11} = 0,6330$ ,  $\alpha_{12'} = \alpha_{12} = 0,2208$ ,  $\alpha_{13'} = \alpha_{13} = 0,1864$ ,  $\alpha_{14'} = \alpha_{14} = 0,4143$ ,  $\alpha_{15'} = \alpha_{15} = 0,4143$  und  $\alpha_{16'} = \alpha_{16} = 0,3654$ .

**[0062]** Die Summe des dimensionslosen Radius  $R_{i'}$  des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schne-

ckenprofils und des dimensionslosen Radius  $R_i$  des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils ist erfindungsgemäß gleich dem dimensionslosen Achsabstand  $A$ , wobei  $i$  und  $i'$  ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen  $n$  beziehungsweise  $n'$  durchlaufen ( $R_{1'} + R_1 = A = 1, \dots, R_{n'} + R_n = A = 1$ ). In dem vorliegenden Beispiel ergeben sich die Radien der 16 Kreisbögen des erzeugten Schneckenprofils zu  $R_{1'} = A - R_1 = 1 - 0,6203 = 0,3797$ ,  $R_{2'} = A - R_2 = 1 - 0,0000 = 1,0000$ ,  $R_{3'} = A - R_3 = 1 - 1,0000 = 0,0000$ ,  $R_{4'} = A - R_4 = 1 - 0,3797 = 0,6203$ ,  $R_{5'} = A - R_5 = 1 - 0,7485 = 0,2515$ ,  $R_{6'} = A - R_6 = 1 - 0,4726 = 0,5274$ ,  $R_{7'} = A - R_7 = 1 - 0,4726 = 0,5274$ ,  $R_{8'} = A - R_8 = 1 - 0,1977 = 0,8023$ ,  $R_{9'} = A - R_9 = 1 - 0,4827 = 0,5173$ ,  $R_{10'} = A - R_{10} = 1 - 0,6000 = 0,4000$ ,  $R_{11'} = A - R_{11} = 1 - 0,4000 = 0,6000$ ,  $R_{12'} = A - R_{12} = 1 - 0,5173 = 0,4827$ ,  $R_{13'} = A - R_{13} = 1 - 0,1485 = 0,8515$ ,  $R_{14'} = A - R_{14} = 1 - 0,8887 = 0,1113$ ,  $R_{15'} = A - R_{15} = 1 - 0,8887 = 0,1113$  und  $R_{16'} = A - R_{16} = 1 - 0,0000 = 1,0000$ .

**[0063]** Der Mittelpunkt des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils besitzt erfindungsgemäß einen Abstand von dem Mittelpunkt des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils, der gleich dem dimensionslosen Achsabstand  $A$  ist, und der Mittelpunkt des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils besitzt erfindungsgemäß einen Abstand von dem Drehpunkt des erzeugten Schneckenprofils, der gleich dem Abstand des Mittelpunkts des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils von dem Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils ist, und die Verbindungslinie zwischen dem Mittelpunkt des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils und dem Mittelpunkt des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils ist erfindungsgemäß eine Parallele zu einer Verbindungslinie zwischen dem Drehpunkt des erzeugten Schneckenprofils und dem Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils, wobei  $i$  und  $i'$  ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen  $n$  beziehungsweise  $n'$  durchlaufen ( $i' = i$ ). Durch die Positionierung des Drehpunktes des erzeugenden Schneckenprofils in den Punkt  $x = 0$ ,  $y = 0$  und durch die Positionierung des Drehpunktes des erzeugten Schneckenprofils in den Punkt  $x = A = 1$ ,  $y = 0$  ergibt sich die  $x$ -Koordinate eines Kreismittelpunkts  $Mx_{i'}$  des erzeugten Schneckenprofils aus der Addition der  $x$ -Koordinate des Kreismittelpunkts  $Mx_i$  des erzeugenden Schneckenprofils plus des dimensionslosen Achsabstandes  $A$  und die  $y$ -Koordinate des Kreismittelpunkts  $My_{i'}$  des erzeugten Schneckenprofils ist gleich der  $y$ -Koordinate des Kreismittelpunkts  $My_i$  des erzeugenden Schneckenprofils. In dem vorliegenden Beispiel ergeben sich die Positionen der Mittelpunkte der 16 Kreisbögen des erzeugten Schneckenprofils zu  $Mx_{1'} = 1,0000$ ,  $My_{1'} = 0,0000$ ,  $Mx_{2'} = 1,5971$ ,

$My_{2'} = 0,1681$ ,  $Mx_{3'} = 0,9813$ ,  $My_{3'} = -0,6198$ ,  
 $Mx_{4'} = 1,0001$ ,  $My_{4'} = 0,0002$ ,  $Mx_{5'} = 1,0699$ ,  
 $My_{5'} = -0,3619$ ,  $Mx_{6'} = 0,9684$ ,  $My_{6'} = -0,1054$ ,  
 $Mx_{7'} = 0,9684$ ,  $My_{7'} = -0,1054$ ,  $Mx_{8'} = 0,7145$ ,  
 $My_{8'} = 0,0000$ ,  $Mx_{9'} = 0,9995$ ,  $My_{9'} = 0,0000$ ,  
 $Mx_{10'} = 1,1124$ ,  $My_{10'} = 0,0318$ ,  $Mx_{11'} = 0,9893$ ,  
 $My_{11'} = -0,1258$ ,  $Mx_{12'} = 0,9928$ ,  $My_{12'} =$   
 $-0,0086$ ,  $Mx_{13'} = 1,0626$ ,  $My_{13'} = -0,3707$ ,  
 $Mx_{14'} = 0,7903$ ,  $My_{14'} = 0,3176$ ,  $Mx_{15'} = 0,7903$ ,  
 $My_{15'} = 0,3176$  und  $Mx_{16'} = 1,6203$ ,  $My_{16'} =$   
 $0,0000$ .

**[0064]** Ein Anfangspunkt des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils liegt erfindungsgemäß in einer Richtung bezogen auf den Mittelpunkt des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils, die entgegengesetzt derjenigen Richtung ist, die ein Anfangspunkt des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils bezogen auf den Mittelpunkt des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils besitzt, wobei  $i$  und  $i'$  ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen  $n$  beziehungsweise  $n'$  durchlaufen ( $i' = i$ ). In dem vorliegenden Beispiel liegt daher beispielsweise der Anfangspunkt des 1. Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils auf der Koordinate  $x = 0,6203$ ,  $y = 0$ .

**[0065]** Aus dem erfindungsgemäßen Verfahren zur Erzeugung von ebenen, dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen folgt in dem vorliegenden Beispiel für das erzeugte Schneckenprofil, dass alle 16 Kreisbögen des erzeugten Schneckenprofils tangential ineinander übergehen und ein geschlossen, konvexes Schneckenprofil bilden. Auch liegen alle 16 Kreisbögen des erzeugten Schneckenprofils innerhalb oder auf den Grenzen eines Kreisrings mit dem dimensionslosen Außenradius  $RA'$  und dem dimensionslosen Kernradius  $RI'$ , dessen Mittelpunkt auf dem Drehpunkt des erzeugten Schneckenprofils liegt. Ferner liegt der 1. Kreisbogen des erzeugten Schneckenprofils auf dem dimensionslosen Kernradius  $RI'$  und die Anordnungsregel, dass mindestens ein Kreisbogen den dimensionslosen Kernradius  $RI'$  berührt, ist erfüllt. Ferner liegt der Endpunkt des 4. Kreisbogens bzw. der Anfangspunkt des 5. Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils auf dem dimensionslosen Schneckenaußenradius  $RA'$  des erzeugten Schneckenprofils und die Anordnungsregel, dass mindestens ein Kreisbogen den dimensionslosen Schneckenaußenradius  $RA'$  berührt, ist erfüllt.

**[0066]** Aus dem Verfahren zur Erzeugung von ebenen, dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen mit einer Gangzahl  $z$  folgt für das erzeugte Schneckenprofil, dass jeder der Abschnitte des erzeugten Schneckenprofils derart aufgebaut ist, dass die Radien der Kreisbögen des erzeugten Schneckenprofils in umgekehrter Reihen-

folge gleich den Radien der Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils sind. Wie der Fachmann erkennt, lassen sich die Profilabschnitte des erzeugenden Schneckenprofils und des erzeugten Schneckenprofils durch Rotation und Spiegeln zur Deckung bringen. In den nachfolgenden Figuren, die Abschnitte von Schneckenprofilen unterschiedlicher Gangzahl behandeln, wird daher häufig nicht mehr zwischen dem erzeugenden und dem erzeugten Schneckenprofil unterschieden, sondern nur noch von Schneckenprofilen gesprochen.

**[0067]** Die Fig. 1 bis 24 zeigen nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erhaltene Schneckenprofile der Gangzahl 1. In den Fig. 1 bis 20 werden immer die Hälfte und damit ein Abschnitt eines Schneckenprofils der Gangzahl 1 gezeigt. Alle diese Figuren weisen den gleichen Aufbau auf, der nachfolgend im Detail beschrieben wird. In der Mitte der Figuren liegt das  $xy$ -Koordinatensystem, in dessen Ursprung sich der Drehpunkt des Schneckenprofils befindet. Die Kreisbögen des Schneckenprofils sind durch dicke, durchgezogene Linien gekennzeichnet, die mit den jeweiligen Nummern der Kreisbögen versehen sind. Die Mittelpunkte der Kreisbögen werden durch kleine Kreise dargestellt. Die Mittelpunkte der Kreisbögen sind mit dünnen, durchgezogenen Linien sowohl mit dem Anfangspunkt als auch mit dem Endpunkt des dazugehörigen Kreisbogens verbunden. Die Gerade FP wird durch eine dünne, gepunktete Linie dargestellt. Der Schneckenaußenradius  $RA$  wird durch eine dünne, gestrichelte Linie charakterisiert, dessen Zahlenwert rechts unten in der Figur auf vier signifikante Stellen angegeben wird. Rechts neben den Figuren werden zu jedem Kreisbogen der Radius  $R$ , der Winkel  $\alpha$  und die  $x$ - und  $y$ -Koordinate des Kreisbogenmittelpunkts  $Mx$  und  $My$  jeweils auf vier signifikante Stellen angegeben. Durch diese Angaben ist das Schneckenprofil eindeutig definiert.

**[0068]** Die Fig. 1 bis 24 zeigen Schneckenprofile und Schneckenelemente, in denen der dimensionslose Schneckenaußenradius  $RA$  die Werte 0,54, 0,56, 0,57, 0,58 und 0,63 hat. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung von ebenen, dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen der Gangzahl  $z$  ist nicht auf diese diskreten Werte des dimensionslosen Schneckenaußenradius limitiert. Unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens können eingängige Schneckenprofile mit einem dimensionslosen Schneckenaußenradius zwischen  $RA$  größer 0,5 und  $RA$  kleiner oder gleich 1, bevorzugt im Bereich von  $RA = 0,52$  bis  $RA = 0,707$  erzeugt werden.

**[0069]** Schneckenprofile, bei denen ein Abschnitt des Schneckenprofils aus insgesamt 2 Kreisbögen bestehen, werden nachfolgend als 2-Kreis-Schneckenprofile bezeichnet. Schneckenprofile, bei denen ein Abschnitt des Schneckenprofils aus insgesamt 4

Kreisbögen bestehen, werden nachfolgend als 4-Kreis-Schneckenprofile bezeichnet. Schneckenprofile, bei denen ein Abschnitt des Schneckenprofils aus insgesamt 6 Kreisbögen bestehen, werden nachfolgend als 6-Kreis-Schneckenprofile bezeichnet. Schneckenprofile, bei denen ein Abschnitt des Schneckenprofils aus insgesamt 8 Kreisbögen bestehen, werden nachfolgend als 8-Kreis-Schneckenprofile bezeichnet.

**[0070]** Fig. 1: Die [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) zeigen bevorzugte 2-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) unterscheiden sich durch den Schneckenaußenradius RA. In der [Fig. 1a](#) beträgt der Schneckenaußenradius RA = 0,58. In der [Fig. 1b](#) beträgt der Schneckenaußenradius RA = 0,63. In den [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = A/2 = 0,5$ . In den [Fig. 1a](#) und [Fig. 1b](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_1 = \pi/2$ .

**[0071]** Fig. 2: Die [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) zeigen bevorzugte 4-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) unterscheiden sich durch den Schneckenaußenradius RA. In der [Fig. 2a](#) beträgt der Schneckenaußenradius RA = 0,58. In der [Fig. 2b](#) beträgt der Schneckenaußenradius RA = 0,63. In den [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0$ . In den [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) ist der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens vom Schneckenaußenradius RA abhängig. In den [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) ist der Radius  $\alpha_2$  des 2. Kreisbogens vom Schneckenaußenradius RA abhängig.

**[0072]** Fig. 3: Die [Fig. 3a](#) und [Fig. 3b](#) zeigen weitere bevorzugte 4-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 3a](#) und [Fig. 3b](#) unterscheiden sich durch den Schneckenaußenradius RA. In der [Fig. 3a](#) beträgt der Schneckenaußenradius RA = 0,58. In der [Fig. 3b](#) beträgt der Schneckenaußenradius RA = 0,63. In den [Fig. 3a](#) und [Fig. 3b](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = 0$ . In den [Fig. 3a](#) und [Fig. 3b](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = A = 1$ . In den [Fig. 3a](#) und [Fig. 3b](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_1 = \pi/6$ . In den [Fig. 3a](#) und [Fig. 3b](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_2 = \pi/3$ .

**[0073]** Fig. 4: Die [Fig. 4a](#) bis [Fig. 4d](#) zeigen weitere bevorzugte 4-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 4a](#) bis [Fig. 4d](#) zeigen einen bevorzugten Übergang zwischen der [Fig. 3b](#) und der [Fig. 1b](#). In den [Fig. 4a](#) bis [Fig. 4d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils RA = 0,63. In den [Fig. 4a](#) bis [Fig. 4d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = 0$ . In den [Fig. 4a](#) bis [Fig. 4d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert.

**[0074]** Fig. 5: Die [Fig. 5a](#) bis [Fig. 5d](#) zeigen weitere

bevorzugte 4-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 5a](#) bis [Fig. 5d](#) zeigen einen weiteren bevorzugten Übergang zwischen der [Fig. 3b](#) und der [Fig. 1b](#). In den [Fig. 5a](#) bis [Fig. 5d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils RA = 0,63. In den [Fig. 5a](#) bis [Fig. 5d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_1 = \pi/6$ . In den [Fig. 5a](#) bis [Fig. 5d](#) wird der Radius  $R_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise vergrößert.

**[0075]** Fig. 6: Die [Fig. 6a](#) bis [Fig. 6d](#) zeigen weitere bevorzugte 4-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 6a](#) bis [Fig. 6d](#) zeigen einen weiteren bevorzugten Übergang zwischen der [Fig. 3b](#) und der [Fig. 1b](#). In den [Fig. 6a](#) bis [Fig. 6d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils RA = 0,63. In den [Fig. 6a](#) bis [Fig. 6d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = A = 1$ . In den [Fig. 6a](#) bis [Fig. 6d](#) wird der Radius  $R_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise vergrößert.

**[0076]** Fig. 7: Die [Fig. 7a](#) bis [Fig. 7d](#) zeigen weitere bevorzugte 4-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 7a](#) bis [Fig. 7d](#) zeigen einen bevorzugten Übergang zwischen der [Fig. 2b](#) und der [Fig. 1b](#). In den [Fig. 7a](#) bis [Fig. 7d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils RA = 0,63. In den [Fig. 7a](#) bis [Fig. 7d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 7a](#) bis [Fig. 7d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert.

**[0077]** Fig. 8: Die [Fig. 8a](#) bis [Fig. 8d](#) zeigen weitere bevorzugte 4-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 8a](#) bis [Fig. 8d](#) zeigen einen weiteren bevorzugten Übergang zwischen der [Fig. 2b](#) und der [Fig. 1b](#). In den [Fig. 8a](#) bis [Fig. 8d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils RA = 0,63. In den [Fig. 8a](#) bis [Fig. 8d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0$ . In den [Fig. 8a](#) bis [Fig. 8d](#) wird der Radius  $R_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert und der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise vergrößert.

**[0078]** Ein direkter Übergang zwischen [Fig. 2b](#) und [Fig. 3b](#) ist mittels eines 4-Kreis-Schneckenprofils nicht möglich. Der Übergang erfolgt in einem solchen Fall über [Fig. 1b](#).

**[0079]** Fig. 9: Die [Fig. 9a](#) bis [Fig. 9d](#) zeigen bevorzugte 6-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 9a](#) bis [Fig. 9d](#) zeigen einen bevorzugten Übergang zwischen der [Fig. 2a](#) und der [Fig. 3a](#). In den [Fig. 9a](#) bis [Fig. 9d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils RA = 0,58. In den [Fig. 9a](#) bis [Fig. 9d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 9a](#) bis [Fig. 9d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0$ . In den [Fig. 9a](#) bis [Fig. 9d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = A = 1$ . In den [Fig. 9a](#) bis [Fig. 9d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert.

**[0080]** Fig. 10: Die [Fig. 10a](#) bis [Fig. 10d](#) zeigen weitere bevorzugte 6-Kreis-Schneckenprofile. Die

[Fig. 10a](#) bis [Fig. 10d](#) zeigen einen weiteren bevorzugten Übergang zwischen der [Fig. 2a](#) und einer Figur, die ähnlich der [Fig. 4b](#) ist. In den [Fig. 10a](#) bis [Fig. 10d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,58$ . In den [Fig. 10a](#) bis [Fig. 10d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 10a](#) bis [Fig. 10d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0$ . In den [Fig. 10a](#) bis [Fig. 10d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = 0,75$ . In den [Fig. 10a](#) bis [Fig. 10d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert.

**[0081]** **Fig. 11:** Die [Fig. 11a](#) bis [Fig. 11d](#) zeigen weitere bevorzugte 6-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 11a](#) bis [Fig. 11d](#) zeigen einen weiteren bevorzugten Übergang zwischen der [Fig. 2a](#) und der [Fig. 1a](#). In den [Fig. 11a](#) bis [Fig. 11d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,58$ . In den [Fig. 11a](#) bis [Fig. 11d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 11a](#) bis [Fig. 11d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0$ . In den [Fig. 11a](#) bis [Fig. 11d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = 0,5$ . In den [Fig. 11a](#) bis [Fig. 11d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert

**[0082]** Neben den bereits geschilderten Übergängen der Schneckenprofile innerhalb der einzelnen Figuren ist auch ein figurübergreifender Übergang möglich. Beispielsweise können die Schneckenprofile der [Fig. 9a](#), [Fig. 10a](#), [Fig. 11a](#) oder der [Fig. 9b](#), [Fig. 10b](#), [Fig. 11b](#) schrittweise ineinander übergehen.

**[0083]** **Fig. 12:** Die [Fig. 12a](#) bis [Fig. 12d](#) zeigen weitere bevorzugte 6-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 12a](#) bis [Fig. 12d](#) zeigen einen weiteren bevorzugten Übergang ausgehend von [Fig. 2a](#). In den [Fig. 12a](#) bis [Fig. 12d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,58$ . In den [Fig. 12a](#) bis [Fig. 12d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 12a](#) bis [Fig. 12d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0,125$ . In den [Fig. 12a](#) bis [Fig. 12d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = A = 1$ . In den [Fig. 12a](#) bis [Fig. 12d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert.

**[0084]** **Fig. 13:** Die [Fig. 13a](#) bis [Fig. 13d](#) zeigen weitere bevorzugte 6-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 13a](#) bis [Fig. 13d](#) zeigen einen weiteren bevorzugten Übergang ausgehend von [Fig. 2a](#). In den [Fig. 13a](#) bis [Fig. 13d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,58$ . In den [Fig. 13a](#) bis [Fig. 13d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 13a](#) bis [Fig. 13d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0,125$ . In den [Fig. 13a](#) bis [Fig. 13d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = 0,75$ . In den [Fig. 13a](#) bis

[Fig. 13d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert.

**[0085]** Neben den bereits geschilderten Übergängen der Schneckenprofile innerhalb der einzelnen Figuren ist auch ein figurübergreifender Übergang möglich. Beispielsweise können die Schneckenprofile der [Fig. 12a](#) und [Fig. 13a](#) oder der [Fig. 12b](#) und [Fig. 13b](#) schrittweise ineinander übergehen.

**[0086]** **Fig. 14:** Die [Fig. 14a](#) bis [Fig. 14d](#) zeigen weitere bevorzugte 6-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 14a](#) bis [Fig. 14d](#) zeigen einen weiteren bevorzugten Übergang ausgehend von [Fig. 2a](#). In den [Fig. 14a](#) bis [Fig. 14d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,58$ . In den [Fig. 14a](#) bis [Fig. 14d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 14a](#) bis [Fig. 14d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0,25$ . In den [Fig. 14a](#) bis [Fig. 14d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = A = 1$ . In den [Fig. 14a](#) bis [Fig. 14d](#) wird der Winkel  $\alpha$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert.

**[0087]** **Fig. 15:** Die [Fig. 15a](#) bis [Fig. 15d](#) zeigen weitere bevorzugte 6-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 15a](#) bis [Fig. 15d](#) zeigen einen weiteren bevorzugten Übergang ausgehend von [Fig. 2a](#). In den [Fig. 15a](#) bis [Fig. 15d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,58$ . In den [Fig. 15a](#) bis [Fig. 15d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 15a](#) bis [Fig. 15d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0,25$ . In den [Fig. 15a](#) bis [Fig. 15d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = 0,75$ . In den [Fig. 15a](#) bis [Fig. 15d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert.

**[0088]** Neben den bereits geschilderten Übergängen der Schneckenprofile innerhalb der einzelnen Figuren ist auch ein figurübergreifender Übergang möglich. Beispielsweise können die Schneckenprofile der [Fig. 14a](#) und [Fig. 15a](#) oder der [Fig. 9a](#), [Fig. 12a](#), [Fig. 14a](#) oder der [Fig. 10a](#), [Fig. 13a](#), [Fig. 15a](#) schrittweise ineinander übergehen.

**[0089]** In den bisherigen Figuren zu eingängigen Schneckenprofilen startete das Schneckenprofil immer in dem Punkt  $x = RA, y = 0$ . In den **Fig. 16** bis **19** werden eine Auswahl von 8-Kreis-Schneckenprofile gezeigt, die an einem Punkt  $x < RA, y = 0$  starten und bei denen nur der 3. Kreisbogen auf dem Schneckenaußenradius liegt.

**[0090]** **Fig. 16:** Die [Fig. 16a](#) bis [Fig. 16d](#) zeigen bevorzugte 8-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 16a](#) bis [Fig. 16d](#) zeigen einen bevorzugten Übergang ausgehend von [Fig. 2a](#). In den [Fig. 16a](#) bis [Fig. 16d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,58$ . In den [Fig. 16a](#) bis [Fig. 16d](#) wird der Radius  $R_1$  des

1. Kreisbogens schrittweise vergrößert. In den [Fig. 16a](#) bis [Fig. 16d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0$ . In den [Fig. 16a](#) bis [Fig. 16d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = RA$  und liegt auf dem Schneckenaußenradius. In den [Fig. 16a](#) bis [Fig. 16d](#) besitzt der 4. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_4 = 0$ . In den [Fig. 16a](#) bis [Fig. 16d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert und der Winkel  $\alpha_2$  des 2. Kreisbogens schrittweise vergrößert. In den [Fig. 16a](#) bis [Fig. 16d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_3 = 0,4285$ . In den [Fig. 16a](#) bis [Fig. 16d](#) besitzt der 4. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_4 = 0,5315$ .

[0091] **Fig. 17:** Die [Fig. 17a](#) bis [Fig. 17d](#) zeigen weitere bevorzugte 8-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 17a](#) bis [Fig. 17d](#) zeigen einen weiteren bevorzugten Übergang ausgehend von [Fig. 2a](#). In den [Fig. 17a](#) bis [Fig. 17d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,58$ . In den [Fig. 17a](#) bis [Fig. 17d](#) wird der Radius  $R_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise vergrößert. In den [Fig. 17a](#) bis [Fig. 17d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0$ . In den [Fig. 17a](#) bis [Fig. 17d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = RA$  und liegt auf dem Schneckenaußenradius. In den [Fig. 17a](#) bis [Fig. 17d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert und der Winkel  $\alpha_2$  des 2. Kreisbogens schrittweise vergrößert. In den [Fig. 17a](#) bis [Fig. 17d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_3 = 0,2627$ . In den [Fig. 17a](#) bis [Fig. 17d](#) besitzt der 4. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_4 = 0,5315$ . In den [Fig. 17a](#) bis [Fig. 17d](#) besitzt der 4. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_4 = 0$ , d. h. an dieser Stelle weist das Profil einen Knick auf. Der Mittelpunkt des Kreisbogens 4 fällt mit dem Knick zusammen. Die „Größe des Knicks“ ist durch den Winkel  $\alpha_4$  gegeben, d. h. der Übergang vom Kreisbogen 3 auf den Kreisbogen 4 erfolgt durch Drehung um den Winkel  $\alpha_4$ . Oder anders ausgedrückt: eine Tangente an den Kreisbogen 3 im Mittelpunkt des Kreisbogen 4 schneidet eine Tangente an den Kreisbogen 4 ebenfalls im Mittelpunkt des Kreisbogens 4 in einem Winkel von  $\alpha_4$ . Unter Berücksichtigung des Kreisbogens 4 gehen jedoch alle benachbarten Kreisbögen 3 → 4, 4 → 4' tangential ineinander über.

[0092] Neben den bereits geschilderten Übergängen der Schneckenprofile innerhalb der einzelnen Figuren ist auch ein figurübergreifender Übergang möglich. Beispielsweise können die Schneckenprofile der [Fig. 16a](#) und [Fig. 17a](#) oder der [Fig. 16b](#) und [Fig. 17b](#) schrittweise ineinander übergehen.

[0093] **Fig. 18:** Die [Fig. 18a](#) bis [Fig. 18d](#) zeigen weitere bevorzugte 8-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 18a](#) bis [Fig. 18d](#) zeigen einen weiteren bevorzugten Übergang ausgehend von [Fig. 2a](#). In den [Fig. 18a](#) bis [Fig. 18d](#) beträgt der Schneckenaußen-

radius jeweils  $RA = 0,58$ . In den [Fig. 18a](#) bis [Fig. 18d](#) wird der Radius  $R_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise vergrößert und der Radius  $R_2$  des 2. Kreisbogens schrittweise verkleinert. In den [Fig. 18a](#) bis [Fig. 18d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = RA$  und liegt auf dem Schneckenaußenradius. In den [Fig. 18a](#) bis [Fig. 18d](#) besitzt der 4. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_4 = 0$ . In den [Fig. 18a](#) bis [Fig. 18d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert und der Winkel  $\alpha_2$  des 2. Kreisbogens schrittweise vergrößert. In den [Fig. 18a](#) bis [Fig. 18d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_3 = 0,2278$ . In den [Fig. 18a](#) bis [Fig. 18d](#) besitzt der 4. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_4 = 0,5315$ .

[0094] **Fig. 19:** Die [Fig. 19a](#) bis [Fig. 19d](#) zeigen weitere bevorzugte 8-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 19a](#) bis [Fig. 19d](#) zeigen einen bevorzugten Übergang ausgehend von [Fig. 18d](#). In den [Fig. 19a](#) bis [Fig. 19d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,58$ . In den [Fig. 19a](#) bis [Fig. 19d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = 0,9061$ . In den [Fig. 19a](#) bis [Fig. 19d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0,1385$ . In den [Fig. 19a](#) bis [Fig. 19d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = RA$  und liegt auf dem Schneckenaußenradius. In den [Fig. 19a](#) bis [Fig. 19d](#) wird der Radius  $R_4$  des 4. Kreisbogens schrittweise vergrößert. In den [Fig. 19a](#) bis [Fig. 19d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_1 = 0,4304$ . In den [Fig. 19a](#) bis [Fig. 19d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_2 = 0,3812$ . In den [Fig. 19a](#) bis [Fig. 19d](#) wird der Winkel  $\alpha_3$  des 3. Kreisbogens schrittweise verringert und der Winkel  $\alpha_4$  des 4. Kreisbogens schrittweise vergrößert.

[0095] Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung ebener, dicht kämmender, selbstreinigender und gleichsinnig drehender Schneckenprofile der Gangzahl  $z$  soll beispielhaft an dem Abschnitt eines Schneckenprofils in [Fig. 19b](#) erläutert werden.

[0096] Das Schneckenprofil und damit der Abschnitt des Schneckenprofils liegen erfindungsgemäß in einer Ebene. Der Einfachheit halber wird diese Ebene in die  $xy$ -Ebene eines kartesischen Koordinatensystems gelegt. Ebenfalls der Einfachheit halber wird der Drehpunkt des Schneckenprofils in den Ursprung des kartesischen Koordinatensystems gelegt ( $x = 0$ ,  $y = 0$ ).

[0097] Die Gangzahl  $z$  wird erfindungsgemäß so gewählt, dass  $z$  größer oder gleich 1 ist. In dem vorliegenden Beispiel wird die Gangzahl zu  $z = 1$  gewählt. Die Anzahl der Kreisbögen  $n$  des Schneckenprofils wird erfindungsgemäß so gewählt, dass  $n$  ein ganzes Vielfaches  $p$  von  $4 \cdot z$  ist. In dem vorliegenden Beispiel wird die Anzahl der Kreisbögen zu  $n = 16$  gewählt, woraus  $p = 4$  resultiert. Der dimensionslose

Schneckenaußenradius  $RA$  des Schneckenprofils wird erfindungsgemäß so gewählt, dass er größer 0 und kleiner oder gleich dem dimensionslosen Achsabstand  $A$  ist. In dem vorliegenden Beispiel wird der dimensionslose Schneckenaußenradius des Schneckenprofils zu  $RA = 0,58$  gewählt. Der dimensionslose Kernradius  $RI$  des Schneckenprofils wird erfindungsgemäß so gewählt, dass er größer 0 und kleiner oder gleich dem dimensionslosen Schneckenaußenradius  $RA$  ist. In dem vorliegenden Beispiel wird der dimensionslose Kernradius des Schneckenprofils zu  $RI = A - RA = 0,42$  gewählt.

**[0098]** Die Kreisbögen des Schneckenprofils können im oder gegen den Uhrzeigersinn um die Drehachse des Schneckenprofils angeordnet werden. In dem vorliegenden Beispiel werden die Kreisbögen gegen den Uhrzeigersinn um die Drehachse des Schneckenprofils angeordnet.

**[0099]** Das Schneckenprofil wird in  $2-z$  Abschnitte eingeteilt, die dadurch gekennzeichnet sind, dass jeder Abschnitt durch zwei Geraden begrenzt ist, die zueinander einen Winkel im Bogenmaß von  $\pi/z$  bilden und die sich im Drehpunkt des Schneckenprofils schneiden, wobei diese beiden Geraden als Abschnittsgrenzen bezeichnet werden. In dem vorliegenden Beispiel ergibt sich, dass das Schneckenprofil in zwei Abschnitte unterteilt wird. Der Einfachheit halber werden beide Abschnittsgrenzen auf die  $x$ -Achse des Koordinatensystems gelegt. In dem vorliegenden Beispiel wird im Folgenden nur der Abschnitt des Schneckenprofils betrachtet, der in positiver  $y$ -Richtung liegt.

**[0100]** Der Abschnitt des Schneckenprofils wird in einen ersten und einen zweiten Teil untergliedert, wobei der erste Teil aus  $p$  Kreisbögen und der zweite Teil aus  $p'$  Kreisbögen besteht, wobei  $p' = p$  ist. In dem vorliegenden Beispiel ergibt sich, dass  $p' = 4$  ist. Die Kreisbögen des ersten Teils des Abschnitts des Schneckenprofils können in aufsteigender oder absteigender Reihenfolge nummeriert sein. Die Kreisbögen des zweiten Teils des Abschnitts des Schneckenprofils sind in umgekehrter Reihenfolge wie die Kreisbögen des ersten Teils des Abschnitts des Schneckenprofils nummeriert. In dem vorliegenden Beispiel werden die Kreisbögen des ersten Teils des Abschnitts des Schneckenprofils in aufsteigender Reihenfolge, die Kreisbögen des zweiten Teils des Abschnitts des Schneckenprofils dementsprechend in absteigender Reihenfolge nummeriert.

**[0101]** Der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens des ersten Teils des Abschnitts des Schneckenprofils wird erfindungsgemäß so gewählt, dass er im Bogenmaß größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich  $\pi/(2-z)$  ist. In dem vorliegenden Beispiel wird der Winkel des 1. Kreisbogens zu  $\alpha_1 = 0,4304$  gewählt. Der dimensionslose Radius  $R_1$  des 1. Kreisbogens des ersten

Teils des Abschnitts des Schneckenprofils wird erfindungsgemäß so gewählt, dass er größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich dem Achsabstand  $A$  ist. In dem vorliegenden Beispiel wird der dimensionslose Radius des 1. Kreisbogens zu  $R_1 = 0,9061$  gewählt. Die Position des 1. Kreisbogens des ersten Teils des Abschnitts des Schneckenprofils wird erfindungsgemäß so gewählt, dass der 1. Kreisbogen innerhalb oder auf den Grenzen eines Kreisrings mit dem dimensionslosen Schneckenaußenradius  $RA$  und dem dimensionslosen Kernradius  $RI$  liegt, dessen Mittelpunkt auf dem Drehpunkt des Schneckenprofils liegt. Die Position wird bevorzugt durch die Positionierung des Anfangspunkts und des Mittelpunkts des 1. Kreisbogens festgelegt. In dem erfindungsgemäßen Verfahren liegen der Anfangs- und der Mittelpunkt des 1. Kreisbogens auf einer der Abschnittsgrenzen, wodurch sich der Anfangspunkt aus der Position des Mittelpunkts und des dimensionslosen Radius  $R_1$  ergibt. In dem vorliegenden Beispiel wird der Mittelpunkt des 1. Kreisbogens auf die Koordinate  $Mx_1 = -0,3937$ ,  $My_1 = 0,0000$  gelegt und der Anfangspunkt liegt damit auf der Koordinate  $x = 0,5124$ ,  $y = 0,0000$ .

**[0102]** Die Winkel  $\alpha_2, \dots, \alpha_{(p-1)}$  von  $p-2$  weiteren Kreisbögen, also von 2 weiteren Kreisbögen des ersten Teils des Abschnitts des Schneckenprofils werden erfindungsgemäß so gewählt, dass sie im Bogenmaß größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich  $\pi/(2-z)$  sind. In dem vorliegenden Beispiel werden die Winkel der 2 weiteren Kreisbögen zu  $\alpha_2 = 0,3812$  und  $\alpha_3 = 0,1580$  gewählt. Die dimensionslosen Radien  $R_2, \dots, R_{(p-1)}$  der 2 weiteren Kreisbögen des ersten Teils des Abschnitts des Schneckenprofils werden erfindungsgemäß so gewählt, dass sie größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich dem dimensionslosen Achsabstand  $A$  sind. In dem vorliegenden Beispiel werden die dimensionslosen Radien der 2 weiteren Kreisbögen zu  $R_2 = 0,1385$  und  $R_3 = 1,5800$  gewählt. Gemäß den Anordnungsregeln werden die Kreisbögen so angeordnet, dass die Kreisbögen derart tangential ineinander übergehen, dass sich ein geschlossenes, konvexes Schneckenprofil ergibt, wobei ein Kreisbogen, dessen dimensionsloser Radius gleich 0 ist, wie ein Kreisbogen behandelt wird, dessen dimensionsloser Radius gleich  $\epsilon$  ist, wobei  $\epsilon$  eine sehr kleine positive reelle Zahl ist, die gegen 0 strebt ( $\epsilon \ll 1$ ,  $\epsilon \rightarrow 0$ ). Aus dieser Anordnungsregel folgt, dass der Endpunkt eines Kreisbogens gleich dem Anfangspunkt seines nachfolgenden Kreisbogens ist. Der geforderte tangential Übergang zwischen einem ersten Kreisbogen und einem zweiten, nachfolgenden Kreisbogen wird dadurch erfüllt, dass der Mittelpunkt dieses zweiten, nachfolgenden Kreisbogens so auf die Gerade, die durch den Endpunkt und den Mittelpunkt dieses ersten Kreisbogens gegeben ist, gelegt wird, dass der Abstand des Mittelpunkts dieses zweiten, nachfolgenden Kreisbogens von dem Endpunkt

dieses ersten Kreisbogens gleich dem Radius dieses zweiten, nachfolgenden Kreisbogens ist und das Schneckenprofil konvex ist. Ein Kreisbogen, dessen Radius gleich 0 ist, wird wie ein Kreisbogen mit einem sehr kleinen Radius  $\epsilon$  behandelt, wobei  $\epsilon$  gegen 0 strebt, so dass sich der tangential Übergang weiterhin konstruieren lässt. Alternativ kann ein Kreisbogen, dessen Radius gleich 0 ist, so behandelt werden, dass das Schneckenprofil an der Position dieses Kreisbogens einen Knick aufweist, wobei die Größe des Knicks durch den Winkel dieses Kreisbogens gegeben ist. In dem vorliegenden Beispiel resultieren aus der beschriebenen Anordnungsregel die folgenden Positionen der Mittelpunkte der 2 weiteren Kreisbögen:  $Mx\_2 = 0,3039$ ,  $My\_2 = 0,3202$  und  $Mx\_3 = 0,0000$ ,  $My\_3 = 0,0000$ . Der 3. Kreisbogen liegt auf dem dimensionslosen Schneckenaußenradius  $RA$  und die Anordnungsregel, dass mindestens ein Kreisbogen den dimensionslosen Schneckenaußenradius  $RA$  berührt, ist erfüllt.

**[0103]** Der Winkel  $\alpha\_4$  des letzten Kreisbogens des ersten Teils des Abschnitts des Schneckenprofils ergibt sich erfindungsgemäß daraus, dass die Summe der Winkel der 4 Kreisbögen des ersten Teils des Abschnitts des Schneckenprofils im Bogenmaß gleich  $\pi/(2-z)$  ist, wobei der Winkel 4 im Bogenmaß größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich  $\pi/(2-z)$  ist. In dem vorliegenden Beispiel ergibt sich der Winkel dieses letzten Kreisbogens zu  $\alpha\_4 = 0,6013$ . Der dimensionslose Radius  $R\_4$  des letzten Kreisbogens des ersten Teils des Abschnitts des Schneckenprofils ergibt sich erfindungsgemäß daraus, dass der Endpunkt dieses letzten Kreisbogens eine Gerade  $FP$  in einem Punkt tangiert, wobei die Gerade  $FP$  senkrecht auf der Winkelhalbierenden der beiden Abschnittsgrenzen dieses Abschnitts steht und einen Abstand vom Drehpunkt des Schneckenprofils in Richtung dieses Abschnitts besitzt, der gleich dem halben Achsabstand ist, wobei die Winkelhalbierende wie die Abschnittsgrenzen durch den Drehpunkt des Schneckenprofils führt. Die Gerade  $FP$  ist in der [Fig. 19b](#) als gepunktete Linie eingezeichnet. Der 4. Kreisbogen des ersten Teils des Abschnitts des Schneckenprofils konstruiert, indem am Endpunkt des 3. Kreisbogens eine Tangente an den 3. Kreisbogen gelegt wird, der Schnittpunkt der Tangente mit der Gerade  $FP$  der Mittelpunkt eines Kreises ist, dessen Radius gleich der Länge der Strecke zwischen dem Endpunkt des 3. Kreisbogens und dem Schnittpunkt der Tangente mit der Gerade  $FP$  ist, und indem der in Richtung des gewählten Uhrzeigersinn gelegene Schnittpunkt des Kreises mit der Gerade  $FP$  der gesuchte Berührungspunkt des Endpunktes des 4. Kreisbogens mit der Gerade  $FP$  ist. Am Endpunkt des 4. Kreisbogens wird ein Lot auf die Gerade  $FP$  gefällt. Der Schnittpunkt dieses Lots mit der Geraden, die durch den Endpunkt und den Mittelpunkt des 3. Kreisbogens gegeben ist, ist der Mittelpunkt des 4. Kreisbogens. In dem vorliegenden Beispiel berech-

net sich die Position des Mittelpunkts des 4. Kreisbogens zu  $Mx\_4 = 0,2580$ ,  $My\_4 = 0,3761$  und der dimensionslose Radius des 4. Kreisbogens ergibt sich zu  $R\_4 = 0,1239$ .

**[0104]** Die Winkel  $\alpha\_p'$ , ...,  $\alpha\_1'$  des zweiten Teils des Abschnitts des Schneckenprofils sind dadurch bestimmt, dass der Winkel  $\alpha\_j'$  des  $j'$ -ten Kreisbogens des zweiten Teils des Abschnitts gleich dem Winkel  $\alpha_j$  des  $j$ -ten Kreisbogens des ersten Teils des Abschnitts ist, wobei  $j$  und  $j'$  ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen  $p$  beziehungsweise  $p'$  durchlaufen ( $\alpha\_1' = \alpha_1$ , ...,  $\alpha_{p'}' = \alpha_p$ ). In dem vorliegenden Beispiel berechnen sich die Winkel des zweiten Teils des Abschnitts zu  $\alpha\_1' = \alpha_1 = 0,4304$ ,  $\alpha\_2' = \alpha_2 = 0,3812$ ,  $\alpha\_3' = \alpha_3 = 0,1580$  und  $\alpha\_4' = \alpha_4 = 0,6013$ .

**[0105]** Die dimensionslosen Radien  $R_{p'}$ , ...,  $R_1'$  des zweiten Teils des Abschnitts des Schneckenprofils sind dadurch bestimmt, dass die Summe des dimensionslosen Radius  $R_{j'}$  des  $j'$ -ten Kreisbogens des zweiten Teils eines Abschnitts und des dimensionslosen Radius  $R_j$  des  $j$ -ten Kreisbogens des ersten Teils eines Abschnitts gleich dem dimensionslosen Achsabstand  $A$  ist, wobei  $j$  und  $j'$  ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen  $p$  beziehungsweise  $p'$  durchlaufen ( $R_1' + R_1 = A = 1$ , ...,  $R_{p'}' + R_p = A = 1$ ). In dem vorliegenden Beispiel berechnen sich die dimensionslosen Radien des zweiten Teils des Abschnitts zu  $R_1' = A - R_1 = 0,0939$ ,  $R_2' = A - R_2 = 0,8615$ ,  $R_3' = A - R_3 = 0,4200$  und  $R_4' = A - R_4 = 0,8761$ .

**[0106]** Die Position der Kreisbögen des zweiten Teils des Abschnitts des Schneckenprofils ergibt sich erfindungsgemäß daraus, dass die Kreisbögen tangential ineinander übergehen und das Schneckenprofil konvex ist. In dem vorliegenden Beispiel ergeben sich die nachfolgenden Koordinaten für die Mittelpunkte der 4 Kreisbögen des zweiten Teils des Abschnitts des Schneckenprofils:  $Mx_1' = -0,3937$ ,  $My_1' = 0,0000$ ,  $Mx_2' = 0,3039$ ,  $My_2' = -0,3202$ ,  $Mx_3' = 0,0000$ ,  $My_3' = 0,0000$  und  $Mx_4' = 0,2580$ ,  $My_4' = -0,3761$ . Der 3. Kreisbogen des zweiten Teils des Abschnitts des Schneckenprofils liegt auf dem dimensionslosen Kernradius  $RI$  und die Anordnungsregel, dass mindestens ein Kreisbogen den dimensionslosen Kernradius  $RI$  berührt, ist erfüllt.

**[0107]** **Fig. 20:** Alle eingängigen Schneckenprofile können längs der  $x$ -Achse in einem gewissen Umfang in positiver oder negativer  $x$ -Richtung verschoben werden, ohne ihre Selbstreinigung zu verlieren, da durch die Verschiebung längs der  $x$ -Achse weiterhin die Bedingung erfüllt bleibt, die Gerade  $FP$  in einem Punkt zu berühren. Die maximale Verschiebung in positiver oder negativer  $x$ -Richtung ist dann erreicht, wenn das Schneckenprofil an einer Stelle ei-

nen Abstand vom Drehpunkt größer als den Außenradius RA besitzt. Der maximale Betrag der Verschiebung ist von dem zu verschiebenden Schneckenprofil abhängig und ist kleiner gleich der Differenz des Außenradius RA minus des Kernradius RI. Ist die Verschiebung kleiner als die maximal zulässige Verschiebung, so ist der maximale Abstand des Schneckenprofils vom Drehpunkt kleiner als der ursprünglich geforderte Außenradius RA. Die [Fig. 20a](#) bis [Fig. 20d](#) veranschaulichen das schrittweise Verschieben eines Schneckenprofils, das der [Fig. 2a](#) entspricht. Man erkennt, dass die Radien und Winkel der einzelnen Kreisbögen durch das Verschieben nicht verändert werden.

**[0108]** Die [Fig. 21](#) bis [23](#) zeigen das erzeugende und das erzeugte Schneckenprofil innerhalb eines achtförmigen Schneckengehäuses. Innerhalb der beiden Schneckenprofile befinden sich Zahlenwertangaben zu folgenden Schnecken Größen:

- RG: Radius der beiden Gehäusebohrungen
- RV: Virtueller Gehäuseradius, der kleiner gleich dem Gehäuseradius RG ist
- RA: Schneckenaußenradius der dicht kämmenden, selbstreinigenden Schneckenprofile
- RF: Schneckenaußenradius der zu fertigenden Schneckenprofile
- S: Spiel zwischen den beiden zu fertigenden Schneckenprofilen
- D: Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse
- T: Steigung eines Förder-, Misch- oder Übergangselements
- VPR: Größe der Verschiebung der dicht kämmenden, selbstreinigenden Schneckenprofile, falls diese exzentrisch angeordnet werden
- VPW: Winkel der Verschiebung (Richtungsangabe) der dicht kämmenden, selbstreinigenden Schneckenprofile, falls diese exzentrisch angeordnet werden
- VLR: Größe der Verschiebung des zu fertigenden Schneckenprofils der linken Welle innerhalb der Spiele
- VLW: Winkel der Verschiebung des zu fertigenden Schneckenprofils der linken Welle innerhalb der Spiele
- VRR: Größe der Verschiebung des zu fertigenden Schneckenprofils der rechten Welle innerhalb der Spiele
- VRL: Winkel der Verschiebung des zu fertigenden Schneckenprofils der rechten Welle innerhalb der Spiele

**[0109]** Das Schneckengehäuse, welches sich aus zwei gegenseitig durchdringenden Bohrungen mit jeweils dem Radius RG und dem Abstand  $A = 1$  ergibt, wird durch eine dünne, gestrichelte Linie dargestellt. Innerhalb der Durchdringung der beiden Gehäusebohrungen werden die beiden Bohrungen durch dünne, gepunktete Linien charakterisiert. Die Mittelpunk-

te der beiden Gehäusebohrungen sind identisch mit den beiden Drehpunkten der Schneckenprofile und sind jeweils durch einen kleinen Kreis gekennzeichnet. Die dicht kämmenden, selbstreinigenden Schneckenprofile werden durch eine dicke, durchgezogene Linie gekennzeichnet. Die Schneckenprofile in der Fertigung werden durch eine dünne, durchgezogene Linie dargestellt.

