

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
23. Dezember 2009 (23.12.2009)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2009/153000 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:

B29B 7/48 (2006.01) **B29C 47/64** (2006.01)
B29C 47/40 (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2009/004248

(22) Internationales Anmeldedatum:
12. Juni 2009 (12.06.2009)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
10 2008 029 303.2 20. Juni 2008 (20.06.2008) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **BAYER MATERIALSCIENCE AG**
[DE/DE]; 51368 Leverkusen (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **BIERDEL, Michael**
[DE/DE]; Henry-T.-von-Böttinger-Strasse 16, 51373 Le-
verkusen (DE). **KÖNIG, Thomas** [DE/DE]; Haydnstrasse
15, 51375 Leverkusen (DE). **CONZEN, Carsten** [DE/
DE]; Lichstrasse 19, 51373 Leverkusen (DE). **LIESEN-
FELDER, Ulrich** [DE/DE]; Marijampolestrasse 41,
51469 Bergisch Gladbach (DE). **KOHLGRÜBER, Kle-
mens** [DE/DE]; Duhr 1, 51515 Kürten (DE). **RUDOLF,**

Reiner [DE/DE]; Carl-Duisberg-Strasse 325, 51373 Le-
verkusen (DE). **RECHNER, Johann** [DE/DE]; Friedrich-
Kramer-Strasse 2, 47906 Kempen (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **BAYER MATERIALS-
CIENCE AG**; Law and Patents, Patents and Licensing,
51368 Leverkusen (DE).

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY,
BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM,
DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM,
GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN,
KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA,
MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG,
NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC,
SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR,
TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,
GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG,
ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU,
TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE,
DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT,
LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: METHOD FOR THE EXTRUSION OF PLASTIC MATERIALS

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR EXTRUSION PLASTISCHER MASEN

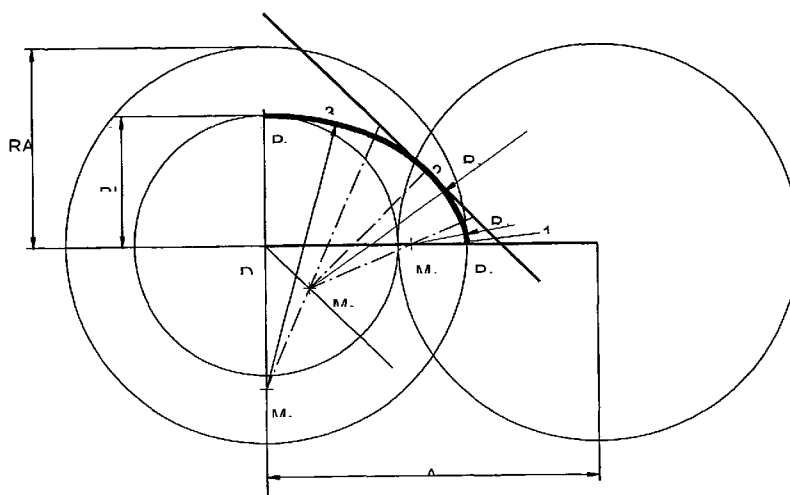


Fig. 2b

(57) Abstract: The invention relates to a method for the extrusion of plastic materials, especially of polymer melts and mixtures of polymer melts, particularly thermoplastics and elastomers, especially preferred polycarbonate and polycarbonate blends, with the possible admixture of other substances such as e.g. solids, liquids, gases or other polymers or other polymer mixtures having improved optical properties, using a multi-shaft extruder having specific screw geometries.

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Extrusion plastischer Massen, Insbesondere von Polymer-
schmelzen und Mischungen von Polymerschmelzen, vor allem Thermoplasten und Elastomeren, besonders bevorzugt Polycarbo-
nat und Polycarbonat-Blends, auch unter Einmischung anderer Stoffe wie z.B. Feststoffe, Flüssigkeiten, Gase oder andere Poly-
mere oder andere Polymermischungen mit verbesserten optischen Eigenschaften, mit Hilfe eines Mehrwellenextruders mit beson-
deren Schneckengeometrien.



WO 2009/153000 A1



SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG). **Veröffentlicht:**

— *mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)*

Verfahren zur Extrusion plastischer Massen.

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Extrusion plastischer Massen, insbesondere von Polymer-
schmelzen und Mischungen von Polymerschmelzen, vor allem Thermoplasten und Elastomeren,
besonders bevorzugt Polycarbonat und Polycarbonat-Blends, auch unter Einmischung anderer
5 Stoffe wie z.B. Feststoffe, Flüssigkeiten, Gase oder andere Polymere oder andere Polymermi-
schungen mit verbesserten optischen Eigenschaften, mit Hilfe eines Mehrwellenextruders mit be-
sonderen Schneckengeometrien.

Extrusion ist ein bekanntes Verfahren bei der Herstellung, Aufbereitung und Verarbeitung von
Polymeren. Unter Extrusion wird hier und im Folgenden die Behandlung eines Stoffes oder Stoff-
gemisches in einem gleichsinnig drehenden Doppelschnecken- oder Mehrwellenextruder, wie er
10 umfassend in [1] beschrieben ist, verstanden ([1] = Kohlgrüber. Der gleichläufige Doppelschne-
ckenextruder, Hanser Verlag München 2007).

Unter einem Mehrwellenextruder wird im Folgenden immer auch ein Ringextruder verstanden.

Die Behandlung plastischer Massen während einer Extrusion umfasst eine oder mehrere der Ver-
fahrensoptionen Fördern, Aufschmelzen, Dispergieren, Mischen, Abpressen von flüssigen Be-
15 standteilen, Entgasen und Druckaufbau.

Bei der Herstellung von Polymeren dient die Extrusion beispielsweise zur Entfernung von flüchti-
gen Bestandteilen wie Monomere und Rest-Lösemittel aus dem Polymer ([1], S. 192 bis 212), zur
Reaktion bei Polyadditions- und Polykondensationsreaktionen sowie gegebenenfalls zum Auf-
schmelzen und Konfektionierung von Polymeren sowie ggf. der Mischung von Additiven mit dem
20 Polymer.

Bei der Aufbereitung von Polymeren werden durch Extrusion vor allem Mischungen von Polyme-
ren mit Additiven und Zuschlag- und Verstärkungsstoffen sowie Farben sowie Mischungen von
verschiedenen Polymeren, die sich z.B. in chemischer Zusammensetzung, Molekulargewicht oder
25 Molekülstruktur unterscheiden, hergestellt (siehe z.B. [1], S. 59 bis 93). Dieses auch als Com-
poundierung bezeichnete Verfahren dient der Polymeraufbereitung zur Herstellung der fertigen
Kunststoff-Formmasse (das Compound) unter Einsatz der Kunststoffrohstoffe, die üblicherweise
aufgeschmolzen werden, unter Zugabe und Mischen von Füll- und/oder Verstärkungsstoffen,
Weichmachern, Haftvermittlern, Gleitmitteln, Stabilisatoren etc mit dem Polymer. Die Aufberei-
30 tung umfasst häufig auch die Entfernung von flüchtigen Bestandteilen wie z.B. Luft und Wasser.
Die Aufbereitung kann auch eine chemische Reaktion wie z.B. Pfropfung, Modifikation von funk-

tionellen Gruppen oder Modifikationen des Molekulargewichtes durch gezielten Auf- oder Abbau des Molekulargewichts beinhalten.

Wie allgemein bekannt und z.B. in [1] auf den Seiten 169 bis 190 beschrieben, lässt sich Mischen in distributives und dispersives Mischen einteilen. Unter distributivem Mischen wird das gleichmäßige Verteilen von verschiedenen Komponenten in einem betrachteten Volumen verstanden. Distributives Mischen liegt zum Beispiel bei der Vermischung gleichartiger Polymere vor. Beim dispersiven Mischen werden Feststoffteilchen, Flüssigkeitstropfen oder Gasblasen zunächst zerteilt. Für das Zerteilen müssen ausreichend große Scherkräfte aufgebracht werden, um zum Beispiel die Oberflächenspannung an der Grenzfläche zwischen Polymerschmelze und einem Additiv zu überwinden. Unter Mischen wird im Folgenden immer distributives und / oder dispersives Mischen verstanden.

In der Veröffentlichung [1] auf Seite 73ff wird die Schmelzeförderung und der Druckaufbau beschrieben. Die Schmelzeförderzonen dienen dazu, das Produkt von einer Verfahrenszone zur nächsten zu transportieren sowie Füllstoffe einzuziehen. Schmelzeförderzonen sind in der Regel teilgefüllt, wie z.B. beim Transport des Produktes von einer zur nächsten Verfahrenszone, beim Entgasen und in Verweilzeitonen.

Bei der Verarbeitung von Polymeren werden die Polymere bevorzugt in die Form eines Halbzeuges, eines gebrauchsfertigen Produktes oder eines Bauteiles gebracht. Die Verarbeitung kann z.B. durch Spritzgießen, Extrusion, Folienblasen, Folienziehen oder Verspinnen erzeugen. Die Verarbeitung kann auch Mischungen von Polymeren mit Füll- und Zuschlagstoffen und Additiven sowie chemische Modifikationen wie z.B. Vulkanisation umfassen.

Extrusion von Polymeren werden, wie dem Fachmann bekannt ist, vorteilhaft auf Schneckenmaschinen mit zwei oder ggf. mehr Wellen durchgeführt.

Gleichsinnig drehende Zwei- oder ggf. Mehrwellenmaschinen, deren Rotoren sich gegenseitig exakt abschaben, sind bereits seit langem bekannt (DE 862 668). In der Herstellung, Aufarbeitung und Verarbeitung von Polymeren haben Schneckenmaschinen, die auf dem Prinzip exakt abschabender Profile beruhen, eine vielfältige Nutzung erfahren. Derartige Schneckenmaschinen haben bekanntlich eine gute Mischwirkung, eine gute Entgasungswirkung und eine gute Wirkung zum Aufschmelzen von Polymeren. Vorteile in der Qualität der damit hergestellten Produkte bieten sie, weil Polymerschmelzen an Oberflächen anhaften und unter üblichen Verarbeitungstemperaturen mit der Zeit degradieren, was durch die selbstreinigende Wirkung der exakt abschabenden Schnecken unterbunden wird. Regeln zur Erzeugung exakt abschabender Schneckenprofile wurden beispielsweise in Klemens Kohlgrüber. Der gleichläufige Doppelschneckenextruder, Hanser Verlag

München 2007, S.96 ff [1] dargestellt. Dort wird die Konstruktion von ein-, zwei- und dreigängigen Profilen beschrieben. Weiterhin wird auch beschrieben, dass ein vorgegebenes Schneckenprofil auf der 1. Welle eines Doppelschneckenextruders das Schneckenprofil auf der 2. Welle eines Doppelschneckenextruders bestimmt. Das Schneckenprofil auf der 1. Welle des Doppelschneckenextruders wird daher als das erzeugende Schneckenprofil bezeichnet. Das Schneckenprofil auf der 2. Welle des Doppelschneckenextruders folgt aus dem Schneckenprofil der 1. Welle des Doppelschneckenextruders und wird daher als das erzeugte Schneckenprofil bezeichnet. Bei einem Mehrwellenextruder werden das erzeugende Schneckenprofil und das erzeugte Schneckenprofil auf benachbarten Wellen immer abwechselnd eingesetzt.

Dem Fachmann ist bekannt, dass im Bereich der Schneckenkämme besonders viel Energie in der Schmelze dissipiert wird, was lokal zu starken Überhitzungen im Produkt führt. Dies ist beispielsweise in [1] auf den Seiten 160ff dargestellt. Diese lokalen Überhitzungen können zu Schädigungen im Produkt wie z.B. Veränderung in Geruch, Farbe, chemischer Zusammensetzung oder Molekulargewicht oder zur Bildung von Inhomogenitäten im Produkt wie Gelkörpern oder Stippen führen. Vor allem ein großer Kammwinkel ist hierbei schädlich.

Es ist dem Fachmann bekannt, dass die Reaktionsgeschwindigkeit, mit der eine Polymerschädigung von statten geht, von der Temperatur abhängt. Wie der Fachmann weiß und wie es z.B. in J. Robertson: Thermal Degradation Studies of Polycarbonate, Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, 2001 im Kapitel 3 oder in K. Chrissafis: Kinetics of Thermal Degradation of Polymers, Journal of Thermal Analysis and Calorimetry, Vol. 95 (2009) 1, 273–283 nachzulesen ist, kann die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante $k(T)$ mit dem Arrhenius-Ansatz beschrieben werden: $k(T)=A*\exp(-E_A/(R*T))$. In dieser Gleichung bedeuten k die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante, T die absolute Temperatur in [K], A der Frequenzfaktor, E_A die Aktivierungsenergie in [J/mol] und R die universelle Gaskonstante in [J/mol/K]. Es ist ferner bekannt, dass bereits eine Temperaturerhöhung von 10K zu einer Verdopplung der Reaktionsgeschwindigkeitskonstanten führen kann. Verfahren zur Extrusion plastischer Massen sollten daher so konzipiert sein, dass durch die Ver- und Bearbeitung der plastischen Masse der mittlere Temperaturanstieg möglichst gering ausfällt. Insbesondere sollten die Verfahren zur Extrusion plastischer Massen so konzipiert sein, dass bei der Ver- und Bearbeitung der plastischen Masse lokale Temperaturspitzen, wie sie zum Beispiel in den Kambereichen eines Schneckenelements mit einem Erdmenger-Schneckenprofil gemäß dem Stand der Technik auftreten, vermieden werden.