**[0110]** Dem Fachmann ist bekannt, dass zwischen dem Schneckenaußenradius RA des dicht kämmenden, selbstreinigenden Schneckenprofils, dem virtuellen Gehäuseradius RV, dem Spiel S zwischen den beiden zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Spiel D zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Schneckengehäuse folgender Zusammenhang gilt:  $RA = RV - D + S/2$ .

**[0111]** Dem Fachmann ist ferner bekannt, dass zwischen dem Schneckenaußenradius RF des zu fertigenden Schneckenprofils, dem virtuellen Gehäuseradius RV und dem Spiel D zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Schneckengehäuse folgender Zusammenhang gilt:  $RF = RV - D$ .

**[0112]** Typischerweise ist der virtuelle Gehäuseradius RV gleich dem ausgeführten Gehäuseradius RG. Wird der virtuelle Gehäuseradius RV kleiner als der Gehäuseradius RG gewählt, so ergibt sich zwischen den Schneckenprofilen und dem Gehäuse ein zusätzliches Spiel. Dieses Spiel kann dazu genutzt werden, das erzeugende und das erzeugte Schneckenprofil unter Beibehaltung der Selbstreinigung exzentrisch zu verschieben. Die Exzentrizität ist durch Angabe der Größe der Verschiebung VPR und der Richtung der Verschiebung in Form eines Winkels VPW eindeutig charakterisiert.

**[0113]** [Fig. 21](#): Die [Fig. 21a](#) bis [Fig. 21d](#) zeigen bevorzugte Ausführungsformen einer exzentrischen Positionierung eingängiger Schneckenprofile. Die gezeigten dicht kämmenden, selbstreinigenden Schneckenprofile basieren auf der [Fig. 2](#), wobei hier ein Schneckenaußenradius von  $RA = 0,54$  gewählt wurde. Die weiteren geometrischen Kenngrößen können den einzelnen Figuren entnommen werden. Exzentrisch positionierte, eingängige, dicht kämmende, selbstreinigende Schneckenprofile sind dadurch charakterisiert, dass der Abstand der Schneckenprofile zum Gehäuse unabhängig von der Richtung der Verschiebung für beide Schneckenprofile immer gleich groß ist. Die Schneckenprofile sind in den [Fig. 21a](#) bis [Fig. 21d](#) jeweils soweit verschoben worden, dass genau ein Punkt der Schneckenprofile das Gehäuse berührt. Die Größe der dazu notwendigen Verschiebung hängt von der Richtung der Verschiebung ab. Es können ferner exzentrische Positionierungen der Schneckenprofile gewählt werden, bei dem kein Punkt der Schneckenprofile das Gehäuse berührt.

**[0114]** Fig. 22: Wie dem Fachmann bekannt ist, benötigen alle Schneckenelemente in der Praxis ein gewisses Spiel und zwar sowohl untereinander als auch gegenüber dem Gehäuse. Die [Fig. 22a](#) bis [Fig. 22d](#) zeigen verschiedene Spielstrategien. Die gezeigten dicht kämmenden, selbstreinigenden Schneckenprofile basieren auf der [Fig. 2a](#). Die weiteren geometrischen Kenngrößen können den einzelnen Figuren entnommen werden. In [Fig. 22a](#) wird eine Spielstrategie gezeigt, bei der das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse gleich groß ist. In [Fig. 22b](#) wird eine Spielstrategie gezeigt, bei der das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen kleiner ist als das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse. In [Fig. 22c](#) wird eine Spielstrategie gezeigt, bei der das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen größer ist als das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse. In [Fig. 22d](#) wird eine weitere Ausführungsform nach [Fig. 22c](#) mit besonders großen Spielen gezeigt. Typische, in der Praxis vorkommende Spiele liegen für das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen im Bereich 0,002 bis 0,1. Typische, in der Praxis vorkommende Spiele liegen für das Spiel zwischen den zufertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse im Bereich 0,002 bis 0,1. Typische, in der Praxis vorkommende Spiele sind über den Umfang des Schneckenprofils konstant. Es ist jedoch zulässig, sowohl das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen als auch das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse über den Umfang der Schneckenprofile zu variieren.

**[0115]** Fig. 23: Weiterhin ist es möglich, die zu fertigenden Schneckenprofile innerhalb der Spiele zu verschieben. Die [Fig. 23a](#) bis [Fig. 23d](#) zeigen eine Auswahl möglicher Verschiebungen. Die gezeigten dicht kämmenden, selbstreinigenden Schneckenprofile basieren auf der [Fig. 2a](#). Die gezeigten zu fertigenden Schneckenprofile basieren auf der [Fig. 22d](#). Die weiteren geometrischen Kenngrößen können den einzelnen Figuren entnommen werden. In den [Fig. 23a](#) bis [Fig. 23d](#) beträgt die Größe der Verschiebung für jeweils beide zu fertigenden Schneckenprofile  $VLR = VRR = 0,02$ . In den [Fig. 23a](#) bis [Fig. 23d](#) wird die Richtung der Verschiebung für jeweils beide zu fertigende Schneckenprofile zwischen  $VLW = VRW = 0$  und  $VLW = VRW = \pi$  schrittweise variiert. Es ist zulässig, die beiden zu fertigenden Schneckenprofile unabhängig voneinander in verschiedene Richtungen und um verschiedene Größen zu verschieben.

**[0116]** Eingängige Schneckenprofile, die nach dem Verfahren zur Erzeugung von dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen der Gangzahl  $z$  erzeugt werden, können

zur Fertigung von Schneckenelementen verwendet werden. Insbesondere können derartige Schneckenprofile zur Fertigung von Fördererelementen, Mischelementen, Knetelementen und Übergangselementen verwendet werden.

**[0117]** Die [Fig. 24a](#) zeigt beispielhaft ein Paar eines eingängigen Fördererelements, das auf dem Schneckenprofil nach [Fig. 2a](#) basiert. Der Gehäuseradius beträgt  $RG = 0,58$ . Das Spiel zwischen den beiden Fördererelementen beträgt  $S = 0,02$ . Das Spiel zwischen den beiden Fördererelementen und dem Gehäuse beträgt  $D = 0,01$ . Die Steigung der Fördererelemente beträgt  $T = 1,2$ . Die Länge der Fördererelemente beträgt 1, 2, was einer Drehung der Schneckenprofile um einen Winkel von  $2\pi$  entspricht. Das Gehäuse wird durch dünne, durchgezogene Linien links und rechts der beiden Fördererelemente dargestellt. Auf den Oberflächen der beiden Fördererelemente ist ferner ein mögliches Rechengitter dargestellt, welches zur Berechnung der Strömung in Zwei- und Mehrwellenextrudern verwendet werden kann.

**[0118]** Die [Fig. 24b](#) zeigt beispielhaft ein Paar eines eingängigen Knetelements, das auf dem Schneckenprofil nach [Fig. 2a](#) basiert. Der Gehäuseradius beträgt  $RG = 0,58$ . Das Spiel zwischen den Knetscheiben der beiden Fördererelemente beträgt  $S = 0,02$ . Das Spiel zwischen den Knetscheiben der beiden Knetelementen und dem Gehäuse beträgt  $D = 0,01$ . Das Knetelement besteht aus 7 Knetscheiben, die jeweils um einen Winkel von  $\pi/6$  rechtsgängig zueinander versetzt sind. Die erste und die letzte Knetscheibe besitzen eine Länge von 0,09. Die mittleren Knetscheiben besitzen eine Länge von 0,18. Die Nut zwischen den Knetscheiben besitzt eine Länge von 0,02. Das Gehäuse wird durch dünne, durchgezogene Linien links und rechts der beiden Fördererelemente dargestellt. Auf den Oberflächen der beiden Knetelemente ist ferner ein mögliches Rechengitter dargestellt, welches zur Berechnung der Strömung in Zwei- und Mehrwellenextrudern verwendet werden kann.

**[0119]** Die [Fig. 25](#) bis [46](#) beschreiben Schneckenprofile der Gangzahl 2, die nach dem Verfahren zur Erzeugung von dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen der Gangzahl  $z$  erzeugt werden. In den [Fig. 25](#) bis [42](#) wird immer ein Viertel eines Schneckenprofils der Gangzahl 2 gezeigt. Alle diese Figuren weisen den analogen Aufbau wie die [Fig. 1](#) bis [20](#) auf, der für diese Figuren bereits im Detail beschrieben wurde.

**[0120]** Die [Fig. 25](#) bis [46](#) zeigen Schneckenprofile und Schneckenelemente, in denen der dimensionslose Schneckenaußenradius  $RA$  die Werte 0,54, 0,56, 0,57, 0,58 und 0,63 hat. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung von ebenen, dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen der Gangzahl  $z$  ist nicht auf diese

diskreten Werte des dimensionslosen Schneckenaußenradius limitiert. Unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens können zweigängige Schneckenprofile mit einem dimensionslosen Schneckenaußenradius zwischen  $RA$  größer 0,5 und  $RA$  kleiner oder gleich 0,707, bevorzugt im Bereich von  $RA = 0,52$  bis  $RA = 0,69$  erzeugt werden.

**[0121]** Fig. 25: Die [Fig. 25a](#) und [Fig. 25b](#) zeigen bevorzugte 2-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 25a](#) und [Fig. 25b](#) unterscheiden sich durch den Schneckenaußenradius  $RA$ . In der [Fig. 25a](#) beträgt der Schneckenaußenradius  $RA = 0,58$ . In der [Fig. 25b](#) beträgt der Schneckenaußenradius  $RA = 0,63$ . In den [Fig. 25a](#) und [Fig. 25b](#) ist der Radius  $R_1$  des 1. Kreisbogens vom Schneckenaußenradius  $RA$  abhängig. In den [Fig. 25a](#) und [Fig. 25b](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_1 = \pi/4$ .

**[0122]** Fig. 26: Die [Fig. 26a](#) und [Fig. 26b](#) zeigen bevorzugte 4-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 26a](#) und [Fig. 26b](#) unterscheiden sich durch den Schneckenaußenradius  $RA$ . In der [Fig. 26a](#) beträgt der Schneckenaußenradius  $RA = 0,58$ . In der [Fig. 26b](#) beträgt der Schneckenaußenradius  $RA = 0,63$ . In den [Fig. 26a](#) und [Fig. 26b](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 26a](#) und [Fig. 26b](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0$ . In den [Fig. 26a](#) und [Fig. 26b](#) ist der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens vom Schneckenaußenradius  $RA$  abhängig. In den [Fig. 26a](#) und [Fig. 26b](#) ist der Radius  $\alpha_2$  des 2. Kreisbogens vom Schneckenaußenradius  $RA$  abhängig.

**[0123]** Fig. 27: Die [Fig. 27a](#) und [Fig. 27b](#) zeigen weitere bevorzugte 4-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 27a](#) und [Fig. 27b](#) unterscheiden sich durch den Schneckenaußenradius  $RA$ . In der [Fig. 27a](#) beträgt der Schneckenaußenradius  $RA = 0,58$ . In der [Fig. 27b](#) beträgt der Schneckenaußenradius  $RA = 0,63$ . In den [Fig. 27a](#) und [Fig. 27b](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = 0$ . In den [Fig. 27a](#) und [Fig. 27b](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = A = 1$ . In den [Fig. 27a](#) und [Fig. 27b](#) ist der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens vom Schneckenaußenradius  $RA$  abhängig. In den [Fig. 27a](#) und [Fig. 27b](#) ist der Radius  $\alpha_2$  des 2. Kreisbogens vom Schneckenaußenradius  $RA$  abhängig.

**[0124]** Fig. 28: Die [Fig. 28a](#) bis [Fig. 28d](#) zeigen weitere bevorzugte 4-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 28a](#) bis [Fig. 28d](#) zeigen einen bevorzugten Übergang zwischen der [Fig. 27b](#) und der [Fig. 25b](#). In den [Fig. 28a](#) bis [Fig. 28d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,63$ . In den [Fig. 28a](#) bis [Fig. 28d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = 0$ . In den [Fig. 28a](#) bis [Fig. 28d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert.

**[0125]** Fig. 29: Die [Fig. 29a](#) bis [Fig. 29d](#) zeigen weitere bevorzugte 4-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 29a](#) bis [Fig. 29d](#) zeigen einen weiteren bevorzugten Übergang zwischen der [Fig. 27b](#) und der [Fig. 25b](#). In den [Fig. 29a](#) bis [Fig. 29d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,63$ . In den [Fig. 29a](#) bis [Fig. 29d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_1 = 0,4537$ . In den [Fig. 29a](#) bis [Fig. 29d](#) wird der Radius  $R_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise vergrößert.

**[0126]** Fig. 30: Die [Fig. 30a](#) bis [Fig. 30d](#) zeigen weitere bevorzugte 4-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 30a](#) bis [Fig. 30d](#) zeigen einen weiteren bevorzugten Übergang zwischen der [Fig. 27b](#) und der [Fig. 25b](#). In den [Fig. 30a](#) bis [Fig. 30d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,63$ . In den [Fig. 30a](#) bis [Fig. 30d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = A = 1$ . In den [Fig. 30a](#) bis [Fig. 30d](#) wird der Radius  $R_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise vergrößert.

**[0127]** Fig. 31: Die [Fig. 31a](#) bis [Fig. 31d](#) zeigen weitere bevorzugte 4-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 31a](#) bis [Fig. 31d](#) zeigen einen bevorzugten Übergang zwischen der [Fig. 26b](#) und der [Fig. 25b](#). In den [Fig. 31a](#) bis [Fig. 31d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,63$ . In den [Fig. 31a](#) bis [Fig. 31d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 31a](#) bis [Fig. 31d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert.

**[0128]** Fig. 32: Die [Fig. 32a](#) bis [Fig. 32d](#) zeigen weitere bevorzugte 4-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 32a](#) bis [Fig. 32d](#) zeigen einen weiteren bevorzugten Übergang zwischen der [Fig. 26b](#) und der [Fig. 25b](#). In den [Fig. 32a](#) bis [Fig. 32d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,63$ . In den [Fig. 32a](#) bis [Fig. 32d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0$ . In den [Fig. 32a](#) bis [Fig. 32d](#) wird der Radius  $R_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert und der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise vergrößert.

**[0129]** Ein direkter Übergang zwischen [Fig. 26b](#) und [Fig. 27b](#) ist mittels eines 4-Kreis-Schneckenprofils nicht möglich. Der Übergang erfolgt in einem solchen Fall über [Fig. 25b](#).

**[0130]** Fig. 33: Die [Fig. 33a](#) bis [Fig. 33d](#) zeigen bevorzugte 6-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 33a](#) bis [Fig. 33d](#) zeigen einen bevorzugten Übergang zwischen der [Fig. 26a](#) und der [Fig. 27a](#). In den [Fig. 33a](#) bis [Fig. 33d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,58$ . In den [Fig. 33a](#) bis [Fig. 33d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 33a](#) bis [Fig. 33d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0$ . In den [Fig. 33a](#) bis [Fig. 33d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = A = 1$ . In den [Fig. 33a](#) bis [Fig. 33d](#) wird der

Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert.

**[0131]** Fig. 34: Die [Fig. 34a](#) bis [Fig. 34d](#) zeigen weitere bevorzugte 6-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 34a](#) bis [Fig. 34d](#) zeigen einen bevorzugten Übergang zwischen der [Fig. 26a](#) und einer Figur, die ähnlich der [Fig. 28a](#) ist. In den [Fig. 34a](#) bis [Fig. 34d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,58$ . In den [Fig. 34a](#) bis [Fig. 34d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 34a](#) bis [Fig. 34d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0$ . In den [Fig. 34a](#) bis [Fig. 34d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = 0,75$ . In den [Fig. 34a](#) bis [Fig. 34d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert.

**[0132]** Fig. 35: Die [Fig. 35a](#) bis [Fig. 35d](#) zeigen weitere bevorzugte 6-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 35a](#) bis [Fig. 35d](#) zeigen einen bevorzugten Übergang zwischen der [Fig. 26a](#) und einer Figur, die ähnlich den [Fig. 28a](#) und [Fig. 28b](#) ist. In den [Fig. 35a](#) bis [Fig. 35d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,58$ . In den [Fig. 35a](#) bis [Fig. 35d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 35a](#) bis [Fig. 35d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0$ . In den [Fig. 35a](#) bis [Fig. 35d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = 0,5$ . In den [Fig. 35a](#) bis [Fig. 35d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert.

**[0133]** Fig. 36: Die [Fig. 36a](#) bis [Fig. 36d](#) zeigen weitere bevorzugte 6-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 36a](#) bis [Fig. 36d](#) zeigen einen bevorzugten Übergang zwischen der [Fig. 26a](#) und der [Fig. 25a](#). In den [Fig. 36a](#) bis [Fig. 36d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,58$ . In den [Fig. 36a](#) bis [Fig. 36d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 36a](#) bis [Fig. 36d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0$ . In den [Fig. 36a](#) bis [Fig. 36d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = 0,3069$ . In den [Fig. 36a](#) bis [Fig. 36d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert.

**[0134]** Neben den bereits geschilderten Übergängen der Schneckenprofile innerhalb der einzelnen Figuren ist auch ein figurübergreifender Übergang möglich. Beispielsweise können die Schneckenprofile der [Fig. 33a](#), [Fig. 34a](#), [Fig. 35a](#), [Fig. 36a](#) oder der [Fig. 33b](#), [Fig. 34b](#), [Fig. 35b](#), [Fig. 36b](#) schrittweise ineinander übergehen.

**[0135]** Fig. 37: Die [Fig. 37a](#) bis [Fig. 37d](#) zeigen weitere bevorzugte 6-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 37a](#) bis [Fig. 37d](#) zeigen einen bevorzugten Übergang ausgehend von [Fig. 26a](#). In den [Fig. 37a](#) bis [Fig. 37d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,58$ . In den [Fig. 37a](#) bis [Fig. 37d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In

den [Fig. 37a](#) bis [Fig. 37d](#) wird der Radius  $R_2$  des 2. Kreisbogens schrittweise vergrößert. In den [Fig. 37a](#) bis [Fig. 37d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = A = 1$ . In den [Fig. 37a](#) bis [Fig. 37d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert.

**[0136]** Fig. 38: Die [Fig. 38a](#) bis [Fig. 38d](#) zeigen weitere bevorzugte 6-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 38a](#) bis [Fig. 38d](#) zeigen einen bevorzugten Übergang ausgehend von [Fig. 26a](#). In den [Fig. 38a](#) bis [Fig. 38d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,58$ . In den [Fig. 38a](#) bis [Fig. 38d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 38a](#) bis [Fig. 38d](#) wird der Radius  $R_2$  des 2. Kreisbogens schrittweise vergrößert. In den [Fig. 38a](#) bis [Fig. 38d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = 0,75$ . In den [Fig. 38a](#) bis [Fig. 38d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert.

**[0137]** Fig. 39: Die [Fig. 39a](#) bis [Fig. 39d](#) zeigen weitere bevorzugte 6-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 39a](#) bis [Fig. 39d](#) zeigen einen bevorzugten Übergang ausgehend von [Fig. 26a](#). In den [Fig. 39a](#) bis [Fig. 39d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,58$ . In den [Fig. 39a](#) bis [Fig. 39d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 39a](#) bis [Fig. 39d](#) wird der Radius  $R_2$  des 2. Kreisbogens schrittweise vergrößert. In den [Fig. 39a](#) bis [Fig. 39d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = 0,5$ . In den [Fig. 39a](#) bis [Fig. 39d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert.

**[0138]** Fig. 40: Die [Fig. 40a](#) bis [Fig. 40d](#) zeigen weitere bevorzugte 6-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 40a](#) bis [Fig. 40d](#) zeigen einen bevorzugten Übergang zwischen der [Fig. 26a](#) und der [Fig. 25a](#). In den [Fig. 40a](#) bis [Fig. 40d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,58$ . In den [Fig. 40a](#) bis [Fig. 40d](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 40a](#) bis [Fig. 40d](#) wird der Radius  $R_2$  des 2. Kreisbogens schrittweise vergrößert. In den [Fig. 40a](#) bis [Fig. 40d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = 0,3069$ . In den [Fig. 40a](#) bis [Fig. 40d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert.

**[0139]** Neben den bereits geschilderten Übergängen der Schneckenprofile innerhalb der einzelnen Figuren ist auch ein figurübergreifender Übergang möglich. Beispielsweise können die Schneckenprofile der [Fig. 37a](#), [Fig. 38a](#), [Fig. 39a](#), [Fig. 40a](#) oder der [Fig. 37b](#), [Fig. 38b](#), [Fig. 39b](#), [Fig. 40b](#) schrittweise ineinander übergehen.

**[0140]** In den bisherigen Figuren zu zweigängigen Schneckenprofilen startete das Schneckenprofil immer in dem Punkt  $x = RA$ ,  $y = 0$ . In den [Fig. 41](#) und [Fig. 42](#) werden eine Auswahl von 8-Kreis-Schneckenpro-

file gezeigt, die an einem Punkt  $x < RA$ ,  $y = 0$  starten und bei denen nur der 3. Kreisbogen auf dem Schneckenaußenradius liegt.

**[0141]** Fig. 41: Die [Fig. 41a](#) bis [Fig. 41d](#) zeigen bevorzugte 8-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 41a](#) bis [Fig. 41d](#) zeigen einen bevorzugten Übergang ausgehend von einem Erdmenger-Schneckenprofil mit dem Schneckenaußenradius  $RA = 0,54$ . In den [Fig. 41a](#) bis [Fig. 41d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,54$ . In den [Fig. 41a](#) bis [Fig. 41d](#) wird der Radius  $R_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise vergrößert. In den [Fig. 41a](#) bis [Fig. 41d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0$ . In den [Fig. 41a](#) bis [Fig. 41d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = RA$  und liegt auf dem Schneckenaußenradius. In den [Fig. 41a](#) bis [Fig. 41d](#) besitzt der 4. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_4 = 0$ . In den [Fig. 41a](#) bis [Fig. 41d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert und der Winkel  $\alpha_2$  des 2. Kreisbogens schrittweise vergrößert. In den [Fig. 41a](#) bis [Fig. 41d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_3 = 0,145$ . In den [Fig. 41a](#) bis [Fig. 41d](#) besitzt der 4. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_4 = 0,3873$ .

**[0142]** Fig. 42: Die [Fig. 42a](#) bis [Fig. 42d](#) zeigen weitere bevorzugte 8-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 42a](#) bis [Fig. 42d](#) zeigen einen weiteren bevorzugten Übergang ausgehend von einem Erdmenger-Schneckenprofil mit dem Schneckenaußenradius  $RA = 0,54$ . In den [Fig. 42a](#) bis [Fig. 42d](#) beträgt der Schneckenaußenradius jeweils  $RA = 0,54$ . In den [Fig. 42a](#) bis [Fig. 42d](#) wird der Radius  $R_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise vergrößert. In den [Fig. 42a](#) bis [Fig. 42d](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0$ . In den [Fig. 42a](#) bis [Fig. 42d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_3 = RA$  und liegt auf dem Schneckenaußenradius. In den [Fig. 42a](#) bis [Fig. 42d](#) besitzt der 4. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_4 = 0$ . In den [Fig. 42a](#) bis [Fig. 42d](#) wird der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens schrittweise verringert und der Winkel  $\alpha_2$  des 2. Kreisbogens schrittweise vergrößert. In den [Fig. 42a](#) bis [Fig. 42d](#) besitzt der 3. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_3 = 0,0419$ . In den [Fig. 42a](#) bis [Fig. 42d](#) besitzt der 4. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_4 = 0,3873$ .

**[0143]** Neben den bereits geschilderten Übergängen der Schneckenprofile innerhalb der einzelnen Figuren ist auch ein figurübergreifender Übergang möglich. Beispielsweise können die Schneckenprofile der [Fig. 41a](#), [Fig. 42a](#) oder der [Fig. 41b](#), [Fig. 42b](#) schrittweise ineinander übergehen.

**[0144]** Die [Fig. 43](#) bis [45](#) zeigen das erzeugende und das erzeugte Schneckenprofil innerhalb eines achtförmigen Schneckengehäuses. Alle diese Figuren weisen den analogen Aufbau wie die [Fig. 21](#) bis [23](#) auf, der für diese Figuren bereits im Detail be-

schrieben wurde. Die Zahlenwerte innerhalb der Schneckenprofile sind ebenfalls bereits im Zusammenhang mit den [Fig. 21](#) bis [23](#) erläutert worden.

**[0145]** Fig. 43: Die [Fig. 43a](#) bis [Fig. 43d](#) zeigen bevorzugte Ausführungsformen einer exzentrischen Positionierung zweigängiger Schneckenprofile. Die gezeigten dicht kämmenden, selbstreinigenden Schneckenprofile basieren auf der [Fig. 26](#), wobei hier ein Schneckenaußenradius von  $RA = 0,54$  gewählt wurde. Die weiteren geometrischen Kenngrößen können den einzelnen Figuren entnommen werden. Exzentrisch positionierte, zweigängige, dicht kämmende, selbstreinigende Schneckenprofile sind dadurch charakterisiert, dass der Abstand der Schneckenprofile zum Gehäuse abhängig von der Richtung der Verschiebung unterschiedlich groß ist. Die Schneckenprofile sind in den [Fig. 43a](#) bis [Fig. 43c](#) jeweils soweit verschoben worden, dass genau ein Punkt des linken Schneckenprofils das Gehäuse berührt. Die Größe der dazu notwendigen Verschiebung hängt von der Richtung der Verschiebung ab. Einen Sonderfall zeigt die [Fig. 43d](#), bei dem die Schneckenprofile in Größe und Richtung so verschoben werden, dass beide Schneckenprofile in genau einem Punkt das Gehäuse berühren. Die Verschiebung erfolgt hier unter einem Winkel von  $\pi/4$ . Es können ferner exzentrische Positionierungen der Schneckenprofile gewählt werden, bei dem kein Punkt der Schneckenprofile das Gehäuse berührt.

**[0146]** Fig. 44: Wie dem Fachmann bekannt ist, benötigen alle Schneckenelemente in der Praxis ein gewisses Spiel und zwar sowohl untereinander als auch gegenüber dem Gehäuse. Die [Fig. 44a](#) bis [Fig. 44d](#) zeigen verschiedene Spielstrategien. Die gezeigten dicht kämmenden, selbstreinigenden Schneckenprofile basieren auf der [Fig. 26a](#). Die weiteren geometrischen Kenngrößen können den einzelnen Figuren entnommen werden. In [Fig. 44a](#) wird eine Spielstrategie gezeigt, bei der das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse gleich groß ist. In [Fig. 44b](#) wird eine Spielstrategie gezeigt, bei der das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen kleiner ist als das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse. In [Fig. 44c](#) wird eine Spielstrategie gezeigt, bei der das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen größer ist als das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse. In [Fig. 44d](#) wird eine weitere Ausführungsform nach [Fig. 44c](#) mit besonders großen Spielen gezeigt. Typische, in der Praxis vorkommende Spiele liegen für das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen im Bereich 0,002 bis 0,1. Typische, in der Praxis vorkommende Spiele liegen für das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse im Bereich 0,002 bis 0,1. Typische, in der Praxis vorkommende Spiele sind

über den Umfang des Schneckenprofils konstant. Es ist jedoch zulässig, sowohl das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen als auch das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse über den Umfang der Schneckenprofile zu variieren.

**[0147]** Fig. 45: Weiterhin ist es möglich, die zu fertigenden Schneckenprofile innerhalb der Spiele zu verschieben. Die [Fig. 45a](#) bis [Fig. 45d](#) zeigen eine Auswahl möglicher Verschiebungen. Die gezeigten dicht kämmenden, selbstreinigenden Schneckenprofile basieren auf der [Fig. 26a](#). Die gezeigten zu fertigenden Schneckenprofile basieren auf der [Fig. 44d](#). Die weiteren geometrischen Kenngrößen können den einzelnen Figuren entnommen werden. In den [Fig. 45a](#) bis [Fig. 45d](#) beträgt die Größe der Verschiebung für jeweils beide zu fertigenden Schneckenprofile  $VLR = VRR = 0,02$ . In den [Fig. 45a](#) bis [Fig. 45d](#) wird die Richtung der Verschiebung für jeweils beide zu fertigende Schneckenprofile zwischen  $VLW = VRW = 0$  und  $VLW = VRW = \pi/2$  schrittweise variiert. Es ist zulässig, die beiden zu fertigenden Schneckenprofile unabhängig voneinander in verschiedene Richtungen und um verschiedene Größen zu verschieben.

**[0148]** Zweigängige Schneckenprofile, die nach dem Verfahren zur Erzeugung von dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen der Gangzahl  $z$  erzeugt werden, können zur Fertigung von Schneckenelementen verwendet werden. Insbesondere können derartige Schneckenprofile zur Fertigung von Fördererelementen, Mischelementen, Knetelementen und Übergangselementen verwendet werden.

**[0149]** Die [Fig. 46a](#) zeigt beispielhaft ein Paar eines zweigängigen Fördererelements, das auf dem Schneckenprofil nach [Fig. 26a](#) basiert. Der Gehäuseradius beträgt  $RG = 0,58$ . Das Spiel zwischen den beiden Fördererelementen beträgt  $S = 0,02$ . Das Spiel zwischen den beiden Fördererelementen und dem Gehäuse beträgt  $D = 0,01$ . Die Steigung der Fördererelemente beträgt  $T = 1,2$ . Die Länge der Fördererelemente beträgt  $1,2$ , was einer Drehung der Schneckenprofile um einen Winkel von  $2\pi$  entspricht. Das Gehäuse wird durch dünne, durchgezogene Linien links und rechts der beiden Fördererelemente dargestellt. Auf den Oberflächen der beiden Fördererelemente ist ferner ein mögliches Rechengitter dargestellt, welches zur Berechnung der Strömung in Zwei- und Mehrwellenextrudern verwendet werden kann.

**[0150]** Die [Fig. 46b](#) zeigt beispielhaft ein Paar eines eingängigen Knetelements, das auf dem Schneckenprofil nach [Fig. 26a](#) basiert. Der Gehäuseradius beträgt  $RG = 0,58$ . Das Spiel zwischen den Knetscheiben der beiden Fördererelemente beträgt  $S = 0,02$ . Das Spiel zwischen den Knetscheiben der beiden

Knetelementen und dem Gehäuse beträgt  $D = 0,01$ . Das Knetelement besteht aus 7 Knetscheiben, die jeweils um einen Winkel von  $\pi/12$  rechtsgängig zueinander versetzt sind. Die erste und die letzte Knetscheibe besitzen eine Länge von  $0,09$ . Die mittleren Knetscheiben besitzen eine Länge von  $0,18$ . Die Nut zwischen den Knetscheiben besitzt eine Länge von  $0,02$ . Das Gehäuse wird durch dünne, durchgezogene Linien links und rechts der beiden Fördererelemente dargestellt. Auf den Oberflächen der beiden Knetelemente ist ferner ein mögliches Rechengitter dargestellt, welches zur Berechnung der Strömung in Zwei- und Mehrwellenextrudern verwendet werden kann.

**[0151]** Die [Fig. 47](#) bis [53](#) beschreiben Schneckenprofile der Gangzahl  $3$ , die nach dem Verfahren zur Erzeugung von dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen der Gangzahl  $z$  erzeugt werden. In den [Fig. 47](#) bis [49](#) wird immer ein Sechstel eines Schneckenprofils der Gangzahl  $3$  gezeigt. Alle diese Figuren weisen einen analogen Aufbau wie die [Fig. 1](#) bis [20](#) auf, der für diese Figuren bereits im Detail beschrieben wurde.

**[0152]** Die [Fig. 47](#) bis [53](#) zeigen Schneckenprofile und Schneckenelemente, in denen der dimensionslose Schneckenaußenradius  $RA$  die Werte  $0,5233$ ,  $0,53$ ,  $0,5333$ ,  $0,5433$  und  $0,5567$  hat. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung von ebenen, dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen der Gangzahl  $z$  ist nicht auf diese diskreten Werte des dimensionslosen Schneckenaußenradius limitiert. Unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens können dreigängige Schneckenprofile mit einem dimensionslosen Schneckenaußenradius zwischen  $RA$  größer  $0,5$  und  $RA$  kleiner oder gleich  $0,577$ , bevorzugt im Bereich von  $RA = 0,51$  bis  $RA = 0,57$  erzeugt werden.

**[0153]** [Fig. 47](#): Die [Fig. 47a](#) und [Fig. 47b](#) zeigen bevorzugte 2-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 47a](#) und [Fig. 47b](#) unterscheiden sich durch den Schneckenaußenradius  $RA$ . In der [Fig. 47a](#) beträgt der Schneckenaußenradius  $RA = 0,5433$ . In der [Fig. 47b](#) beträgt der Schneckenaußenradius  $RA = 0,5567$ . In den [Fig. 47a](#) und [Fig. 47b](#) ist der Radius  $R_1$  des 1. Kreisbogens vom Schneckenaußenradius  $RA$  abhängig. In den [Fig. 47a](#) und [Fig. 47b](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_1 = \pi/6$ .

**[0154]** [Fig. 48](#): Die [Fig. 48a](#) und [Fig. 48b](#) zeigen bevorzugte 4-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 48a](#) und [Fig. 48b](#) unterscheiden sich durch den Schneckenaußenradius  $RA$ . In der [Fig. 48a](#) beträgt der Schneckenaußenradius  $RA = 0,5433$ . In der [Fig. 48b](#) beträgt der Schneckenaußenradius  $RA = 0,5567$ . In den [Fig. 48a](#) und [Fig. 48b](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 48a](#) und [Fig. 48b](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0$ . In den [Fig. 48a](#) und [Fig. 48b](#) ist der Winkel

$\alpha_1$  des 1. Kreisbogens vom Schneckenaußenradius RA abhängig. In den [Fig. 48a](#) und [Fig. 48b](#) ist der Radius  $\alpha_2$  des 2. Kreisbogens vom Schneckenaußenradius RA abhängig.

**[0155]** [Fig. 49](#): Die [Fig. 49a](#) und [Fig. 49b](#) zeigen weitere bevorzugte 4-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 49a](#) und [Fig. 49b](#) unterscheiden sich durch den Schneckenaußenradius RA. In der [Fig. 49a](#) beträgt der Schneckenaußenradius RA = 0,5433. In der [Fig. 49b](#) beträgt der Schneckenaußenradius RA = 0,5567. In den [Fig. 49a](#) und [Fig. 49b](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = 0$ . In den [Fig. 49a](#) und [Fig. 49b](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = A = 1$ . In den [Fig. 49a](#) und [Fig. 49b](#) ist der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens vom Schneckenaußenradius RA abhängig. In den [Fig. 49a](#) und [Fig. 49b](#) ist der Radius  $\alpha_2$  des 2. Kreisbogens vom Schneckenaußenradius RA abhängig.

**[0156]** Die [Fig. 47](#) bis [49](#) zeigen Schneckenprofile, die analog der [Fig. 1](#) bis [3](#) für eingängige Schneckenprofile aufgebaut sind. Die [Fig. 47](#) bis [49](#) zeigen Schneckenprofile, die analog der [Fig. 25](#) bis [27](#) für zweigängige Schneckenprofile aufgebaut sind. Die in den [Fig. 4](#) bis [19](#) und in den [Fig. 28](#) bis [42](#) gezeigten ein- und zweigängigen Schneckenprofile lassen sich analog auf dreigängige Schneckenprofile übertragen. Damit kann auch bei dreigängigen Schneckenprofilen die Größe des Kammereichs auf vielfältige Art und Weise eingestellt werden. Je nach Wahl des Übergangs zwischen Flanken- und Kammereich des Schneckenprofils können wie bei den eingängigen und den zweigängigen Schneckenprofilen der auf das viskose Fluid wirkende Dehn- und Scheranteil eingestellt werden.

**[0157]** Die [Fig. 50](#) bis [52](#) zeigen das erzeugende und das erzeugte Schneckenprofil innerhalb eines achtförmigen Schneckengehäuses. Alle diese Figuren weisen den analogen Aufbau wie die [Fig. 21](#) bis [23](#) auf, der für diese Figuren bereits im Detail beschrieben wurde. Die Zahlenwerte innerhalb der Schneckenprofile sind ebenfalls bereits im Zusammenhang mit den [Fig. 21](#) bis [23](#) erläutert worden.

**[0158]** [Fig. 50](#): Die [Fig. 50a](#) bis [Fig. 50d](#) zeigen bevorzugte Ausführungsformen einer exzentrischen Positionierung dreigängiger Schneckenprofile. Die gezeigten dicht kämmenden, selbstreinigenden Schneckenprofile basieren auf der [Fig. 48](#), wobei hier ein Schneckenaußenradius von RA = 0,53 gewählt wurde. Die weiteren geometrischen Kenngrößen können den einzelnen Figuren entnommen werden. Exzentrisch positionierte, dreigängige, dicht kämmende, selbstreinigende Schneckenprofile sind dadurch charakterisiert, dass der Abstand der Schneckenprofile zum Gehäuse unabhängig von der Richtung der Verschiebung für beide Schneckenpro-

file immer gleich groß ist. Die Schneckenprofile sind in den [Fig. 50a](#) bis [Fig. 50d](#) jeweils soweit verschoben worden, dass genau ein Punkt der Schneckenprofile das Gehäuse berührt. Die Größe der dazu notwendigen Verschiebung hängt von der Richtung der Verschiebung ab. Es können ferner exzentrische Positionierungen der Schneckenprofile gewählt werden, bei dem kein Punkt der Schneckenprofile das Gehäuse berührt.

**[0159]** [Fig. 51](#): Wie dem Fachmann bekannt ist, benötigen alle Schneckenelemente in der Praxis ein gewisses Spiel und zwar sowohl untereinander als auch gegenüber dem Gehäuse. Wie dem Fachmann bekannt ist und wie es in dem Buch [1] auf den Seiten 28 bis 30 und auf den Seiten 99 bis 105 nachzulesen ist, können Spiele unter anderem nach den Methoden der Achsabstands-Vergrößerung, der Längsschnitt-Äquidistante oder der Raumschnitt-Äquidistante erhalten werden. Üblicherweise wird ein konstantes Spiel längs des Umfangs der Schneckenprofile verwendet. Es ist jedoch auch möglich, dass das Spiel längs des Umfangs des Schneckenprofils variiert wird. Die [Fig. 51a](#) bis [Fig. 51d](#) zeigen verschiedene Spielstrategien. Die gezeigten dicht kämmenden, selbstreinigenden Schneckenprofile basieren auf der [Fig. 48a](#). Die weiteren geometrischen Kenngrößen können den einzelnen Figuren entnommen werden. In [Fig. 51a](#) wird eine Spielstrategie gezeigt, bei der das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse gleich groß ist. In [Fig. 51b](#) wird eine Spielstrategie gezeigt, bei der das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen kleiner ist als das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse. In [Fig. 51c](#) wird eine Spielstrategie gezeigt, bei der das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen größer ist als das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse. In [Fig. 51d](#) wird eine weitere Ausführungsform nach [Fig. 51c](#) mit besonders großen Spielen gezeigt. Typische, in der Praxis vorkommende Spiele liegen für das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen im Bereich 0,002 bis 0,1. Typische, in der Praxis vorkommende Spiele liegen für das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse im Bereich 0,002 bis 0,1. Typische, in der Praxis vorkommende Spiele sind über den Umfang des Schneckenprofils konstant. Es ist jedoch zulässig, sowohl das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen als auch das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse über den Umfang der Schneckenprofile zu variieren.

**[0160]** [Fig. 52](#): Weiterhin ist es möglich, die zu fertigenden Schneckenprofile innerhalb der Spiele zu verschieben. Die [Fig. 52a](#) bis [Fig. 52d](#) zeigen eine Auswahl möglicher Verschiebungen. Die gezeigten dicht kämmenden, selbstreinigenden Schneckenpro-

file basieren auf der [Fig. 48a](#). Die gezeigten zu fertigenden Schneckenprofile basieren auf der [Fig. 51d](#). Die weiteren geometrischen Kenngrößen können den einzelnen Figuren entnommen werden. In den [Fig. 52a](#) bis [Fig. 52d](#) beträgt die Größe der Verschiebung für jeweils beide zu fertigenden Schneckenprofile  $VLR = VRR = 0,02$ . In den [Fig. 52a](#) bis [Fig. 52d](#) wird die Richtung der Verschiebung für jeweils beide zu fertigende Schneckenprofile zwischen  $VLW = VRW = 0$  und  $VLW = VRW = \pi/3$  schrittweise variiert. Es ist zulässig, die beiden zu fertigenden Schneckenprofile unabhängig voneinander in verschiedene Richtungen und um verschiedene Größen zu verschieben.

**[0161]** Dreigängige Schneckenprofile, die nach dem Verfahren zur Erzeugung von dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen der Gangzahl  $z$  erzeugt werden, können zur Fertigung von Schneckenelementen verwendet werden. Insbesondere können derartige Schneckenprofile zur Fertigung von Fördererelementen, Mischelementen, Knetelementen und Übergangselementen verwendet werden.

**[0162]** Die [Fig. 53a](#) zeigt beispielhaft ein Paar eines dreigängigen Fördererelements, das auf dem Schneckenprofil nach [Fig. 48a](#) basiert. Der Gehäuseradius beträgt  $RG = 0,5433$ . Das Spiel zwischen den beiden Fördererelementen beträgt  $S = 0,02$ . Das Spiel zwischen den beiden Fördererelementen und dem Gehäuse beträgt  $D = 0,01$ . Die Steigung der Fördererelemente beträgt  $T = 1,8$ . Die Länge der Fördererelemente beträgt  $1,2$ , was einer Drehung der Schneckenprofile um einen Winkel von  $1,3333 \cdot \pi$  entspricht. Das Gehäuse wird durch dünne, durchgezogene Linien links und rechts der beiden Fördererelemente dargestellt. Auf den Oberflächen der beiden Fördererelemente ist ferner ein mögliches Rechengitter dargestellt, welches zur Berechnung der Strömung in Zwei- und Mehrwellenextrudern verwendet werden kann.

**[0163]** Die [Fig. 53b](#) zeigt beispielhaft ein Paar eines dreigängigen Knetelements, das auf dem Schneckenprofil nach [Fig. 48a](#) basiert. Der Gehäuseradius beträgt  $RG = 0,5433$ . Das Spiel zwischen den Knetscheiben der beiden Fördererelemente beträgt  $S = 0,02$ . Das Spiel zwischen den Knetscheiben der beiden Knetelementen und dem Gehäuse beträgt  $D = 0,01$ . Das Knetelement besteht aus 7 Knetscheiben, die jeweils um einen Winkel von  $\pi/18$  rechtsgängig zueinander versetzt sind. Die erste und die letzte Knetscheibe besitzen eine Länge von  $0,09$ . Die mittleren Knetscheiben besitzen eine Länge von  $0,18$ . Die Nut zwischen den Knetscheiben besitzt eine Länge von  $0,02$ . Das Gehäuse wird durch dünne, durchgezogene Linien links und rechts der beiden Fördererelemente dargestellt. Auf den Oberflächen der beiden Knetelemente ist ferner ein mögliches Rechengitter dargestellt, welches zur Berechnung der Strömung

in Zwei- und Mehrwellenextrudern verwendet werden kann.

**[0164]** Die [Fig. 54](#) bis [60](#) beschreiben Schneckenprofile der Gangzahl 4, die nach dem Verfahren zur Erzeugung von dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen der Gangzahl  $z$  erzeugt werden. In den [Fig. 54](#) bis [56](#) wird immer ein Achtel eines Schneckenprofils der Gangzahl 4 gezeigt. Alle diese Figuren weisen einen analogen Aufbau wie die [Fig. 1](#) bis [20](#) auf, der für diese Figuren bereits im Detail beschrieben wurde.

**[0165]** Die [Fig. 54](#) bis [60](#) zeigen Schneckenprofile und Schneckenelemente, in denen der dimensionslose Schneckenaußenradius  $RA$  die Werte  $0,5083$ ,  $0,515$ ,  $0,5183$ ,  $0,5217$  und  $0,5283$  hat. Das erfindungsgemäße Verfahren zur Erzeugung von ebenen, dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen der Gangzahl  $z$  ist nicht auf diese diskreten Werte des dimensionslosen Schneckenaußenradius limitiert. Unter Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens können viergängige Schneckenprofile mit einem dimensionslosen Schneckenaußenradius zwischen  $RA$  größer  $0,5$  und  $RA$  kleiner oder gleich  $0,541$ , bevorzugt im Bereich von  $RA = 0,505$  bis  $RA = 0,536$  erzeugt werden.

**[0166]** [Fig. 54](#): Die [Fig. 54a](#) und [Fig. 54b](#) zeigen bevorzugte 2-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 54a](#) und [Fig. 54b](#) unterscheiden sich durch den Schneckenaußenradius  $RA$ . In der [Fig. 54a](#) beträgt der Schneckenaußenradius  $RA = 0,5217$ . In der [Fig. 54b](#) beträgt der Schneckenaußenradius  $RA = 0,5283$ . In den [Fig. 54a](#) und [Fig. 54b](#) ist der Radius  $R_1$  des 1. Kreisbogens vom Schneckenaußenradius  $RA$  abhängig. In den [Fig. 54a](#) und [Fig. 54b](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Winkel  $\alpha_1 = \pi/8$ .

**[0167]** [Fig. 55](#): Die [Fig. 55a](#) und [Fig. 55b](#) zeigen bevorzugte 4-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 55a](#) und [Fig. 55b](#) unterscheiden sich durch den Schneckenaußenradius  $RA$ . In der [Fig. 55a](#) beträgt der Schneckenaußenradius  $RA = 0,5217$ . In der [Fig. 55b](#) beträgt der Schneckenaußenradius  $RA = 0,5283$ . In den [Fig. 55a](#) und [Fig. 55b](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = RA$ . In den [Fig. 55a](#) und [Fig. 55b](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = 0$ . In den [Fig. 55a](#) und [Fig. 55b](#) ist der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens vom Schneckenaußenradius  $RA$  abhängig. In den [Fig. 55a](#) und [Fig. 55b](#) ist der Radius  $\alpha_2$  des 2. Kreisbogens vom Schneckenaußenradius  $RA$  abhängig.

**[0168]** [Fig. 56](#): Die [Fig. 56a](#) und [Fig. 56b](#) zeigen weitere bevorzugte 4-Kreis-Schneckenprofile. Die [Fig. 56a](#) und [Fig. 56b](#) unterscheiden sich durch den Schneckenaußenradius  $RA$ . In der [Fig. 56a](#) beträgt der Schneckenaußenradius  $RA = 0,5217$ . In der [Fig. 56b](#) beträgt der Schneckenaußenradius  $RA =$

0,5283. In den [Fig. 56a](#) und [Fig. 56b](#) besitzt der 1. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_1 = 0$ . In den [Fig. 56a](#) und [Fig. 56b](#) besitzt der 2. Kreisbogen jeweils den Radius  $R_2 = A = 1$ . In den [Fig. 56a](#) und [Fig. 56b](#) ist der Winkel  $\alpha_1$  des 1. Kreisbogens vom Schneckenaußenradius  $RA$  abhängig. In den [Fig. 56a](#) und [Fig. 56b](#) ist der Radius  $\alpha_2$  des 2. Kreisbogens vom Schneckenaußenradius  $RA$  abhängig.

**[0169]** Die [Fig. 54](#) bis [56](#) zeigen Schneckenprofile, die analog der [Fig. 1](#) bis [3](#) für eingängige Schneckenprofile aufgebaut sind. Die [Fig. 54](#) bis [56](#) zeigen Schneckenprofile, die analog der [Fig. 25](#) bis [27](#) für zweigängige Schneckenprofile aufgebaut sind. Die [Fig. 54](#) bis [56](#) zeigen Schneckenprofile, die analog der [Fig. 47](#) bis [49](#) für dreigängige Schneckenprofile aufgebaut sind. Die in den [Fig. 4](#) bis [19](#) und in den [Fig. 28](#) bis [42](#) gezeigten ein- und zweigängigen Schneckenprofile lassen sich analog auf viergängige Schneckenprofile übertragen. Damit kann auch bei viergängigen Schneckenprofilen die Größe des Kammereichs auf vielfältige Art und Weise eingestellt werden. Je nach Wahl des Übergangs zwischen Flanken- und Kammereich des Schneckenprofils können wie bei den eingängigen, den zweigängigen und den dreigängigen Schneckenprofilen der auf das viskose Fluid wirkende Dehn- und Scheranteil eingestellt werden.

**[0170]** Wie aus den [Fig. 1](#) bis [20](#), den [Fig. 25](#) bis [42](#), den [Fig. 47](#) bis [49](#) und den [Fig. 54](#) bis [56](#) hervorgeht, lassen sich die Mittelpunkte der Kreisbögen des zweiten Teils eines z-gängigen Abschnitts eines Schneckenprofils besonders einfach dadurch erhalten, indem die Mittelpunkte der Kreisbögen des ersten Teils eines Schneckenprofilabschnitts an der in den Koordinatenursprung verschobenen Gerade  $FP$  gespiegelt werden. Die Steigung der Geraden  $FP$  bezogen auf eine erste Abschnittsgrenze des Schneckenprofilabschnitts ist für eine Gangzahl  $z = 1$  gleich 0 und für eine Gangzahl  $z > 1$  gleich  $-1/\tan(\pi/(2z))$ , wobei  $\pi$  die Kreiszahl ist.

**[0171]** Die [Fig. 57](#) bis [59](#) zeigen das erzeugende und das erzeugte Schneckenprofil innerhalb eines achtförmigen Schneckengehäuses. Alle diese Figuren weisen den analogen Aufbau wie die [Fig. 21](#) bis [23](#) auf, der für diese Figuren bereits im Detail beschrieben wurde. Die Zahlenwerte innerhalb der Schneckenprofile sind ebenfalls bereits im Zusammenhang mit den [Fig. 21](#) bis [23](#) erläutert worden.

**[0172]** [Fig. 57](#): Die [Fig. 57a](#) bis [Fig. 57d](#) zeigen bevorzugte Ausführungsformen einer exzentrischen Positionierung viergängiger Schneckenprofile. Die gezeigten dicht kämmenden, selbstreinigenden Schneckenprofile basieren auf der [Fig. 55](#), wobei hier ein Schneckenaußenradius von  $RA = 0,515$  gewählt wurde. Die weiteren geometrischen Kenngrö-

ßen können den einzelnen Figuren entnommen werden. Exzentrisch positionierte, viergängige, dicht kämmende, selbstreinigende Schneckenprofile sind dadurch charakterisiert, dass der Abstand der Schneckenprofile zum Gehäuse abhängig von der Richtung der Verschiebung unterschiedlich groß ist. Die Schneckenprofile sind in den [Fig. 57a](#) bis [Fig. 57c](#) jeweils soweit verschoben worden, dass genau ein Punkt des linken Schneckenprofils das Gehäuse berührt. Die Größe der dazu notwendigen Verschiebung hängt von der Richtung der Verschiebung ab. Einen Sonderfall zeigt die [Fig. 57d](#), bei dem die Schneckenprofile in Größe und Richtung so verschoben werden, dass beide Schneckenprofile in genau einem Punkt das Gehäuse berühren. Die Verschiebung erfolgt hier unter einem Winkel von  $\pi/8$ . Es können ferner exzentrische Positionierungen der Schneckenprofile gewählt werden, bei dem kein Punkt der Schneckenprofile das Gehäuse berührt.

**[0173]** [Fig. 58](#): Wie dem Fachmann bekannt ist, benötigen alle Schneckenelemente in der Praxis ein gewisses Spiel und zwar sowohl untereinander als auch gegenüber dem Gehäuse. Die [Fig. 58a](#) bis [Fig. 58d](#) zeigen verschiedene Spielstrategien. Die gezeigten dicht kämmenden, selbstreinigenden Schneckenprofile basieren auf der [Fig. 55b](#). Die weiteren geometrischen Kenngrößen können den einzelnen Figuren entnommen werden. In [Fig. 58a](#) wird eine Spielstrategie gezeigt, bei der das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse gleich groß ist. In [Fig. 58b](#) wird eine Spielstrategie gezeigt, bei der das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen kleiner ist als das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse. In [Fig. 58c](#) wird eine Spielstrategie gezeigt, bei der das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen größer ist als das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse. In [Fig. 58d](#) wird eine weitere Ausführungsform nach [Fig. 58c](#) mit besonders großen Spielen gezeigt. Typische, in der Praxis vorkommende Spiele liegen für das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen im Bereich 0,002 bis 0,1. Typische, in der Praxis vorkommende Spiele liegen für das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse im Bereich 0,002 bis 0,1. Typische, in der Praxis vorkommende Spiele sind über den Umfang des Schneckenprofils konstant. Es ist jedoch zulässig, sowohl das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen als auch das Spiel zwischen den zu fertigenden Schneckenprofilen und dem Gehäuse über den Umfang der Schneckenprofile zu variieren.

**[0174]** [Fig. 59](#): Weiterhin ist es möglich, die zu fertigenden Schneckenprofile innerhalb der Spiele zu verschieben. Die [Fig. 59a](#) bis [Fig. 59d](#) zeigen eine Auswahl möglicher Verschiebungen. Die gezeigten

dicht kämmenden, selbstreinigenden Schneckenprofile basieren auf der [Fig. 55b](#). Die gezeigten zu fertigenden Schneckenprofile basieren auf der [Fig. 58d](#). Die weiteren geometrischen Kenngrößen können den einzelnen Figuren entnommen werden. In den [Fig. 59a](#) bis [Fig. 59d](#) beträgt die Größe der Verschiebung für jeweils beide zu fertigenden Schneckenprofile  $VLR = VRR = 0,02$ . In den [Fig. 59a](#) bis [Fig. 59d](#) wird die Richtung der Verschiebung für jeweils beide zu fertigende Schneckenprofile zwischen  $VLW = VRW = 0$  und  $VLW = VRW = \pi/4$  schrittweise variiert. Es ist zulässig, die beiden zu fertigenden Schneckenprofile unabhängig voneinander in verschiedene Richtungen und um verschiedene Größen zu verschieben.

gitter dargestellt, welches zur Berechnung der Strömung in Zwei- und Mehrwellenextrudern verwendet werden kann.

**[0175]** Viergängige Schneckenprofile, die nach dem Verfahren zur Erzeugung von dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen der Gangzahl  $z$  erzeugt werden, können zur Fertigung von Schneckenelementen verwendet werden. Insbesondere können derartige Schneckenprofile zur Fertigung von Fördererelementen, Mischelementen, Knetelementen und Übergangselementen verwendet werden.

**[0176]** Die [Fig. 60a](#) zeigt beispielhaft ein Paar eines viergängigen Fördererelements, das auf dem Schneckenprofil nach [Fig. 55a](#) basiert. Der Gehäuseradius beträgt  $RG = 0,5217$ . Das Spiel zwischen den beiden Fördererelementen beträgt  $S = 0,02$ . Das Spiel zwischen den beiden Fördererelementen und dem Gehäuse beträgt  $D = 0,01$ . Die Steigung der Fördererelemente beträgt  $T = 2,4$ . Die Länge der Fördererelemente beträgt  $1,2$ , was einer Drehung der Schneckenprofile um einen Winkel von  $\pi$  entspricht. Das Gehäuse wird durch dünne, durchgezogene Linien links und rechts der beiden Fördererelemente dargestellt. Auf den Oberflächen der beiden Fördererelemente ist ferner ein mögliches Rechengitter dargestellt, welches zur Berechnung der Strömung in Zwei- und Mehrwellenextrudern verwendet werden kann.

**[0177]** Die [Fig. 60b](#) zeigt beispielhaft ein Paar eines viergängigen Knetelementes, das auf dem Schneckenprofil nach [Fig. 55a](#) basiert. Der Gehäuseradius beträgt  $RG = 0,5217$ . Das Spiel zwischen den Knetscheiben der beiden Fördererelemente beträgt  $S = 0,02$ . Das Spiel zwischen den Knetscheiben der beiden Knetelementen und dem Gehäuse beträgt  $D = 0,01$ . Das Knetelement besteht aus 7 Knetscheiben, die jeweils um einen Winkel von  $\pi/24$  rechtsgängig zueinander versetzt sind. Die erste und die letzte Knetscheibe besitzen eine Länge von  $0,09$ . Die mittleren Knetscheiben besitzen eine Länge von  $0,18$ . Die Nut zwischen den Knetscheiben besitzt eine Länge von  $0,02$ . Das Gehäuse wird durch dünne, durchgezogene Linien links und rechts der beiden Fördererelemente dargestellt. Auf den Oberflächen der beiden Knetelemente ist ferner ein mögliches Rechen-

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- K. Kohlgrüber: „Der gleichläufige Doppelschneckenextruder“, Hanser Verlag, 2007 [\[0002\]](#)
- Booy [2]: „Geometry of fully wiped twin-screw equipment“, Polymer Engineering and Science 18 (1978) 12, Seiten 973–984 [\[0005\]](#)

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Erzeugung von ebenen, dicht kämmenden, selbstreinigenden, gleichsinnig drehenden Schneckenprofilen mit einem wählbaren Achsabstand  $a$  zwischen den Drehachsen eines erzeugenden und eines erzeugten Schneckenprofils, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erzeugende Schneckenprofil aus  $n$  Kreisbögen und das erzeugte Schneckenprofil aus  $n'$  Kreisbögen gebildet wird, wobei

- das erzeugende Schneckenprofil und das erzeugte Schneckenprofil in einer Ebene liegen,
- die Drehachse des erzeugenden Schneckenprofils und die Drehachse des erzeugten Schneckenprofils jeweils senkrecht auf der besagten Ebene der Schneckenprofile stehen, wobei der Schnittpunkt der Drehachse des erzeugenden Schneckenprofils mit der besagten Ebene als Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils und der Schnittpunkt der Drehachse des erzeugten Schneckenprofils mit der besagten Ebene als Drehpunkt des erzeugten Schneckenprofils bezeichnet wird,
- die Anzahl der Kreisbögen  $n$  des erzeugenden Schneckenprofils gewählt wird, wobei  $n$  eine ganze Zahl ist, die größer oder gleich 1 ist,
- ein Außenradius  $r_a$  des erzeugenden Schneckenprofils gewählt wird, wobei  $r_a$  einen Wert annehmen kann, der größer als 0 ( $r_a > 0$ ) und kleiner oder gleich dem Achsabstand ( $r_a \leq a$ ) ist,
- ein Kernradius  $r_i$  des erzeugenden Schneckenprofils gewählt wird, wobei  $r_i$  einen Wert annehmen kann, der größer als 0 ( $r_i > 0$ ) und kleiner oder gleich  $r_a$  ( $r_i \leq r_a$ ) ist,
- die Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils entsprechend den nachfolgenden Anordnungsregeln derart angeordnet werden, dass:
  - alle Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils derart tangential ineinander übergehen, dass sich ein geschlossenes, konvexes Schneckenprofil ergibt, wobei ein Kreisbogen, dessen Radius gleich 0 ist, wie ein Kreisbogen behandelt wird, dessen Radius gleich  $\epsilon$  ist, wobei  $\epsilon$  eine sehr kleine positive reelle Zahl ist, die gegen 0 strebt ( $\epsilon \ll 1$ ,  $\epsilon \rightarrow 0$ ),
  - jeder der Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils innerhalb oder auf den Grenzen eines Kreistrings mit dem Außenradius  $r_a$  und dem Kernradius  $r_i$  liegt, dessen Mittelpunkt auf dem Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils liegt,
  - mindestens einer der Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils den Außenradius  $r_a$  des erzeugenden Schneckenprofils berührt,
  - mindestens einer der Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils den Kernradius  $r_i$  des erzeugenden Schneckenprofils berührt,
  - die Größe eines ersten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils, die durch einen Winkel  $\alpha_1$  und einen Radius  $r_1$  festgelegt ist, derart gewählt wird, dass der Winkel  $\alpha_1$  im Bogenmaß größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich  $2\pi$  ist, wobei unter  $\pi$

die Kreiszahl zu verstehen ist ( $\pi \approx 3,14159$ ), und der Radius  $r_1$  größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich dem Achsabstand  $a$  ist, und die Position dieses ersten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils, die sich durch das Positionieren von zwei verschiedenen Punkten dieses ersten Kreisbogens ergibt, entsprechend den besagten Anordnungsregeln festgelegt wird, wobei ein erster zu positionierender Punkt dieses ersten Kreisbogens bevorzugt ein zu diesem ersten Kreisbogen zugehöriger Anfangspunkt ist und wobei ein zweiter zu positionierender Punkt dieses ersten Kreisbogens bevorzugt der zu diesem ersten Kreisbogen zugehörige Mittelpunkt ist,

- die Größen von weiteren  $n - 2$  Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils, die durch die Winkel  $\alpha_2, \dots, \alpha_{(n-1)}$  und die Radien  $r_2, \dots, r_{(n-1)}$  festgelegt sind, derart gewählt werden, dass die Winkel  $\alpha_2, \dots, \alpha_{(n-1)}$  im Bogenmaß größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich  $2\pi$  sind und die Radien  $r_2, \dots, r_{(n-1)}$  größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich dem Achsabstand  $a$  sind, und die Positionen dieser weiteren  $n - 2$  Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils entsprechend den besagten Anordnungsregeln festgelegt sind,
- die Größe eines letzten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils, die durch einen Winkel  $\alpha_n$  und einen Radius  $r_n$  festgelegt ist, dadurch gegeben ist, dass die Summe der  $n$  Winkel der  $n$  Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils im Bogenmaß gleich  $2\pi$  ist, wobei der Winkel  $\alpha_n$  im Bogenmaß größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich  $2\pi$  ist, und der Radius  $r_n$  das erzeugende Schneckenprofil schließt, wobei der Radius  $r_n$  größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich dem Achsabstand  $a$  ist, und die Position dieses letzten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils entsprechend den besagten Anordnungsregeln festgelegt ist,
- sich die  $n'$  Kreisbögen des erzeugten Schneckenprofils aus den  $n$  Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils dadurch ergeben, dass
  - die Anzahl der Kreisbögen  $n'$  des erzeugten Schneckenprofils gleich der Anzahl der Kreisbögen  $n$  des erzeugenden Schneckenprofils ist, wobei  $n'$  eine ganze Zahl ist,
  - der Außenradius  $r_a'$  des erzeugten Schneckenprofils gleich der Differenz des Achsabstandes minus des Kernradius  $r_i$  des erzeugenden Schneckenprofils ist ( $r_a' = a - r_i$ ),
  - der Kernradius  $r_i'$  des erzeugten Schneckenprofils gleich der Differenz des Achsabstandes minus des Außenradius  $r_a$  des erzeugenden Schneckenprofils ist ( $r_i' = a - r_a$ ),
  - der Winkel  $\alpha_{i'}$  des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils gleich dem Winkel  $\alpha_i$  des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils ist, wobei  $i$  und  $i'$  ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich von 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen  $n$  beziehungsweise  $n'$  durchlaufen ( $\alpha_{1'} = \alpha_1, \dots, \alpha_{n'} = \alpha_n$ ),

– die Summe des Radius  $r_i'$  des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils und des Radius  $r_i$  des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils gleich dem Achsabstand  $a$  ist, wobei  $i$  und  $i'$  ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen  $n$  beziehungsweise  $n'$  durchlaufen ( $r_{1'} + r_1 = a, \dots, r_{n'} + r_n = a$ ),

– der Mittelpunkt des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils einen Abstand von dem Mittelpunkt des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils besitzt, der gleich dem Achsabstand  $a$  ist, und der Mittelpunkt des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils einen Abstand von dem Drehpunkt des erzeugten Schneckenprofils besitzt, der gleich dem Abstand des Mittelpunkts des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils von dem Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils ist, und die Verbindungslinie zwischen dem Mittelpunkt des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils und dem Mittelpunkt des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils eine Parallele zu einer Verbindungslinie zwischen dem Drehpunkt des erzeugten Schneckenprofils und dem Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils ist, wobei  $i$  und  $i'$  ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen  $n$  beziehungsweise  $n'$  durchlaufen ( $i' = i$ ),

– ein Anfangspunkt des  $i'$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils in einer Richtung bezogen auf den Mittelpunkt des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils liegt, die entgegengesetzt derjenigen Richtung ist, die ein Anfangspunkt des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils bezogen auf den Mittelpunkt des  $i$ -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils besitzt, wobei  $i$  und  $i'$  ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen  $n$  beziehungsweise  $n'$  durchlaufen ( $i' = i$ ).

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Schneckenaußenradius  $r_a$  des erzeugenden Schneckenprofils gleich dem Schneckenaußenradius  $r_a'$  des erzeugten Schneckenprofils ist und der Kernradius  $r_i$  des erzeugenden Schneckenprofils gleich dem Kernradius  $r_i'$  des erzeugten Schneckenprofils ist.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass

- eine Gangzahl  $z$  gewählt wird, wobei  $z$  eine ganze Zahl ist, die größer oder gleich 1 ist,
- die Anzahl der Kreisbögen  $n$  des erzeugenden Schneckenprofils so gewählt wird, dass sie ein ganzes Vielfaches  $p$  von  $4 \cdot z$  ist,
- das erzeugende Schneckenprofil in  $2 \cdot z$  Abschnitte eingeteilt wird, die dadurch gekennzeichnet sind, dass
- jeder Abschnitt durch zwei Geraden begrenzt ist, die zueinander einen Winkel im Bogenmaß von  $\pi/z$  bilden und die sich im Drehpunkt des erzeugenden

Schneckenprofils schneiden, wobei diese beiden Geraden als Abschnittsgrenzen bezeichnet werden, wobei unter  $\pi$  die Kreiszahl zu verstehen ist ( $\pi \approx 3,14159$ ),

- jeder dieser  $2 \cdot z$  Abschnitte in einen ersten und einen zweiten Teil untergliedert wird,

- der erste Teil eines Abschnitts aus  $p$  Kreisbögen gebildet wird, die in aufsteigender oder absteigender Reihenfolge nummeriert sind,

- zu den  $p$  Kreisbögen zugehörige Winkel  $\alpha_1, \dots, \alpha_p$  so gewählt werden, dass die Summe dieser Winkel gleich  $\pi/(2 \cdot z)$  ist, wobei die Winkel  $\alpha_1, \dots, \alpha_p$  im Bogenmaß größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich  $\pi/(2 \cdot z)$  sind,

- der zweite Teil eines Abschnitts aus  $p'$  Kreisbögen gebildet wird, die in umgekehrter Reihenfolge nummeriert sind, wie die Kreisbögen des ersten Teils eines Abschnitts, wobei  $p'$  eine ganze Zahl ist, die gleich  $p$  ist,

- zu den  $p'$  Kreisbögen zugehörige Winkel  $\alpha_{p'}, \dots, \alpha_{1'}$  dadurch bestimmt sind, dass der Winkel  $\alpha_{j'}$  des  $j'$ -ten Kreisbogens des zweiten Teils eines Abschnitts gleich dem Winkel  $\alpha_j$  des  $j$ -ten Kreisbogens des ersten Teils eines Abschnitts ist, wobei  $j$  und  $j'$  ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen  $p$  beziehungsweise  $p'$  durchlaufen ( $\alpha_{1'} = \alpha_1, \dots, \alpha_{p'} = \alpha_p$ ),

- die Summe des Radius  $r_{j'}$  des  $j'$ -ten Kreisbogens des zweiten Teils eines Abschnitts und des Radius  $r_j$  des  $j$ -ten Kreisbogens des ersten Teils eines Abschnitts gleich dem Achsabstand  $a$  ist, wobei  $j$  und  $j'$  ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen  $p$  beziehungsweise  $p'$  durchlaufen ( $r_{1'} + r_1 = a, \dots, r_{p'} + r_p = a$ ),
- ein zu dem Kreisbogen, mit dem das Schneckenprofil im ersten Teil eines Abschnitts beginnt, zugehöriger Mittelpunkt und zugehöriger Anfangspunkt in Abhängigkeit von der Anordnung der Kreisbögen im oder gegen den Uhrzeigersinn auf eine der Abschnittsgrenzen dieses Abschnitts gelegt wird,

- ein zu dem Kreisbogen, mit dem das Schneckenprofil im ersten Teil eines Abschnitts endet, zugehöriger Endpunkt eine Gerade FP in einem Punkt tangiert, wobei die Gerade FP senkrecht auf der Winkelhalbierenden der beiden Abschnittsgrenzen dieses Abschnitts steht und einen Abstand vom Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils in Richtung dieses Abschnitts besitzt, der gleich dem halben Achsabstand ist, wobei die Winkelhalbierende wie die Abschnittsgrenzen durch den Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils führt.

4. Verfahren nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass ein Schneckenprofilabschnitt in einem der  $2 \cdot z$  Abschnitte des erzeugenden Schneckenprofils vorgegeben wird und die übrigen Schneckenprofilabschnitte durch fortlaufende Spiegelung des vorgegebenen Schneckenprofilabschnitts an den Abschnittsgrenzen erzeugt werden.

5. Verfahren nach den Ansprüchen 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass eingängige Schneckenprofile längs einer Abschnittsgrenze verschoben werden.

6. Verfahren nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Schneckenprofile exzentrisch angeordnet werden.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6 zur Herstellung von Schneckenelementen.

8. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Schneckenelemente als Mischelemente oder Fördererlemente ausgebildet sind, dadurch gekennzeichnet, dass sie rechts- oder linksgängig sind und die auf den Achsabstand normierte Steigung im Bereich 0,1 bis 10 liegt und die auf den Achsabstand normierte Länge der Elemente im Bereich 0,1 bis 10 liegt.

9. Verfahren nach Anspruch 7, wobei die Schneckenelemente als Knetelemente ausgebildet sind, dadurch gekennzeichnet, dass die Anordnung der Knetscheiben rechts- oder linksgängig oder neutral erfolgt und die auf den Achsabstand normierte Länge der Knetscheiben im Bereich 0,05 bis 10 liegt.

10. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass ein Übergangselement erzeugt wird, indem die Größe und/oder Position eines oder mehrerer Kreisbögen eines ersten erzeugenden Schneckenprofils oder eines ersten erzeugten Schneckenprofils kontinuierlich auf die Größe und/oder Position eines oder mehrerer Kreisbögen eines zweiten erzeugenden Schneckenprofils oder eines zweiten erzeugten Schneckenprofils übergeht, dadurch gekennzeichnet, dass das Übergangselement rechts- oder linksgängig ist und die auf den Achsabstand normierte Steigung im Bereich 0,1 bis 10 liegt und die auf den Achsabstand normierte Länge des Elements im Bereich 0,1 bis 10 liegt.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Schneckenelemente Spiele aufweisen, wobei das Spiel zwischen den Schnecken im Bereich des 0,002-fachen bis 0,1-fachen des Achsabstandes liegt und das Spiel zwischen Schnecke und Gehäuse im Bereich des 0,002-fachen bis 0,1-fachen des Achsabstandes liegt.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Schneckenelemente innerhalb der Spiele exzentrisch verschoben sind.

13. Computerprogrammprodukt mit Programmcode-Mitteln, die auf einem computerlesbaren Datenträger gespeichert sind, um das Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12 durchzuführen, wenn das Computerprogrammprodukt auf einem Computer

ausgeführt wird.

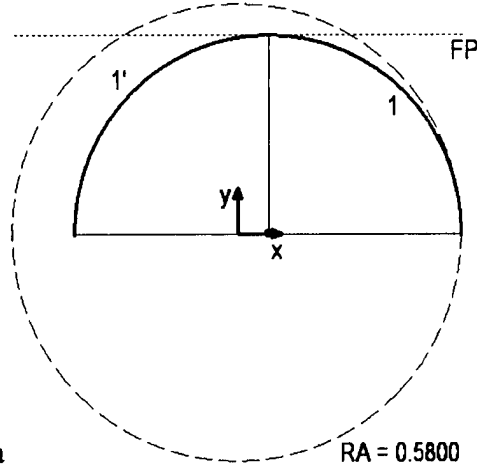
14. Computerprogrammprodukt nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Schneckenprofile zur Erzeugung mindestens eines Rechengitters genutzt werden, auf denen die Strömung in Zwei- und Mehrwellenextrudern berechnet wird, wobei das mindestens eine Rechengitter ein Fördererlement, ein Mischelement, ein Knetelement oder ein Übergangselement abbildet.

15. Schneckenelemente, die nach einem Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 10 erzeugt worden sind.

Es folgen 58 Blatt Zeichnungen

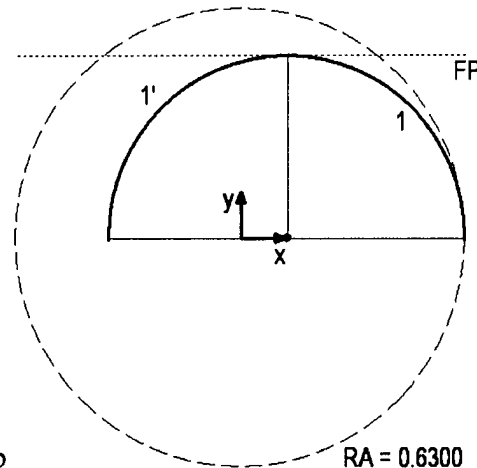
Anhängende Zeichnungen

Figuren



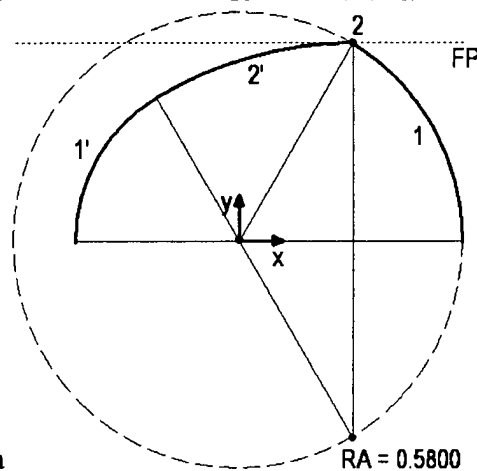
- 1)  $R = 0.5000$   $M_x = 0.0800$   
 $\alpha = 1.5708$   $M_y = 0.0000$
- 1')  $R = 0.5000$   $M_x = 0.0800$   
 $\alpha = 1.5708$   $M_y = -0.0000$

Figur 1a



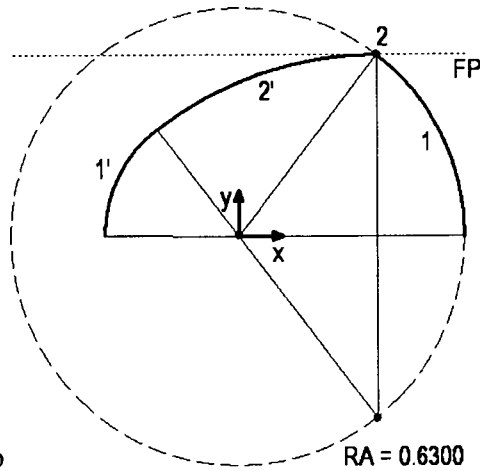
- 1)  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1300$   
 $\alpha = 1.5708$   $M_y = 0.0000$
- 1')  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1300$   
 $\alpha = 1.5708$   $M_y = -0.0000$

Figur 1b



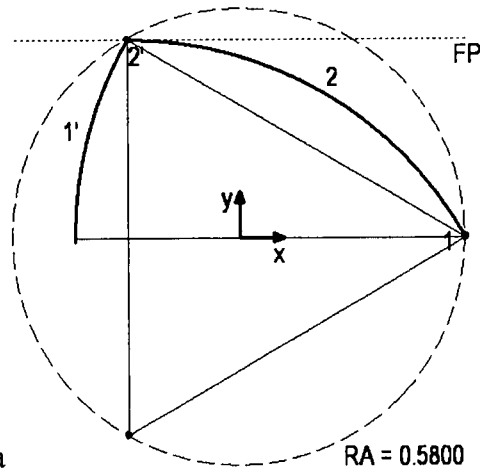
- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 1.0393$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = -0.5000$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 1.0393$   $M_y = 0.0000$

Figur 2a



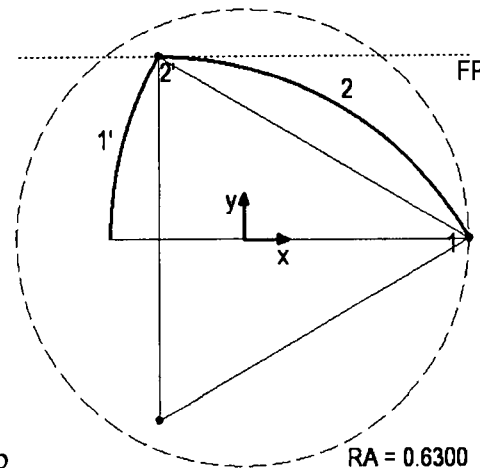
- 1)  $R = 0.6300$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.9168$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.3833$   
 $\alpha = 0.6540$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.3833$   
 $\alpha = 0.6540$   $M_y = -0.5000$
- 1')  $R = 0.3700$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.9168$   $M_y = 0.0000$

Figur 2b



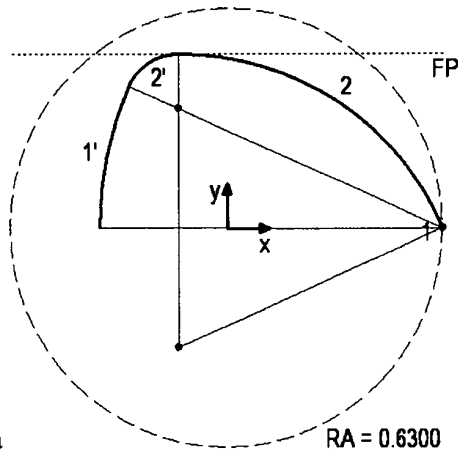
- 1)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5800$   
 $\alpha = 0.5236$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2860$   
 $\alpha = 1.0472$   $M_y = -0.5000$
- 2')  $R = 0.0000$   $M_x = -0.2860$   
 $\alpha = 1.0472$   $M_y = 0.5000$
- 1')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.5800$   
 $\alpha = 0.5236$   $M_y = -0.0000$

Figur 3a



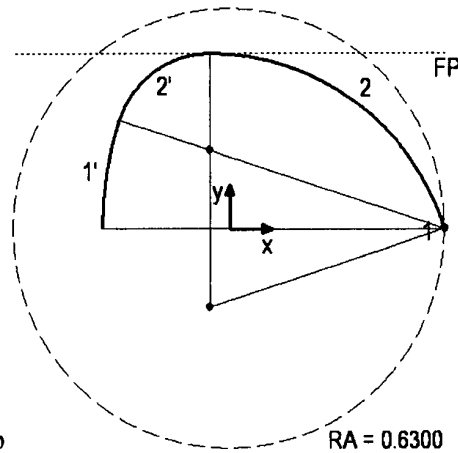
- 1)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.6300$   
 $\alpha = 0.5236$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2360$   
 $\alpha = 1.0472$   $M_y = -0.5000$
- 2')  $R = 0.0000$   $M_x = -0.2360$   
 $\alpha = 1.0472$   $M_y = 0.5000$
- 1')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.6300$   
 $\alpha = 0.5236$   $M_y = -0.0000$

Figur 3b



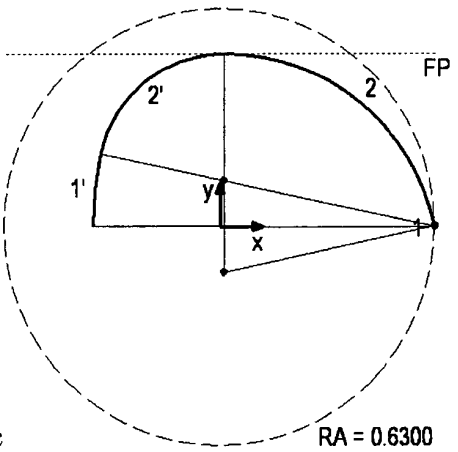
Figur 4a

- 1)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.6300$   
 $\alpha = 0.4189$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.8428$   $M_x = -0.1399$   
 $\alpha = 1.1519$   $M_y = -0.3428$
- 2')  $R = 0.1572$   $M_x = -0.1399$   
 $\alpha = 1.1519$   $M_y = 0.3428$
- 1')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.6300$   
 $\alpha = 0.4189$   $M_y = -0.0000$



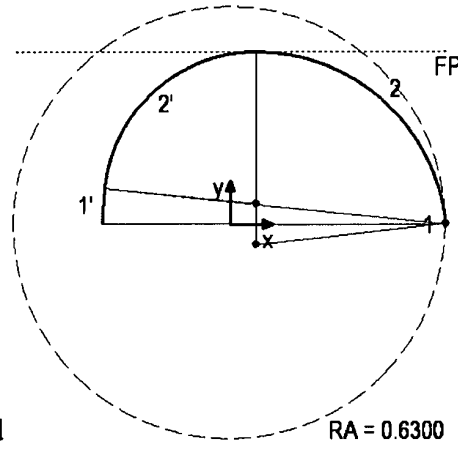
Figur 4b

- 1)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.6300$   
 $\alpha = 0.3142$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.7236$   $M_x = -0.0582$   
 $\alpha = 1.2566$   $M_y = -0.2236$
- 2')  $R = 0.2764$   $M_x = -0.0582$   
 $\alpha = 1.2566$   $M_y = 0.2236$
- 1')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.6300$   
 $\alpha = 0.3142$   $M_y = -0.0000$



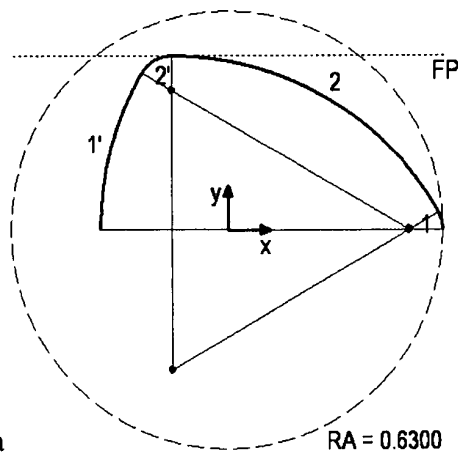
Figur 4c

- 1)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.6300$   
 $\alpha = 0.2094$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.6312$   $M_x = 0.0126$   
 $\alpha = 1.3614$   $M_y = -0.1312$
- 2')  $R = 0.3688$   $M_x = 0.0126$   
 $\alpha = 1.3614$   $M_y = 0.1312$
- 1')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.6300$   
 $\alpha = 0.2094$   $M_y = -0.0000$



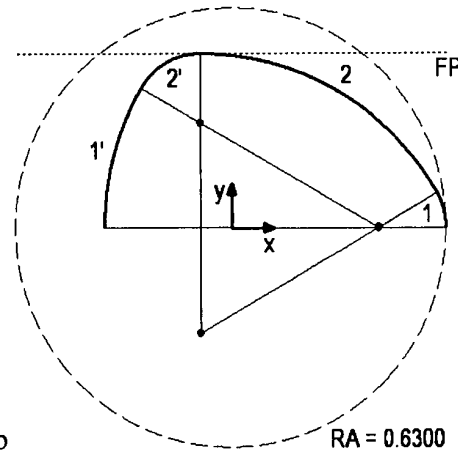
Figur 4d

- 1)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.6300$   
 $\alpha = 0.1047$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.5584$   $M_x = 0.0747$   
 $\alpha = 1.4661$   $M_y = -0.0584$
- 2')  $R = 0.4416$   $M_x = 0.0747$   
 $\alpha = 1.4661$   $M_y = 0.0584$
- 1')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.6300$   
 $\alpha = 0.1047$   $M_y = -0.0000$



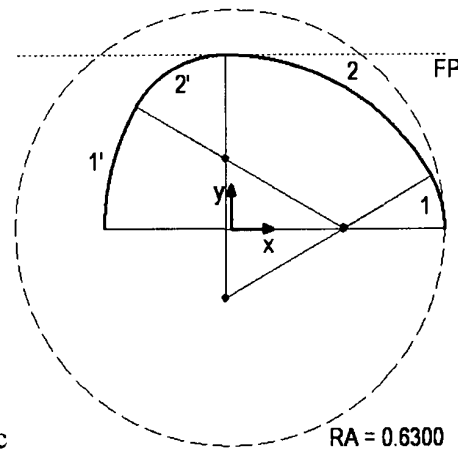
Figur 5a

- 1)  $R = 0.1000$   $M_x = 0.5300$   
 $\alpha = 0.5236$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.9000$   $M_x = -0.1628$   
 $\alpha = 1.0472$   $M_y = -0.4000$
- 2')  $R = 0.1000$   $M_x = -0.1628$   
 $\alpha = 1.0472$   $M_y = 0.4000$
- 1')  $R = 0.9000$   $M_x = 0.5300$   
 $\alpha = 0.5236$   $M_y = -0.0000$



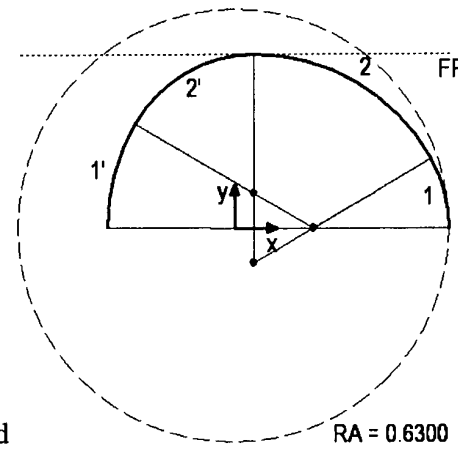
Figur 5b

- 1)  $R = 0.2000$   $M_x = 0.4300$   
 $\alpha = 0.5236$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.8000$   $M_x = -0.0896$   
 $\alpha = 1.0472$   $M_y = -0.3000$
- 2')  $R = 0.2000$   $M_x = -0.0896$   
 $\alpha = 1.0472$   $M_y = 0.3000$
- 1')  $R = 0.8000$   $M_x = 0.4300$   
 $\alpha = 0.5236$   $M_y = -0.0000$



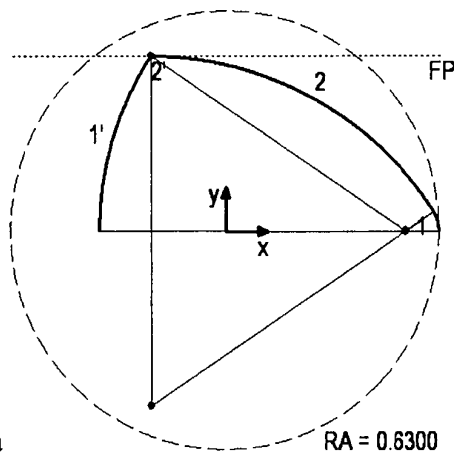
Figur 5c

- 1)  $R = 0.3000$   $M_x = 0.3300$   
 $\alpha = 0.5236$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.7000$   $M_x = -0.0164$   
 $\alpha = 1.0472$   $M_y = -0.2000$
- 2')  $R = 0.3000$   $M_x = -0.0164$   
 $\alpha = 1.0472$   $M_y = 0.2000$
- 1')  $R = 0.7000$   $M_x = 0.3300$   
 $\alpha = 0.5236$   $M_y = -0.0000$



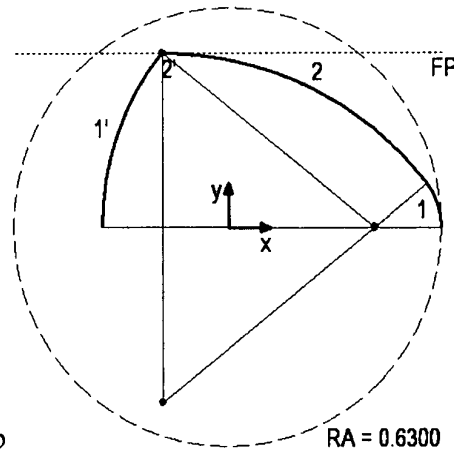
Figur 5d

- 1)  $R = 0.4000$   $M_x = 0.2300$   
 $\alpha = 0.5236$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.6000$   $M_x = 0.0568$   
 $\alpha = 1.0472$   $M_y = -0.1000$
- 2')  $R = 0.4000$   $M_x = 0.0568$   
 $\alpha = 1.0472$   $M_y = 0.1000$
- 1')  $R = 0.6000$   $M_x = 0.2300$   
 $\alpha = 0.5236$   $M_y = -0.0000$



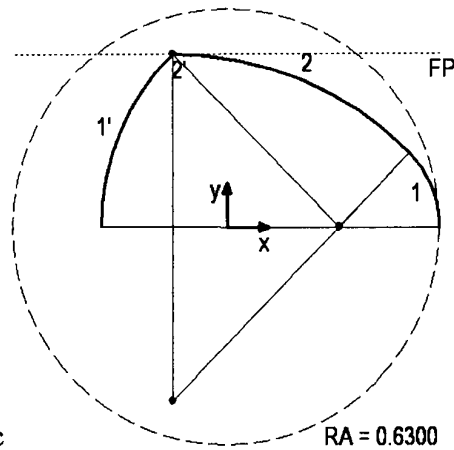
Figur 6a

- 1)  $R = 0.1000$   $M_x = 0.5300$   
 $\alpha = 0.5890$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2183$   
 $\alpha = 0.9818$   $M_y = -0.5000$
- 2')  $R = 0.0000$   $M_x = -0.2183$   
 $\alpha = 0.9818$   $M_y = 0.5000$
- 1')  $R = 0.9000$   $M_x = 0.5300$   
 $\alpha = 0.5890$   $M_y = -0.0000$



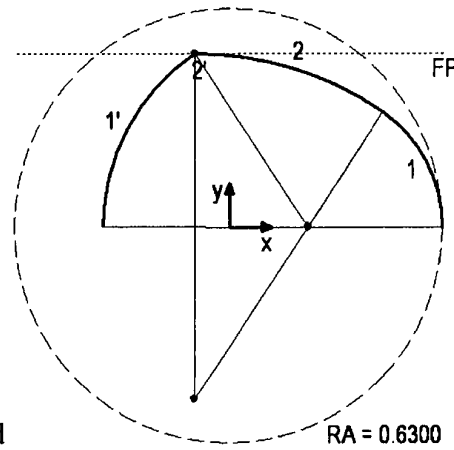
Figur 6b

- 1)  $R = 0.2000$   $M_x = 0.4300$   
 $\alpha = 0.6751$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1945$   
 $\alpha = 0.8957$   $M_y = -0.5000$
- 2')  $R = 0.0000$   $M_x = -0.1945$   
 $\alpha = 0.8957$   $M_y = 0.5000$
- 1')  $R = 0.8000$   $M_x = 0.4300$   
 $\alpha = 0.6751$   $M_y = -0.0000$



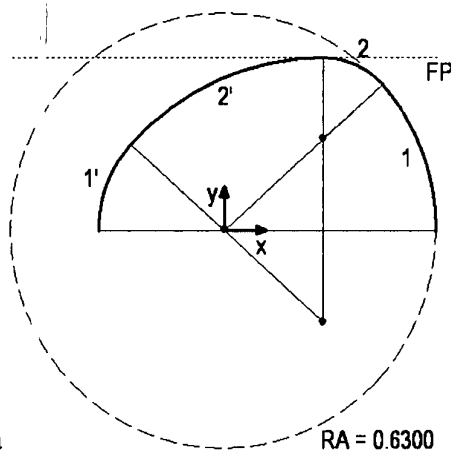
Figur 6c

- 1)  $R = 0.3000$   $M_x = 0.3300$   
 $\alpha = 0.7956$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1599$   
 $\alpha = 0.7752$   $M_y = -0.5000$
- 2')  $R = 0.0000$   $M_x = -0.1599$   
 $\alpha = 0.7752$   $M_y = 0.5000$
- 1')  $R = 0.7000$   $M_x = 0.3300$   
 $\alpha = 0.7956$   $M_y = -0.0000$



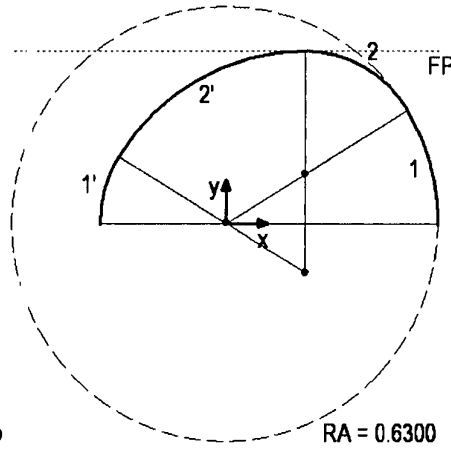
Figur 6d

- 1)  $R = 0.4000$   $M_x = 0.2300$   
 $\alpha = 0.9851$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1017$   
 $\alpha = 0.5857$   $M_y = -0.5000$
- 2')  $R = 0.0000$   $M_x = -0.1017$   
 $\alpha = 0.5857$   $M_y = 0.5000$
- 1')  $R = 0.6000$   $M_x = 0.2300$   
 $\alpha = 0.9851$   $M_y = -0.0000$



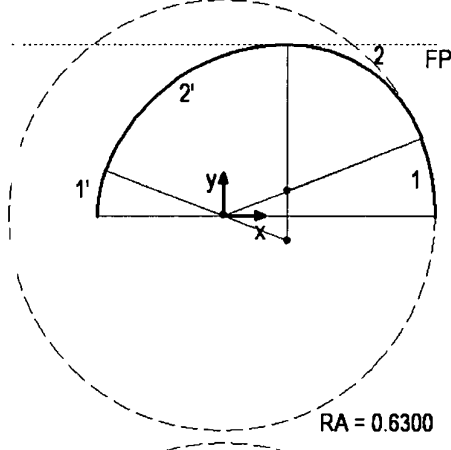
Figur 7a

- 1)  $R = 0.6300$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.7334$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.2368$   $M_x = 0.2921$   
 $\alpha = 0.8374$   $M_y = 0.2632$
- 2')  $R = 0.7632$   $M_x = 0.2921$   
 $\alpha = 0.8374$   $M_y = -0.2632$
- 1')  $R = 0.3700$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.7334$   $M_y = 0.0000$