Moderne Doppelschneckenextruder verfügen über ein Baukastensystem, bei dem verschiedene Schneckenelemente auf einer Kernwelle aufgezogen werden können. Hiermit kann der Fachmann den Doppelschneckenextruder an die jeweilige Verfahrensaufgabe anpassen. In der Regel werden

heute Schneckenelemente mit zwei- und dreigängigen Profilen verwendet, da eingängige Schneckenprofile aufgrund ihres großen Kammwinkels einen viel zu hohen Energieeintrag haben.

Nach dem Stand der Technik bekannte Schneckenelemente mit Ausnahme exzentrisch angeordneter Kreisscheiben sind dadurch gekennzeichnet, dass die Profilkurve im Querschnitt mindestens einen Knick aufweist (siehe z.B. Fig. 1), der am Übergang zwischen dem Schneckenkamm und den Gewindeflanken auftritt. Der Kamm besteht aus einem Kreisbogen mit Radius = Außendurchmesser des Profils und dem Drehpunkt des Profils als Mittelpunkt. Der Knick am Übergang zur Flanke des Profils bildet auf dem Schneckenelement eine Kante.

Eine der wesentlichen Aufgaben, die auf Mehrwellenmaschinen durchgeführt werden, ist das Dispergieren von flüssigen Phasen oder Schmelzen, die nicht homogen ineinander mischbar sind oder das Dispergieren von Feststoffen in Polymerschmelzen. Aus der technischen Literatur ist bekannt (siehe z.B. Chang Dae Han: Multiphase Flow in Polymer Processing, Academic Press, New York 1981), dass eine Kombination aus Scherströmung und Dehnströmung für schwierige Dispergieraufgaben optimal ist.

Eine solche Strömungsform liegt in einem Schneckenkanal vor, wo die Masse einerseits durch die Rotation der Wellen geschert und andererseits durch die Konvergenz des Schneckenkanals zum Kamm hin gleichzeitig gedehnt wird. Im Bereich des Schneckenkamms liegt allerdings eine reine Scherströmung vor, die bei schwierigen Dispergieraufgaben kaum zur Dispergierung beitragen wird. Andererseits wird im Spalt zwischen dem Schneckenkamm und dem Gehäuse beziehungsweise der Nachbarwelle der größte Teil der eingetragenen Energie dissipiert. Deshalb trägt dieser Bereich maßgeblich zur Erhitzung der Polymermasse und damit potentiell zur thermischen Schädigung bei, ohne einen Beitrag zur Verfahrensaufgabe der Dispergierung zu leisten.

Eine Ausnahmestellung haben exzentrisch angeordnete Kreisscheiben, die bekanntermaßen exakt abschabend angeordnet werden können. Sie weisen keinen Kammbereich mit reiner Scherströmung auf. Sie sind für ihre exzellente Dispergierwirkung bekannt, weisen aber ebenfalls eine hohe Energieeinleitung auf, weil sie über einen großen Umfangsbereich einen sehr engen Spalt erzeugen. Ferner sind sie auf eine Gangzahl $Z=1$ beschränkt.

Es bestand daher die Aufgabe, ein Verfahren zur Extrusion von plastischen Massen zu finden, bei dem die mittlere und die maximale Temperaturerhöhung verringert werden, um eine Polymerschädigung zu vermeiden.

Die Aufgabe wird überraschenderweise dadurch gelöst, dass ein dicht kämmender, gleichlaufender Compoundier- oder Entgasungsextruder verwendet wird, wobei Schneckenelemente verwendet

werden, die besondere Geometrien aufweisen. Hierbei handelt es sich um Schneckenelemente, deren Profil über den gesamten Querschnitt durch eine stetig differenzierbare Profilkurve darstellbar ist. Durch die Verwendung dieser Schneckenelemente für mehrwellige Schneckenmaschinen wird eine möglichst geringe Energieeinleitung gegenüber dem Stand der Technik erzielt, was zur Folge eine geringere Temperaturerhöhung, und somit eine geringere mittlere und maximale Temperatur, hat. Gleichzeitig wird ein sehr guter Druckaufbau, vergleichbar oder gar höher im Vergleich zum Stand der Technik erzielt.

Überraschender Weise zeigt sich, dass das Druckaufbauvermögen des erfindungsgemäß verwendeten Förderelements größer ist als bei einem Förderelement mit Erdmenger-Schneckenprofil nach dem Stand der Technik. Mit einem erfindungsgemäß verwendeten Förderelement lässt sich daher ein gewünschter oder erforderlicher Druckaufbau beispielsweise in einer kürzeren Druckaufbauzone bewerkstelligen, wodurch sich der Extruderaufbau entweder verkürzt oder sich bei konstanter Extruderlänge andere Verfahrenszonen wie beispielsweise eine Entgasungszone oder eine Mischzone verlängern und sich somit deren Wirkung auf die plastische Masse verbessert.

Gegenstand der Erfindung ist daher ein Verfahren zur Aufarbeitung von plastischen Massen, insbesondere von Polymerschmelzen und Mischungen von Polymerschmelzen, vor allem Thermoplasten und Elastomeren, besonders bevorzugt Polycarbonat und Polycarbonat-Blends, auch unter Einmischung anderer Stoffe wie z.B. Feststoffe, Flüssigkeiten, Gase oder andere Polymere oder andere Polymermischungen unter Verwendung von gleichlaufenden, dicht kämmenden Compoundier- oder Entgasungsextrudern unter Verwendung von Schneckenelementen für mehrwellige Schneckenmaschinen mit paarweise gleichsinnigen und paarweise exakt abschabenden Schneckenwellen mit zwei oder mehr Schneckengängen, dadurch gekennzeichnet, dass das erzeugende und das erzeugte Schneckenprofil über den gesamten Querschnitt jeweils durch eine stetig differenzierbare Profilkurve darstellbar sind.

Dabei ist die Erfindung 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.

Die Querschnittprofile - im Folgenden auch kurz Profile oder auch Schneckenprofile genannt - erfindungsgemäß verwendeter Schneckenelemente lassen sich durch eine Anordnung von Kreisbögen eindeutig beschreiben.

Das Schneckenprofil erzeugender und erzeugter erfindungsgemäß verwendeter Schneckenelemente setzt sich in seiner Gesamtheit aus n Kreisbögen zusammen, wobei n größer oder gleich vier ist.

Jeder der n Kreisbögen besitzt einen Anfangs- und einen Endpunkt. Die n Kreisbögen gehen an ihren Anfangs- und Endpunkten tangential ineinander über, so dass sie erfindungsgemäß eine stetig differenzierbare Profilkurve bilden.

Die Position eines jeden Kreisbogens j ($j=1$ bis n) ist durch die Angabe von zwei verschiedenen Punkten eindeutig festlegbar. Zweckmäßigerweise wird die Position eines Kreisbogens durch Angabe des Mittelpunktes und des Anfangs- oder Endpunktes festgelegt. Die Größe eines einzelnen Kreisbogens j ist durch den Radius r_j und den Winkel α_j um den Mittelpunkt zwischen Anfangs- und Endpunkt festgelegt, wobei der Radius r_j größer als 0 und kleiner als der Achsabstand a zwischen den Wellen ist und der Winkel α_j im Bogenmaß größer oder gleich 0 und kleiner oder gleich 2π ist, wobei π die Kreiszahl ist.

Erfindungsgemäß verwendete Schneckenelemente sind 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 in einem Abstand a (Achsabstand) 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 des gesamten erzeugenden Schneckenprofils n größer oder gleich vier ($n \geq 4$) ist,
- der Außenradius r_a des erzeugenden Schneckenprofils größer als Null ($r_a > 0$) und kleiner als der Achsabstand ($r_a < a$) ist,
- der Kernradius r_i des erzeugenden Schneckenprofils größer als Null ($r_i > 0$) und kleiner oder gleich r_a ($r_i \leq r_a$) ist,
- alle Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils tangential ineinander übergehen,
- die Kreisbögen ein geschlossenes Schneckenprofil bilden, d.h. die Summe der Winkel α_j aller Kreisbögen j gleich 2π ist, wobei π die Kreiszahl ($\pi \approx 3,14159$) ist,
- die Kreisbögen ein konvexes Schneckenprofil bilden,

- 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 in einem Punkt P_A berührt,
- mindestens einer der Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils den Kernradius r_i des erzeugenden Schneckenprofils in einem Punkt P_I berührt,
- die Anzahl der Kreisbögen n' des erzeugten Schneckenprofils gleich der Anzahl der Kreisbögen n des erzeugenden Schneckenprofils ist,
- der Außenradius r_a' des erzeugten Schneckenprofils gleich der Differenz aus Achsabstand und Kernradius r_i des erzeugenden Schneckenprofils ist ($r_a' = a - r_i$),
- der Kernradius r_i' des erzeugten Schneckenprofils gleich der Differenz aus Achsabstand und Außenradius r_a des erzeugenden Schneckenprofils ist ($r_i' = a - r_a$),
- der Winkel $\alpha_{j'}$ des j' -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils gleich dem Winkel α_j des j -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils ist, wobei j und j' ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich von 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen n beziehungsweise n' durchlaufen,
- die Summe von Radius $r_{j'}$ des j' -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils und Radius r_j des j -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils gleich dem Achsabstand a ist, wobei j und j' ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen n beziehungsweise n' durchlaufen,
- der Mittelpunkt des j' -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils einen Abstand von dem Mittelpunkt des j -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils besitzt, der gleich dem Achsabstand a ist, und der Mittelpunkt des j' -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils einen Abstand von dem Drehpunkt des erzeugten Schneckenprofils besitzt, der gleich dem Abstand des Mittelpunkts des j -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils von dem Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils ist, und die Verbindungslinie zwischen dem Mittelpunkt des j' -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils und dem Mittelpunkt des j -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils eine Parallele zu einer Verbindungslinie zwischen dem Drehpunkt des erzeugten Schneckenprofils und dem Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils ist, wobei j und j' ganze

Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen n beziehungsweise n' durchlaufen,

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

Die Profile erfindungsgemäß verwendeter Schneckenelemente sind dadurch charakterisiert, dass sie allein mit Winkellineal und Zirkel konstruiert werden können. So wird der tangentielle Übergang zwischen dem j -ten und dem $(j+1)$ -ten Kreisbogen 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 Geraden, die durch den Mittelpunkt und den Endpunkt des j -ten Kreisbogens definiert ist, der Mittelpunkt des $(j+1)$ -ten Kreisbogens ist. Praktischerweise wird man anstelle von Winkellineal und Zirkel ein Computerprogramm zur Konstruktion der Schneckenprofile verwenden.

Ein vorgegebenes Schneckenprofil auf einer ersten Welle eines Doppelschneckenextruders (das „erzeugende“) legt das Schneckenprofil auf einer benachbarten zweiten Welle (das „erzeugte“) eindeutig fest. Das Schneckenprofil auf einer ersten Welle des Doppelschneckenextruders wird daher als das erzeugende Schneckenprofil bezeichnet, während das Schneckenprofil auf der benachbarten zweiten Welle des Doppelschneckenextruders als das erzeugte Schneckenprofil bezeichnet wird. Bei einem Mehrwellenextruder werden das erzeugende Schneckenprofil und das erzeugte Schneckenprofil auf benachbarten Wellen immer abwechselnd eingesetzt.

Die im erfindungsgemäßen Verfahren verwendeten Schneckenelemente können unsymmetrisch oder symmetrisch sein; bevorzugt sind erfindungsgemäß verwendete Schneckenelemente symmetrisch. Symmetrische Schneckenelemente können achsensymmetrisch oder punktsymmetrisch sein; bevorzugt sind erfindungsgemäß verwendete Schneckenelemente achsensymmetrisch.

Ein achsensymmetrisches Schneckenprofil mit Gangzahl Z kann in $2Z$ symmetrische Teile aufgeteilt werden, wobei die symmetrischen Teile durch Spiegelung an den Symmetrieachsen ineinander überführt werden können. Aufgrund seiner Symmetrie ist das Profil eines achsensymmetrischen

Schneckenelements mit einer Gangzahl Z also durch einen Profil-Abschnitt in einem Ausschnitt von $360^\circ/(2 \cdot Z)$, der zwischen zwei Symmetrieachsen des Profils liegt, vollständig definiert. Das restliche Profil ergibt sich durch Spiegelung des Profil-Abschnitts an den Z Symmetrieachsen, die sich im Drehpunkt schneiden und den Winkel von 360° um den Drehpunkt in $2 \cdot Z$ Winkel der Größe $360^\circ/(2 \cdot Z)$ unterteilen. Bei achsensymmetrischen Schneckenelementen sind ferner die korrespondierenden Schneckenprofile auf benachbarten Wellen (erzeugendes und erzeugtes Profil) gleich bzw. lassen sich durch Rotation zur Deckung bringen [1].

Analoges gilt für punktsymmetrische Schneckenprofile, bei dem sich die symmetrischen Teile jeweils durch Punktspiegelung am Symmetriezentrum ineinander überführen lassen.