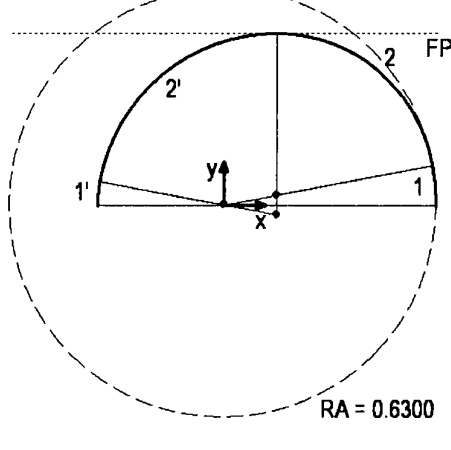
Figur 7b

- 1)  $R = 0.6300$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.5501$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.3576$   $M_x = 0.2322$   
 $\alpha = 1.0207$   $M_y = 0.1424$
- 2')  $R = 0.6424$   $M_x = 0.2322$   
 $\alpha = 1.0207$   $M_y = -0.1424$
- 1')  $R = 0.3700$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.5501$   $M_y = 0.0000$



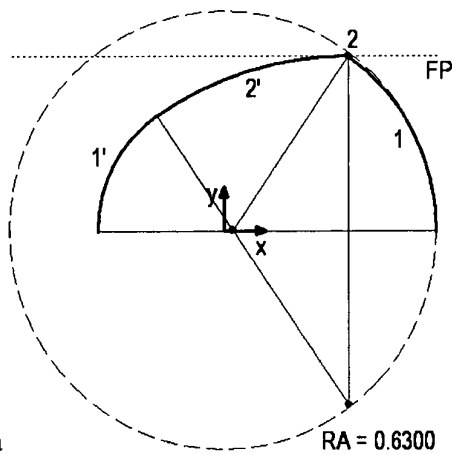
Figur 7c

- 1)  $R = 0.6300$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.3667$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.4273$   $M_x = 0.1892$   
 $\alpha = 1.2041$   $M_y = 0.0727$
- 2')  $R = 0.5727$   $M_x = 0.1892$   
 $\alpha = 1.2041$   $M_y = -0.0727$
- 1')  $R = 0.3700$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.3667$   $M_y = 0.0000$



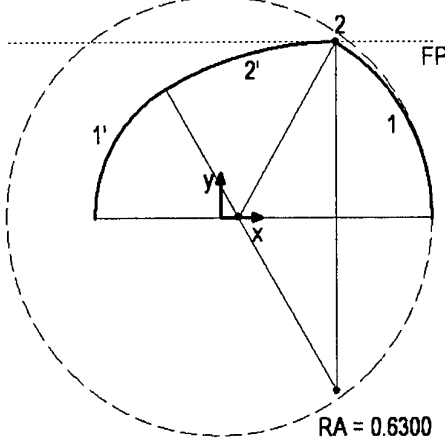
Figur 7c

- 1)  $R = 0.6300$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1834$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.4710$   $M_x = 0.1563$   
 $\alpha = 1.3874$   $M_y = 0.0290$
- 2')  $R = 0.5290$   $M_x = 0.1563$   
 $\alpha = 1.3874$   $M_y = -0.0290$
- 1')  $R = 0.3700$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1834$   $M_y = 0.0000$



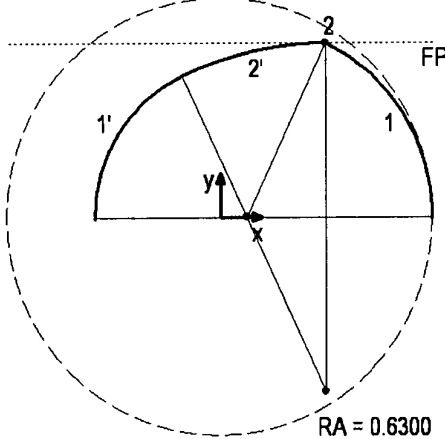
Figur 8a

- 1)  $R = 0.6040$   $M_x = 0.0260$   
 $\alpha = 0.9752$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.3648$   
 $\alpha = 0.5956$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.3648$   
 $\alpha = 0.5956$   $M_y = -0.5000$
- 1')  $R = 0.3960$   $M_x = 0.0260$   
 $\alpha = 0.9752$   $M_y = 0.0000$



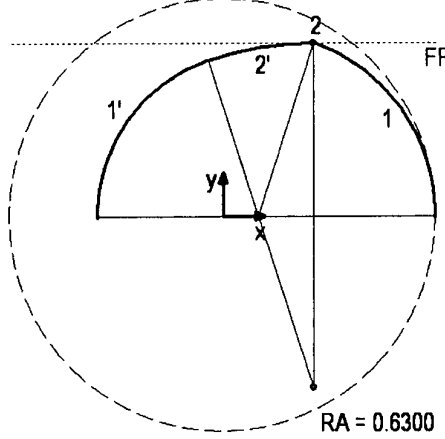
Figur 8b

- 1)  $R = 0.5780$   $M_x = 0.0520$   
 $\alpha = 1.0453$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.3420$   
 $\alpha = 0.5255$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.3420$   
 $\alpha = 0.5255$   $M_y = -0.5000$
- 1')  $R = 0.4220$   $M_x = 0.0520$   
 $\alpha = 1.0453$   $M_y = 0.0000$



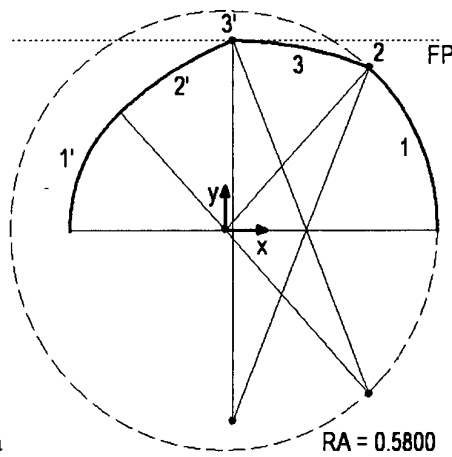
Figur 8c

- 1)  $R = 0.5520$   $M_x = 0.0780$   
 $\alpha = 1.1333$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.3119$   
 $\alpha = 0.4375$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.3119$   
 $\alpha = 0.4375$   $M_y = -0.5000$
- 1')  $R = 0.4480$   $M_x = 0.0780$   
 $\alpha = 1.1333$   $M_y = 0.0000$



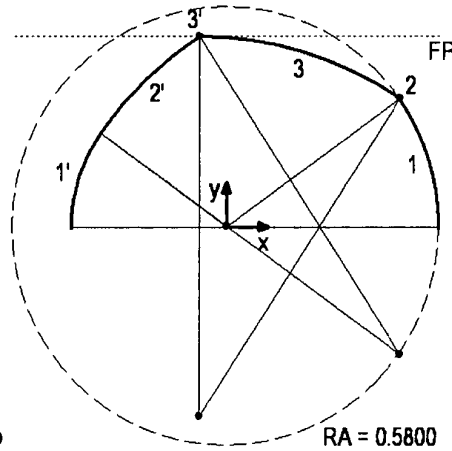
Figur 8d

- 1)  $R = 0.5260$   $M_x = 0.1040$   
 $\alpha = 1.2551$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.2673$   
 $\alpha = 0.3157$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.2673$   
 $\alpha = 0.3157$   $M_y = -0.5000$
- 1')  $R = 0.4740$   $M_x = 0.1040$   
 $\alpha = 1.2551$   $M_y = 0.0000$



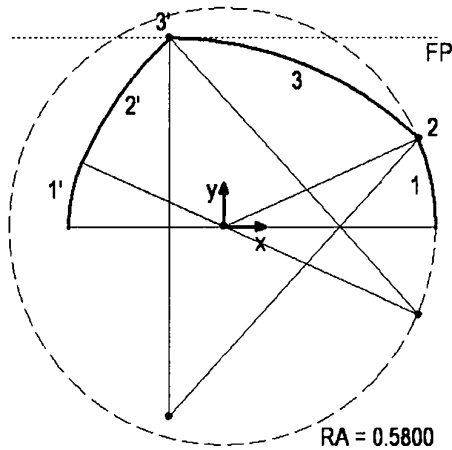
Figur 9a

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8315$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.3908$   
 $\alpha = 0.3591$   $M_y = 0.4286$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = 0.0197$   
 $\alpha = 0.3802$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = 0.0197$   
 $\alpha = 0.3802$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.3908$   
 $\alpha = 0.3591$   $M_y = -0.4286$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8315$   $M_y = 0.0000$



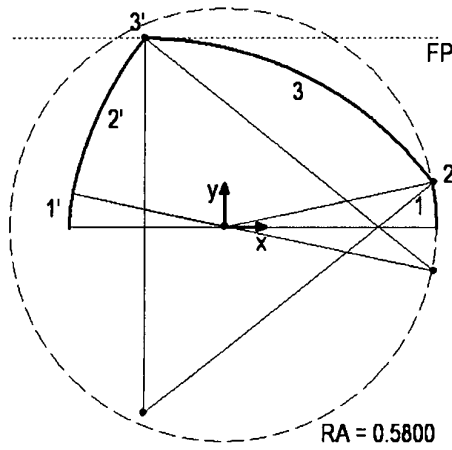
Figur 9b

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.6236$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4708$   
 $\alpha = 0.3713$   $M_y = 0.3387$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0738$   
 $\alpha = 0.5759$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = -0.0738$   
 $\alpha = 0.5759$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.4708$   
 $\alpha = 0.3713$   $M_y = -0.3387$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.6236$   $M_y = 0.0000$



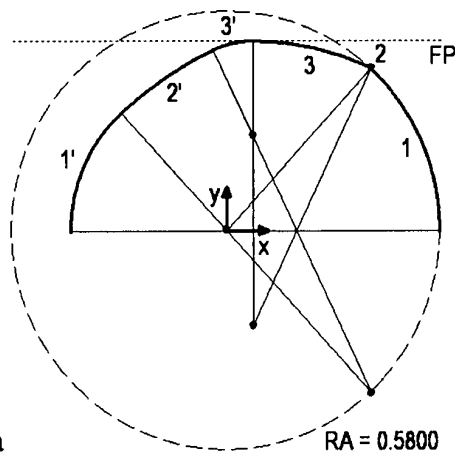
Figur 9c

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5306$   
 $\alpha = 0.4088$   $M_y = 0.2342$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1483$   
 $\alpha = 0.7462$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = -0.1483$   
 $\alpha = 0.7462$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.5306$   
 $\alpha = 0.4088$   $M_y = -0.2342$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$



Figur 9d

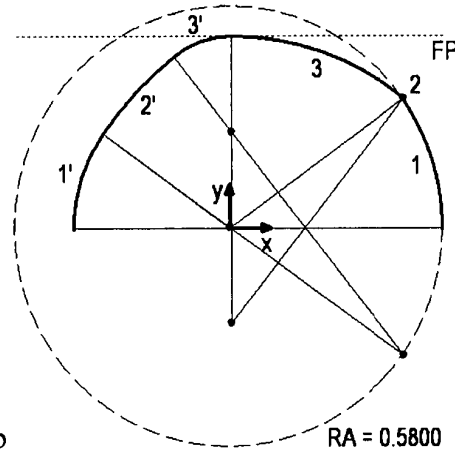
- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2079$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5675$   
 $\alpha = 0.4605$   $M_y = 0.1197$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2173$   
 $\alpha = 0.9024$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = -0.2173$   
 $\alpha = 0.9024$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.5675$   
 $\alpha = 0.4605$   $M_y = -0.1197$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2079$   $M_y = 0.0000$



Figur 10a

RA = 0.5800

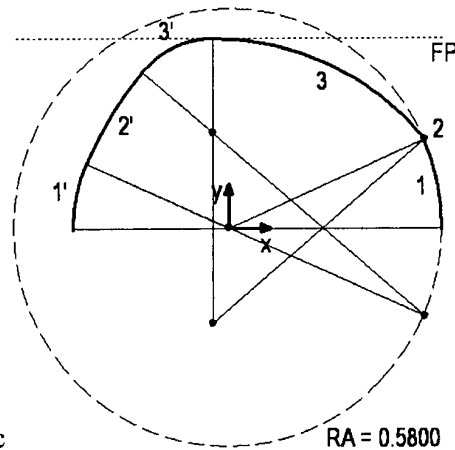
- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8315$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.3908$   
 $\alpha = 0.2994$   $M_y = 0.4286$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = 0.0714$   
 $\alpha = 0.4399$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = 0.0714$   
 $\alpha = 0.4399$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.3908$   
 $\alpha = 0.2994$   $M_y = -0.4286$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8315$   $M_y = 0.0000$



Figur 10b

RA = 0.5800

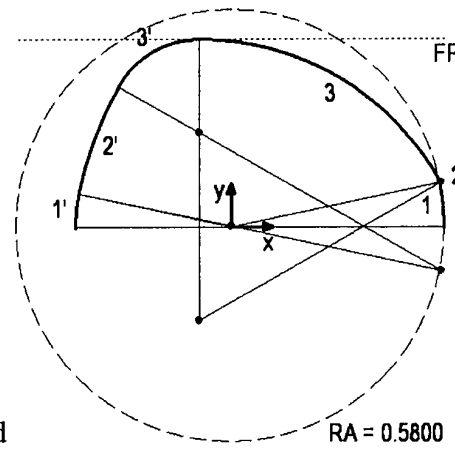
- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.6236$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4708$   
 $\alpha = 0.2790$   $M_y = 0.3387$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = 0.0061$   
 $\alpha = 0.6682$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = 0.0061$   
 $\alpha = 0.6682$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.4708$   
 $\alpha = 0.2790$   $M_y = -0.3387$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.6236$   $M_y = 0.0000$



Figur 10c

RA = 0.5800

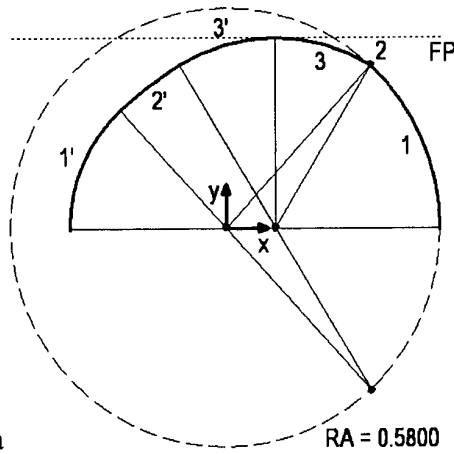
- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5306$   
 $\alpha = 0.2861$   $M_y = 0.2342$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.0421$   
 $\alpha = 0.8689$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = -0.0421$   
 $\alpha = 0.8689$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.5306$   
 $\alpha = 0.2861$   $M_y = -0.2342$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$



Figur 10d

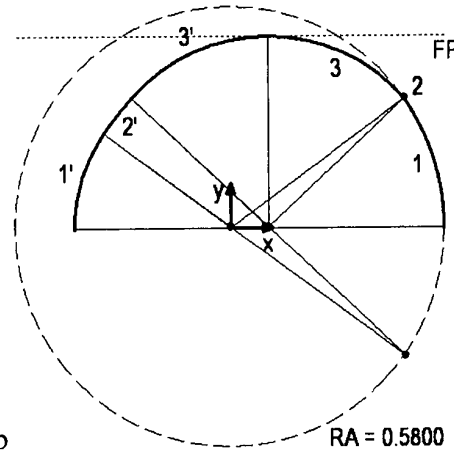
RA = 0.5800

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2079$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5675$   
 $\alpha = 0.3076$   $M_y = 0.1197$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.0850$   
 $\alpha = 1.0553$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = -0.0850$   
 $\alpha = 1.0553$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.5675$   
 $\alpha = 0.3076$   $M_y = -0.1197$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2079$   $M_y = 0.0000$



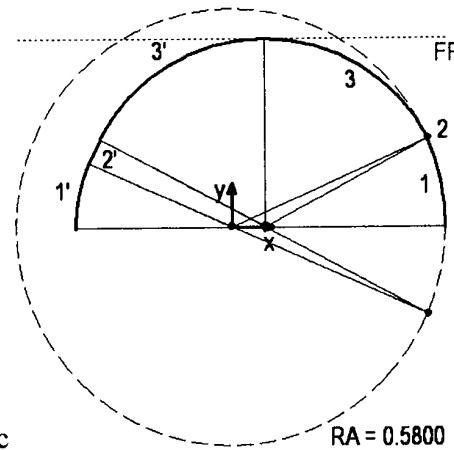
Figur 11a

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8315$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.3908$   
 $\alpha = 0.1983$   $M_y = 0.4286$
- 3)  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1333$   
 $\alpha = 0.5411$   $M_y = 0.0000$
- 3')  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1333$   
 $\alpha = 0.5411$   $M_y = -0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.3908$   
 $\alpha = 0.1983$   $M_y = -0.4286$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8315$   $M_y = 0.0000$



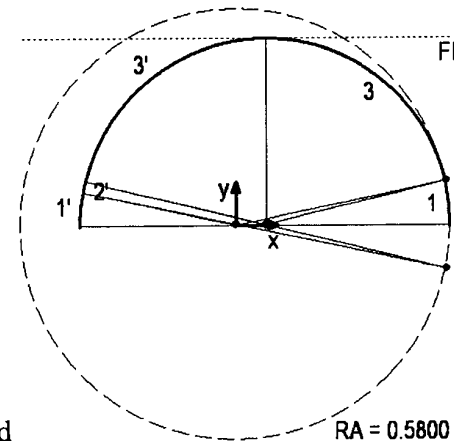
Figur 11b

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.6236$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4708$   
 $\alpha = 0.1206$   $M_y = 0.3387$
- 3)  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1030$   
 $\alpha = 0.8266$   $M_y = 0.0000$
- 3')  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1030$   
 $\alpha = 0.8266$   $M_y = -0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.4708$   
 $\alpha = 0.1206$   $M_y = -0.3387$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.6236$   $M_y = 0.0000$



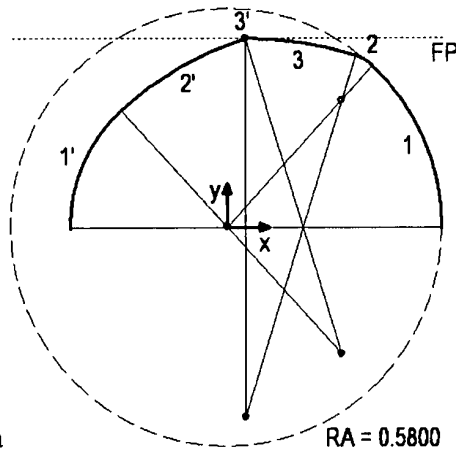
Figur 11c

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5306$   
 $\alpha = 0.0718$   $M_y = 0.2342$
- 3)  $R = 0.5000$   $M_x = 0.0889$   
 $\alpha = 1.0832$   $M_y = -0.0000$
- 3')  $R = 0.5000$   $M_x = 0.0889$   
 $\alpha = 1.0832$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.5306$   
 $\alpha = 0.0718$   $M_y = -0.2342$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$



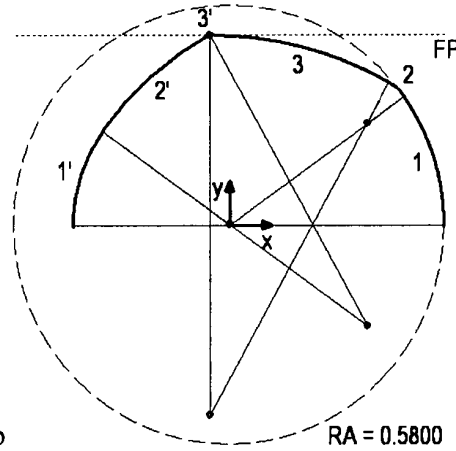
Figur 11d

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2079$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5675$   
 $\alpha = 0.0339$   $M_y = 0.1197$
- 3)  $R = 0.5000$   $M_x = 0.0821$   
 $\alpha = 1.3291$   $M_y = 0.0000$
- 3')  $R = 0.5000$   $M_x = 0.0821$   
 $\alpha = 1.3291$   $M_y = -0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.5675$   
 $\alpha = 0.0339$   $M_y = -0.1197$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2079$   $M_y = 0.0000$



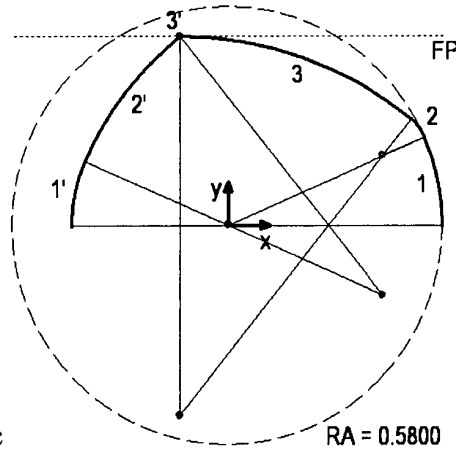
Figur 12a

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8315$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1250$   $M_x = 0.3066$   
 $\alpha = 0.4404$   $M_y = 0.3362$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = 0.0489$   
 $\alpha = 0.2989$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = 0.0489$   
 $\alpha = 0.2989$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 0.8750$   $M_x = 0.3066$   
 $\alpha = 0.4404$   $M_y = -0.3362$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8315$   $M_y = 0.0000$



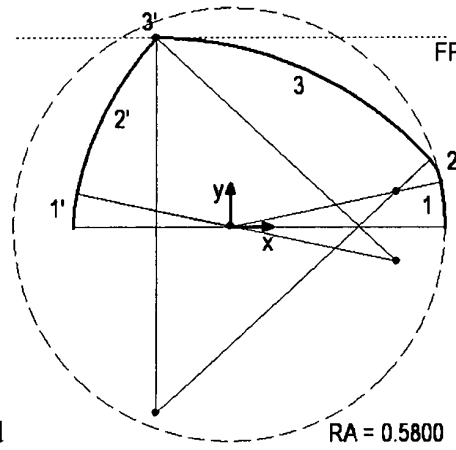
Figur 12b

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.6236$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1250$   $M_x = 0.3694$   
 $\alpha = 0.4420$   $M_y = 0.2657$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0541$   
 $\alpha = 0.5052$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = -0.0541$   
 $\alpha = 0.5052$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 0.8750$   $M_x = 0.3694$   
 $\alpha = 0.4420$   $M_y = -0.2657$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.6236$   $M_y = 0.0000$



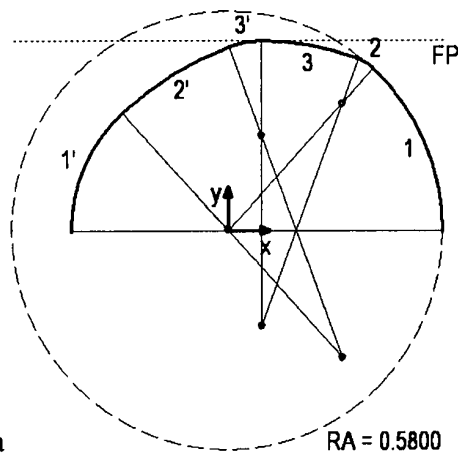
Figur 12c

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1250$   $M_x = 0.4162$   
 $\alpha = 0.4812$   $M_y = 0.1838$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1297$   
 $\alpha = 0.6738$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = -0.1297$   
 $\alpha = 0.6738$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 0.8750$   $M_x = 0.4162$   
 $\alpha = 0.4812$   $M_y = -0.1838$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$



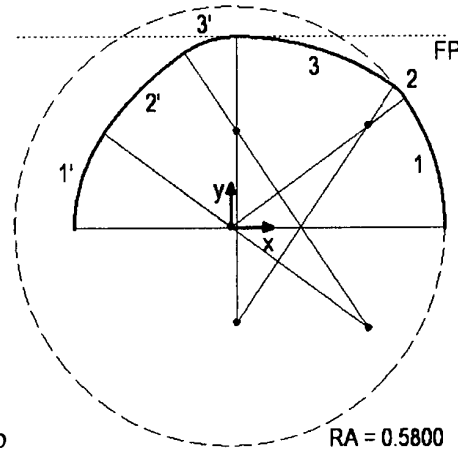
Figur 12d

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2079$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1250$   $M_x = 0.4452$   
 $\alpha = 0.5382$   $M_y = 0.0939$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1974$   
 $\alpha = 0.8247$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = -0.1974$   
 $\alpha = 0.8247$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 0.8750$   $M_x = 0.4452$   
 $\alpha = 0.5382$   $M_y = -0.0939$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2079$   $M_y = 0.0000$



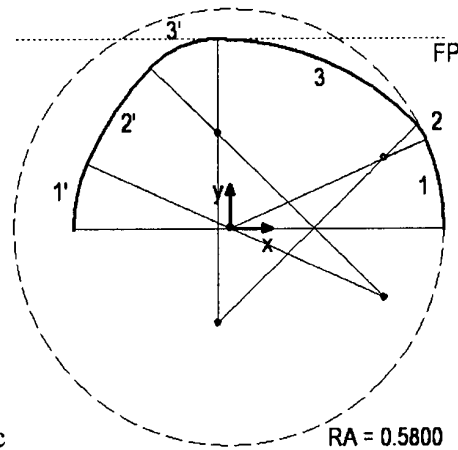
Figur 13a

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8315$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1250$   $M_x = 0.3066$   
 $\alpha = 0.3852$   $M_y = 0.3362$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = 0.0898$   
 $\alpha = 0.3542$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = 0.0898$   
 $\alpha = 0.3542$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 0.8750$   $M_x = 0.3066$   
 $\alpha = 0.3852$   $M_y = -0.3362$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8315$   $M_y = 0.0000$



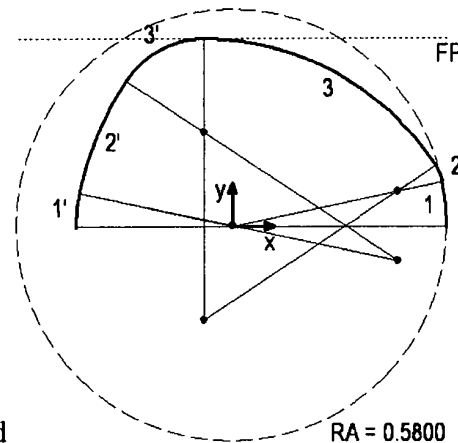
Figur 13b

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.6236$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1250$   $M_x = 0.3694$   
 $\alpha = 0.3468$   $M_y = 0.2657$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = 0.0163$   
 $\alpha = 0.6004$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = 0.0163$   
 $\alpha = 0.6004$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 0.8750$   $M_x = 0.3694$   
 $\alpha = 0.3468$   $M_y = -0.2657$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.6236$   $M_y = 0.0000$



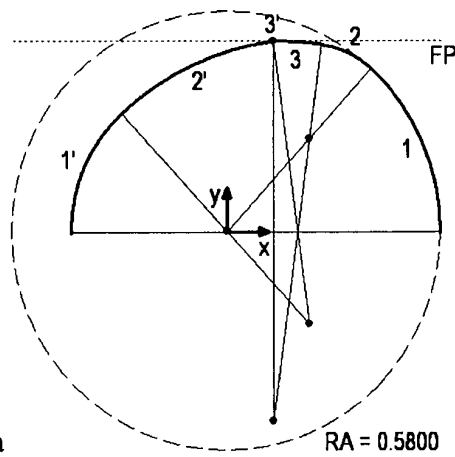
Figur 13c

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1250$   $M_x = 0.4162$   
 $\alpha = 0.3513$   $M_y = 0.1838$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.0337$   
 $\alpha = 0.8037$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = -0.0337$   
 $\alpha = 0.8037$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 0.8750$   $M_x = 0.4162$   
 $\alpha = 0.3513$   $M_y = -0.1838$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$



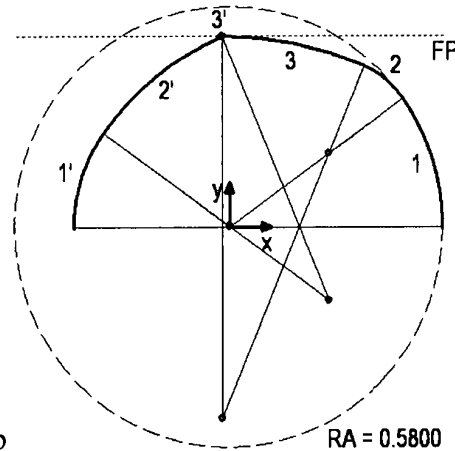
Figur 13d

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2079$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1250$   $M_x = 0.4452$   
 $\alpha = 0.3748$   $M_y = 0.0939$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.0767$   
 $\alpha = 0.9881$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = -0.0767$   
 $\alpha = 0.9881$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 0.8750$   $M_x = 0.4452$   
 $\alpha = 0.3748$   $M_y = -0.0939$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2079$   $M_y = 0.0000$



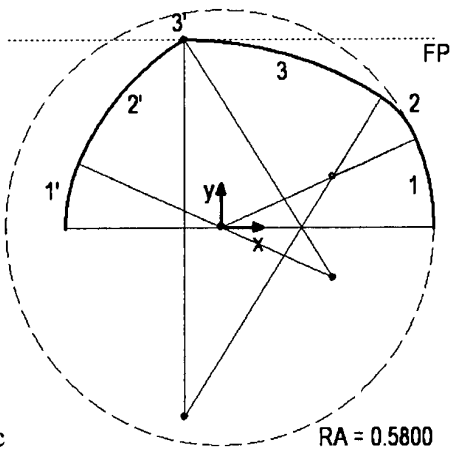
Figur 14a

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8315$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.2500$   $M_x = 0.2223$   
 $\alpha = 0.6111$   $M_y = 0.2438$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = 0.1265$   
 $\alpha = 0.1282$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = 0.1265$   
 $\alpha = 0.1282$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 0.7500$   $M_x = 0.2223$   
 $\alpha = 0.6111$   $M_y = -0.2438$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8315$   $M_y = 0.0000$



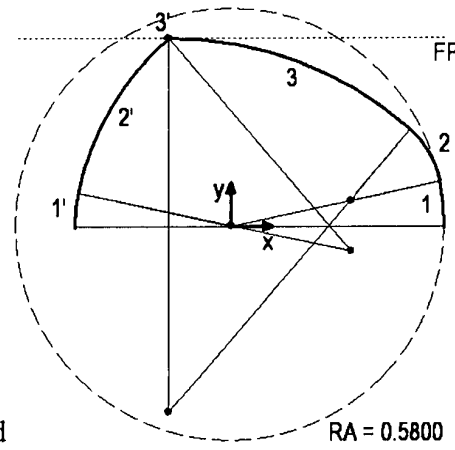
Figur 14b

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.6236$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.2500$   $M_x = 0.2679$   
 $\alpha = 0.5538$   $M_y = 0.1927$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0196$   
 $\alpha = 0.3934$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = -0.0196$   
 $\alpha = 0.3934$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 0.7500$   $M_x = 0.2679$   
 $\alpha = 0.5538$   $M_y = -0.1927$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.6236$   $M_y = 0.0000$



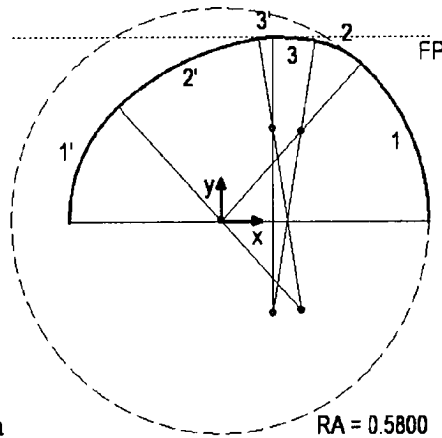
Figur 14c

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.2500$   $M_x = 0.3019$   
 $\alpha = 0.5896$   $M_y = 0.1333$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0999$   
 $\alpha = 0.5654$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = -0.0999$   
 $\alpha = 0.5654$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 0.7500$   $M_x = 0.3019$   
 $\alpha = 0.5896$   $M_y = -0.1333$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$



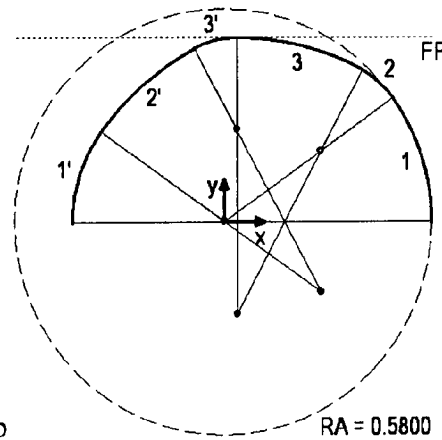
Figur 14d

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2079$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.2500$   $M_x = 0.3229$   
 $\alpha = 0.6516$   $M_y = 0.0681$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1668$   
 $\alpha = 0.7114$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = -0.1668$   
 $\alpha = 0.7114$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 0.7500$   $M_x = 0.3229$   
 $\alpha = 0.6516$   $M_y = -0.0681$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2079$   $M_y = 0.0000$



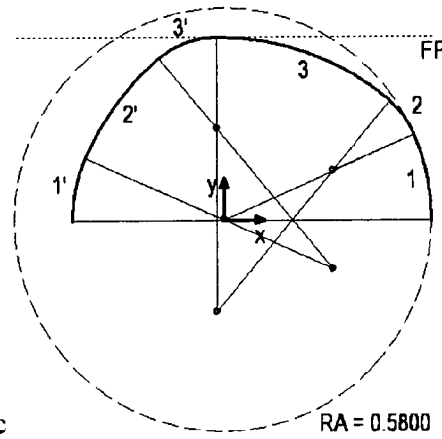
Figur 15a

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8315$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.2500$   $M_x = 0.2223$   
 $\alpha = 0.5823$   $M_y = 0.2438$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = 0.1441$   
 $\alpha = 0.1571$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = 0.1441$   
 $\alpha = 0.1571$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 0.7500$   $M_x = 0.2223$   
 $\alpha = 0.5823$   $M_y = -0.2438$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.8315$   $M_y = 0.0000$



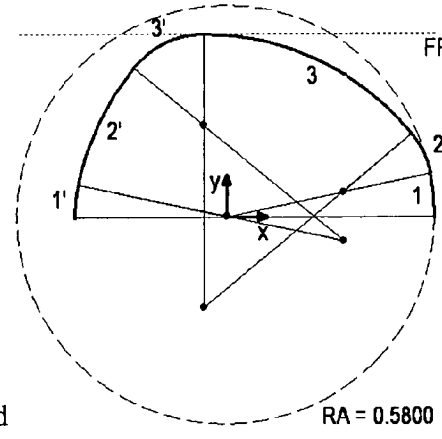
Figur 15b

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.6236$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.2500$   $M_x = 0.2679$   
 $\alpha = 0.4638$   $M_y = 0.1927$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = 0.0355$   
 $\alpha = 0.4834$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = 0.0355$   
 $\alpha = 0.4834$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 0.7500$   $M_x = 0.2679$   
 $\alpha = 0.4638$   $M_y = -0.1927$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.6236$   $M_y = 0.0000$



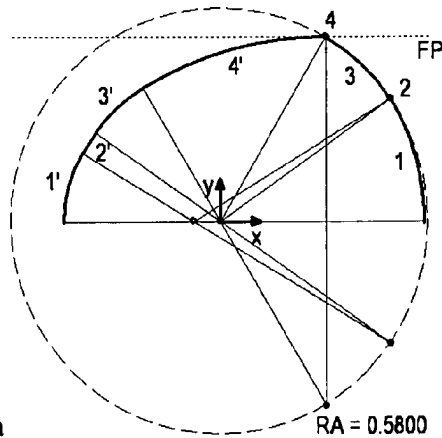
Figur 15c

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.2500$   $M_x = 0.3019$   
 $\alpha = 0.4577$   $M_y = 0.1333$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.0192$   
 $\alpha = 0.6973$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = -0.0192$   
 $\alpha = 0.6973$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 0.7500$   $M_x = 0.3019$   
 $\alpha = 0.4577$   $M_y = -0.1333$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4157$   $M_y = 0.0000$



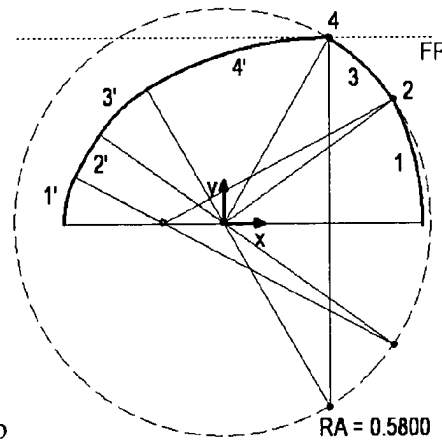
Figur 15d

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2079$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.2500$   $M_x = 0.3229$   
 $\alpha = 0.4817$   $M_y = 0.0681$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.0629$   
 $\alpha = 0.8812$   $M_y = -0.2500$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = -0.0629$   
 $\alpha = 0.8812$   $M_y = 0.2500$
- 2')  $R = 0.7500$   $M_x = 0.3229$   
 $\alpha = 0.4817$   $M_y = -0.0681$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2079$   $M_y = 0.0000$



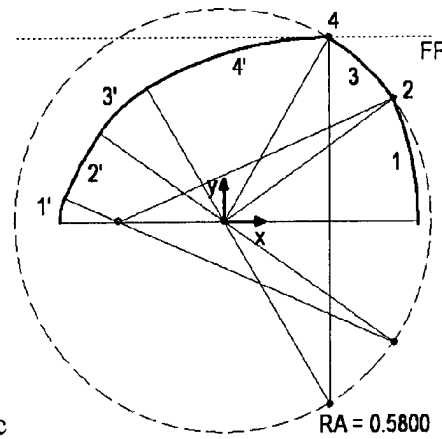
Figur 16a

- 1)  $R = 0.6422$   $M_x = -0.0742$   
 $\alpha = 0.5446$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4751$   
 $\alpha = 0.0663$   $M_y = 0.3327$
- 3)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4285$   $M_y = 0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = 0.5000$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4285$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.4751$   
 $\alpha = 0.0663$   $M_y = -0.3327$
- 1')  $R = 0.3578$   $M_x = -0.0742$   
 $\alpha = 0.5446$   $M_y = 0.0000$



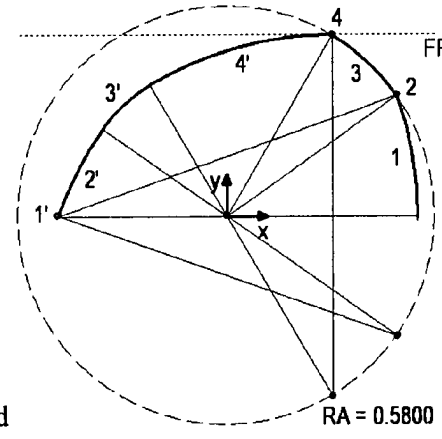
Figur 16b

- 1)  $R = 0.7245$   $M_x = -0.1685$   
 $\alpha = 0.4771$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4751$   
 $\alpha = 0.1338$   $M_y = 0.3327$
- 3)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4285$   $M_y = 0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = 0.5000$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4285$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.4751$   
 $\alpha = 0.1338$   $M_y = -0.3327$
- 1')  $R = 0.2755$   $M_x = -0.1685$   
 $\alpha = 0.4771$   $M_y = 0.0000$



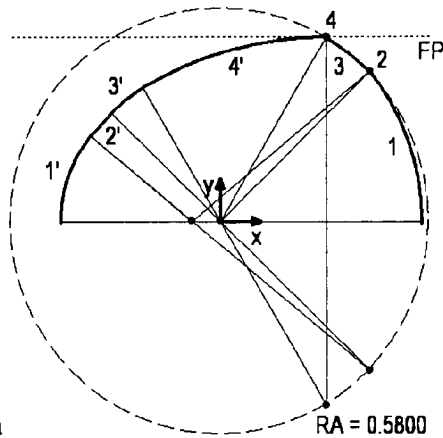
Figur 16c

- 1)  $R = 0.8377$   $M_x = -0.2937$   
 $\alpha = 0.4084$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4751$   
 $\alpha = 0.2025$   $M_y = 0.3327$
- 3)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4285$   $M_y = 0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = 0.5000$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4285$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.4751$   
 $\alpha = 0.2025$   $M_y = -0.3327$
- 1')  $R = 0.1623$   $M_x = -0.2937$   
 $\alpha = 0.4084$   $M_y = 0.0000$



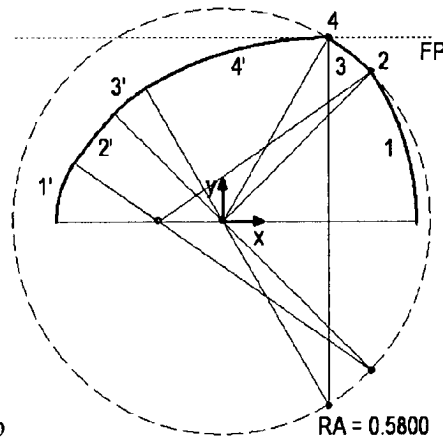
Figur 16d

- 1)  $R = 0.9998$   $M_x = -0.4677$   
 $\alpha = 0.3392$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4751$   
 $\alpha = 0.2716$   $M_y = 0.3327$
- 3)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4285$   $M_y = 0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = 0.5000$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4285$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.4751$   
 $\alpha = 0.2716$   $M_y = -0.3327$
- 1')  $R = 0.0002$   $M_x = -0.4677$   
 $\alpha = 0.3392$   $M_y = 0.0000$



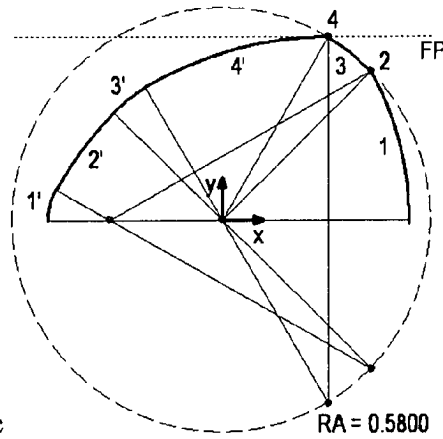
Figur 17a

- 1)  $R = 0.6379$   $M_x = -0.0779$   
 $\alpha = 0.6910$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4137$   
 $\alpha = 0.0857$   $M_y = 0.4065$
- 3)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2627$   $M_y = 0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = 0.5000$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2627$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.4137$   
 $\alpha = 0.0857$   $M_y = -0.4065$
- 1')  $R = 0.3621$   $M_x = -0.0779$   
 $\alpha = 0.6910$   $M_y = 0.0000$



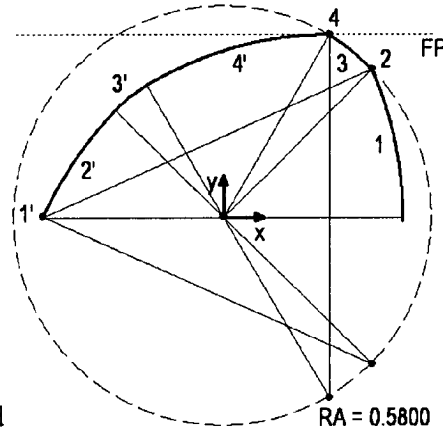
Figur 17b

- 1)  $R = 0.7173$   $M_x = -0.1773$   
 $\alpha = 0.6025$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4137$   
 $\alpha = 0.1742$   $M_y = 0.4065$
- 3)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2627$   $M_y = 0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = 0.5000$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2627$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.4137$   
 $\alpha = 0.1742$   $M_y = -0.4065$
- 1')  $R = 0.2827$   $M_x = -0.1773$   
 $\alpha = 0.6025$   $M_y = 0.0000$



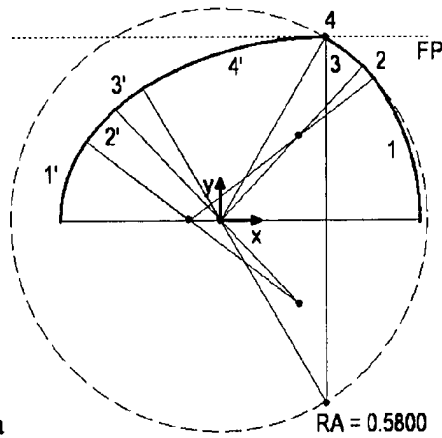
Figur 17c

- 1)  $R = 0.8304$   $M_x = -0.3104$   
 $\alpha = 0.5116$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4137$   
 $\alpha = 0.2651$   $M_y = 0.4065$
- 3)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2627$   $M_y = 0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = 0.5000$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2627$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.4137$   
 $\alpha = 0.2651$   $M_y = -0.4065$
- 1')  $R = 0.1696$   $M_x = -0.3104$   
 $\alpha = 0.5116$   $M_y = 0.0000$



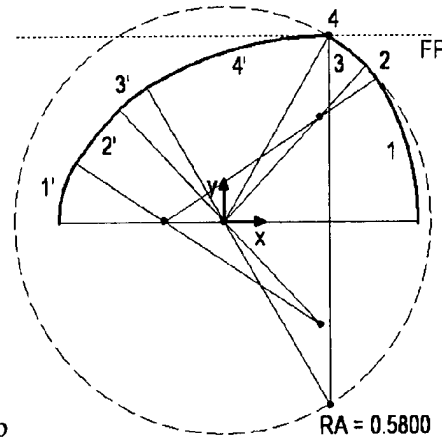
Figur 17d

- 1)  $R = 0.9999$   $M_x = -0.4998$   
 $\alpha = 0.4187$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4137$   
 $\alpha = 0.3580$   $M_y = 0.4065$
- 3)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2627$   $M_y = 0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = 0.5000$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2627$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.4137$   
 $\alpha = 0.3580$   $M_y = -0.4065$
- 1')  $R = 0.0001$   $M_x = -0.4998$   
 $\alpha = 0.4187$   $M_y = 0.0000$



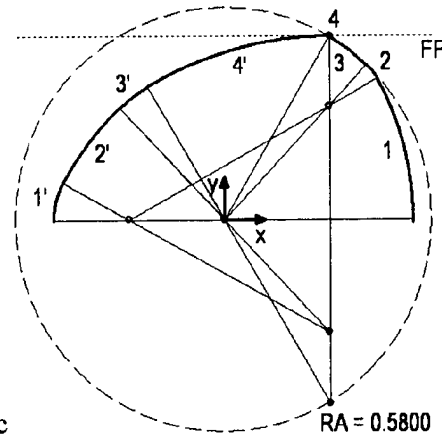
Figur 18a

- 1)  $R = 0.6447$   $M_x = -0.0865$   
 $\alpha = 0.6473$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.2608$   $M_x = 0.2197$   
 $\alpha = 0.1643$   $M_y = 0.2315$
- 3)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2278$   $M_y = -0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = 0.5000$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2278$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 0.7392$   $M_x = 0.2197$   
 $\alpha = 0.1643$   $M_y = -0.2315$
- 1')  $R = 0.3553$   $M_x = -0.0865$   
 $\alpha = 0.6473$   $M_y = 0.0000$