Im Folgenden wird eine besondere Ausführungsform erfindungsgemäß verwendeter Schneckenelemente beschrieben, die dadurch charakterisiert ist, dass die Schneckenelemente achsensymmetrisch sind. Die Gangzahl Z solcher erfindungsgemäß verwendeter achsensymmetrischer Schneckenelemente beträgt bevorzugt 2 bis 8; besonders bevorzugt beträgt sie 2 bis 4.

Die Profilkurve des Querschnitts erfindungsgemäß verwendeter achsensymmetrischer Schneckenelemente lässt sich in $2 \cdot Z$ Profil-Abschnitte unterteilen, die durch Achsenspiegelung an den Symmetrieachsen des Profils ineinander überführt werden können. Die Zahl der Kreisbögen n , die einen der Profil-Abschnitte bilden, beträgt bevorzugt 2 bis 8, besonders bevorzugt 2 bis 4.

Das Profil achsensymmetrischer erfindungsgemäß verwendeter Schneckenelemente mit der Gangzahl Z zeichnet sich dadurch aus, dass es innerhalb eines Profil-Abschnitts in einem Ausschnitt von $360^\circ/(2 \cdot Z)$ nur einen einzigen Punkt P_A gibt, der einen Abstand vom Drehpunkt hat, der dem Außenradius r_a des Schneckenelements entspricht. Anders ausgedrückt gibt es nur einen Punkt P_A innerhalb des Profil-Abschnitts, der auf einem Kreis um den Drehpunkt mit dem Außenradius r_a (Außenkreis) liegt.

Während bei Schneckenprofilen nach dem Stand der Technik alle Punkte im Bereich des Kammwinkels KW das Gehäuse mit engem Spalt abreinigen (siehe z.B. Fig. 1), ist es beim Profil achsensymmetrischer erfindungsgemäß verwendeter Schneckenelemente nur der ausgezeichnete Punkt P_A auf dem Außenradius (siehe z.B. Fig. 2a).

Aus praktischen Gründen soll der weiteren Beschreibung ein kartesisches Koordinatensystem zu Grunde gelegt werden, dessen Ursprung durch den Drehpunkt D eines Schneckenelements gebildet wird. Die x -Achse des kartesischen Koordinatensystems verläuft durch den Punkt P_A ; die y -Achse steht im Drehpunkt D senkrecht auf der x -Achse. In Fig. 2a ist ein solches Koordinatensystem gezeigt.

Weiterhin ist es sinnvoll, dimensionslose Kennzahlen zu verwenden, 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 die Figuren gelten folgende Konventionen: Die Koordinaten x und y haben ihren Ursprung im Drehpunkt einer der Wellen. Alle Winkelangaben erfolgen im Bogenmaß. Alle übrigen Maßangaben sind auf den Achsabstand normiert und werden durch Großbuchstaben dargestellt: $A = a/a$; $R_j = r_j/a$; $RA = ra/a$; $RI = ri/a$ usw.

Der Profil-Abschnitt eines erfindungsgemäß verwendeten achsensymmetrischen Schneckenelements ist dadurch gekennzeichnet, dass er sich zwischen dem Punkt P_A , der auf dem Außenradius des Profils liegt, und einem Punkt P_I , der auf dem Kernradius des Profils liegt, aus tangential ineinander übergehenden Kreisbögen zusammensetzt, wobei die Geraden DP_A und DP_I , die durch die Punkte P_A und P_I laufen und sich im Drehpunkt D schneiden, einen Winkel von $360^\circ/(2 \cdot Z)$ einschließen.

In einer besonderen Ausführungsform setzt sich der Profil-Abschnitt eines erfindungsgemäß verwendeten Schneckenelements zwischen den Punkten P_A und P_I aus genau zwei Kreisbögen zusammen. Die Kreisbögen gehen in einem Punkt P_{FP} ineinander über und bilden erfindungsgemäß über den gesamten Profil-Abschnitt eine stetig differenzierbare Kurve. Im Punkt P_{FP} tangieren die Kreisbögen eine Gerade FP . Die Gerade FP verläuft in einem Abstand vom Drehpunkt, der dem halben Achsabstand A entspricht, und sie besitzt eine Steigung (im Bogenmaß) von $-1/\tan(\pi/(2 \cdot Z))$. Der Punkt P_{FP} hat einen Abstand vom Schnittpunkt einer Tangente an den Außenkreis im Punkt P_A mit der Geraden FP , der dem Abstand zwischen dem Schnittpunkt und P_A entspricht. Eine Orthogonale, die vom Punkt P_{FP} zur Geraden FP gebildet wird, schneidet die Gerade DP_A , die durch den Punkt P_A und den Drehpunkt geht, im Mittelpunkt M_1 eines ersten profilerzeugenden Kreisbogens 1, während sie die Gerade DP_I , die durch den Punkt P_I und den Drehpunkt geht, im Mittelpunkt M_1' des anderen profilerzeugenden Kreisbogens 1' schneidet (siehe zur Verdeutlichung Fig. 2a). Der Radius R_1^{2K} des profilerzeugenden Kreisbogens 1 entspricht somit der Strecke M_1P_A ; der Radius $R_{1'}^{2K}$ des Kreisbogens 1' entspricht der Strecke $M_1'P_I$.

In einer weiteren besonderen Ausführungsform setzt sich der Profil-Abschnitt eines erfindungsgemäß verwendeten Schneckenelements zwischen den Punkten P_A und P_I aus genau drei Kreisbögen zusammen. Man erhält damit einen zusätzlichen Freiheitsgrad und kann das Profil im Bereich des Punktes P_A , der die Zylinderwand abreinigt, durch Wahl eines kleinen Radius schlanker gestalten, wodurch die Energiedissipation weiter reduziert wird.

Fig. 2b zeigt beispielhaft einen Profil-Abschnitt eines erfindungsgemäß verwendeten zweigängigen Schneckenelements aus drei Kreisbögen. Der Radius R_1 des Kreisbogens 1, der im Punkt P_A anschließt, ist in den Grenzen $0 < R_1 < R_1^{2K}$ frei wählbar. Sein Mittelpunkt M_1 liegt auf der Verbindungsstrecke $D-P_A$.

- 5 Der Radius des Kreisbogens 3, der im Punkt P_1 anschließt, hat einen Radius von $R_3 = A - R_1$. Sein Mittelpunkt M_3 liegt auf der Strecke $D-P_1$.

Zwischen diesen beiden Kreisbögen schließt sich stetig differenzierbar ein Kreisbogen 2 mit dem Radius $R_2 = A/2$ an. Sein Mittelpunkt M_2 befindet sich im Abstand $A/2 - R_1$ vom Punkt P_1 und im Abstand $R_3 - A/2$ vom Punkt M_3 .

- 10 Der Kreisbogen 1 wird begrenzt durch P_A einerseits und durch den Schnittpunkt mit der Geraden durch P_1 und P_2 andererseits.

Der Kreisbogen 3 wird begrenzt durch P_1 einerseits und durch den Schnittpunkt mit der Geraden durch M_2 und M_3 andererseits.

- 15 Durch die Wahlfreiheit eines der Radien R_1 oder R_3 ist es möglich, für den gegebenen Achsabstand A verschiedene erfindungsgemäß verwendete, exakt abschabende Schneckenprofile zu konstruieren. Somit ist es auch möglich, erfindungsgemäß verwendete asymmetrische Schneckenprofile zu konstruieren, indem an jeweils korrespondierenden Ausschnitten der Größe $360^\circ/(2 \cdot Z)$ des Schneckenprofils auf beiden Wellen dasselbe Schneckenprofil vorgesehen wird, Ausschnitte der Größe $360^\circ/(2 \cdot Z)$ auf einer Welle jedoch unterschiedlich gestaltet werden. Solche Konstruktionen sind
20 dann sinnvoll, wenn dem Fördergut im Rahmen von Dispergieraufgaben spezielle Deformationen aufgeprägt werden sollen, beispielsweise eine langsame Kompression gefolgt von einer schnellen Expansion.

- 25 Schneckenelemente, die sich innerhalb eines Profilabschnitts der Größe $360^\circ/(2 \cdot Z)$ aus mehr als drei Kreisbögen zusammensetzen, gehören ebenfalls zum Gegenstand der vorliegenden Erfindung. Erfindungsgemäß gehen die Kreisbögen an ihren Anfangs- und Endpunkten tangential ineinander über.

- 30 Das Verhältnis $RA = r_a/a$ vom Außenradius r_a des Schneckenelements zum Achsabstand a beträgt für zweigängige erfindungsgemäß verwendete Schnecken bevorzugt zwischen 0,54 und 0,7 und besonders bevorzugt zwischen 0,58 und 0,63, für dreigängige Schnecken bevorzugt zwischen 0,53 und 0,57 und besonders bevorzugt zwischen 0,54 und 0,56, sowie für viergängige Schnecken bevorzugt zwischen 0,515 und 0,535.

Die erfindungsgemäß verwendeten Schneckenelemente können als Förderelemente oder Knetelemente oder Mischelemente ausgebildet sein.

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 Förderelement rechts- oder linksgängig sein. Die Steigung t des Förderelements kann z.B. Werte von dem 0,1-fachen bis 10-fachen des Außendurchmessers annehmen, wobei unter der Steigung die axiale Länge verstanden wird, die für eine vollständige Drehung des Schneckenprofils erforderlich ist. Bevorzugt liegt die Steigung t im Bereich des 0,3-fachen bis 3-fachen des Außendurchmessers. Die axiale Länge eines Förderelements wird aus praktischen Gründen bevorzugt in ganzzahligen Vielfachen von t/Z ausgeführt.

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 0,02-fachen bis 2-fachen des Außendurchmessers. Der axiale Abstand zwischen zwei benachbarten Knetscheiben liegt bevorzugt im Bereich des 0,001-fachen bis 0,1-fachen des Außendurchmessers.

Mischelemente werden bekanntlich dadurch gebildet (siehe zum Beispiel [1], Seiten 227 - 248), dass Förderelemente mit Durchbrüchen in den Schneckenkämmen ausgeführt werden. Die Mischelemente können rechts- oder linksgängig sein. Ihre Steigung t liegt bevorzugt im Bereich des 0,1-fachen bis 10-fachen des Außendurchmessers. Die axiale Länge eines Mischelements wird analog zu den Förderelementen bevorzugt in ganzzahligen Vielfachen von t/Z ausgeführt. Die Durchbrüche haben bevorzugt die Form einer u- oder v-förmigen Nut. Wird das Mischelement ausgehend von einem förderaktiven Element gebildet, so werden die Nuten bevorzugt gegenfördernd oder achsparallel angeordnet.

Bevorzugte Materialien aus denen die Schneckenelemente bestehen sind Stähle, insbesondere Nitrierstähle, Chrom-, Werkzeug- und Edelstähle, sowie pulvermetallurgisch hergestellte metallische Verbundwerkstoffe auf Basis von Eisen, Nickel oder Kobalt.

Die erfindungsgemäß verwendeten Schneckenelemente bilden in mehrwelligen Schneckenmaschinen mit paarweise gleichsinnig und paarweise exakt abschabenden Schneckenwellen einen über ihren gesamten Umfang laufenden Kanal. Dabei weist der Kanal eine abwechselnd zu- und abnehmende Kanalbreite auf. Ein solcher Kanal wird hier als konvergent-divergenter Kanal bezeichnet. In einem solchen konvergent-divergenten Kanal tritt im Betrieb über seine gesamte Länge eine Kombination aus Scherströmung und Dehnströmung auf, die eine sehr gute Dispergierwirkung hat.

Die Energieeinleitung ist im Vergleich zu herkömmlichen, nach dem Stand der Technik bekannten Schneckenelementen mit einem Knick im Profil reduziert.

Exzentrisch angeordnete Kreisscheiben bilden ebenfalls einen konvergent-divergenten Kanal. Die erfindungsgemäß verwendeten Schneckenelemente weisen jedoch einen geringeren Umfangsbe-
reich auf, in dem ein sehr enger Spalt vorliegt, als exzentrisch angeordnete Kreisscheiben. Daher
ist die Energieeinleitung in diesem Verfahren mit den erfindungsgemäß verwendeten Schnecken-
elementen in Mehrwellenschneckenmaschinen gegenüber der Verwendung exzentrisch angeordne-
ter Kreisscheiben reduziert.