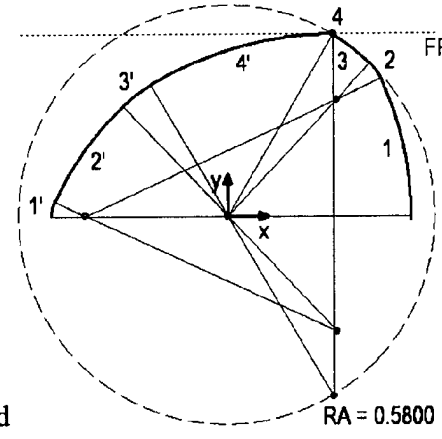
Figur 18b

- 1)  $R = 0.7081$   $M_x = -0.1655$   
 $\alpha = 0.5766$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1924$   $M_x = 0.2668$   
 $\alpha = 0.2350$   $M_y = 0.2812$
- 3)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2278$   $M_y = -0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.2940$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = 0.5000$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.2940$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2278$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 0.8076$   $M_x = 0.2668$   
 $\alpha = 0.2350$   $M_y = -0.2812$
- 1')  $R = 0.2919$   $M_x = -0.1655$   
 $\alpha = 0.5766$   $M_y = 0.0000$



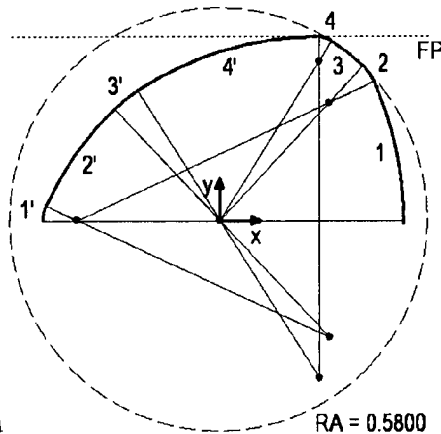
Figur 18c

- 1)  $R = 0.7919$   $M_x = -0.2646$   
 $\alpha = 0.5042$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1575$   $M_x = 0.2909$   
 $\alpha = 0.3074$   $M_y = 0.3065$
- 3)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2278$   $M_y = -0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.2940$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = 0.5000$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.2940$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2278$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 0.8425$   $M_x = 0.2909$   
 $\alpha = 0.3074$   $M_y = -0.3065$
- 1')  $R = 0.2081$   $M_x = -0.2646$   
 $\alpha = 0.5042$   $M_y = 0.0000$



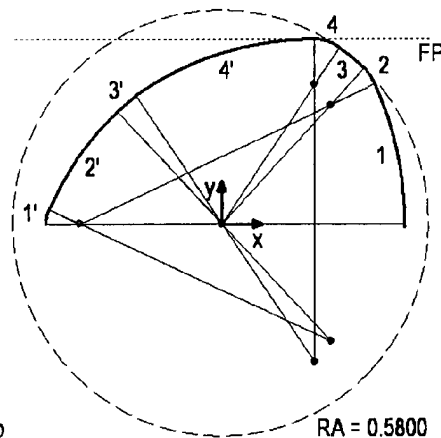
Figur 18d

- 1)  $R = 0.9061$   $M_x = -0.3937$   
 $\alpha = 0.4304$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1385$   $M_x = 0.3039$   
 $\alpha = 0.3812$   $M_y = 0.3202$
- 3)  $R = 0.5800$   $M_x = -0.0000$   
 $\alpha = 0.2278$   $M_y = -0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = 0.5000$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = -0.5000$
- 3')  $R = 0.4200$   $M_x = -0.0000$   
 $\alpha = 0.2278$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 0.8615$   $M_x = 0.3039$   
 $\alpha = 0.3812$   $M_y = -0.3202$
- 1')  $R = 0.0939$   $M_x = -0.3937$   
 $\alpha = 0.4304$   $M_y = 0.0000$



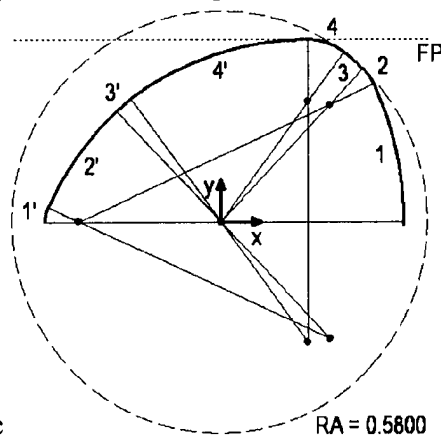
Figur 19a

- 1)  $R = 0.9061$   $M_x = -0.3937$   
 $\alpha = 0.4304$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1385$   $M_x = 0.3039$   
 $\alpha = 0.3812$   $M_y = 0.3202$
- 3)  $R = 0.5800$   $M_x = -0.0000$   
 $\alpha = 0.1929$   $M_y = 0.0000$
- 4)  $R = 0.0677$   $M_x = 0.2749$   
 $\alpha = 0.5664$   $M_y = 0.4323$
- 4')  $R = 0.9323$   $M_x = 0.2749$   
 $\alpha = 0.5664$   $M_y = -0.4323$
- 3')  $R = 0.4200$   $M_x = -0.0000$   
 $\alpha = 0.1929$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 0.8615$   $M_x = 0.3039$   
 $\alpha = 0.3812$   $M_y = -0.3202$
- 1')  $R = 0.0939$   $M_x = -0.3937$   
 $\alpha = 0.4304$   $M_y = 0.0000$



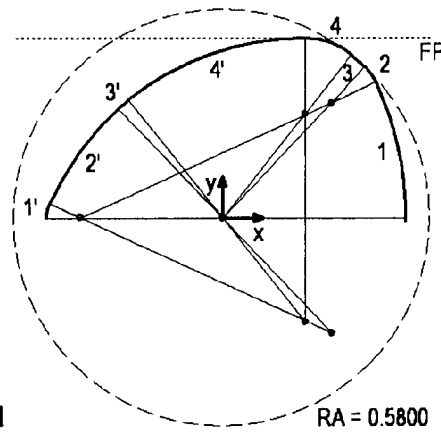
Figur 19b

- 1)  $R = 0.9061$   $M_x = -0.3937$   
 $\alpha = 0.4304$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1385$   $M_x = 0.3039$   
 $\alpha = 0.3812$   $M_y = 0.3202$
- 3)  $R = 0.5800$   $M_x = -0.0000$   
 $\alpha = 0.1580$   $M_y = -0.0000$
- 4)  $R = 0.1239$   $M_x = 0.2580$   
 $\alpha = 0.6013$   $M_y = 0.3761$
- 4')  $R = 0.8761$   $M_x = 0.2580$   
 $\alpha = 0.6013$   $M_y = -0.3761$
- 3')  $R = 0.4200$   $M_x = -0.0000$   
 $\alpha = 0.1580$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 0.8615$   $M_x = 0.3039$   
 $\alpha = 0.3812$   $M_y = -0.3202$
- 1')  $R = 0.0939$   $M_x = -0.3937$   
 $\alpha = 0.4304$   $M_y = 0.0000$



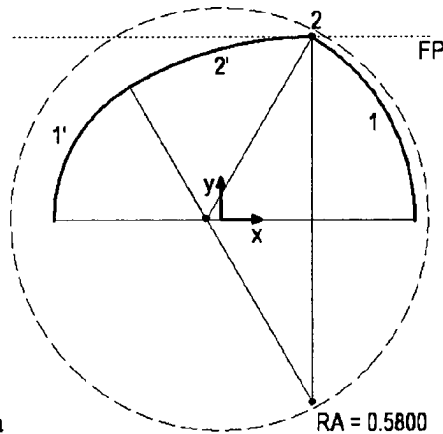
Figur 19c

- 1)  $R = 0.9061$   $M_x = -0.3937$   
 $\alpha = 0.4304$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1385$   $M_x = 0.3039$   
 $\alpha = 0.3812$   $M_y = 0.3202$
- 3)  $R = 0.5800$   $M_x = -0.0000$   
 $\alpha = 0.1230$   $M_y = -0.0000$
- 4)  $R = 0.1711$   $M_x = 0.2429$   
 $\alpha = 0.6362$   $M_y = 0.3289$
- 4')  $R = 0.8289$   $M_x = 0.2429$   
 $\alpha = 0.6362$   $M_y = -0.3289$
- 3')  $R = 0.4200$   $M_x = -0.0000$   
 $\alpha = 0.1230$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 0.8615$   $M_x = 0.3039$   
 $\alpha = 0.3812$   $M_y = -0.3202$
- 1')  $R = 0.0939$   $M_x = -0.3937$   
 $\alpha = 0.4304$   $M_y = 0.0000$



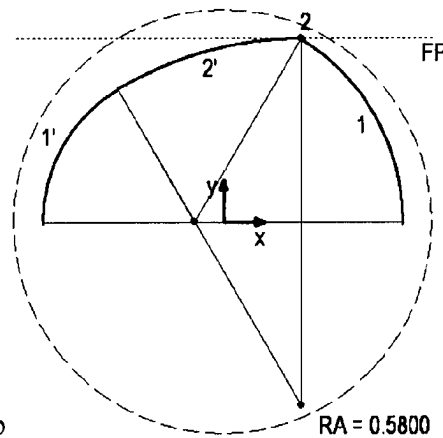
Figur 19d

- 1)  $R = 0.9061$   $M_x = -0.3937$   
 $\alpha = 0.4304$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1385$   $M_x = 0.3039$   
 $\alpha = 0.3812$   $M_y = 0.3202$
- 3)  $R = 0.5800$   $M_x = -0.0000$   
 $\alpha = 0.0881$   $M_y = -0.0000$
- 4)  $R = 0.2111$   $M_x = 0.2294$   
 $\alpha = 0.6711$   $M_y = 0.2889$
- 4')  $R = 0.7889$   $M_x = 0.2294$   
 $\alpha = 0.6711$   $M_y = -0.2889$
- 3')  $R = 0.4200$   $M_x = -0.0000$   
 $\alpha = 0.0881$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 0.8615$   $M_x = 0.3039$   
 $\alpha = 0.3812$   $M_y = -0.3202$
- 1')  $R = 0.0939$   $M_x = -0.3937$   
 $\alpha = 0.4304$   $M_y = 0.0000$



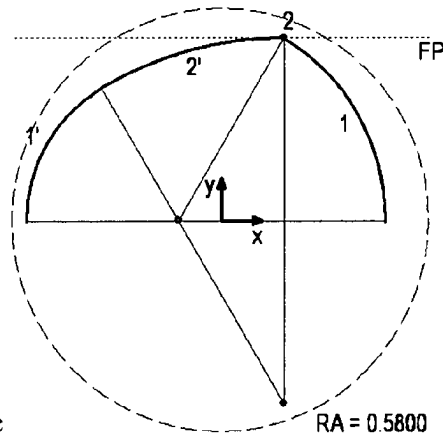
Figur 20a

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = -0.0400$   
 $\alpha = 1.0393$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.2539$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.2539$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = -0.5000$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = -0.0400$   
 $\alpha = 1.0393$   $M_y = 0.0000$



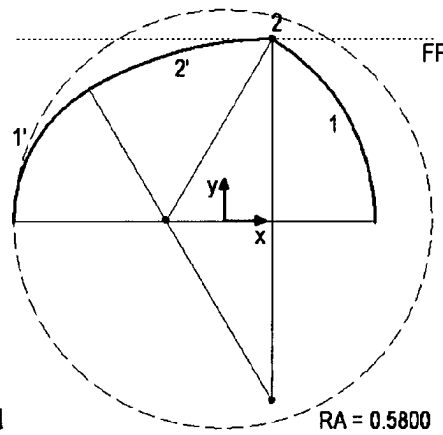
Figur 20b

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = -0.0800$   
 $\alpha = 1.0393$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.2139$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.2139$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = -0.5000$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = -0.0800$   
 $\alpha = 1.0393$   $M_y = 0.0000$



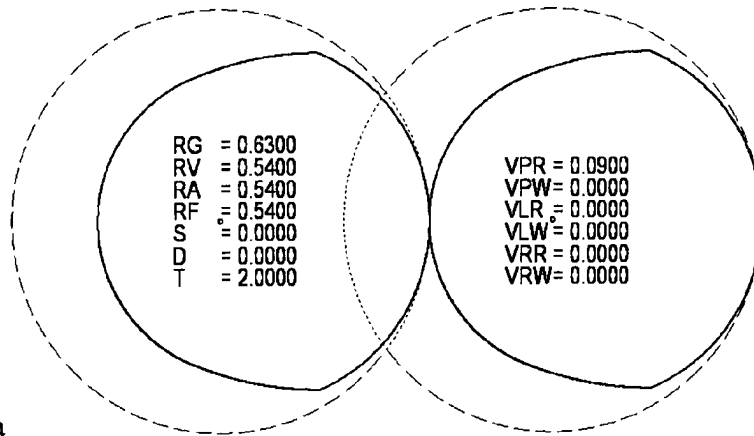
Figur 20c

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = -0.1200$   
 $\alpha = 1.0393$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.1739$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.1739$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = -0.5000$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = -0.1200$   
 $\alpha = 1.0393$   $M_y = 0.0000$

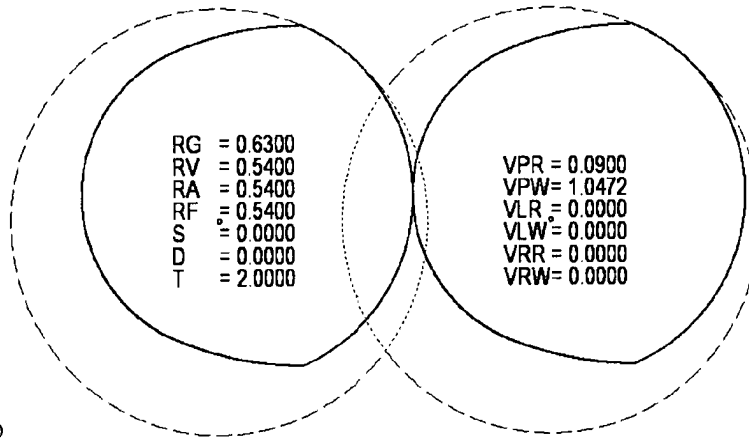


Figur 20d

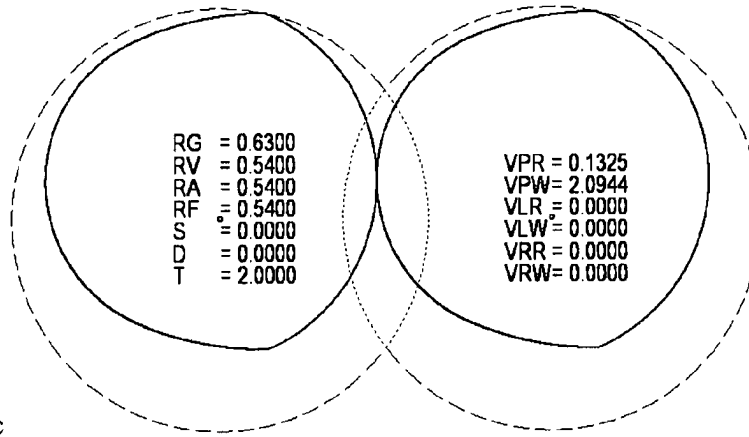
- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = -0.1600$   
 $\alpha = 1.0393$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.1339$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = 0.5000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = 0.1339$   
 $\alpha = 0.5315$   $M_y = -0.5000$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = -0.1600$   
 $\alpha = 1.0393$   $M_y = 0.0000$



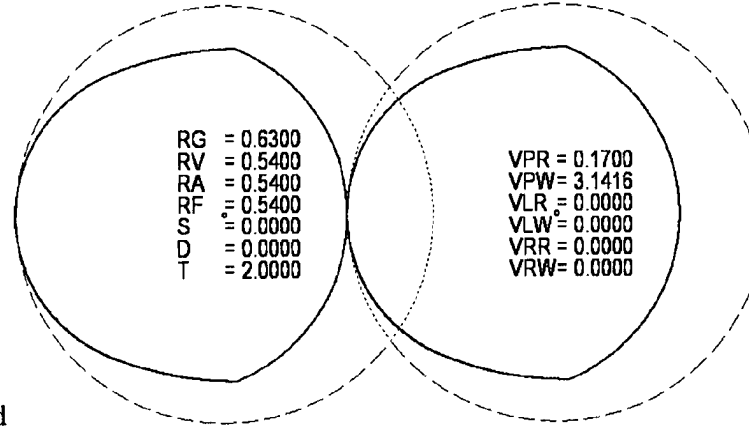
Figur 21a



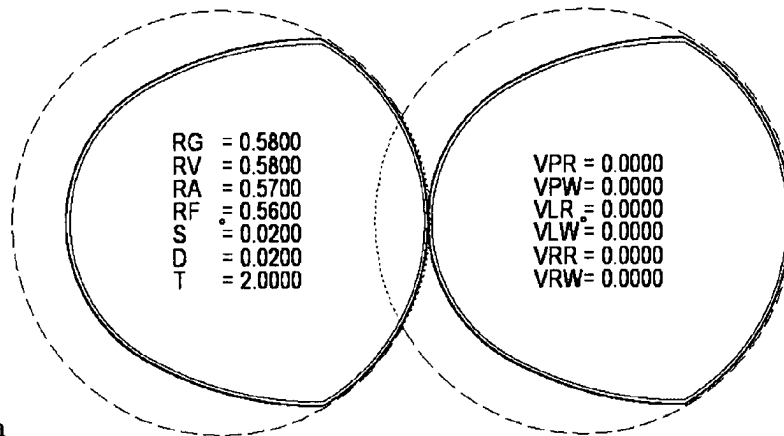
Figur 21b



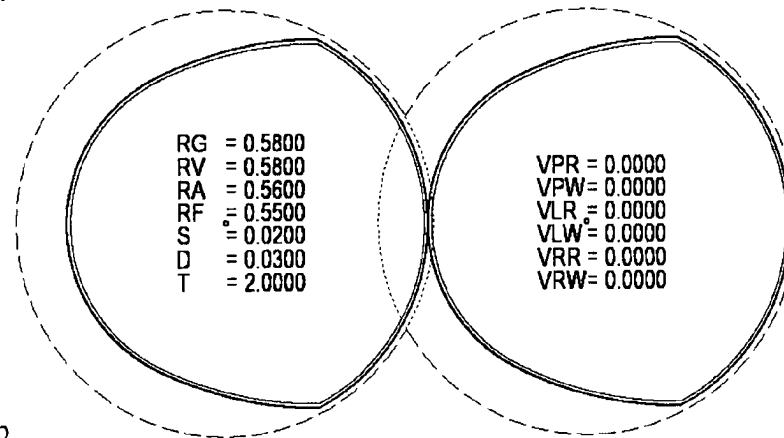
Figur 21c



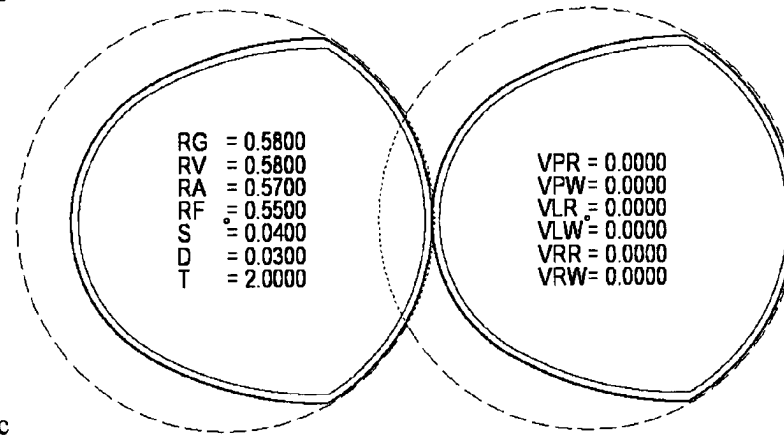
Figur 21d



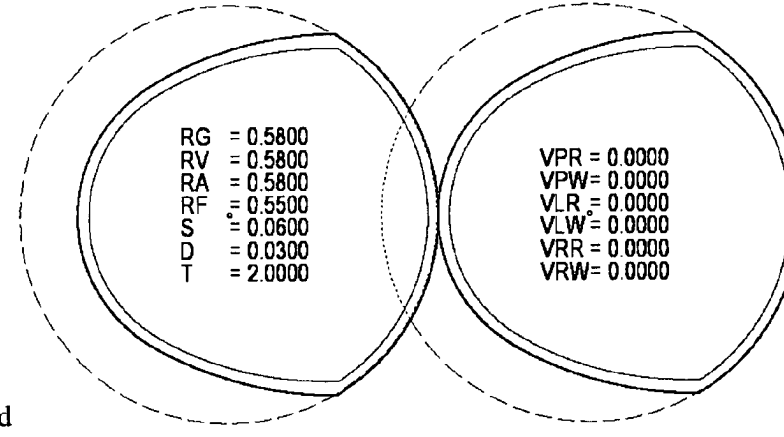
Figur 22a



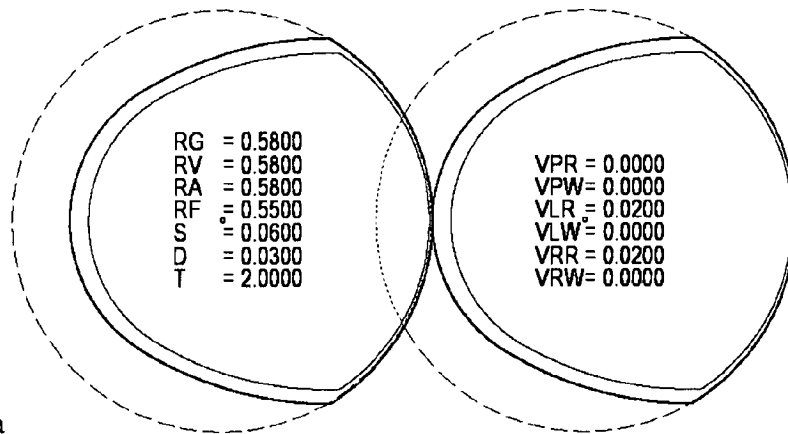
Figur 22b



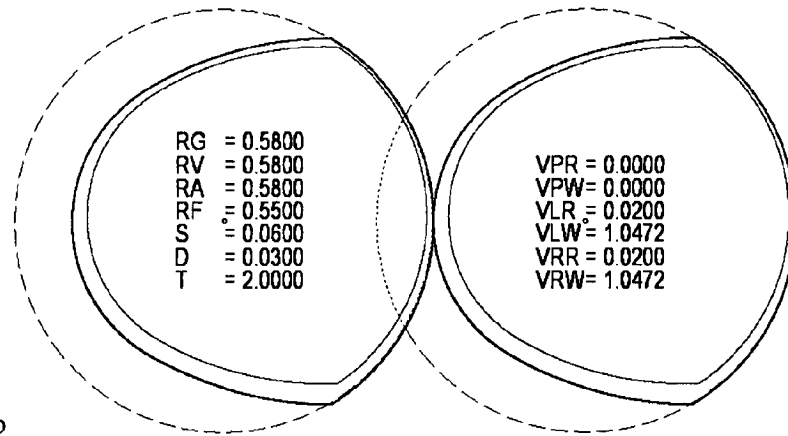
Figur 22c



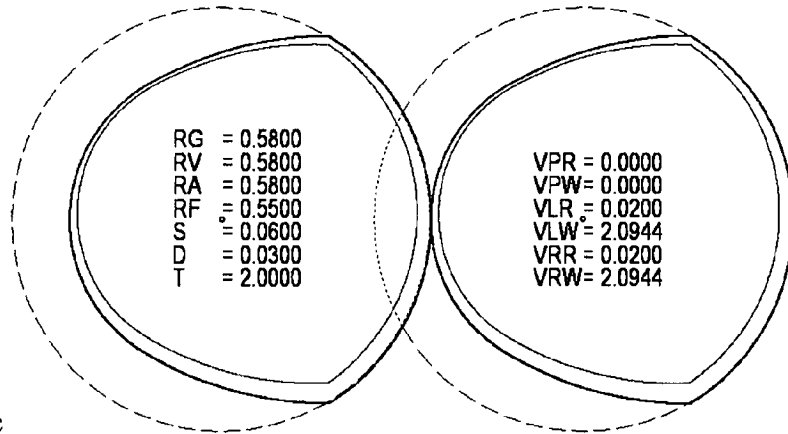
Figur 22d



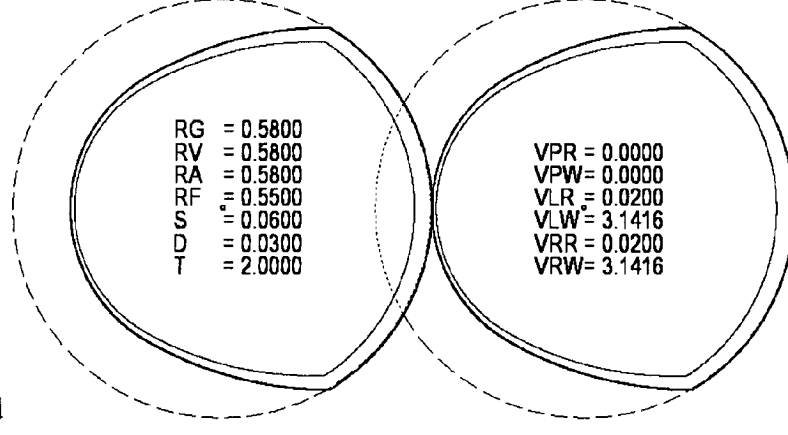
Figur 23a



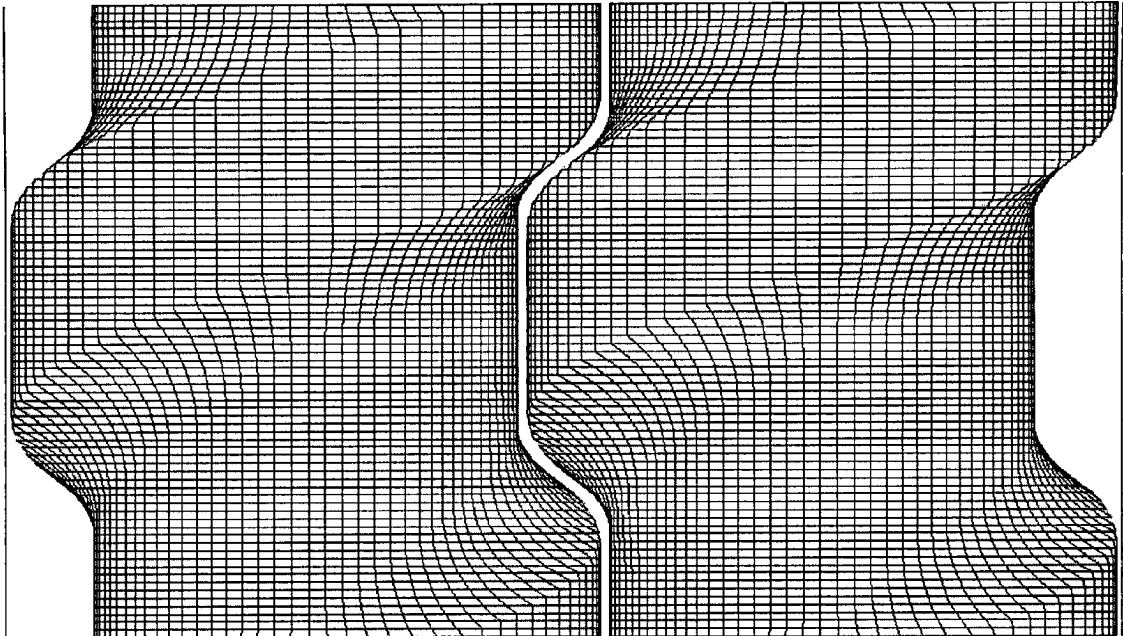
Figur 23b



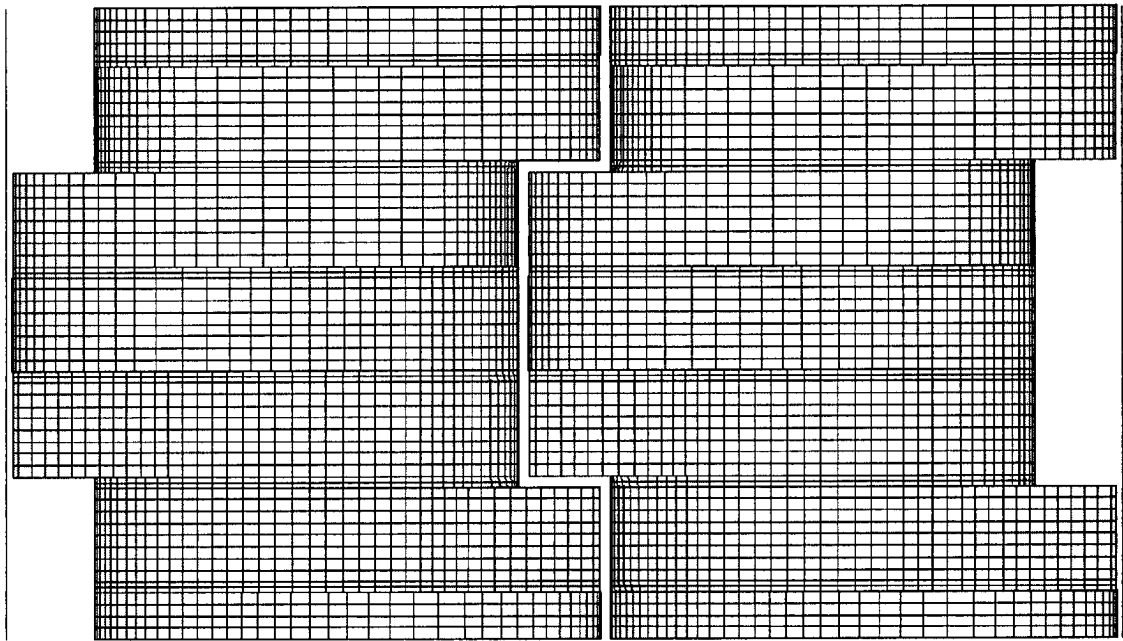
Figur 23c



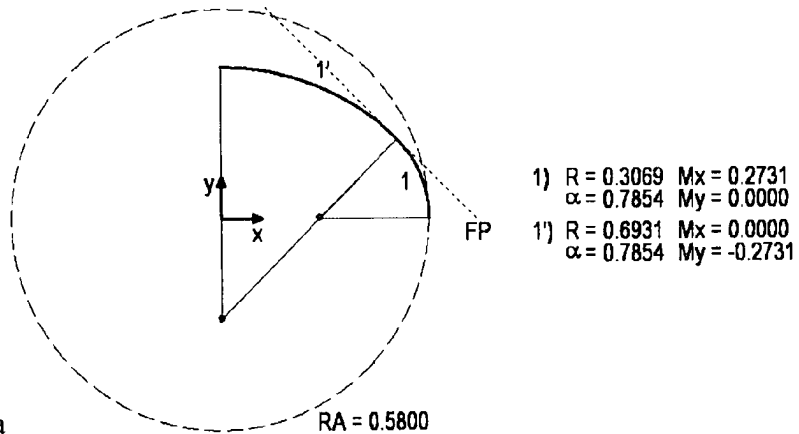
Figur 23d



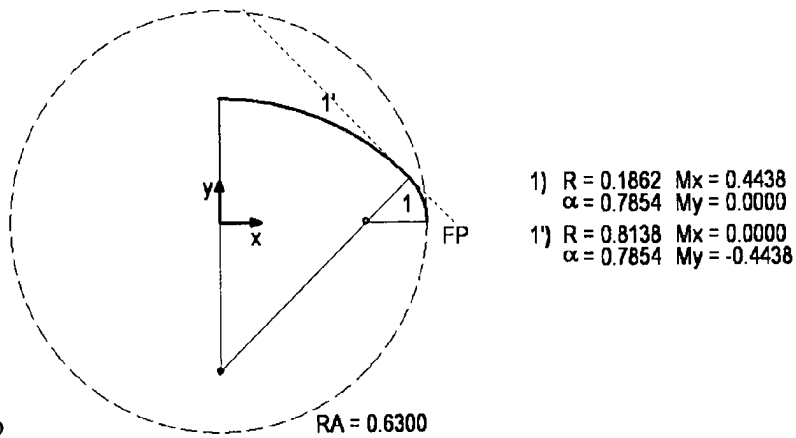
Figur 24a



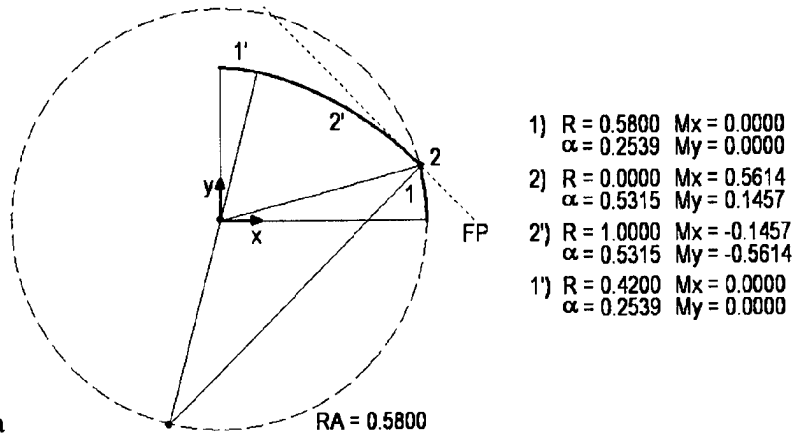
5 Figur 24b



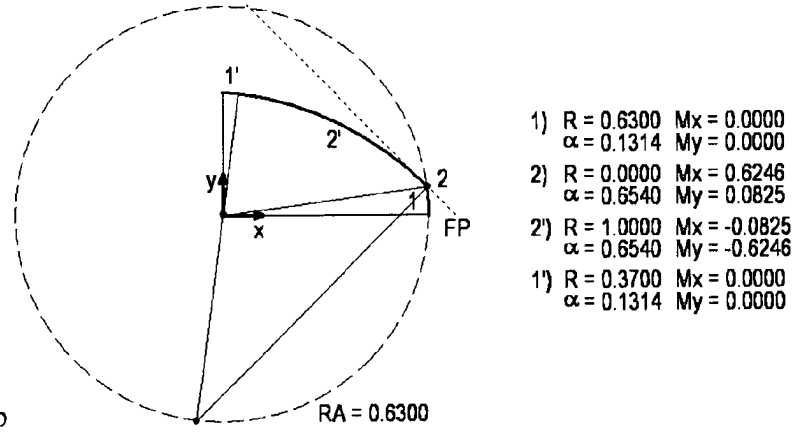
Figur 25a



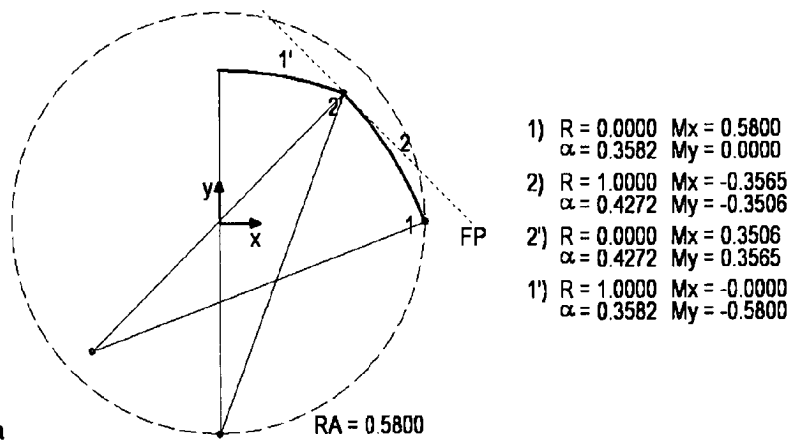
Figur 25b



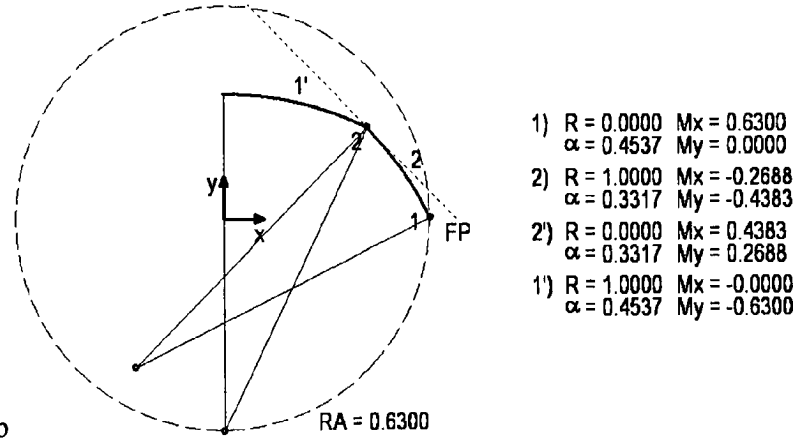
Figur 26a



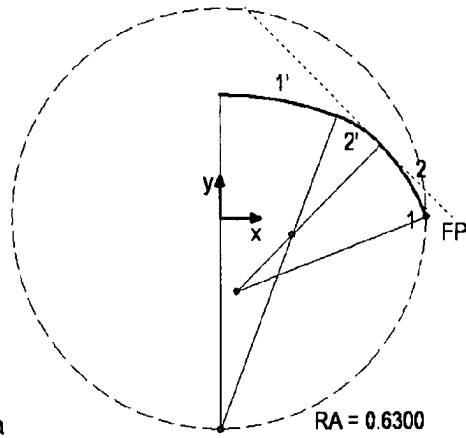
Figur 26b



Figur 27a

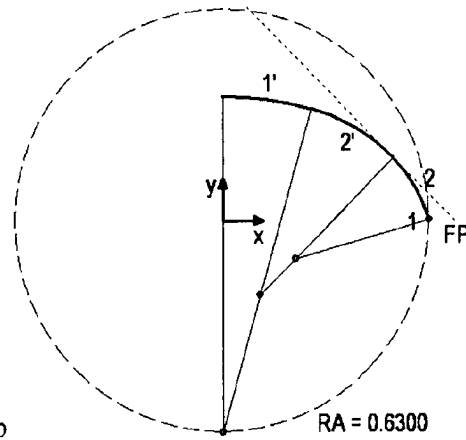


Figur 27b



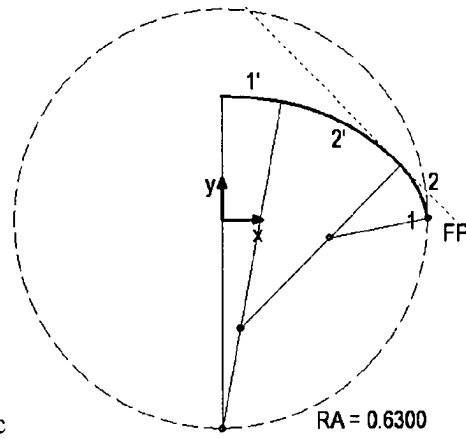
Figur 28a

- 1)  $R = 0.0000$   $Mx = 0.6300$   
 $\alpha = 0.3629$   $My = 0.0000$
- 2)  $R = 0.6201$   $Mx = 0.0503$   
 $\alpha = 0.4225$   $My = -0.2201$
- 2')  $R = 0.3799$   $Mx = 0.2201$   
 $\alpha = 0.4225$   $My = -0.0503$
- 1')  $R = 1.0000$   $Mx = -0.0000$   
 $\alpha = 0.3629$   $My = -0.6300$



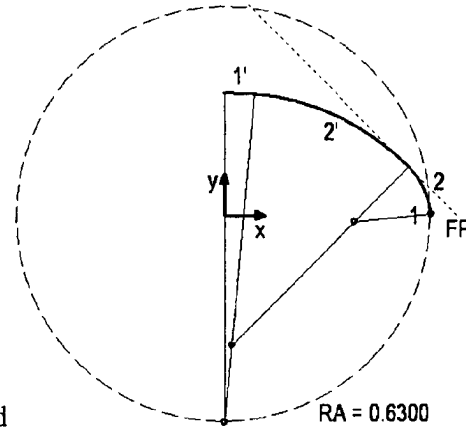
Figur 28b

- 1)  $R = 0.0000$   $Mx = 0.6300$   
 $\alpha = 0.2722$   $My = 0.0000$
- 2)  $R = 0.4232$   $Mx = 0.2224$   
 $\alpha = 0.5132$   $My = -0.1138$
- 2')  $R = 0.5768$   $Mx = 0.1138$   
 $\alpha = 0.5132$   $My = -0.2224$
- 1')  $R = 1.0000$   $Mx = -0.0000$   
 $\alpha = 0.2722$   $My = -0.6300$



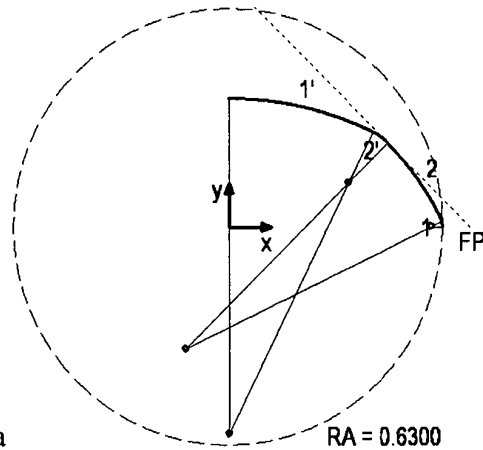
Figur 28c

- 1)  $R = 0.0000$   $Mx = 0.6300$   
 $\alpha = 0.1815$   $My = 0.0000$
- 2)  $R = 0.3082$   $Mx = 0.3268$   
 $\alpha = 0.6039$   $My = -0.0556$
- 2')  $R = 0.6918$   $Mx = 0.0556$   
 $\alpha = 0.6039$   $My = -0.3268$
- 1')  $R = 1.0000$   $Mx = -0.0000$   
 $\alpha = 0.1815$   $My = -0.6300$



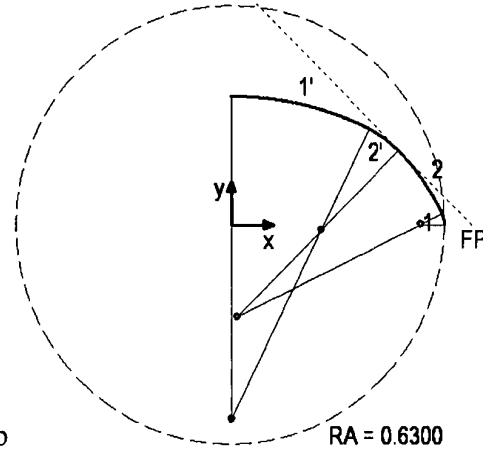
Figur 28d

- 1)  $R = 0.0000$   $Mx = 0.6300$   
 $\alpha = 0.0907$   $My = 0.0000$
- 2)  $R = 0.2353$   $Mx = 0.3957$   
 $\alpha = 0.6947$   $My = -0.0213$
- 2')  $R = 0.7647$   $Mx = 0.0213$   
 $\alpha = 0.6947$   $My = -0.3957$
- 1')  $R = 1.0000$   $Mx = -0.0000$   
 $\alpha = 0.0907$   $My = -0.6300$



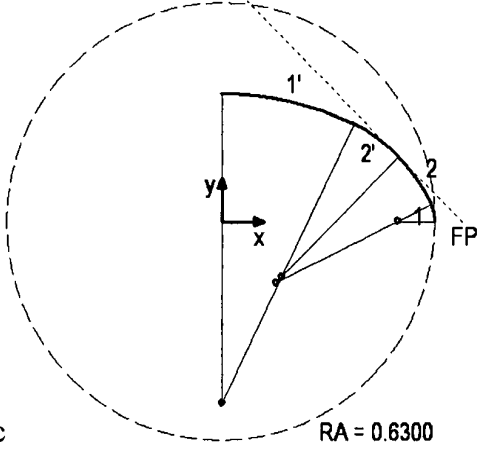
Figur 29a

- 1)  $R = 0.0372$   $M_x = 0.5928$   
 $\alpha = 0.4537$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.8372$   $M_x = -0.1263$   
 $\alpha = 0.3317$   $M_y = -0.3506$
- 2')  $R = 0.1628$   $M_x = 0.3506$   
 $\alpha = 0.3317$   $M_y = 0.1263$
- 1')  $R = 0.9628$   $M_x = -0.0000$   
 $\alpha = 0.4537$   $M_y = -0.5928$



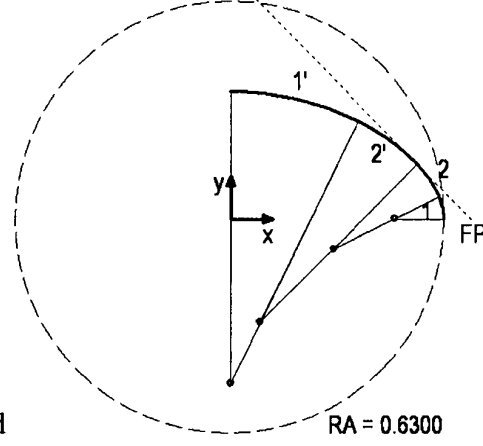
Figur 29b

- 1)  $R = 0.0745$   $M_x = 0.5555$   
 $\alpha = 0.4537$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.6745$   $M_x = 0.0162$   
 $\alpha = 0.3317$   $M_y = -0.2630$
- 2')  $R = 0.3255$   $M_x = 0.2630$   
 $\alpha = 0.3317$   $M_y = -0.0162$
- 1')  $R = 0.9255$   $M_x = -0.0000$   
 $\alpha = 0.4537$   $M_y = -0.5555$



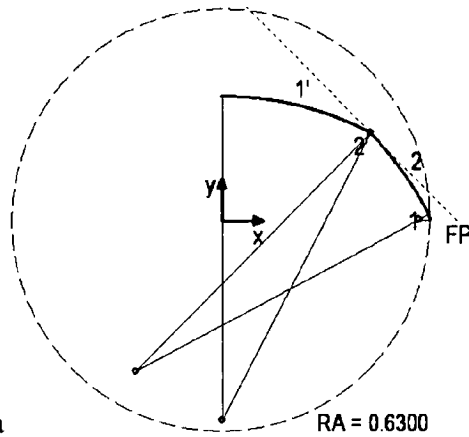
Figur 29c

- 1)  $R = 0.1117$   $M_x = 0.5183$   
 $\alpha = 0.4537$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.5117$   $M_x = 0.1588$   
 $\alpha = 0.3317$   $M_y = -0.1753$
- 2')  $R = 0.4883$   $M_x = 0.1753$   
 $\alpha = 0.3317$   $M_y = -0.1588$
- 1')  $R = 0.8883$   $M_x = -0.0000$   
 $\alpha = 0.4537$   $M_y = -0.5183$



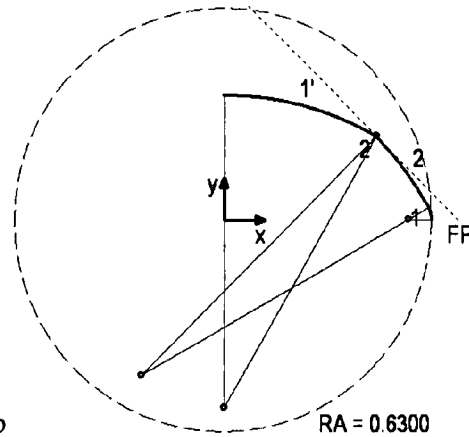
Figur 29d

- 1)  $R = 0.1489$   $M_x = 0.4811$   
 $\alpha = 0.4537$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.3489$   $M_x = 0.3013$   
 $\alpha = 0.3317$   $M_y = -0.0876$
- 2')  $R = 0.6511$   $M_x = 0.0876$   
 $\alpha = 0.3317$   $M_y = -0.3013$
- 1')  $R = 0.8511$   $M_x = -0.0000$   
 $\alpha = 0.4537$   $M_y = -0.4811$