Dem Fachmann ist bekannt, dass direkt abschabende Schneckenprofile nicht direkt in einen Dop-
pelschneckenextruder eingesetzt werden können, vielmehr sind Spiele zwischen den Schnecken-
elementen und dem Gehäuse und zwischen den Schneckenelementen selbst erforderlich. Zu große
Spiele verringern den Effekt der Selbstreinigung und beeinflussen Förderwirkung und Druckauf-
bau negativ. Zu kleine Spiele erhöhen den Energieeintrag und führen zu einer unerwünschten Tem-
peraturerhöhung der plastischen Massen. Für die Schneckenprofile erfindungsgemäß verwendeter
Schneckenelemente können Spiele im Bereich von 0,001 bis 0,1 bezogen auf den Durchmesser des
Schneckenprofils, verwendet werden, bevorzugt 0,002 bis 0,05 und besonders bevorzugt 0,004 bis
0,02. Die Spiele können, wie dem Fachmann bekannt ist, zwischen Schnecke und Gehäuse und
zwischen Schnecke und Schnecke unterschiedlich groß oder gleich sein. Die Spiele können auch
konstant oder, in den angegebenen Grenzen, variabel sein. Es ist auch möglich, innerhalb der Spie-
le ein Schneckenprofil zu verschieben. Dem Fachmann sind Methoden bekannt, um ausgehend von
einem vorgegebenen, exakt abschabenden Schneckenprofil, eine Schneckenprofil mit Spielen ab-
zuleiten. Bekannte Methoden hierfür sind beispielsweise die in [1] auf den Seiten 28 ff beschrie-
bene Möglichkeit der Achsabstand-Vergrößerung, der Längsschnitt-Äquidistanten und der Raum-
äquidistanten, die alle dem Fachmann bekannt sind. Bei der Achsabstand-Vergrößerung wird ein
Schneckenprofil mit kleinerem Durchmesser konstruiert und um den Betrag des Spiels zwischen
den Schnecken auseinandergerückt. Bei der Methode der Längsschnitt-Äquidistanten wird die
Längsschnitt-Profilkurve (parallel zur Drehachse des jeweiligen Elements) um das halbe Spiel
Schnecke-Schnecke senkrecht zur Profilkurve nach innen, in Richtung zur Drehachse hin, ver-
schoben. Bei der Methode der Raumäquidistanten wird, ausgehend von der Raumkurve, auf der die
Schneckenelemente sich abreinigen, das Schneckenelement in der Richtung senkrecht zu den Flä-
chen des exakt abschabenden Profils um das halbe Spiel zwischen Schnecke und Schnecke ver-
kleinert. Bevorzugt werden die Längsschnitt-Äquidistante und die Raumäquidistante, besonders
bevorzugt die Raumäquidistante verwendet.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der Figuren beispielhaft näher erläutert ohne sie jedoch auf diese zu beschränken.

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 die Figuren gelten folgende Konventionen: Die Koordinaten x und y haben ihren Ursprung im Drehpunkt einer der Wellen. Alle Winkelangaben erfolgen im Bogenmaß. Alle übrigen Maßangaben sind auf den Achsabstand normiert und werden durch Großbuchstaben dargestellt: $A = a/a$; $R_j = r_j/a$; $RA = ra/a$; $RI = ri/a$ $T = t/a$ usw. M_x und M_y sind die x - und y -Koordinaten des Kreismittelpunkts eines profilerzeugenden Kreisbogens, R ist der auf den Achsabstand a normierte Radius und α der Bogenwinkel des Kreisbogens. Weiterhin bedeuten RG = normierter Gehäuseradius, RV = normierter virtueller Gehäuseradius, RA = normierter Außenradius des exakt abschabenden Profils, RF = normierter Außenradius der zu fertigenden Schnecke, S = normiertes Spiel der Schnecken untereinander (Spalt), D = normiertes Spiel der Schnecke zum Gehäuse, VPR = normierter Betrag der Profilverschiebung, VPW Winkel der Profilverschiebung im Bogenmaß, VLR = normierter Betrag der Verschiebung der linken Welle, VLW = Winkel der Verschiebung der linken Welle, VRR = normierter Betrag der Verschiebung der rechten Welle, VRW = Winkel der Verschiebung der rechten Welle.

Fig. 1 zeigt im Querschnitt zwei in einem Abstand A voneinander angeordnete exakt abschabende, zweigängige Schneckenelemente nach dem Stand der Technik. Die Schneckenelemente verfügen über dasselbe achsensymmetrische Profil. Das rechte Schneckenelement ist gegenüber dem linken um 90° gedreht. Die mit 1-1 gekennzeichneten Punkte geben die Drehpunkte der Wellen an, auf denen die Schneckenelemente angeordnet sind. Das gezeigte Profil setzt sich aus mehreren symmetrischen Abschnitten zusammen. An den Übergängen der Abschnitte treten Knicke auf (einer der Knicke ist durch einen Pfeil mit 1-2 gekennzeichnet). Im Bereich des Kammwinkels KW unterliegt das Produkt beim Betrieb einer Mehrwellenschneckenmaschine mit derartigen Schneckenelementen einer hohen Scherung ohne Dehnung.

Dieser Nachteil wird durch ein erfindungsgemäß verwendetes Schneckenelement mit einem Profil gemäß Fig. 2 vermieden. Fig. 2a zeigt im Querschnitt ein Viertel des Profils eines zweigängigen exakt abschabenden Schneckenelements (erzeugendes Schneckenelement). Das Profil ist achsensymmetrisch zur x - und y -Achse, sodass sich das gesamte Profil durch Spiegelung des gezeigten Viertels an der x - und y -Achse ergeben würde. Das Profil des korrespondierenden (erzeugten)

Schneckenelements ergibt sich dann durch Drehung des Profils des erzeugenden Schneckenelements um einen Winkel von 90° . Der Koordinatenursprung markiert in dieser und allen weiteren Figuren den Drehpunkt D der Welle. Mit dem Außenradius RA wurde ein gestrichelter Kreis um das Profil herum gezeichnet. Die Gehäusebohrung wird durch einen dazu konzentrischen Kreis mit einem gegenüber dem Außenradius um das Spiel S vergrößerten Radius RG repräsentiert. (RG=RA+S) Das Schneckenprofil nach Fig. 2a besteht aus zwei Kreisbögen, die ohne Knick ineinander übergehen. Die Koordinaten der Kreisbögen sind in Fig. 2a angegeben. Der Mittelpunkt M_1 des Kreises 1 liegt auf der Horizontalen durch den Drehpunkt und der Mittelpunkt $M_{1'}$ des Kreises 1' auf der Vertikalen durch den Drehpunkt ($M_{1y} = 0$; $M_{1'x} = 0$). Der Übergang von Kreis 1 auf Kreis 1' erfolgt in dem Punkt P_{FP} , in dem beide Kreise die Gerade FP tangieren.