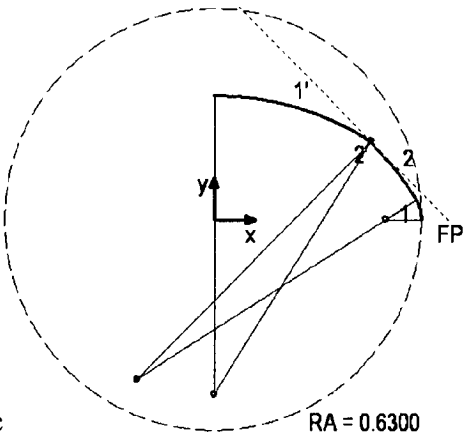
Figur 30a

- 1)  $R = 0.0372$   $M_x = 0.5928$   
 $\alpha = 0.4832$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2598$   
 $\alpha = 0.3022$   $M_y = -0.4474$
- 2')  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4474$   
 $\alpha = 0.3022$   $M_y = 0.2598$
- 1')  $R = 0.9628$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.4832$   $M_y = -0.5928$



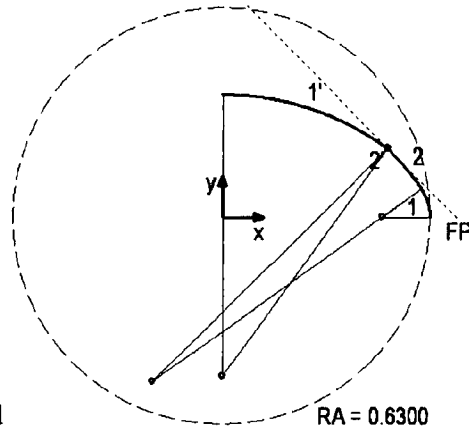
Figur 30b

- 1)  $R = 0.0745$   $M_x = 0.5555$   
 $\alpha = 0.5187$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2482$   
 $\alpha = 0.2667$   $M_y = -0.4589$
- 2')  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4589$   
 $\alpha = 0.2667$   $M_y = 0.2482$
- 1')  $R = 0.9255$   $M_x = -0.0000$   
 $\alpha = 0.5187$   $M_y = -0.5555$



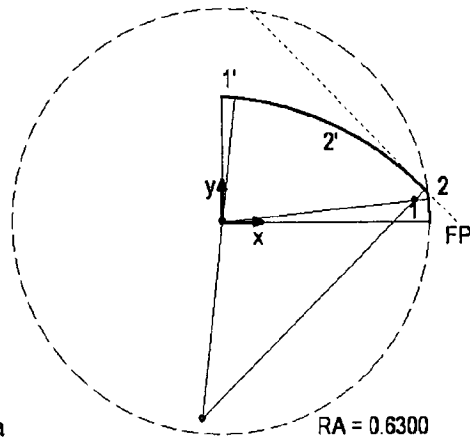
Figur 30c

- 1)  $R = 0.1117$   $M_x = 0.5183$   
 $\alpha = 0.5634$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2327$   
 $\alpha = 0.2220$   $M_y = -0.4744$
- 2')  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4744$   
 $\alpha = 0.2220$   $M_y = 0.2327$
- 1')  $R = 0.8883$   $M_x = -0.0000$   
 $\alpha = 0.5634$   $M_y = -0.5183$



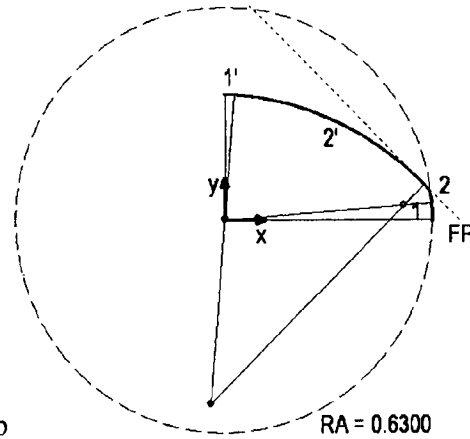
Figur 30d

- 1)  $R = 0.1489$   $M_x = 0.4811$   
 $\alpha = 0.6251$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2090$   
 $\alpha = 0.1603$   $M_y = -0.4981$
- 2')  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4981$   
 $\alpha = 0.1603$   $M_y = 0.2090$
- 1')  $R = 0.8511$   $M_x = -0.0000$   
 $\alpha = 0.6251$   $M_y = -0.4811$



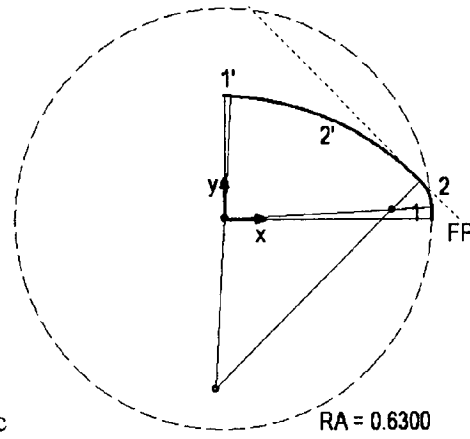
Figur 31a

- 1)  $R = 0.6300$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1051$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0460$   $M_x = 0.5808$   
 $\alpha = 0.6803$   $M_y = 0.0613$
- 2')  $R = 0.9540$   $M_x = -0.0613$   
 $\alpha = 0.6803$   $M_y = -0.5808$
- 1')  $R = 0.3700$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1051$   $M_y = 0.0000$



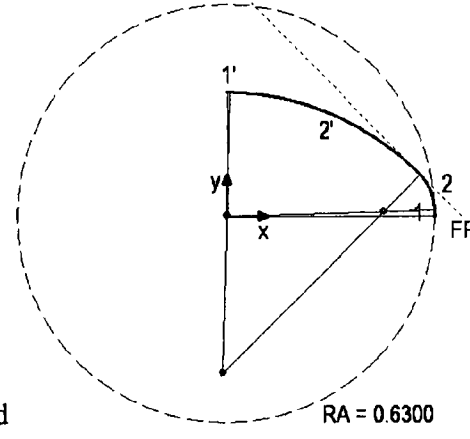
Figur 31b

- 1)  $R = 0.6300$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0788$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0870$   $M_x = 0.5413$   
 $\alpha = 0.7066$   $M_y = 0.0428$
- 2')  $R = 0.9130$   $M_x = -0.0428$   
 $\alpha = 0.7066$   $M_y = -0.5413$
- 1')  $R = 0.3700$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0788$   $M_y = 0.0000$



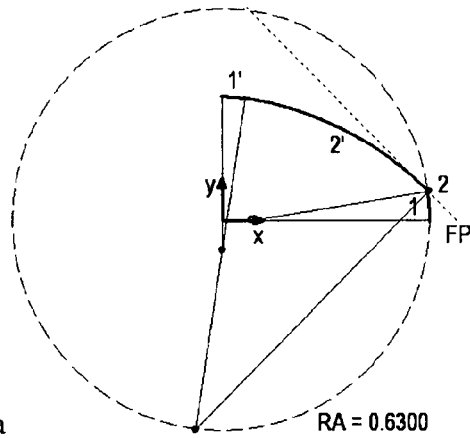
Figur 31c

- 1)  $R = 0.6300$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0526$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1236$   $M_x = 0.5057$   
 $\alpha = 0.7328$   $M_y = 0.0266$
- 2')  $R = 0.8764$   $M_x = -0.0266$   
 $\alpha = 0.7328$   $M_y = -0.5057$
- 1')  $R = 0.3700$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0526$   $M_y = 0.0000$



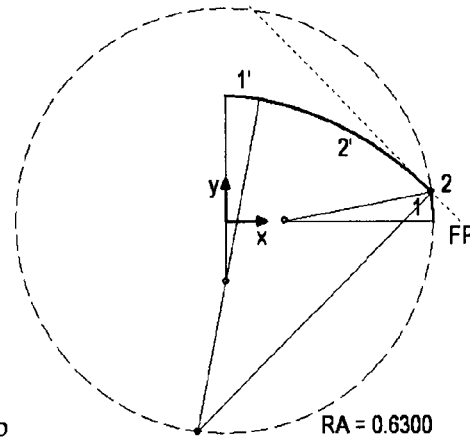
Figur 31d

- 1)  $R = 0.6300$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0263$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1565$   $M_x = 0.4733$   
 $\alpha = 0.7591$   $M_y = 0.0124$
- 2')  $R = 0.8435$   $M_x = -0.0124$   
 $\alpha = 0.7591$   $M_y = -0.4733$
- 1')  $R = 0.3700$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0263$   $M_y = 0.0000$



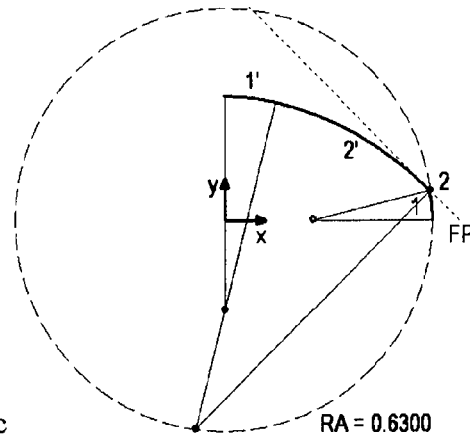
Figur 32a

- 1)  $R = 0.5412$   $M_x = 0.0888$   
 $\alpha = 0.1551$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.6235$   
 $\alpha = 0.6303$   $M_y = 0.0836$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0836$   
 $\alpha = 0.6303$   $M_y = -0.6235$
- 1')  $R = 0.4588$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1551$   $M_y = -0.0888$



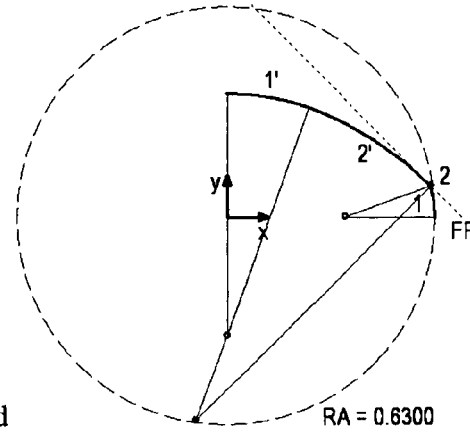
Figur 32b

- 1)  $R = 0.4525$   $M_x = 0.1775$   
 $\alpha = 0.1894$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.6219$   
 $\alpha = 0.5960$   $M_y = 0.0852$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0852$   
 $\alpha = 0.5960$   $M_y = -0.6219$
- 1')  $R = 0.5475$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1894$   $M_y = -0.1775$



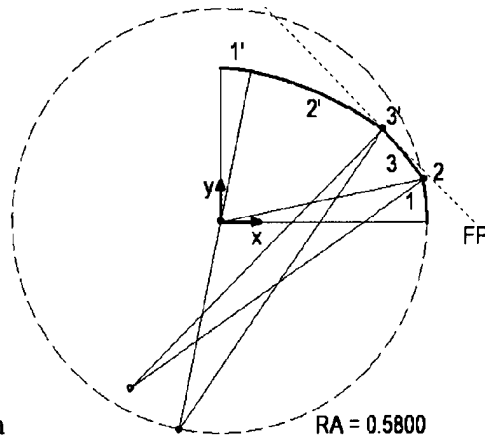
Figur 32c

- 1)  $R = 0.3637$   $M_x = 0.2663$   
 $\alpha = 0.2441$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.6192$   
 $\alpha = 0.5413$   $M_y = 0.0879$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0879$   
 $\alpha = 0.5413$   $M_y = -0.6192$
- 1')  $R = 0.6363$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2441$   $M_y = -0.2663$



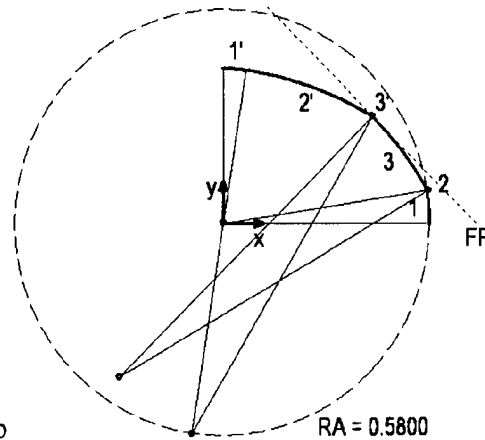
Figur 32d

- 1)  $R = 0.2749$   $M_x = 0.3551$   
 $\alpha = 0.3470$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.6136$   
 $\alpha = 0.4384$   $M_y = 0.0935$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0935$   
 $\alpha = 0.4384$   $M_y = -0.6136$
- 1')  $R = 0.7251$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.3470$   $M_y = -0.3551$



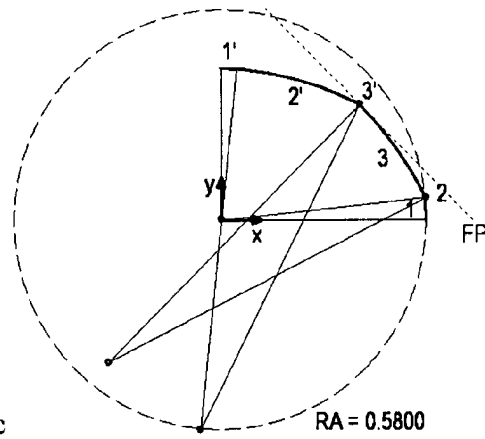
Figur 33a

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2032$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5681$   
 $\alpha = 0.4056$   $M_y = 0.1170$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2523$   
 $\alpha = 0.1767$   $M_y = -0.4548$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4548$   
 $\alpha = 0.1767$   $M_y = 0.2523$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1170$   
 $\alpha = 0.4056$   $M_y = -0.5681$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2032$   $M_y = 0.0000$



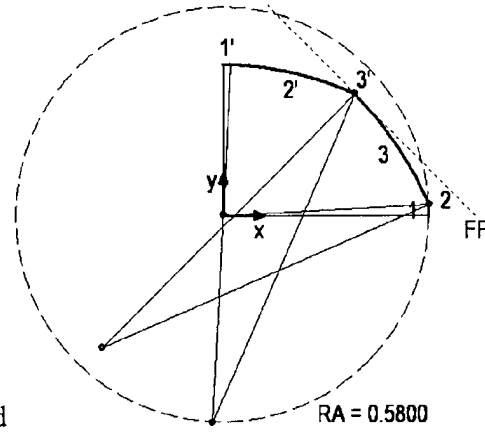
Figur 33b

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1524$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5733$   
 $\alpha = 0.3779$   $M_y = 0.0880$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2894$   
 $\alpha = 0.2552$   $M_y = -0.4177$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4177$   
 $\alpha = 0.2552$   $M_y = 0.2894$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0880$   
 $\alpha = 0.3779$   $M_y = -0.5733$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1524$   $M_y = 0.0000$



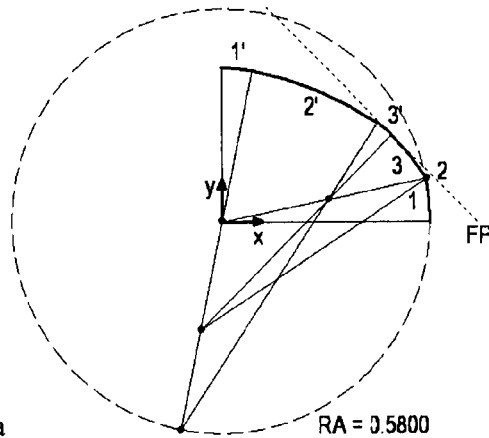
Figur 33c

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1016$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5770$   
 $\alpha = 0.3650$   $M_y = 0.0588$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.3161$   
 $\alpha = 0.3188$   $M_y = -0.3910$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = 0.3910$   
 $\alpha = 0.3188$   $M_y = 0.3161$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0588$   
 $\alpha = 0.3650$   $M_y = -0.5770$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1016$   $M_y = 0.0000$



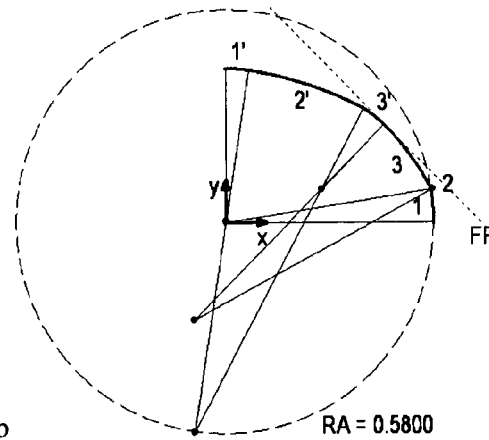
Figur 33d

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0508$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5792$   
 $\alpha = 0.3594$   $M_y = 0.0294$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.3378$   
 $\alpha = 0.3752$   $M_y = -0.3693$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = 0.3693$   
 $\alpha = 0.3752$   $M_y = 0.3378$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0294$   
 $\alpha = 0.3594$   $M_y = -0.5792$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0508$   $M_y = 0.0000$



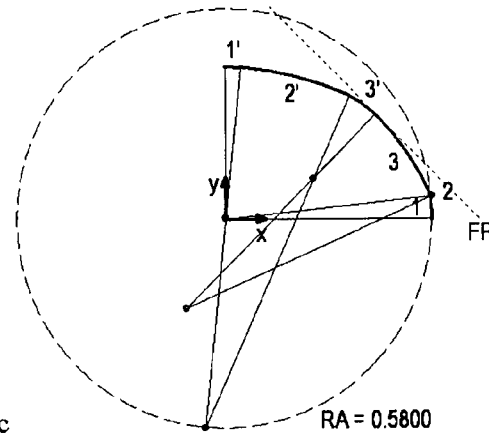
Figur 34a

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2032$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5681$   
 $\alpha = 0.3782$   $M_y = 0.1170$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.0587$   
 $\alpha = 0.2041$   $M_y = -0.2948$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = 0.2948$   
 $\alpha = 0.2041$   $M_y = 0.0587$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1170$   
 $\alpha = 0.3782$   $M_y = -0.5681$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2032$   $M_y = 0.0000$



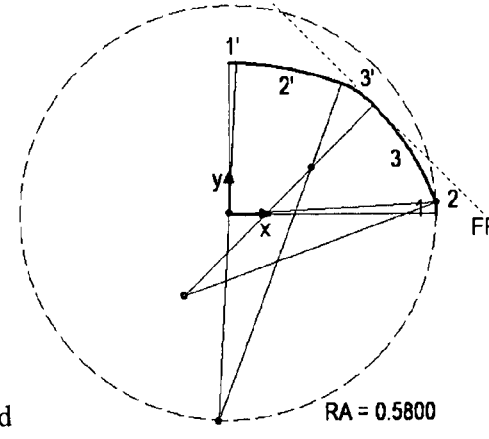
Figur 34b

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1524$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5733$   
 $\alpha = 0.3381$   $M_y = 0.0880$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.0883$   
 $\alpha = 0.2949$   $M_y = -0.2653$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = 0.2653$   
 $\alpha = 0.2949$   $M_y = 0.0883$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0880$   
 $\alpha = 0.3381$   $M_y = -0.5733$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1524$   $M_y = 0.0000$



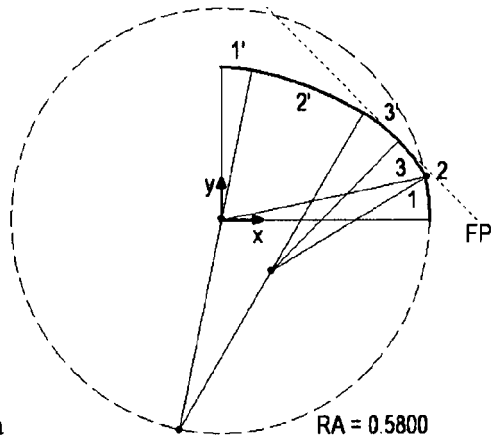
Figur 34c

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1016$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5770$   
 $\alpha = 0.3151$   $M_y = 0.0588$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.1088$   
 $\alpha = 0.3687$   $M_y = -0.2447$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = 0.2447$   
 $\alpha = 0.3687$   $M_y = 0.1088$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0588$   
 $\alpha = 0.3151$   $M_y = -0.5770$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1016$   $M_y = 0.0000$



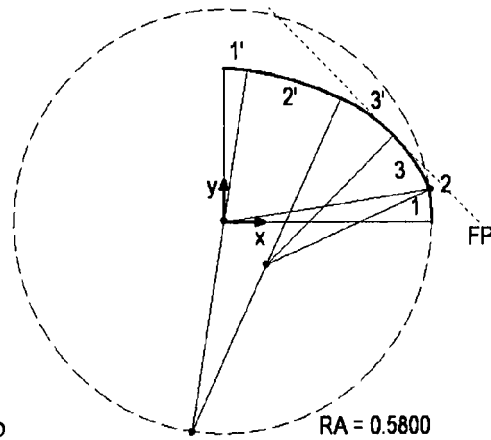
Figur 34d

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0508$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5792$   
 $\alpha = 0.3004$   $M_y = 0.0294$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.1250$   
 $\alpha = 0.4342$   $M_y = -0.2286$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = 0.2286$   
 $\alpha = 0.4342$   $M_y = 0.1250$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0294$   
 $\alpha = 0.3004$   $M_y = -0.5792$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0508$   $M_y = 0.0000$



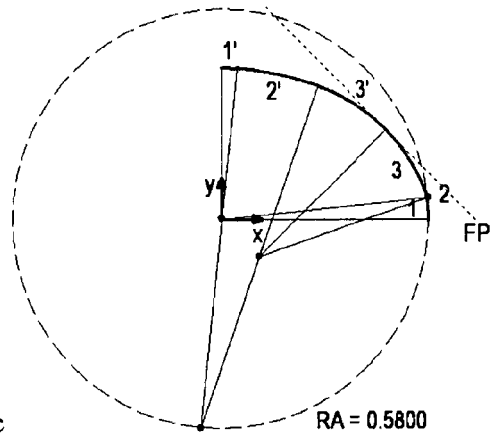
Figur 35a

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2032$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5681$   
 $\alpha = 0.3321$   $M_y = 0.1170$
- 3)  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1380$   
 $\alpha = 0.2502$   $M_y = -0.1380$
- 3')  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1380$   
 $\alpha = 0.2502$   $M_y = -0.1380$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1170$   
 $\alpha = 0.3321$   $M_y = -0.5681$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2032$   $M_y = 0.0000$



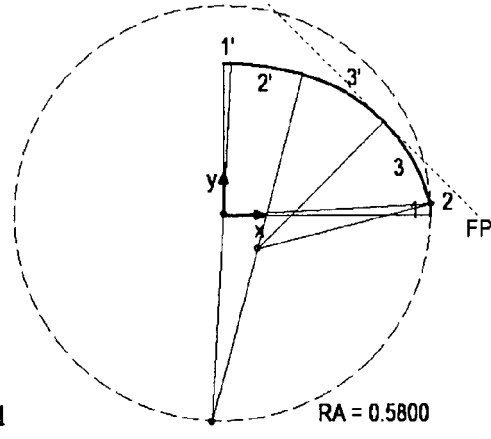
Figur 35b

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1524$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5733$   
 $\alpha = 0.2712$   $M_y = 0.0880$
- 3)  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1175$   
 $\alpha = 0.3619$   $M_y = -0.1175$
- 3')  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1175$   
 $\alpha = 0.3619$   $M_y = -0.1175$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0880$   
 $\alpha = 0.2712$   $M_y = -0.5733$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1524$   $M_y = 0.0000$



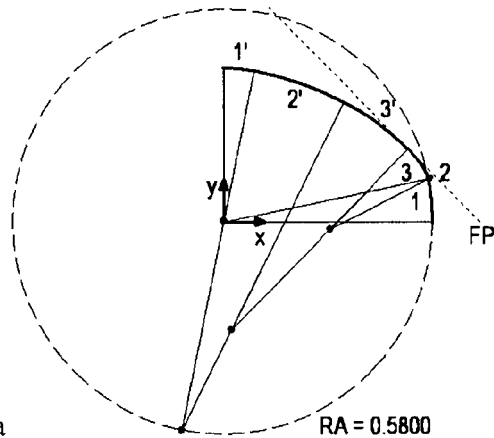
Figur 35c

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1016$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5770$   
 $\alpha = 0.2309$   $M_y = 0.0588$
- 3)  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1044$   
 $\alpha = 0.4529$   $M_y = -0.1044$
- 3')  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1044$   
 $\alpha = 0.4529$   $M_y = -0.1044$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0588$   
 $\alpha = 0.2309$   $M_y = -0.5770$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1016$   $M_y = 0.0000$



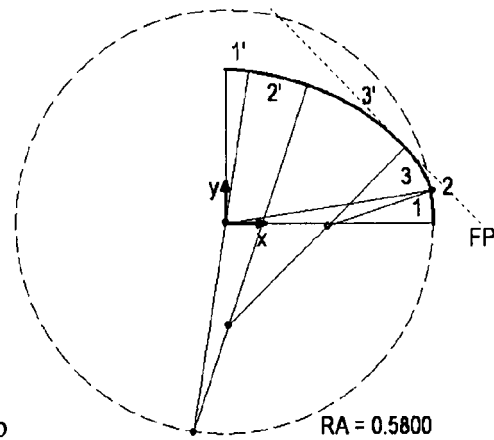
Figur 35d

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0508$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5792$   
 $\alpha = 0.2007$   $M_y = 0.0294$
- 3)  $R = 0.5000$   $M_x = 0.0950$   
 $\alpha = 0.5339$   $M_y = -0.0950$
- 3')  $R = 0.5000$   $M_x = 0.0950$   
 $\alpha = 0.5339$   $M_y = -0.0950$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0294$   
 $\alpha = 0.2007$   $M_y = -0.5792$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0508$   $M_y = 0.0000$



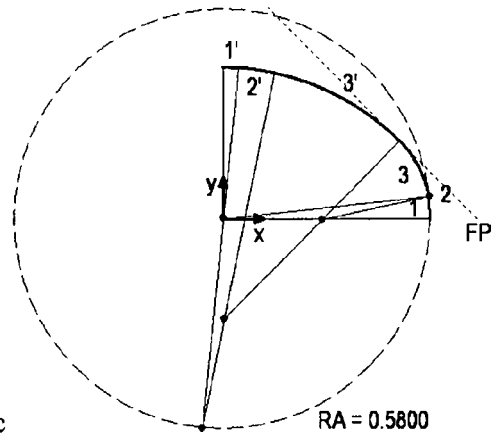
Figur 36a

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2032$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5681$   
 $\alpha = 0.2624$   $M_y = 0.1170$
- 3)  $R = 0.3069$   $M_x = 0.2939$   
 $\alpha = 0.3198$   $M_y = -0.0207$
- 3')  $R = 0.6931$   $M_x = 0.0207$   
 $\alpha = 0.3198$   $M_y = -0.2939$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1170$   
 $\alpha = 0.2624$   $M_y = -0.5681$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2032$   $M_y = 0.0000$



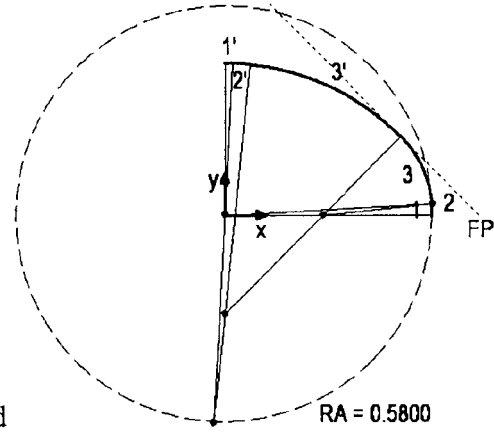
Figur 36b

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1524$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5733$   
 $\alpha = 0.1695$   $M_y = 0.0880$
- 3)  $R = 0.3069$   $M_x = 0.2822$   
 $\alpha = 0.4635$   $M_y = -0.0090$
- 3')  $R = 0.6931$   $M_x = 0.0090$   
 $\alpha = 0.4635$   $M_y = -0.2822$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0880$   
 $\alpha = 0.1695$   $M_y = -0.5733$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1524$   $M_y = 0.0000$



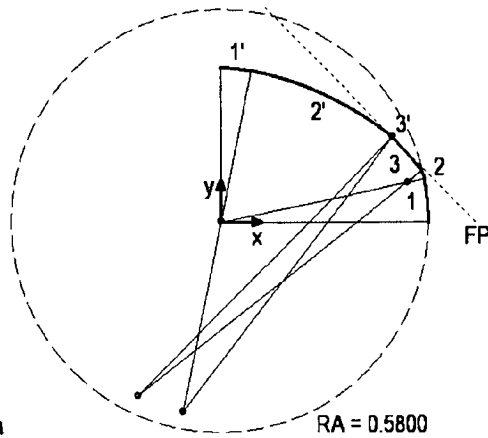
Figur 36c

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1016$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5770$   
 $\alpha = 0.1025$   $M_y = 0.0588$
- 3)  $R = 0.3069$   $M_x = 0.2765$   
 $\alpha = 0.5813$   $M_y = -0.0034$
- 3')  $R = 0.6931$   $M_x = 0.0034$   
 $\alpha = 0.5813$   $M_y = -0.2765$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0588$   
 $\alpha = 0.1025$   $M_y = -0.5770$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1016$   $M_y = 0.0000$



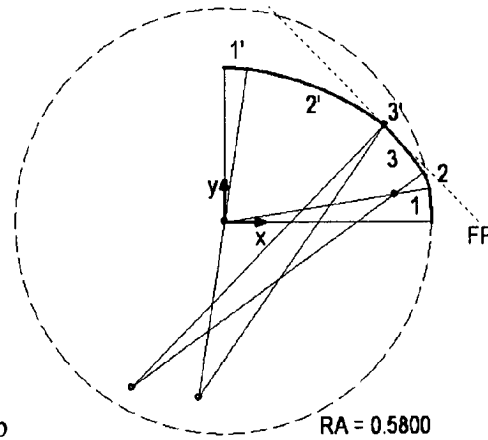
Figur 36d

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0508$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5792$   
 $\alpha = 0.0477$   $M_y = 0.0294$
- 3)  $R = 0.3069$   $M_x = 0.2739$   
 $\alpha = 0.6869$   $M_y = -0.0007$
- 3')  $R = 0.6931$   $M_x = 0.0007$   
 $\alpha = 0.6869$   $M_y = -0.2739$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.0294$   
 $\alpha = 0.0477$   $M_y = -0.5792$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0508$   $M_y = 0.0000$



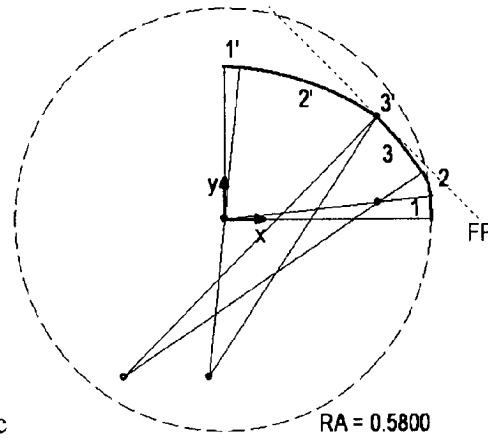
Figur 37a

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2032$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0500$   $M_x = 0.5191$   
 $\alpha = 0.4580$   $M_y = 0.1069$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2307$   
 $\alpha = 0.1243$   $M_y = -0.4764$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4764$   
 $\alpha = 0.1243$   $M_y = 0.2307$
- 2')  $R = 0.9500$   $M_x = -0.1069$   
 $\alpha = 0.4580$   $M_y = -0.5191$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2032$   $M_y = 0.0000$



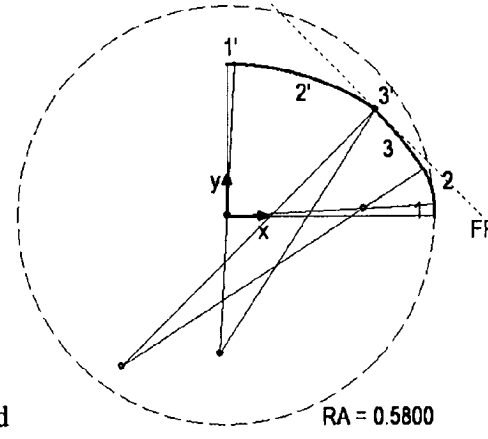
Figur 37b

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1524$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1000$   $M_x = 0.4744$   
 $\alpha = 0.4628$   $M_y = 0.0729$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2605$   
 $\alpha = 0.1702$   $M_y = -0.4465$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4465$   
 $\alpha = 0.1702$   $M_y = 0.2605$
- 2')  $R = 0.9000$   $M_x = -0.0729$   
 $\alpha = 0.4628$   $M_y = -0.4744$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1524$   $M_y = 0.0000$



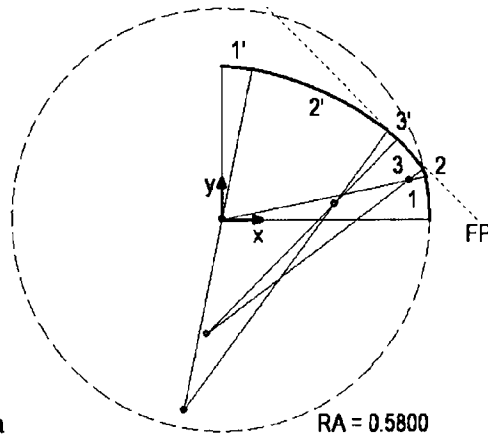
Figur 37c

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1016$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1500$   $M_x = 0.4278$   
 $\alpha = 0.4854$   $M_y = 0.0436$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2799$   
 $\alpha = 0.1984$   $M_y = -0.4272$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4272$   
 $\alpha = 0.1984$   $M_y = 0.2799$
- 2')  $R = 0.8500$   $M_x = -0.0436$   
 $\alpha = 0.4854$   $M_y = -0.4278$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1016$   $M_y = 0.0000$



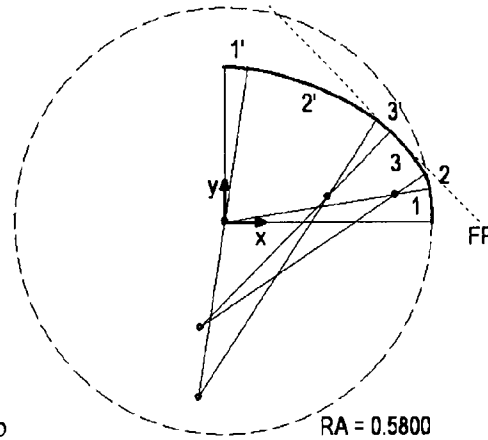
Figur 37d

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0508$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.2000$   $M_x = 0.3795$   
 $\alpha = 0.5220$   $M_y = 0.0193$
- 3)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2928$   
 $\alpha = 0.2126$   $M_y = -0.4143$
- 3')  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4143$   
 $\alpha = 0.2126$   $M_y = 0.2928$
- 2')  $R = 0.8000$   $M_x = -0.0193$   
 $\alpha = 0.5220$   $M_y = -0.3795$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0508$   $M_y = 0.0000$



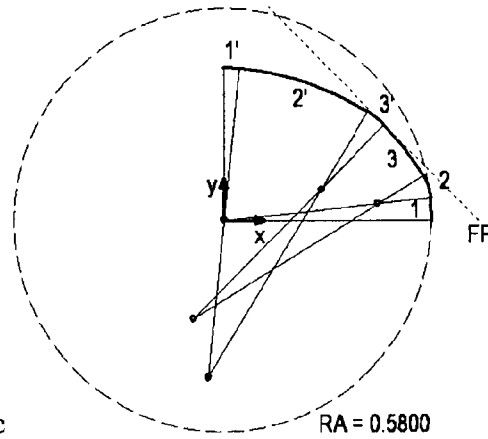
Figur 38a

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2032$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0500$   $M_x = 0.5191$   
 $\alpha = 0.4374$   $M_y = 0.1069$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.0421$   
 $\alpha = 0.1448$   $M_y = -0.3114$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = 0.3114$   
 $\alpha = 0.1448$   $M_y = 0.0421$
- 2')  $R = 0.9500$   $M_x = -0.1069$   
 $\alpha = 0.4374$   $M_y = -0.5191$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2032$   $M_y = 0.0000$



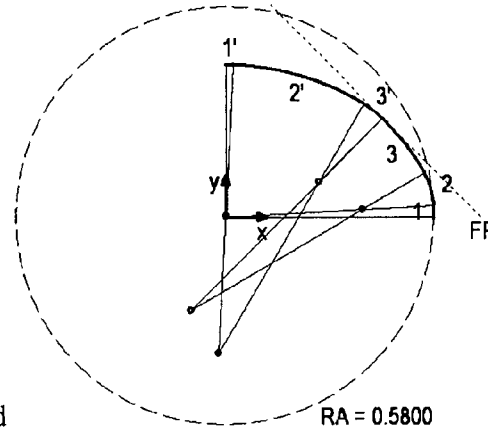
Figur 38b

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1524$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1000$   $M_x = 0.4744$   
 $\alpha = 0.4327$   $M_y = 0.0729$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.0675$   
 $\alpha = 0.2004$   $M_y = -0.2861$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = 0.2861$   
 $\alpha = 0.2004$   $M_y = 0.0675$
- 2')  $R = 0.9000$   $M_x = -0.0729$   
 $\alpha = 0.4327$   $M_y = -0.4744$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1524$   $M_y = 0.0000$



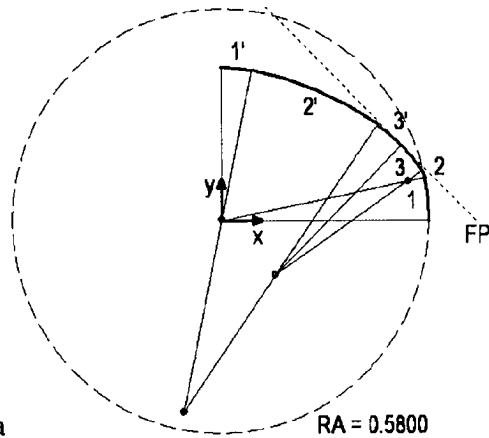
Figur 38c

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1016$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1500$   $M_x = 0.4278$   
 $\alpha = 0.4475$   $M_y = 0.0436$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.0840$   
 $\alpha = 0.2363$   $M_y = -0.2695$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = 0.2695$   
 $\alpha = 0.2363$   $M_y = 0.0840$
- 2')  $R = 0.8500$   $M_x = -0.0436$   
 $\alpha = 0.4475$   $M_y = -0.4278$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1016$   $M_y = 0.0000$



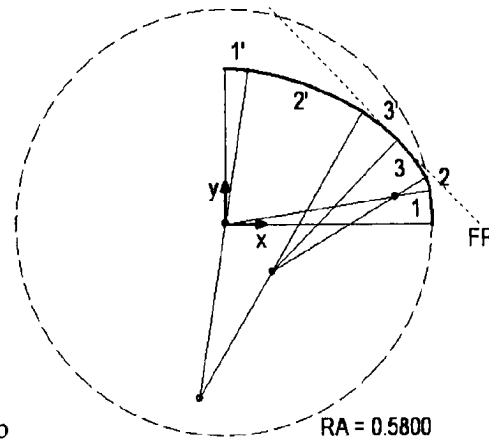
Figur 38d

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0508$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.2000$   $M_x = 0.3795$   
 $\alpha = 0.4780$   $M_y = 0.0193$
- 3)  $R = 0.7500$   $M_x = -0.0954$   
 $\alpha = 0.2566$   $M_y = -0.2582$
- 3')  $R = 0.2500$   $M_x = 0.2582$   
 $\alpha = 0.2566$   $M_y = 0.0954$
- 2')  $R = 0.8000$   $M_x = -0.0193$   
 $\alpha = 0.4780$   $M_y = -0.3795$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0508$   $M_y = 0.0000$



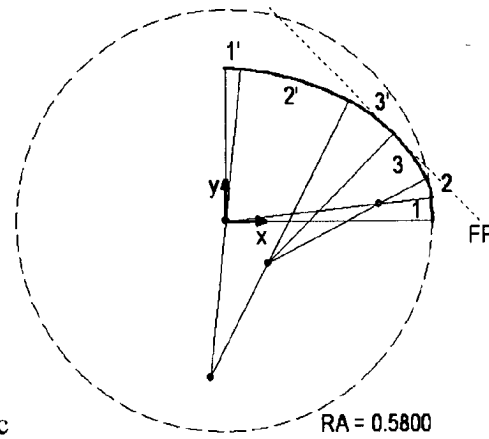
Figur 39a

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2032$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0500$   $M_x = 0.5191$   
 $\alpha = 0.4015$   $M_y = 0.1069$
- 3)  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1489$   
 $\alpha = 0.1807$   $M_y = -0.1489$
- 3')  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1489$   
 $\alpha = 0.1807$   $M_y = -0.1489$
- 2')  $R = 0.9500$   $M_x = -0.1069$   
 $\alpha = 0.4015$   $M_y = -0.5191$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2032$   $M_y = 0.0000$



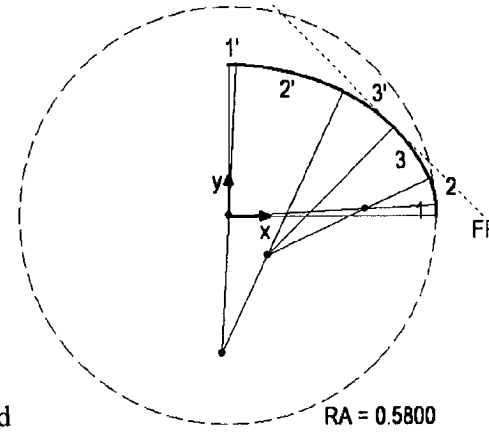
Figur 39b

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1524$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1000$   $M_x = 0.4744$   
 $\alpha = 0.3773$   $M_y = 0.0729$
- 3)  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1293$   
 $\alpha = 0.2557$   $M_y = -0.1293$
- 3')  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1293$   
 $\alpha = 0.2557$   $M_y = -0.1293$
- 2')  $R = 0.9000$   $M_x = -0.0729$   
 $\alpha = 0.3773$   $M_y = -0.4744$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1524$   $M_y = 0.0000$



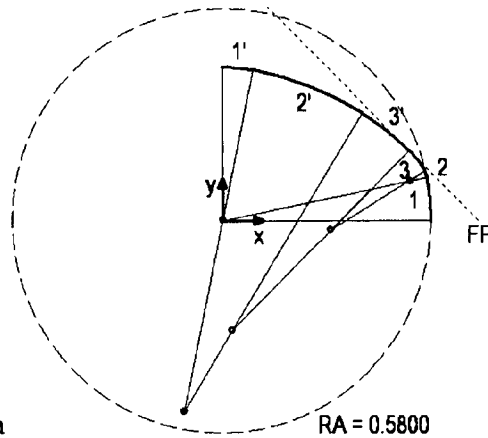
Figur 39c

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1016$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1500$   $M_x = 0.4278$   
 $\alpha = 0.3739$   $M_y = 0.0436$
- 3)  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1166$   
 $\alpha = 0.3100$   $M_y = -0.1166$
- 3')  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1166$   
 $\alpha = 0.3100$   $M_y = -0.1166$
- 2')  $R = 0.8500$   $M_x = -0.0436$   
 $\alpha = 0.3739$   $M_y = -0.4278$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1016$   $M_y = 0.0000$



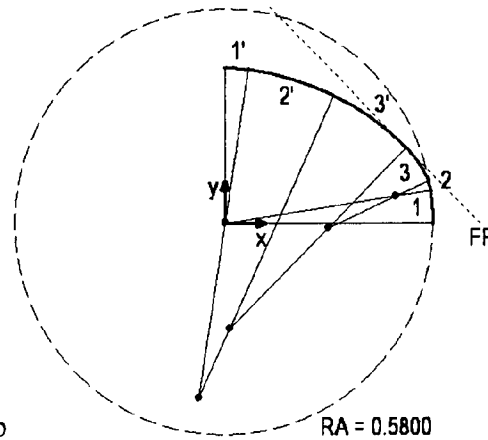
Figur 39d

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0508$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.2000$   $M_x = 0.3795$   
 $\alpha = 0.3864$   $M_y = 0.0193$
- 3)  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1077$   
 $\alpha = 0.3482$   $M_y = -0.1077$
- 3')  $R = 0.5000$   $M_x = 0.1077$   
 $\alpha = 0.3482$   $M_y = -0.1077$
- 2')  $R = 0.8000$   $M_x = -0.0193$   
 $\alpha = 0.3864$   $M_y = -0.3795$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0508$   $M_y = 0.0000$



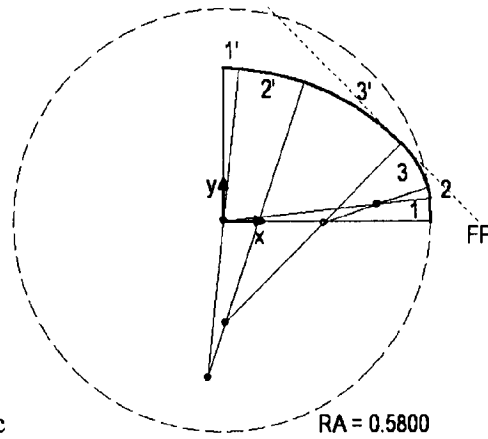
Figur 40a

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2032$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0500$   $M_x = 0.5191$   
 $\alpha = 0.3428$   $M_y = 0.1069$
- 3)  $R = 0.3069$   $M_x = 0.2996$   
 $\alpha = 0.2394$   $M_y = -0.0264$
- 3')  $R = 0.6931$   $M_x = 0.0264$   
 $\alpha = 0.2394$   $M_y = -0.2996$
- 2')  $R = 0.9500$   $M_x = -0.1069$   
 $\alpha = 0.3428$   $M_y = -0.5191$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2032$   $M_y = 0.0000$



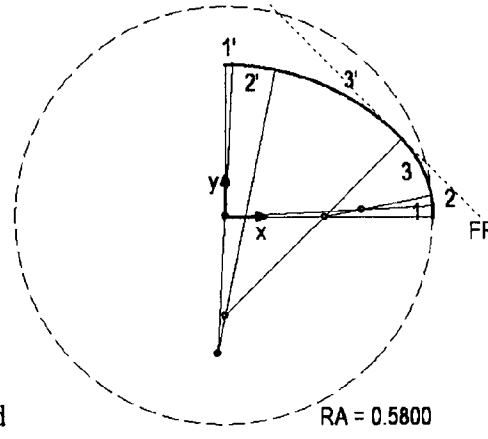
Figur 40b

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1524$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1000$   $M_x = 0.4744$   
 $\alpha = 0.2765$   $M_y = 0.0729$
- 3)  $R = 0.3069$   $M_x = 0.2863$   
 $\alpha = 0.3565$   $M_y = -0.0132$
- 3')  $R = 0.6931$   $M_x = 0.0132$   
 $\alpha = 0.3565$   $M_y = -0.2863$
- 2')  $R = 0.9000$   $M_x = -0.0729$   
 $\alpha = 0.2765$   $M_y = -0.4744$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1524$   $M_y = 0.0000$



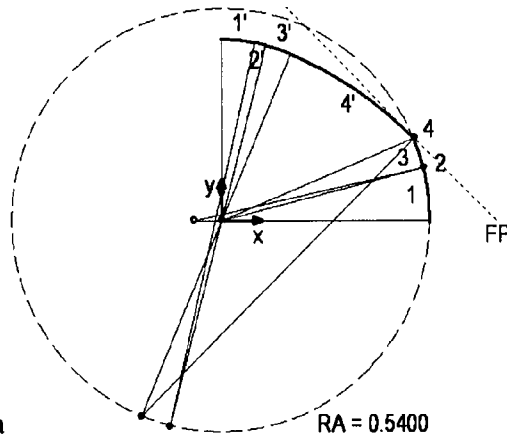
Figur 40c

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1016$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.1500$   $M_x = 0.4278$   
 $\alpha = 0.2185$   $M_y = 0.0436$
- 3)  $R = 0.3069$   $M_x = 0.2789$   
 $\alpha = 0.4653$   $M_y = -0.0057$
- 3')  $R = 0.6931$   $M_x = 0.0057$   
 $\alpha = 0.4653$   $M_y = -0.2789$
- 2')  $R = 0.8500$   $M_x = -0.0436$   
 $\alpha = 0.2185$   $M_y = -0.4278$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1016$   $M_y = 0.0000$



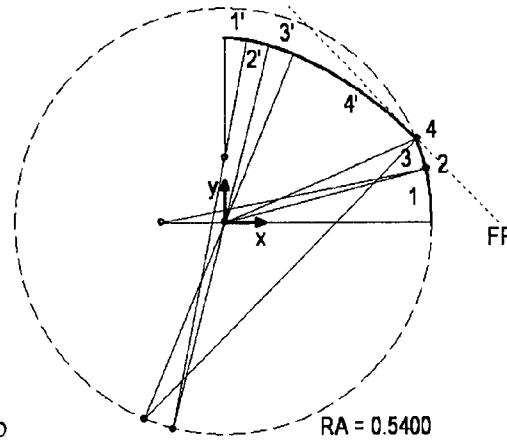
Figur 40d

- 1)  $R = 0.5800$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0508$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.2000$   $M_x = 0.3795$   
 $\alpha = 0.1456$   $M_y = 0.0193$
- 3)  $R = 0.3069$   $M_x = 0.2747$   
 $\alpha = 0.5890$   $M_y = -0.0016$
- 3')  $R = 0.6931$   $M_x = 0.0016$   
 $\alpha = 0.5890$   $M_y = -0.2747$
- 2')  $R = 0.8000$   $M_x = -0.0193$   
 $\alpha = 0.1456$   $M_y = -0.3795$
- 1')  $R = 0.4200$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0508$   $M_y = 0.0000$



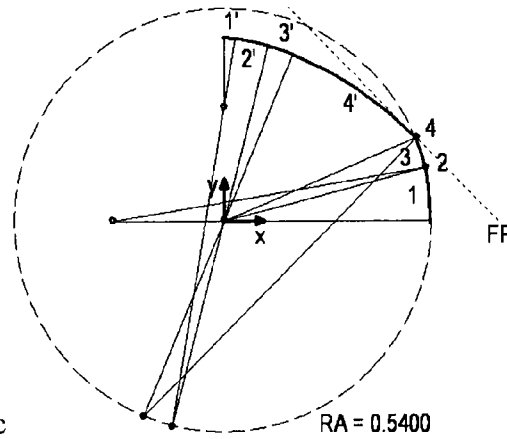
Figur 41a

- 1)  $R = 0.6089$   $M_x = -0.0709$   
 $\alpha = 0.2239$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5228$   
 $\alpha = 0.0292$   $M_y = 0.1352$
- 3)  $R = 0.5400$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1450$   $M_y = 0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4978$   
 $\alpha = 0.3873$   $M_y = 0.2093$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2093$   
 $\alpha = 0.3873$   $M_y = -0.4978$
- 3')  $R = 0.4600$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1450$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1352$   
 $\alpha = 0.0292$   $M_y = -0.5228$
- 1')  $R = 0.3911$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2239$   $M_y = 0.0709$



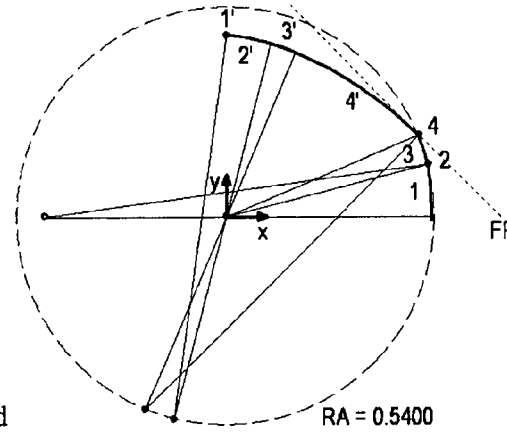
Figur 41b

- 1)  $R = 0.6990$   $M_x = -0.1630$   
 $\alpha = 0.1946$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5228$   
 $\alpha = 0.0584$   $M_y = 0.1352$
- 3)  $R = 0.5400$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1450$   $M_y = 0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4978$   
 $\alpha = 0.3873$   $M_y = 0.2093$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2093$   
 $\alpha = 0.3873$   $M_y = -0.4978$
- 3')  $R = 0.4600$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1450$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1352$   
 $\alpha = 0.0584$   $M_y = -0.5228$
- 1')  $R = 0.3010$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1946$   $M_y = 0.1630$



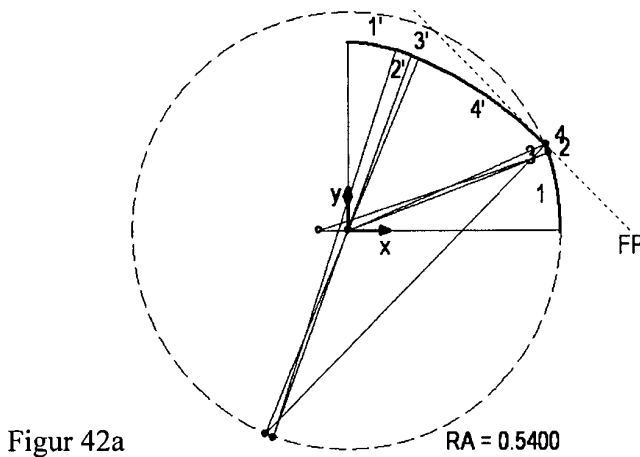
Figur 41c

- 1)  $R = 0.8217$   $M_x = -0.2877$   
 $\alpha = 0.1653$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5228$   
 $\alpha = 0.0878$   $M_y = 0.1352$
- 3)  $R = 0.5400$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1450$   $M_y = 0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4978$   
 $\alpha = 0.3873$   $M_y = 0.2093$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2093$   
 $\alpha = 0.3873$   $M_y = -0.4978$
- 3')  $R = 0.4600$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1450$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1352$   
 $\alpha = 0.0878$   $M_y = -0.5228$
- 1')  $R = 0.1783$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1653$   $M_y = 0.2877$



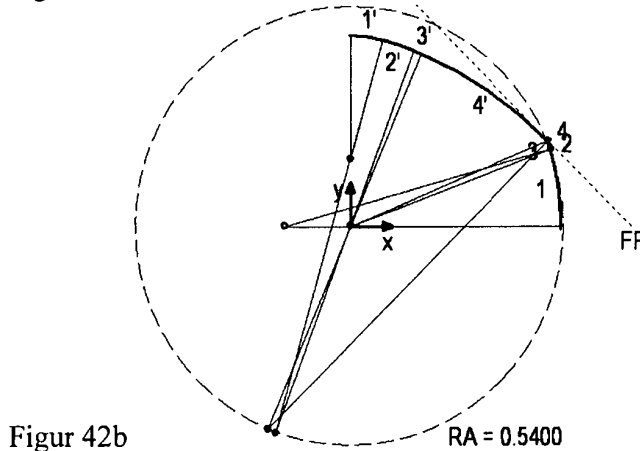
Figur 41d

- 1)  $R = 0.9981$   $M_x = -0.4661$   
 $\alpha = 0.1359$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5228$   
 $\alpha = 0.1172$   $M_y = 0.1352$
- 3)  $R = 0.5400$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1450$   $M_y = 0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4978$   
 $\alpha = 0.3873$   $M_y = 0.2093$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2093$   
 $\alpha = 0.3873$   $M_y = -0.4978$
- 3')  $R = 0.4600$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1450$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1352$   
 $\alpha = 0.1172$   $M_y = -0.5228$
- 1')  $R = 0.0019$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1359$   $M_y = 0.4661$



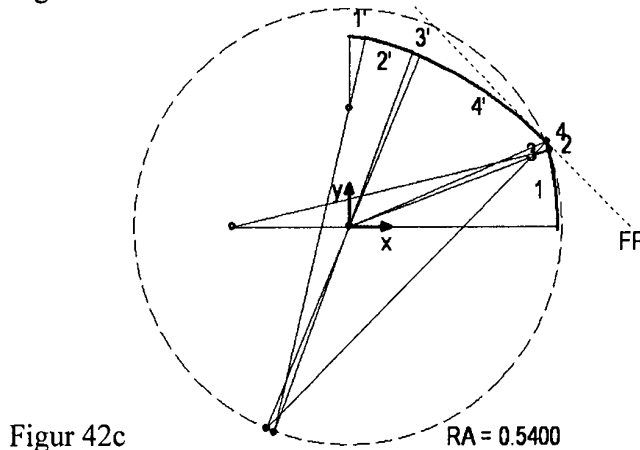
Figur 42a

- 1)  $R = 0.6080$   $M_x = -0.0720$   
 $\alpha = 0.3149$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5061$   
 $\alpha = 0.0413$   $M_y = 0.1883$
- 3)  $R = 0.5400$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0419$   $M_y = 0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4978$   
 $\alpha = 0.3873$   $M_y = 0.2093$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2093$   
 $\alpha = 0.3873$   $M_y = -0.4978$
- 3')  $R = 0.4600$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0419$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1883$   
 $\alpha = 0.0413$   $M_y = -0.5061$
- 1')  $R = 0.3920$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.3149$   $M_y = 0.0720$



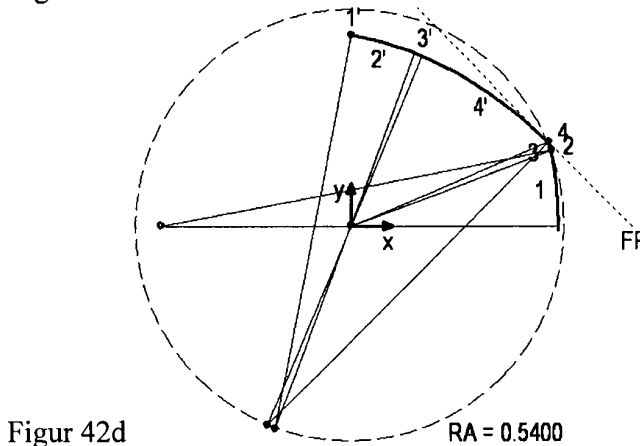
Figur 42b

- 1)  $R = 0.6976$   $M_x = -0.1656$   
 $\alpha = 0.2734$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5061$   
 $\alpha = 0.0829$   $M_y = 0.1883$
- 3)  $R = 0.5400$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0419$   $M_y = 0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4978$   
 $\alpha = 0.3873$   $M_y = 0.2093$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2093$   
 $\alpha = 0.3873$   $M_y = -0.4978$
- 3')  $R = 0.4600$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0419$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1883$   
 $\alpha = 0.0829$   $M_y = -0.5061$
- 1')  $R = 0.3024$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2734$   $M_y = 0.1656$



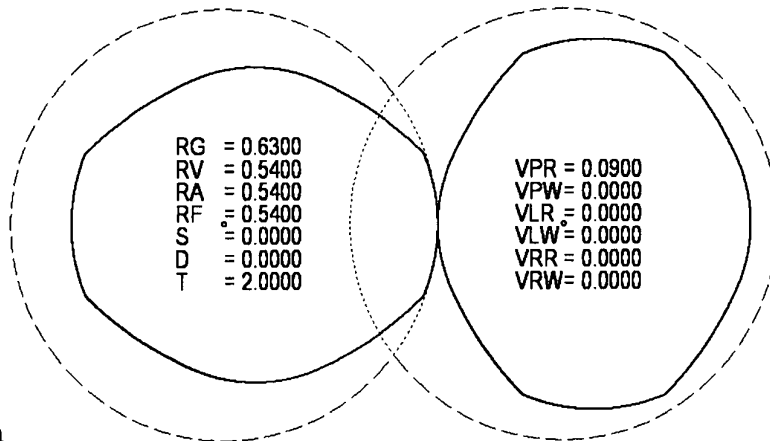
Figur 42c

- 1)  $R = 0.8206$   $M_x = -0.2926$   
 $\alpha = 0.2316$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5061$   
 $\alpha = 0.1247$   $M_y = 0.1883$
- 3)  $R = 0.5400$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0419$   $M_y = 0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4978$   
 $\alpha = 0.3873$   $M_y = 0.2093$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2093$   
 $\alpha = 0.3873$   $M_y = -0.4978$
- 3')  $R = 0.4600$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0419$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1883$   
 $\alpha = 0.1247$   $M_y = -0.5061$
- 1')  $R = 0.1794$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.2316$   $M_y = 0.2926$

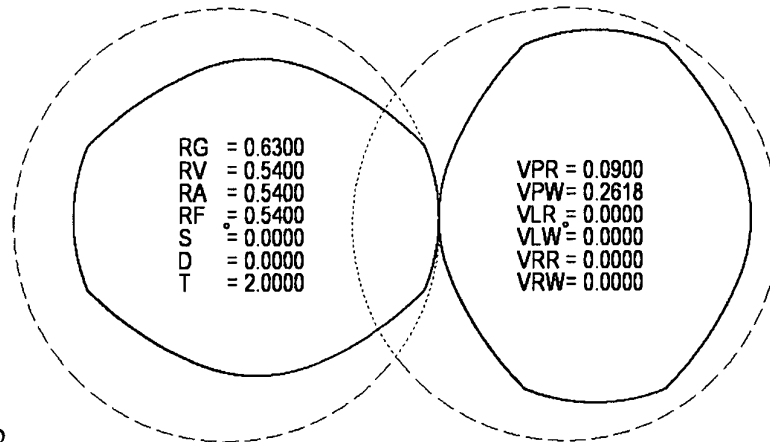


Figur 42d

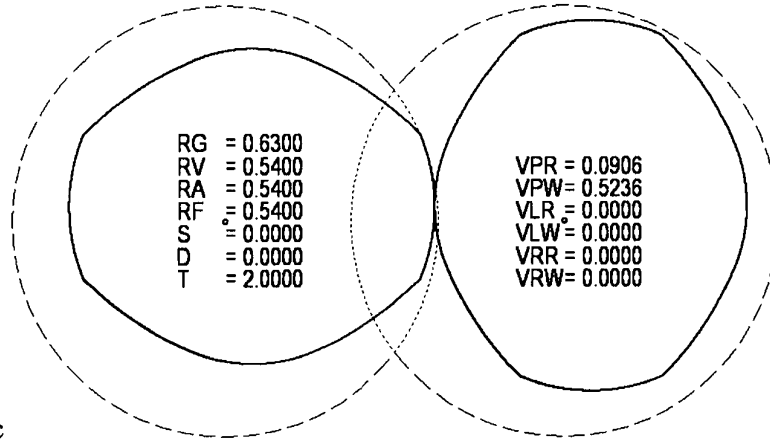
- 1)  $R = 0.9995$   $M_x = -0.4755$   
 $\alpha = 0.1895$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5061$   
 $\alpha = 0.1667$   $M_y = 0.1883$
- 3)  $R = 0.5400$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0419$   $M_y = 0.0000$
- 4)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4978$   
 $\alpha = 0.3873$   $M_y = 0.2093$
- 4')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2093$   
 $\alpha = 0.3873$   $M_y = -0.4978$
- 3')  $R = 0.4600$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0419$   $M_y = 0.0000$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.1883$   
 $\alpha = 0.1667$   $M_y = -0.5061$
- 1')  $R = 0.0005$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1895$   $M_y = 0.4755$



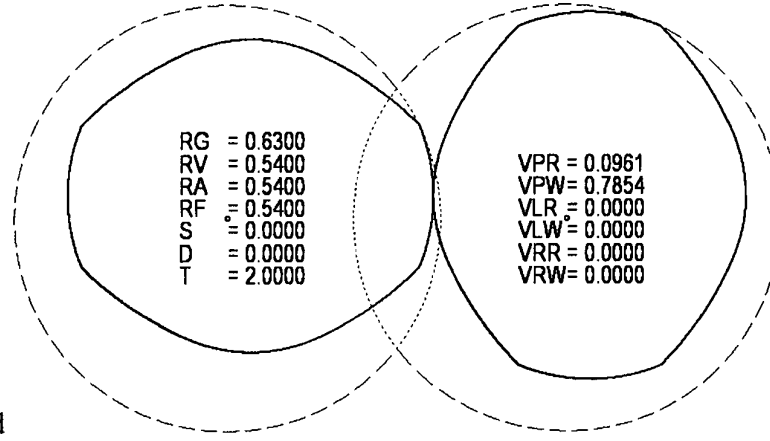
Figur 43a



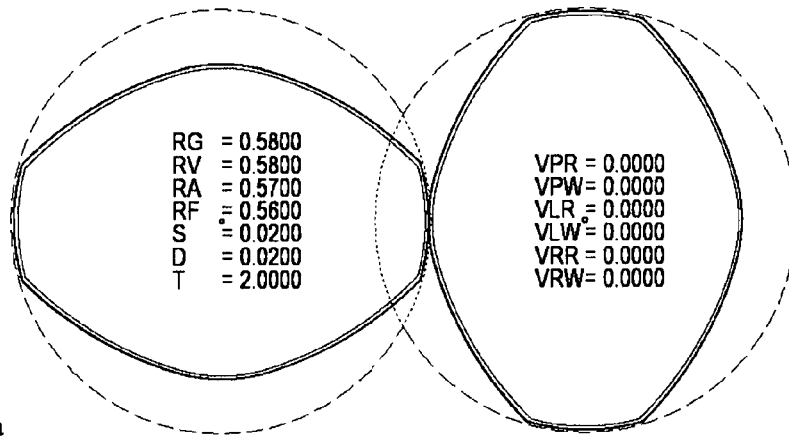
Figur 43b



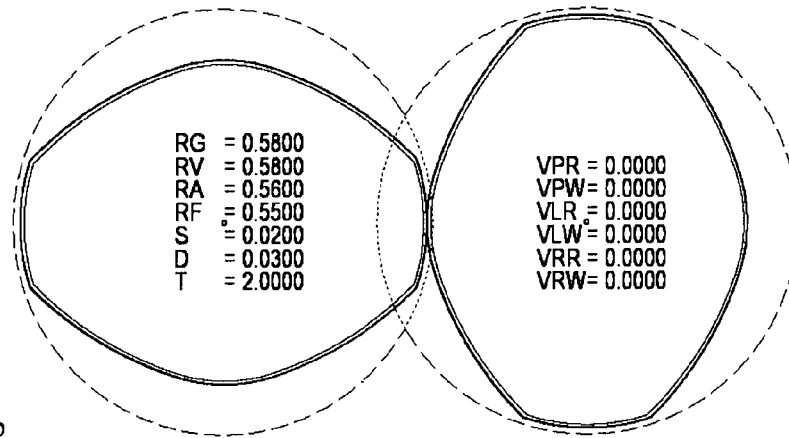
Figur 43c



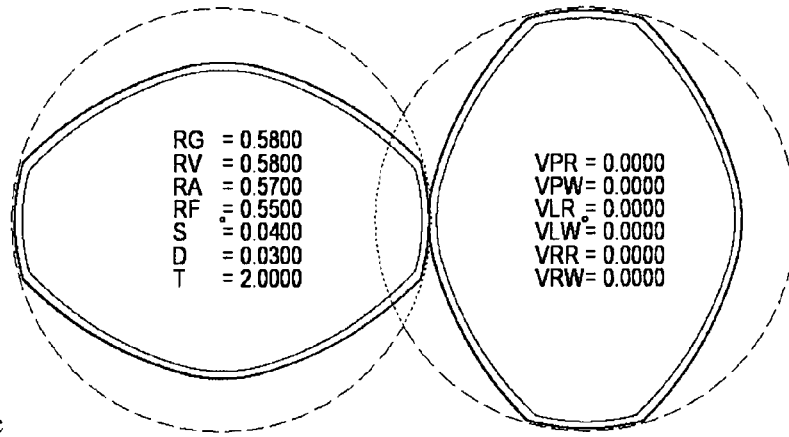
Figur 43d



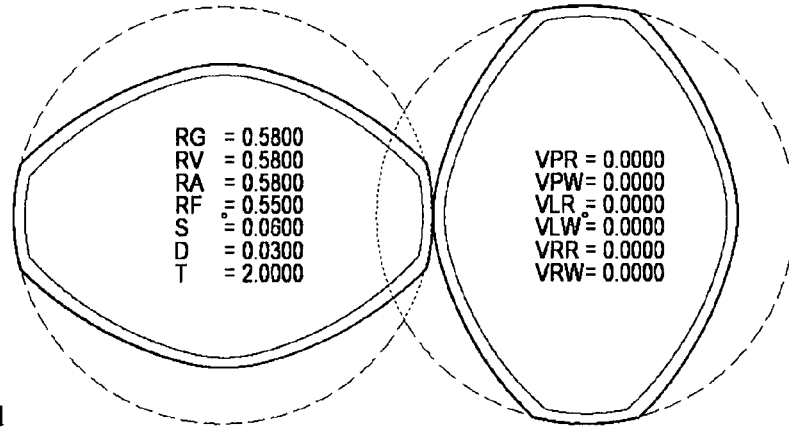
Figur 44a



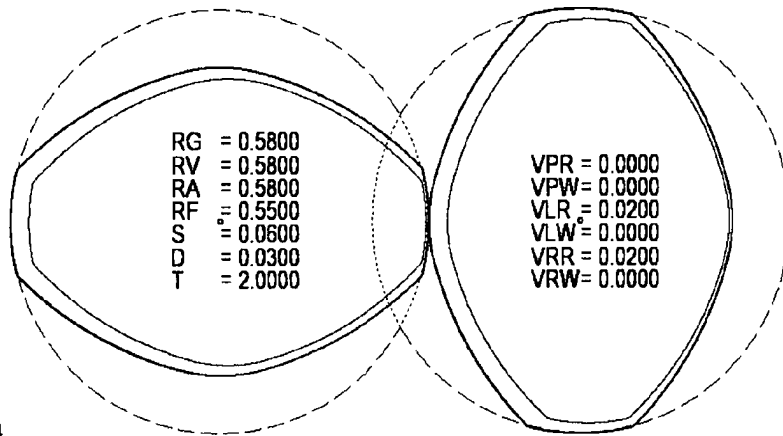
Figur 44b



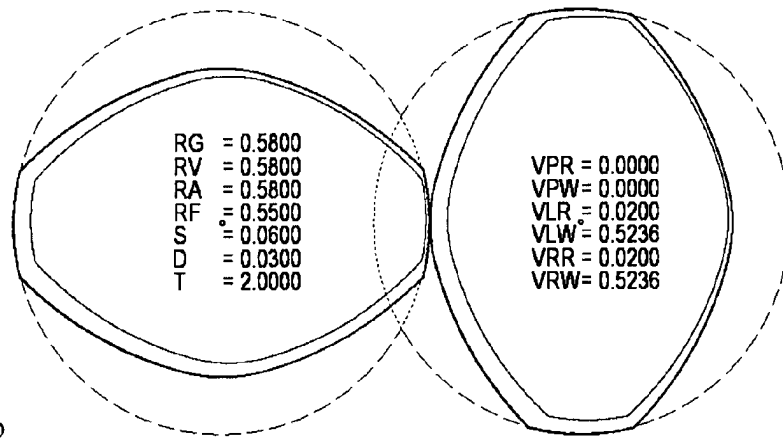
Figur 44c



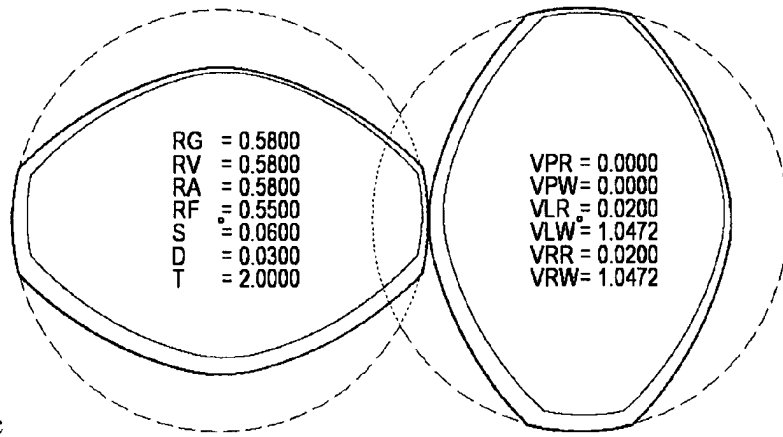
Figur 44d



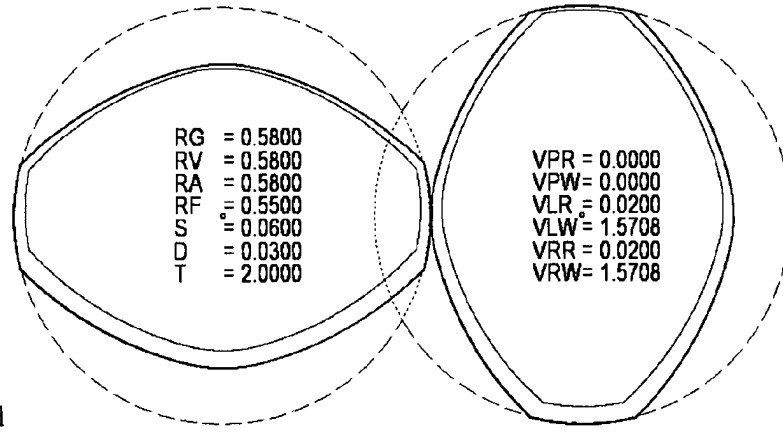
Figur 45a



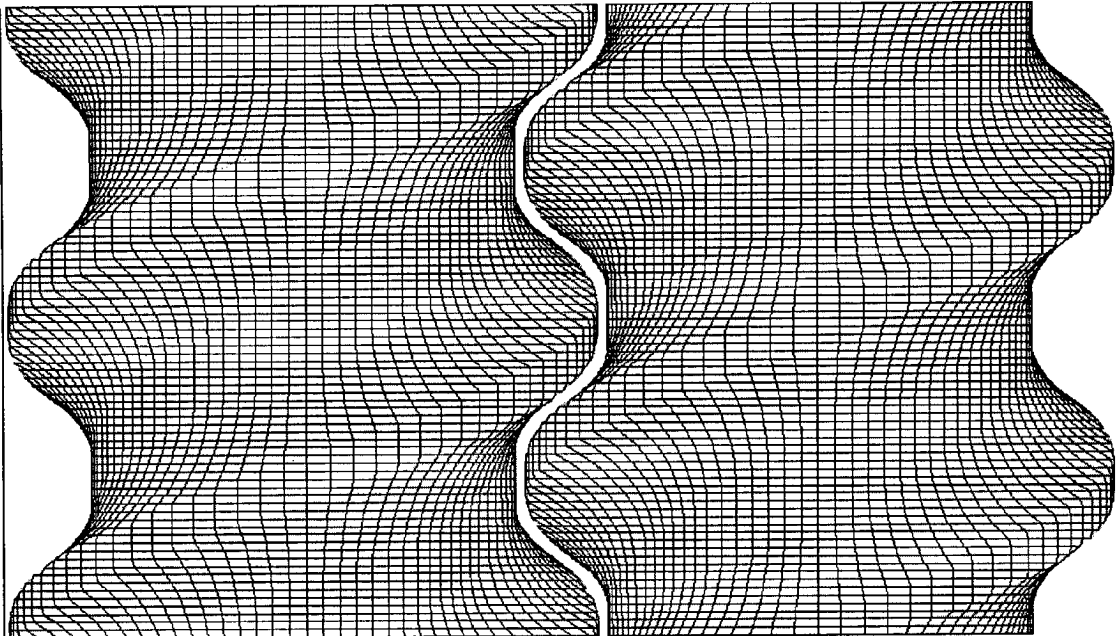
Figur 45b



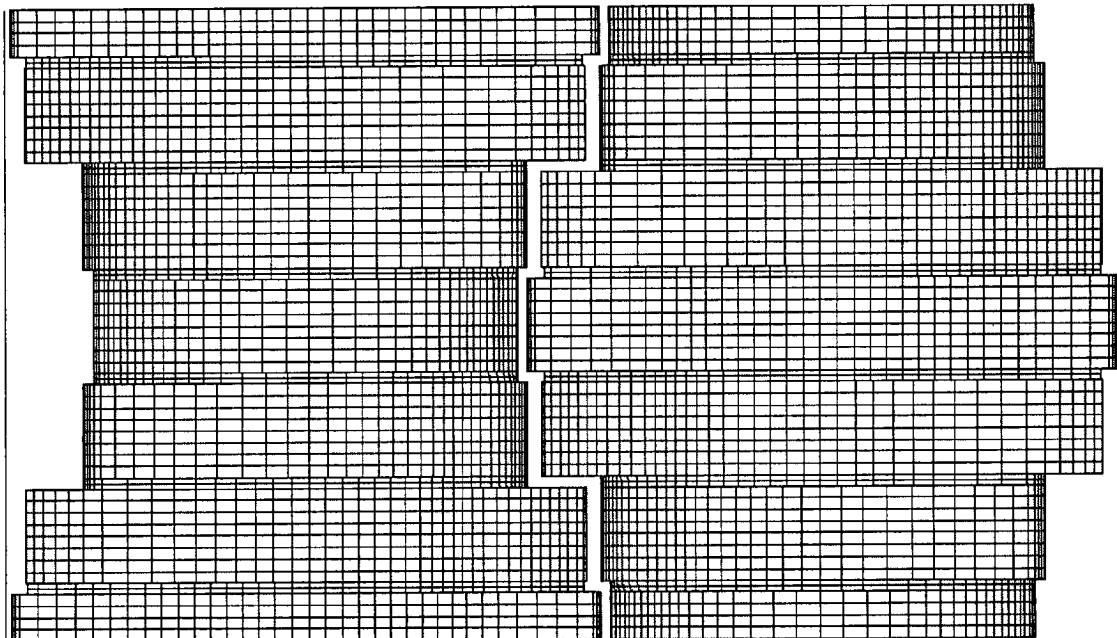
Figur 45c



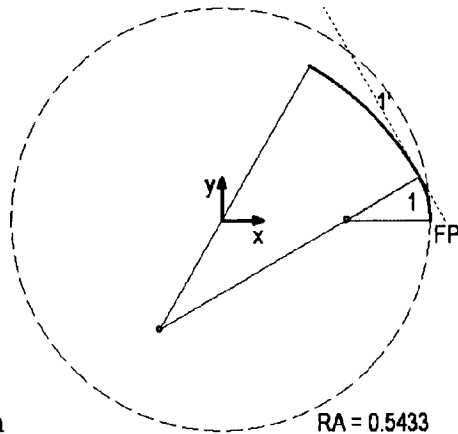
Figur 45d



Figur 46a



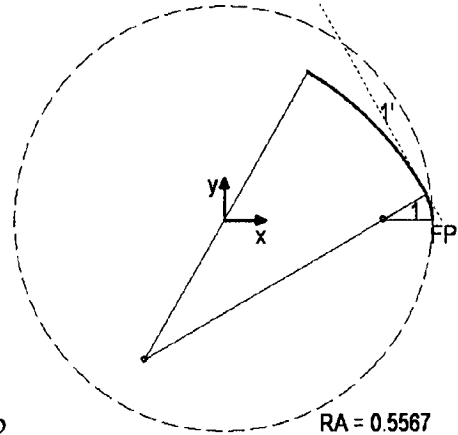
5 Figur 46b



Figur 47a

- 1)  $R = 0.2199$   $Mx = 0.3234$   
 $\alpha = 0.5236$   $My = 0.0000$
- 1')  $R = 0.7801$   $Mx = -0.1617$   
 $\alpha = 0.5236$   $My = -0.2801$

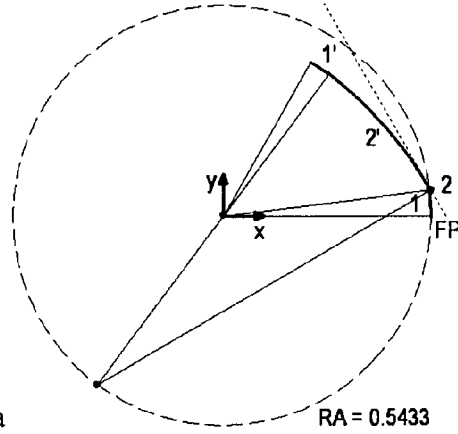
RA = 0.5433



Figur 47b

- 1)  $R = 0.1337$   $Mx = 0.4229$   
 $\alpha = 0.5236$   $My = 0.0000$
- 1')  $R = 0.8663$   $Mx = -0.2115$   
 $\alpha = 0.5236$   $My = -0.3663$

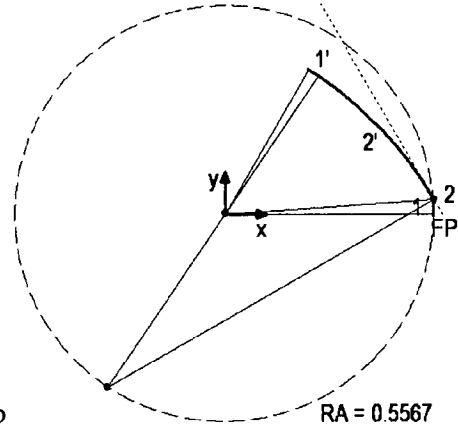
RA = 0.5567



Figur 48a

- 1)  $R = 0.5433$   $Mx = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1215$   $My = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $Mx = 0.5393$   
 $\alpha = 0.4021$   $My = 0.0659$
- 2')  $R = 1.0000$   $Mx = -0.3267$   
 $\alpha = 0.4021$   $My = -0.4341$
- 1')  $R = 0.4567$   $Mx = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1215$   $My = 0.0000$

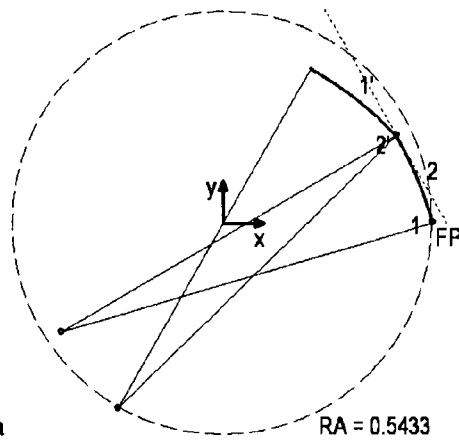
RA = 0.5433



Figur 48b

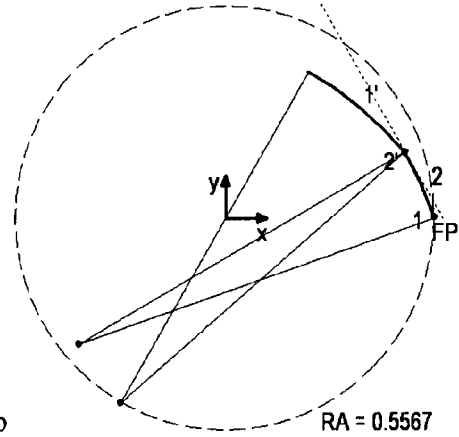
- 1)  $R = 0.5567$   $Mx = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0685$   $My = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $Mx = 0.5554$   
 $\alpha = 0.4551$   $My = 0.0381$
- 2')  $R = 1.0000$   $Mx = -0.3107$   
 $\alpha = 0.4551$   $My = -0.4619$
- 1')  $R = 0.4433$   $Mx = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0685$   $My = 0.0000$

RA = 0.5567



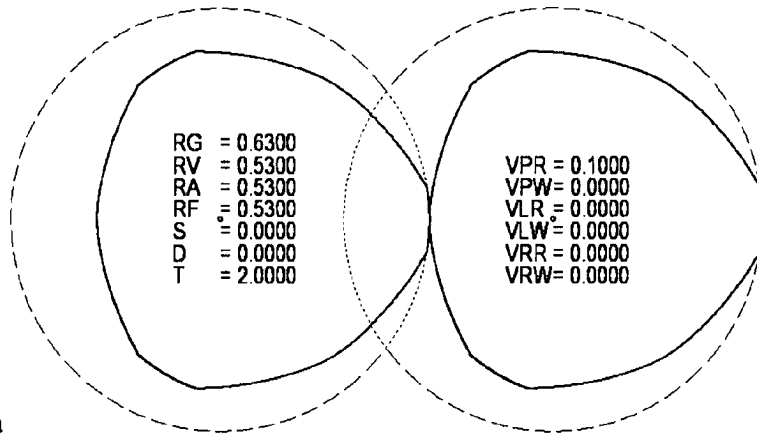
Figur 49a

- 1)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5433$   
 $\alpha = 0.2803$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.4176$   
 $\alpha = 0.2433$   $M_y = -0.2766$
- 2')  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4484$   
 $\alpha = 0.2433$   $M_y = 0.2234$
- 1')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2717$   
 $\alpha = 0.2803$   $M_y = -0.4705$

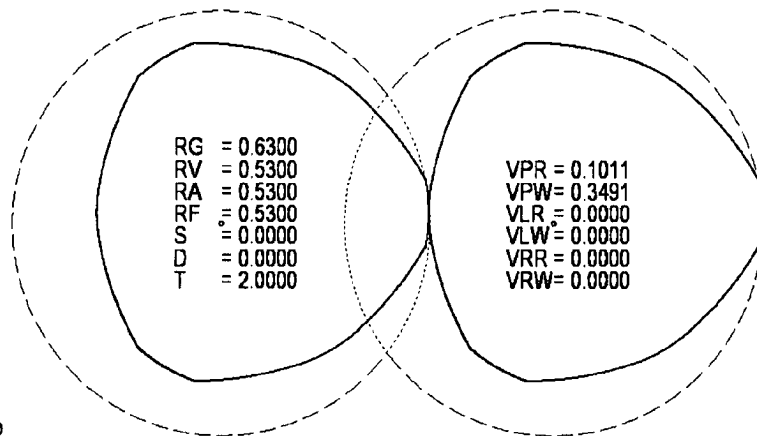


Figur 49b

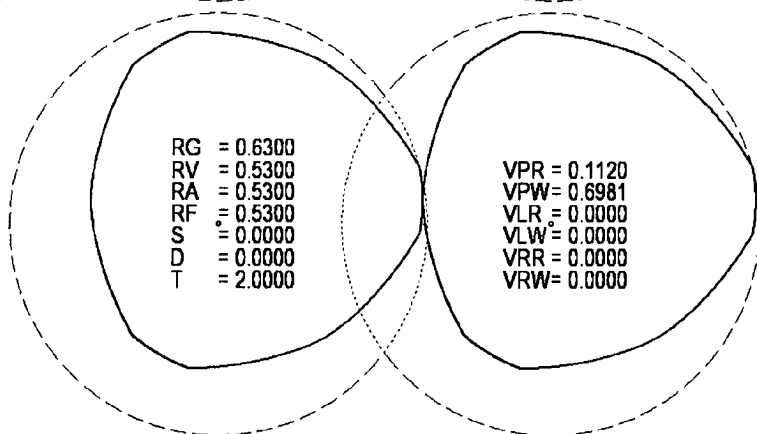
- 1)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5567$   
 $\alpha = 0.3340$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 1.0000$   $M_x = -0.3881$   
 $\alpha = 0.1896$   $M_y = -0.3278$
- 2')  $R = 0.0000$   $M_x = 0.4779$   
 $\alpha = 0.1896$   $M_y = 0.1722$
- 1')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.2783$   
 $\alpha = 0.3340$   $M_y = -0.4821$



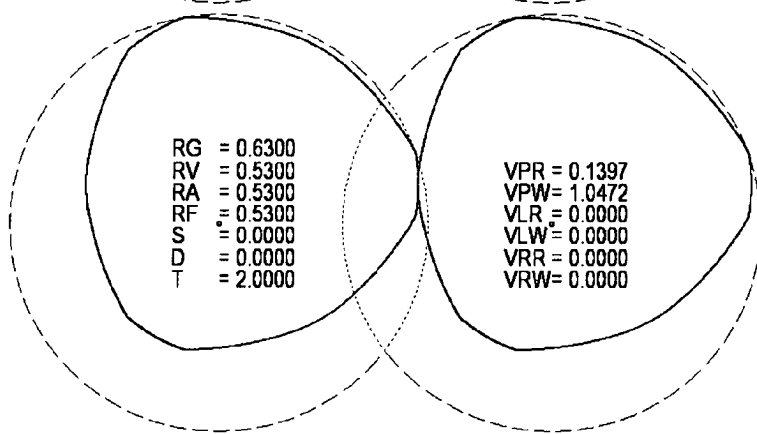
Figur 50a



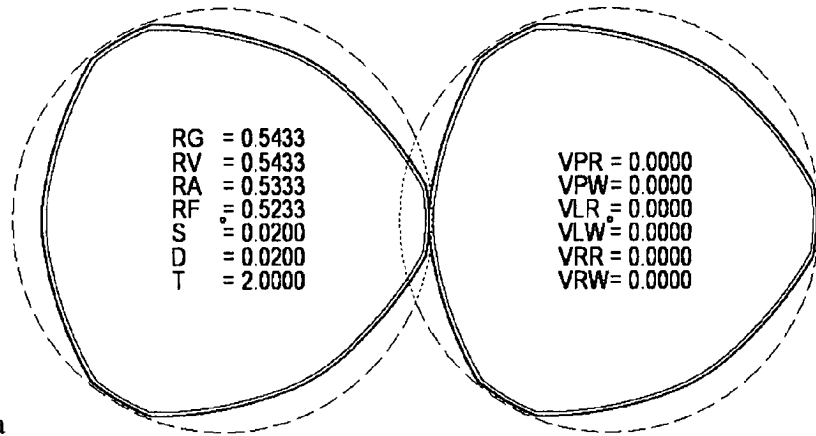
Figur 50b



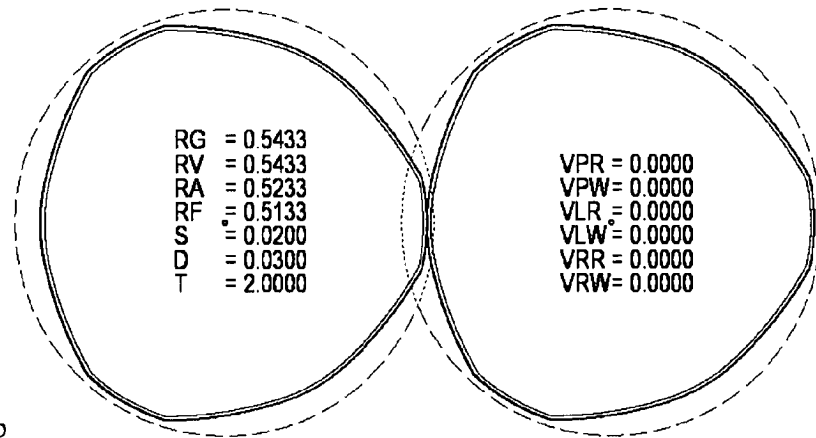
Figur 50c



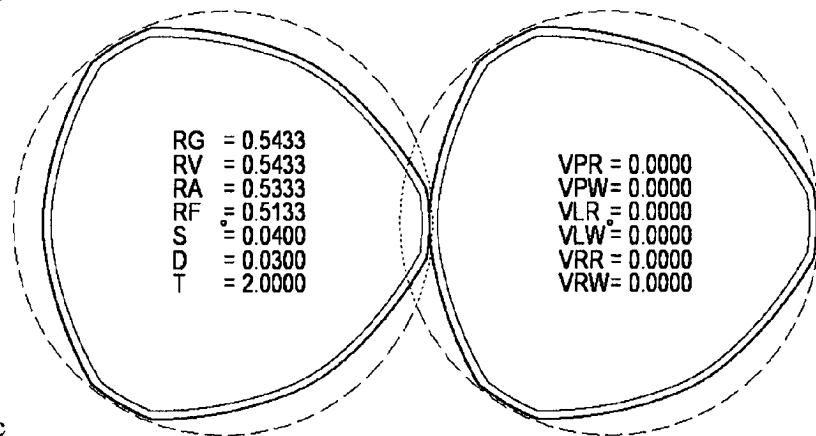
Figur 50d



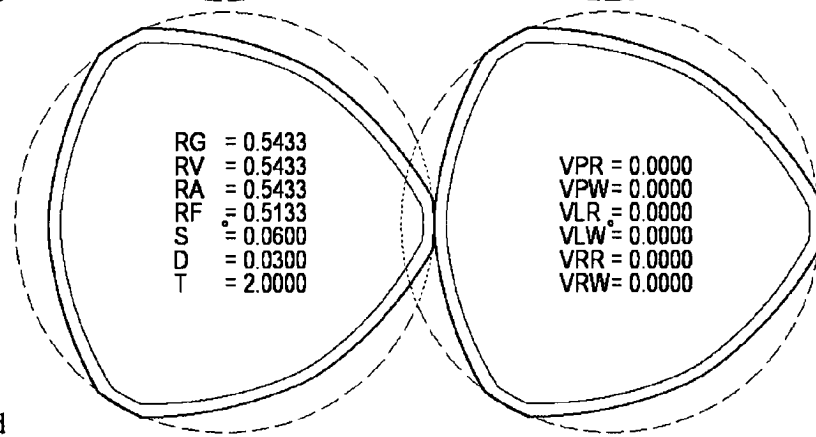
Figur 51a



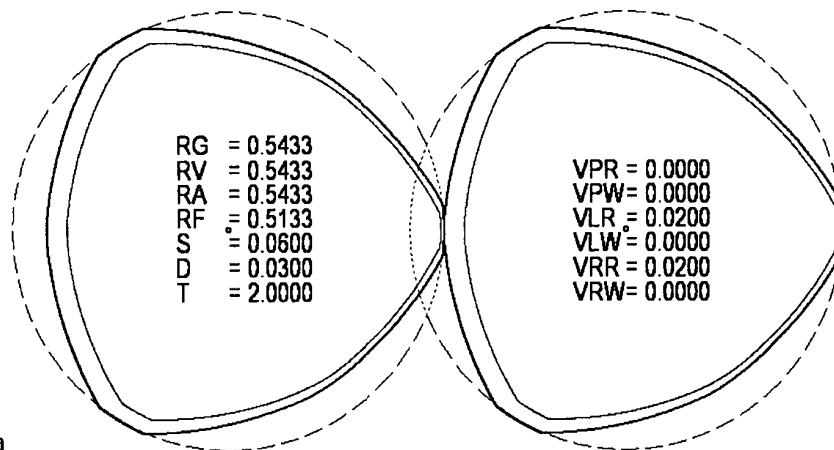
Figur 51b



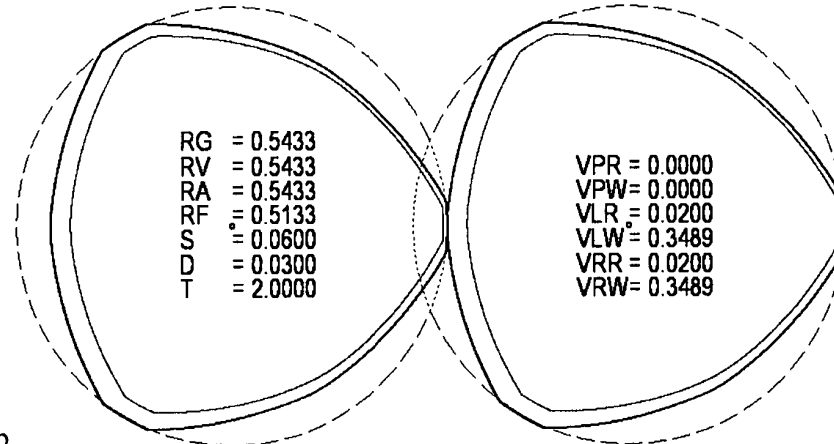
Figur 51c



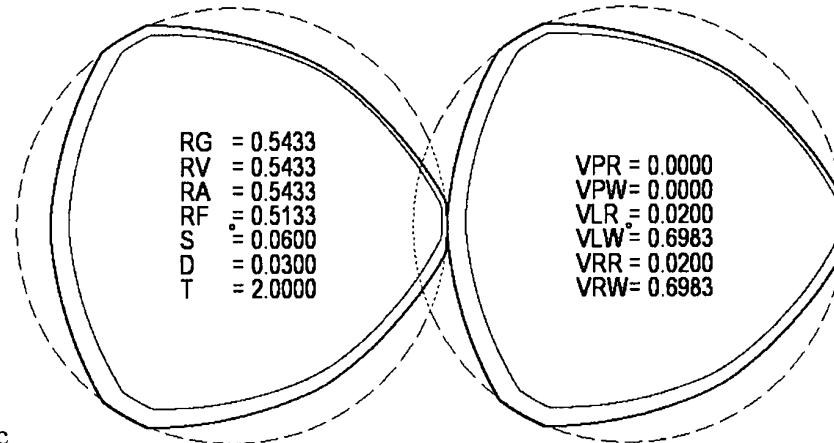
Figur 51d



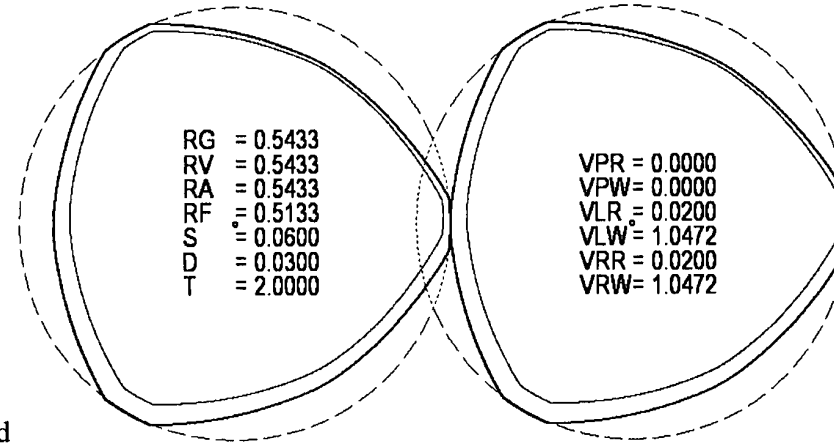
Figur 52a



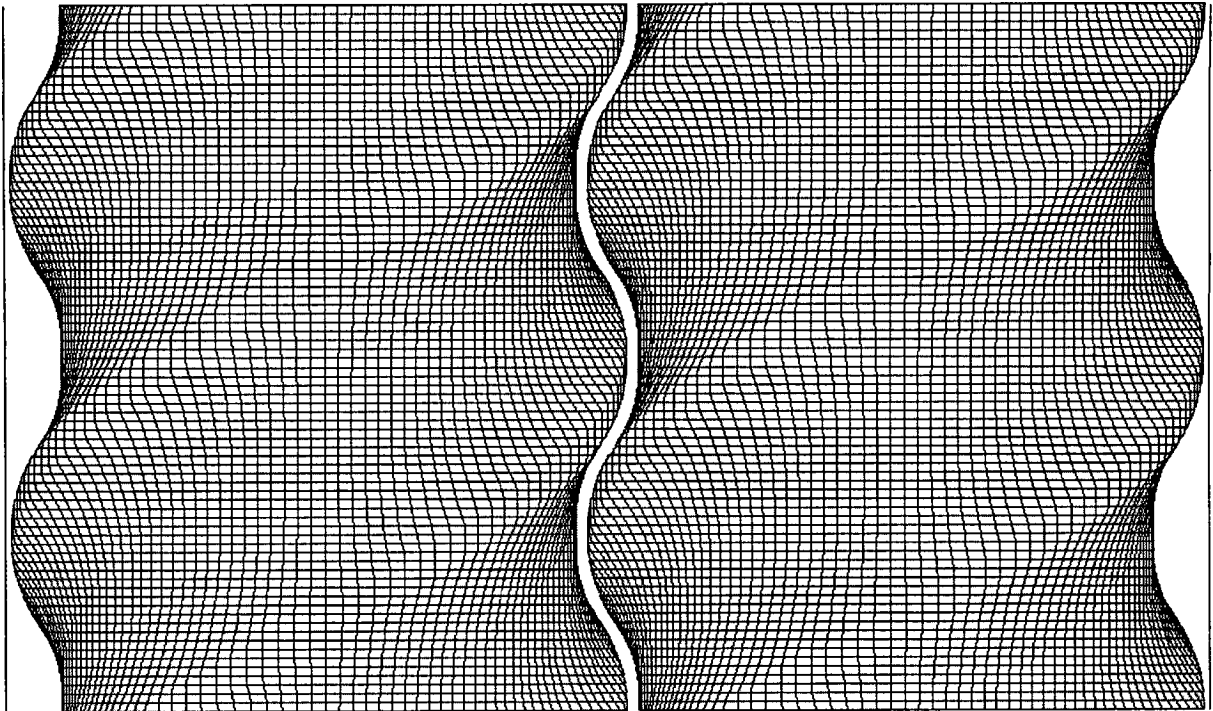
Figur 52b



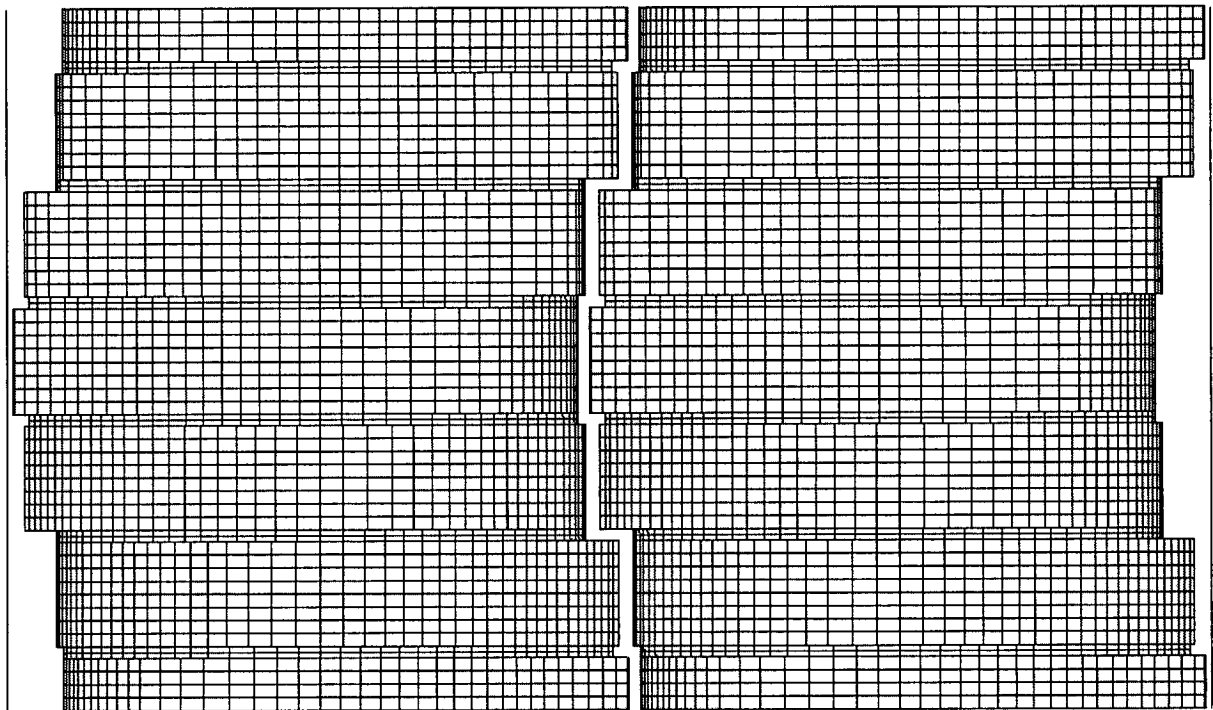
Figur 52c



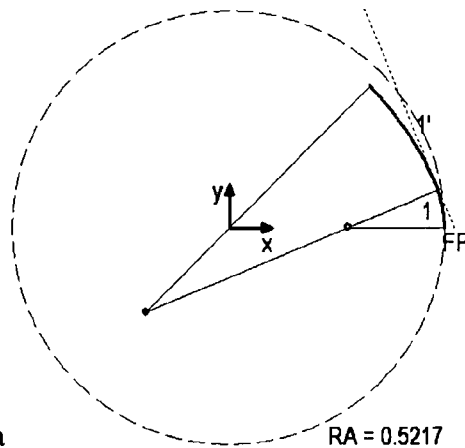
Figur 52d



Figur 53a

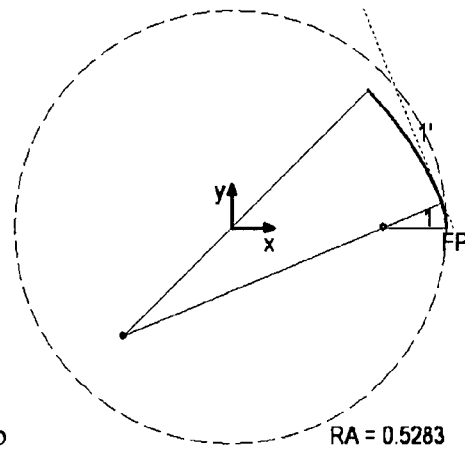


Figur 53b



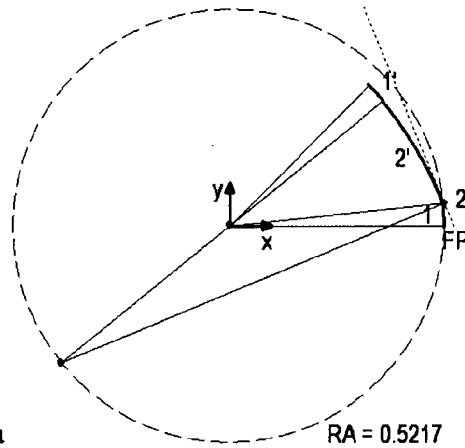
Figur 54a

- 1)  $R = 0.2371$   $M_x = 0.2845$   
 $\alpha = 0.3927$   $M_y = 0.0000$
- 1')  $R = 0.7629$   $M_x = -0.2012$   
 $\alpha = 0.3927$   $M_y = -0.2012$



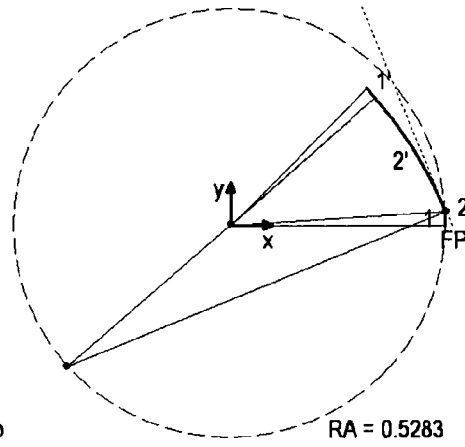
Figur 54b

- 1)  $R = 0.1562$   $M_x = 0.3722$   
 $\alpha = 0.3927$   $M_y = 0.0000$
- 1')  $R = 0.8438$   $M_x = -0.2632$   
 $\alpha = 0.3927$   $M_y = -0.2632$



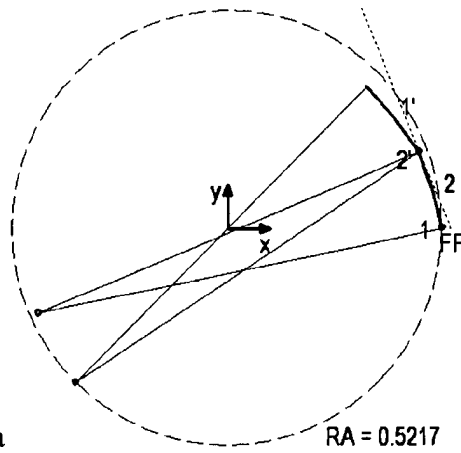
Figur 55a

- 1)  $R = 0.5217$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1035$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5189$   
 $\alpha = 0.2892$   $M_y = 0.0539$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.4050$   
 $\alpha = 0.2892$   $M_y = -0.3288$
- 1')  $R = 0.4783$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.1035$   $M_y = 0.0000$



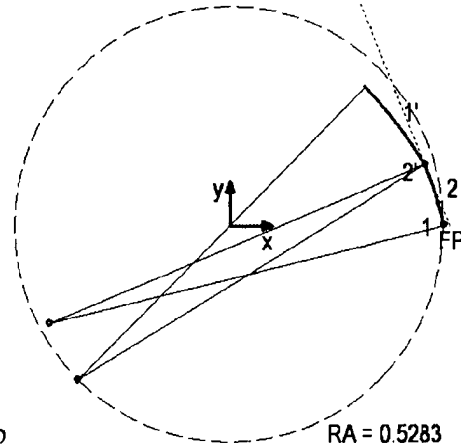
Figur 55b

- 1)  $R = 0.5283$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0637$   $M_y = 0.0000$
- 2)  $R = 0.0000$   $M_x = 0.5273$   
 $\alpha = 0.3290$   $M_y = 0.0337$
- 2')  $R = 1.0000$   $M_x = -0.3966$   
 $\alpha = 0.3290$   $M_y = -0.3490$
- 1')  $R = 0.4717$   $M_x = 0.0000$   
 $\alpha = 0.0637$   $M_y = 0.0000$



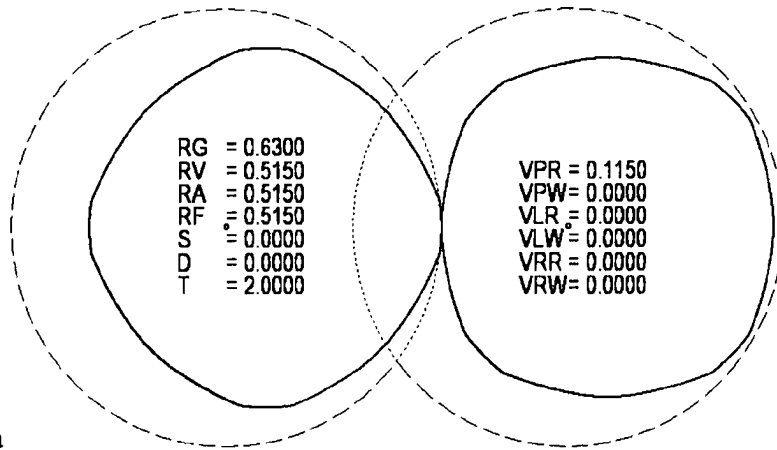
Figur 56a

- 1)  $R = 0.0000$   $Mx = 0.5217$   
 $\alpha = 0.2024$   $My = 0.0000$
- 2)  $R = 1.0000$   $Mx = -0.4579$   
 $\alpha = 0.1903$   $My = -0.2010$
- 2')  $R = 0.0000$   $Mx = 0.4659$   
 $\alpha = 0.1903$   $My = 0.1816$
- 1')  $R = 1.0000$   $Mx = -0.3689$   
 $\alpha = 0.2024$   $My = -0.3689$

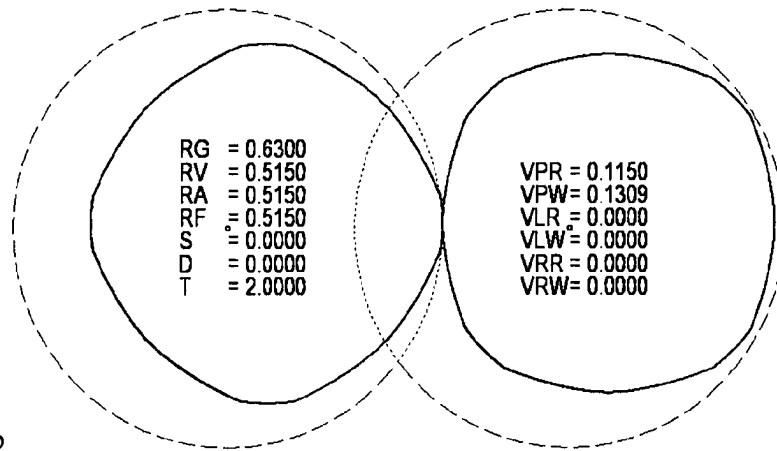


Figur 56b

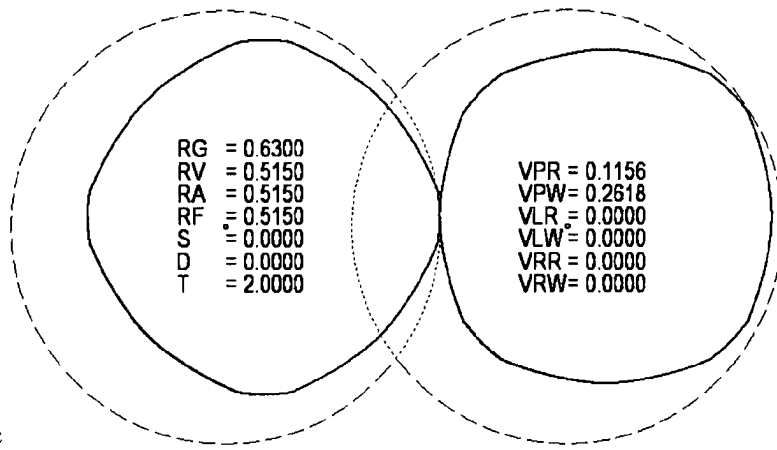
- 1)  $R = 0.0000$   $Mx = 0.5283$   
 $\alpha = 0.2384$   $My = 0.0000$
- 2)  $R = 1.0000$   $Mx = -0.4434$   
 $\alpha = 0.1543$   $My = -0.2361$
- 2')  $R = 0.0000$   $Mx = 0.4805$   
 $\alpha = 0.1543$   $My = 0.1466$
- 1')  $R = 1.0000$   $Mx = -0.3736$   
 $\alpha = 0.2384$   $My = -0.3736$



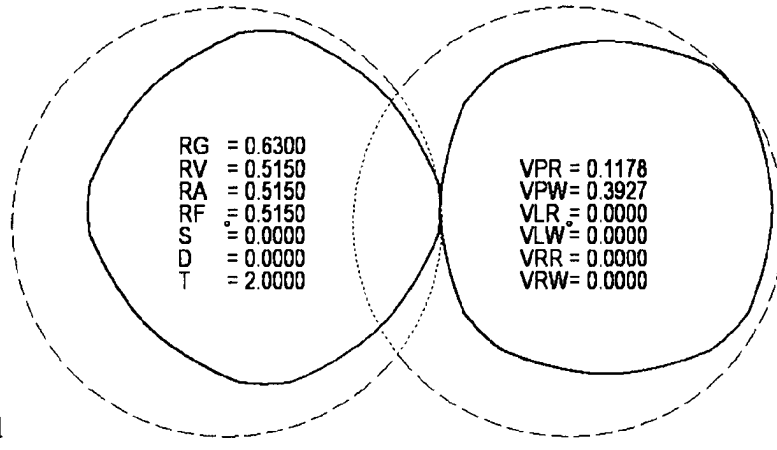
Figur 57a



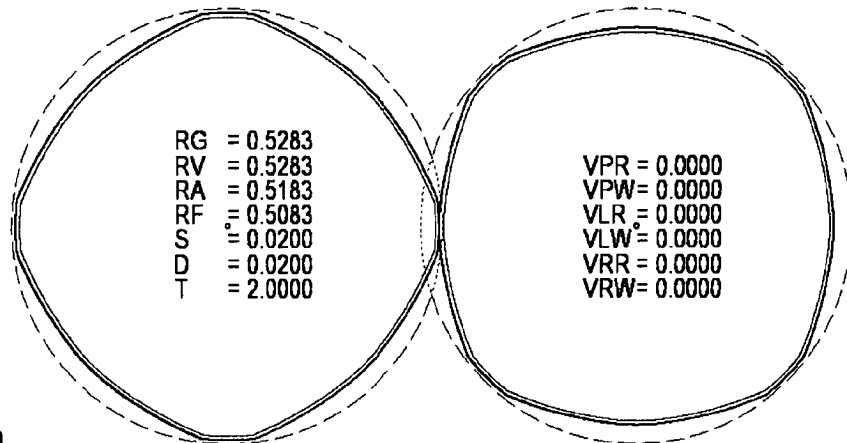
Figur 57b



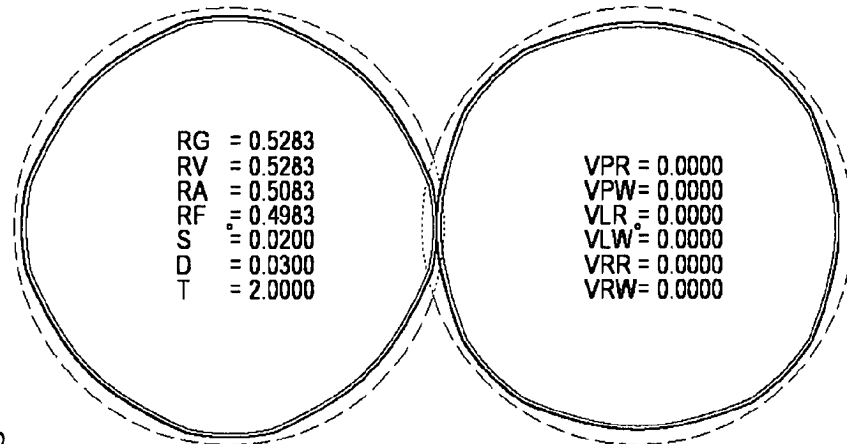
Figur 57c



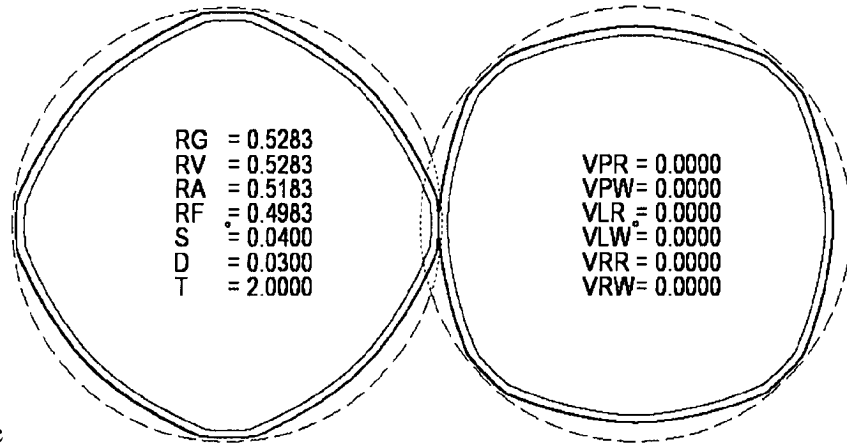
Figur 57d



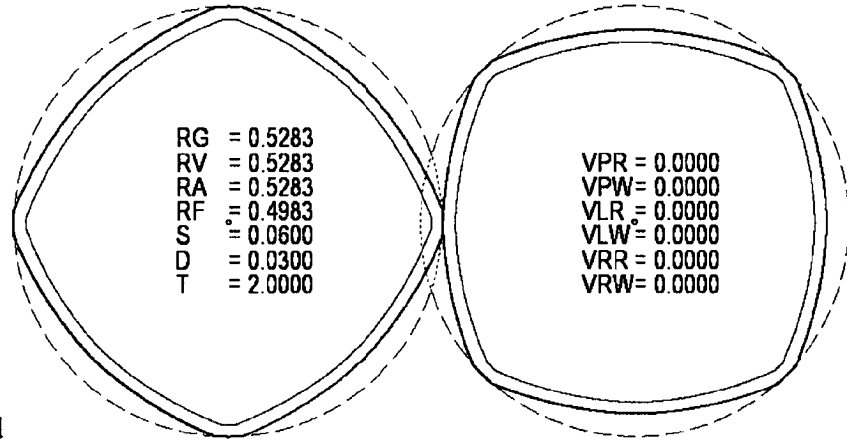
Figur 58a



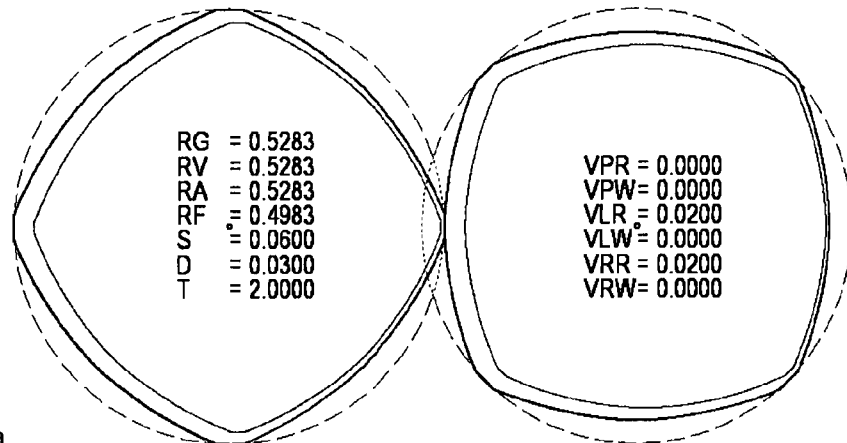
Figur 58b



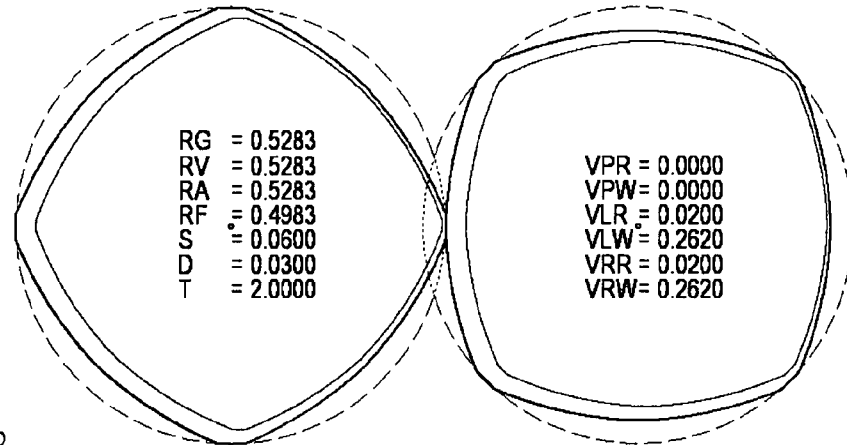
Figur 58c



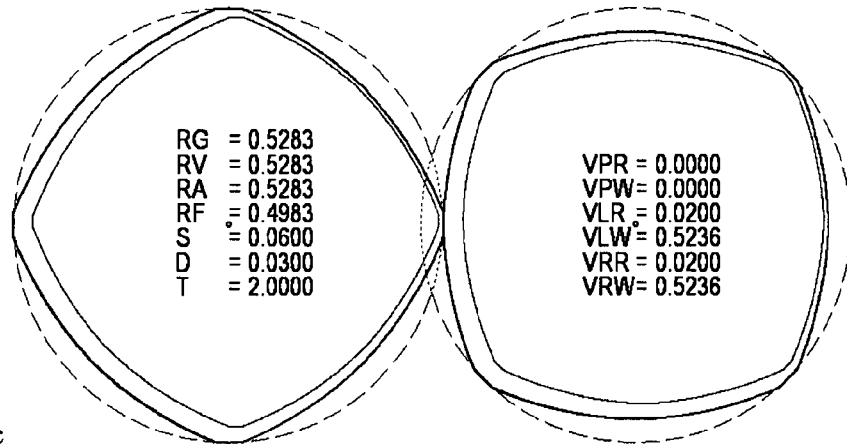
Figur 58d



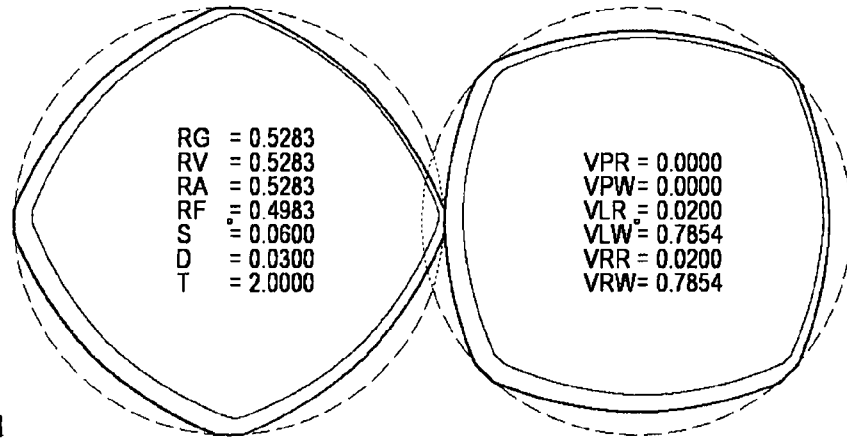
Figur 59a



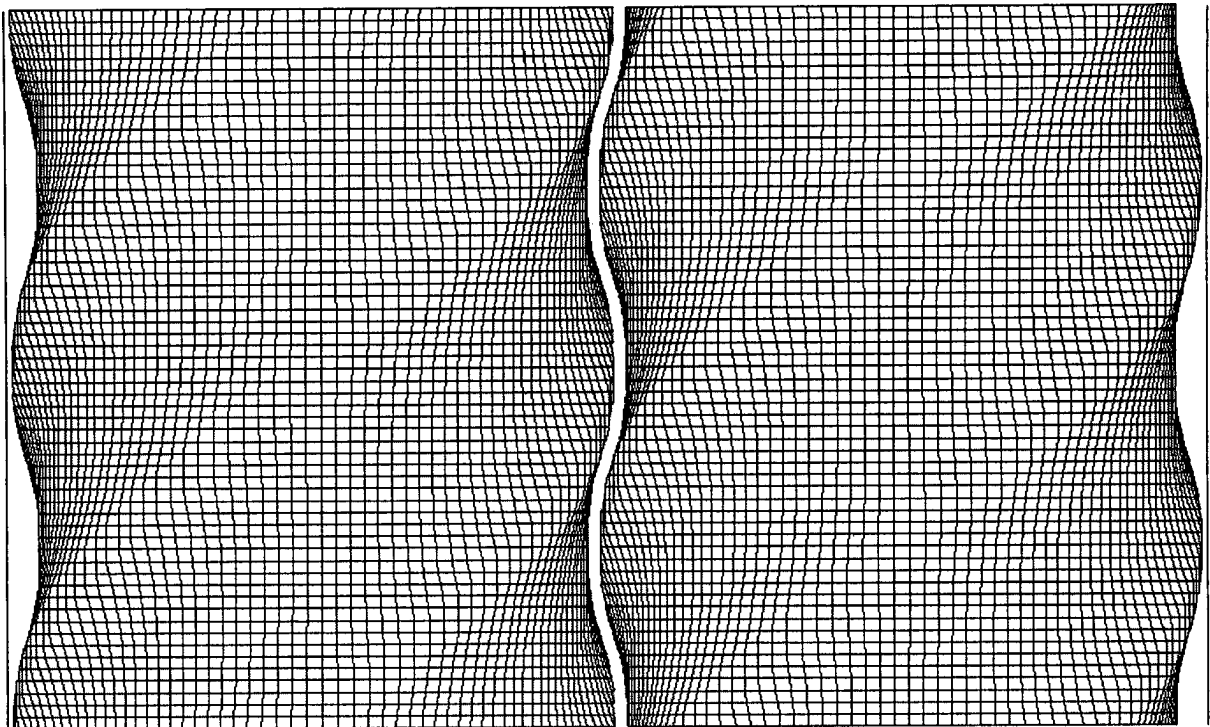
Figur 59b



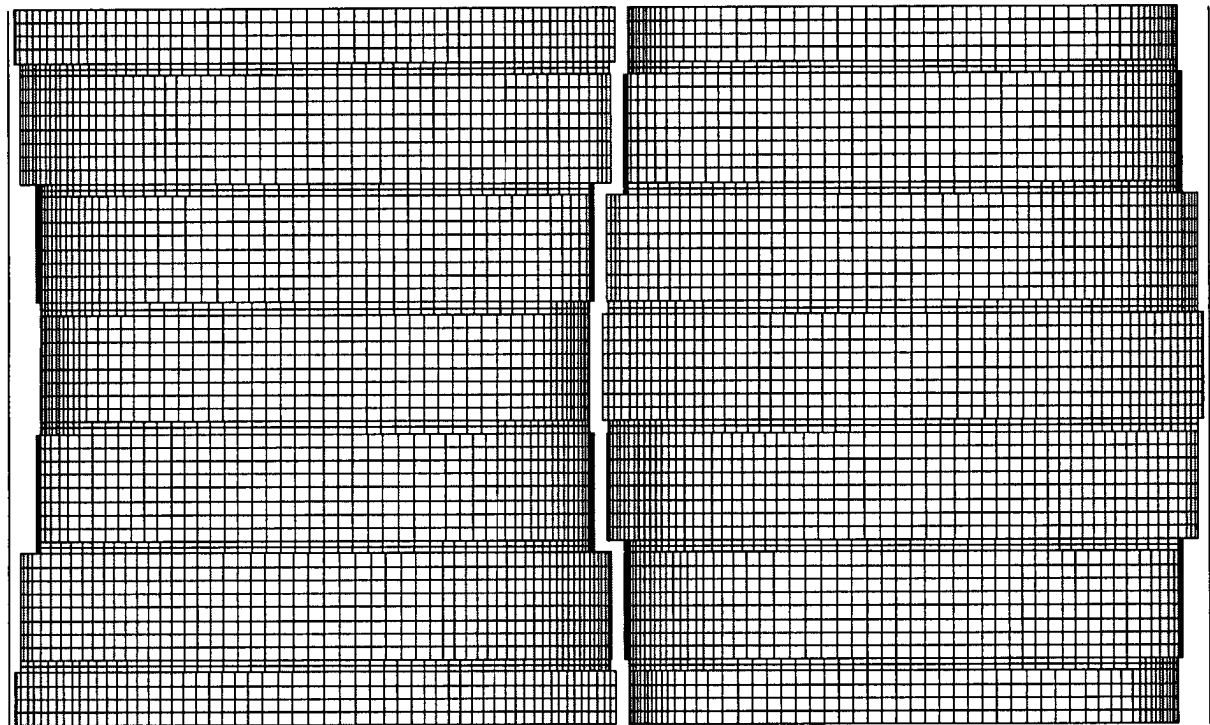
Figur 59c



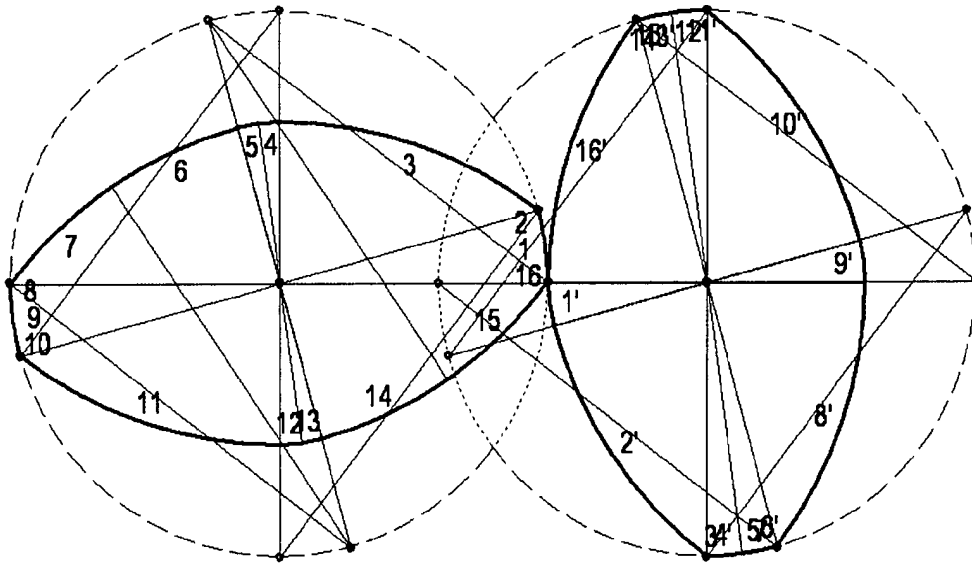
Figur 59d



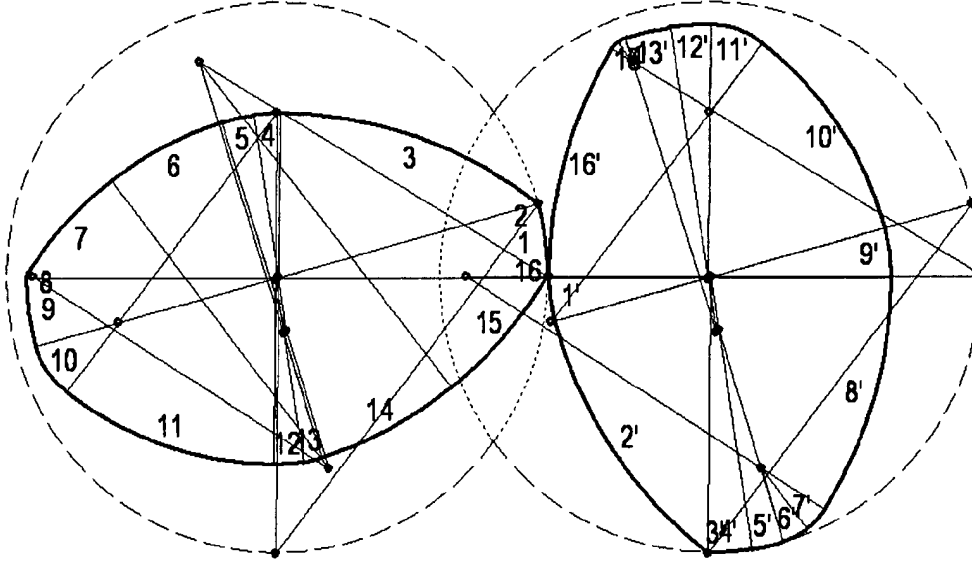
Figur 60a



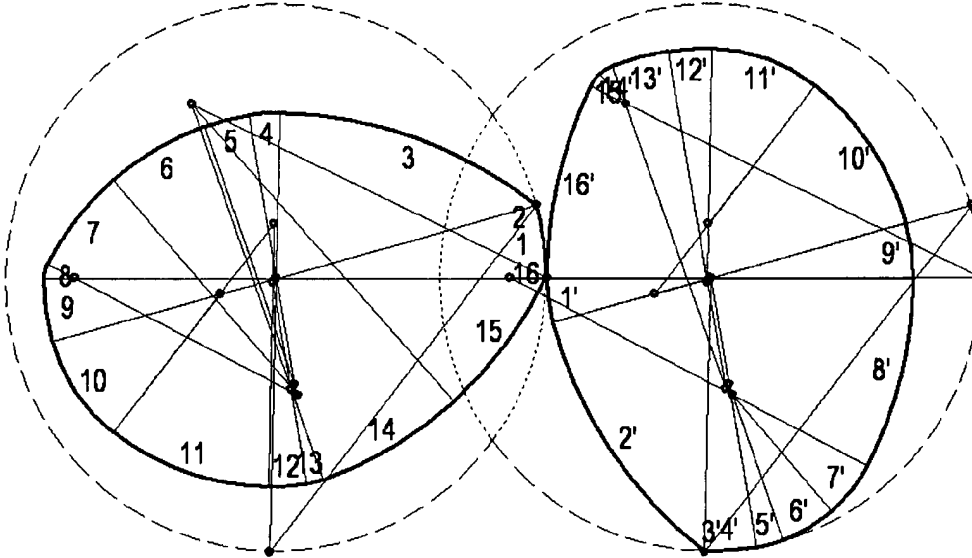
Figur 60b



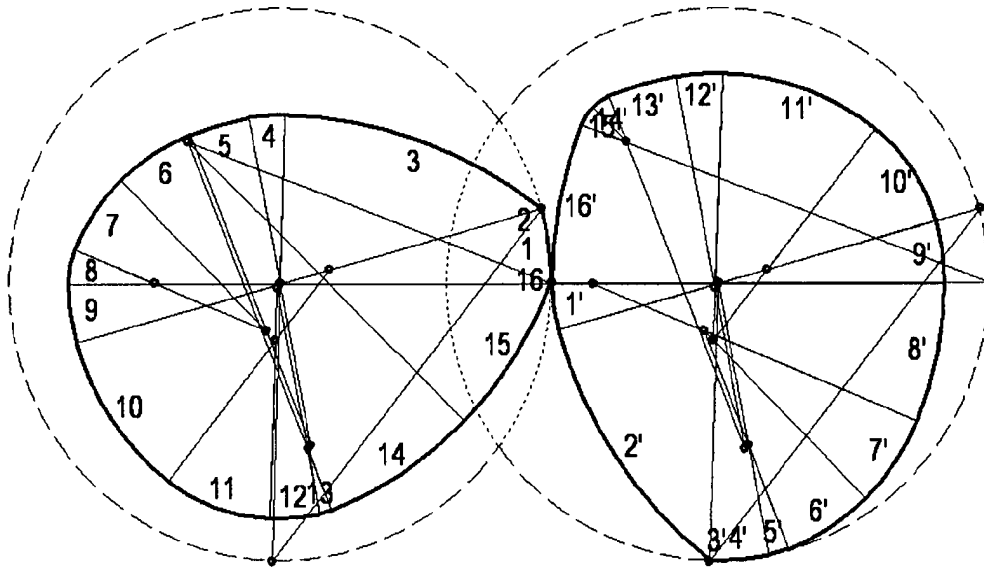
Figur 61a



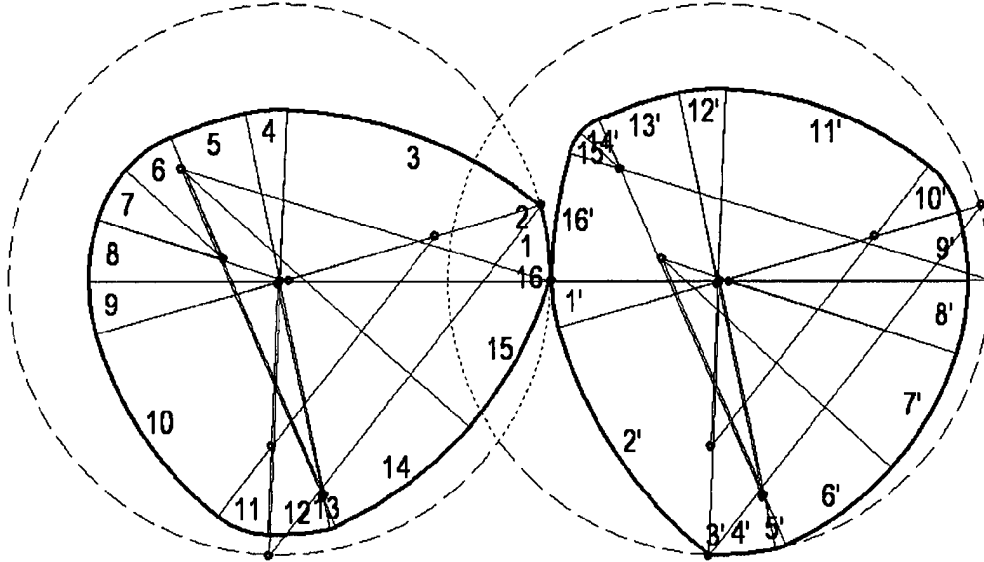
Figur 61b



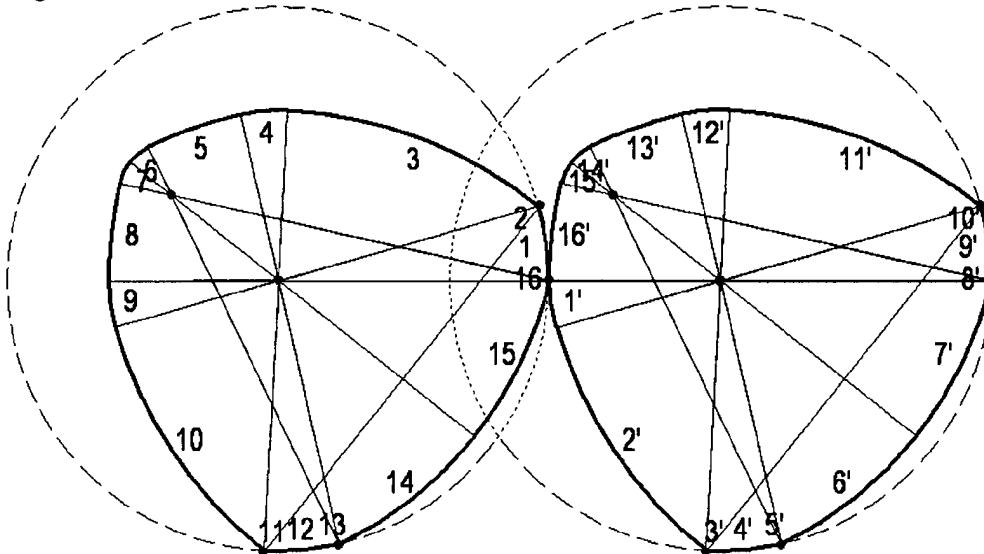
Figur 61c



Figur 61d



Figur 61e



Figur 61f