Die Konstruktion des gezeigten Profil-Abschnitts kann durch folgende Schritte erfolgen:

- Festlegung eines Punktes P_A in einem Abstand vom Drehpunkt D des Schneckenelements, der dem Außenradius RA des Schneckenelements entspricht,
- Festlegung eines Punktes P_1 in einem Abstand vom Drehpunkt D des Schneckenelements, der dem Innenradius RI des Schneckenelements entspricht, wobei Punkt P_1 auf einer Geraden DP_1 durch den Punkt D liegt, die mit einer Geraden DP_A durch die Punkte P_A und D einen Winkel von $360^\circ/(2 \cdot Z)$ einschließt,
- Festlegung einer Geraden FP mit einem Abstand vom Drehpunkt D, der dem halben Achsabstand A des Schneckenelements entspricht, und mit einer Steigung im Bogenmaß von $-1/\tan(\pi/(2 \cdot Z))$,
- Festlegung des Schnittpunktes der Tangente T_A in Punkt P_A an den Außenkreis mit Radius RA um den Drehpunkt D mit der Geraden FP und Festlegung des Punktes P_{FP} auf der Geraden FP, der denselben Abstand vom Schnittpunkt hat wie P_A und der vom Drehpunkt einen geringeren Abstand hat als dem Radius RA entspricht,
- Festlegung des Mittelpunkts M_1 , der im Schnittpunkt der Orthogonalen zur Geraden FP im Punkt P_{FP} mit der Geraden DP_A liegt,
- Festlegung des Mittelpunkts $M_{1'}$, der im Schnittpunkt der Orthogonalen zur Geraden FP im Punkt P_{FP} mit der Geraden DP_1 liegt,
- Erzeugen eines Kreisbogens 1 um den Mittelpunkt M_1 zwischen den Punkten P_A und P_{FP} ,

- Erzeugen eines Kreisbogens 1' um den Mittelpunkt M_1 zwischen den Punkten P_1 und P_{FP} .

Fig. 2b zeigt beispielhaft einen Profil-Abschnitt eines erfindungsgemäß verwendeten zweigängigen Schneckenelements aus drei Kreisen. Der Punkt D kennzeichnet den Drehpunkt des Schneckenelements (erzeugendes Schneckenelement). Im Abstand A vom Drehpunkt D befindet sich der Drehpunkt des korrespondierenden Schneckenelements (erzeugtes Schneckenelement). Um den Drehpunkt D ist ein Kreis (Innenkreis) mit dem Kernradius R_I und ein Kreis (Außenkreis) mit dem Außenradius R_A des Schneckenelements eingezeichnet. Innenkreis und Außenkreis bilden einen Kreisring. Alle Punkte des Profil-Abschnitts sowie des sich daraus ergebenden Gesamtprofils des erfindungsgemäß verwendeten Schneckenelements liegen auf diesem Kreisring. Punkt P_A kennzeichnet einen Anfangspunkt eines ersten Kreisbogens 1 mit dem Radius R_1 und dem Mittelpunkt M_1 , der auf der Verbindungsstrecke D- P_A liegt. Der Punkt P_A liegt auf dem Außenkreis. Punkt P_1 kennzeichnet einen Anfangspunkt eines Kreisbogens 3 mit dem Radius $R_3 = A - R_1$. Sein Mittelpunkt M_3 liegt auf der Strecke D- P_1 . Zwischen dem Kreisbogen 1 und dem Kreisbogen 3 schließt sich stetig differenzierbar ein Kreisbogen 2 mit dem Radius $R_2 = A/2$ an. Sein Mittelpunkt M_2 befindet sich im Abstand $(A/2) - R_1$ vom Punkt P_1 und im Abstand $R_3 - (A/2)$ vom Punkt M_3 . Durch fortlaufende Spiegelung des gezeigten Profil-Abschnitts an einer Geraden, die durch die Punkte D und P_A verläuft und an einer Geraden, die durch die Punkte D und P_1 verläuft, lässt sich das Gesamtprofil des erfindungsgemäß verwendeten Schneckenelements (erzeugendes Schneckenelement) konstruieren. Das Profil des korrespondierenden Schneckenelements (erzeugtes Schneckenelement) ergibt sich hier einfach durch Drehung des Profils des erzeugenden Schneckenprofils um einen Winkel von 90° um den Drehpunkt D.

Fig. 2c zeigt ein Beispiel erfindungsgemäß verwendeter Schneckenelemente, bei denen sich die durch gestrichelte Linien gekennzeichneten Profil-Abschnitte nicht durch Achsenspiegelung mit den durch durchgezogene Linien gekennzeichneten Profil-Abschnitten zur Deckung bringen lassen. Stattdessen sind die Profile punktsymmetrisch zum Drehpunkt.

Eine besondere Ausführungsform erfindungsgemäß verwendeter Schneckenelemente ist beispielhaft in Fig. 3 dargestellt. Sie ist dadurch gekennzeichnet, dass die Gehäusebohrungen mit einem größeren Radius als der Außenradius der Schneckenprofile ausgeführt sind und die Schneckenprofile paarweise gegenüber den Mittelpunkten der Gehäusebohrungen verschoben sind, die Drehpunkte (dargestellt durch kleine Kreise) in den Mitten der Gehäusebohrungen jedoch beibehalten werden. Dadurch ergibt sich überraschenderweise eine weitere, deutliche Reduktion der Energie-

einleitung. Die auf diese Weise exzentrisch rotierenden Schneckenelemente können innerhalb der Gehäusebohrungen beliebig verschoben werden. In Fig. 3 ist der besonders hervorzuhebende Fall dargestellt, dass die beiden Profile parallel um denselben Betrag in Richtung einer Geraden, die durch die beiden Drehpunkte führt, wie senkrecht dazu verschoben werden, bis sie die Gehäusekontur berühren. Dadurch wird erreicht, dass die Schnecken sich gegenseitig exakt abschaben, jedoch nur jeweils einer der beiden Schneckenkämme jeder Welle das Gehäuse exakt abschabt. Diese Anordnung weist eine vollständige Abreinigung aller Oberflächen bei gleichzeitig reduzierter Energieeinleitung auf.

Bis hierher wurden nur exakt abschabende Schneckenprofile behandelt. Bei technisch ausgeführten Maschinen ist es aber erforderlich, von der exakt abschabenden Geometrie insofern abzuweichen, als exakt definierte Spalte bei der Abreinigung eingehalten werden. Dies ist notwendig, um metallisches „Fressen“ zu verhindern, um Fertigungstoleranzen auszugleichen und um übermäßige Energiedissipation in den Spalten zu vermeiden. Zur Erzeugung gleichmäßiger Spalte sind verschiedene Strategien möglich. Am weitesten verbreitet ist die Erzeugung von Spalten, die in einem Längsschnitt durch die Maschine äquidistant sind. Die Vorgehensweise zur Erzeugung der entsprechenden Schneckenprofile wurde in [1] auf den Seiten 103ff dargestellt.

Die Regeln zur Erzeugung von Schneckenprofilen mit definierten Spalten sind auf die erfindungsgemäß verwendeten Schneckenelemente anwendbar.

Fig. 4 zeigt Beispiele von Profilen erfindungsgemäß verwendeter Schneckenelemente mit Spalten (Spielen). In Fig. 4a wurde der Spalt S bei der Abreinigung der Schnecken untereinander gleich groß gewählt wie der Spalt D bei der Abreinigung des Gehäuses. In Fig. 4b ist der Spalt S kleiner als D und in Fig. 4c und 4d ist umgekehrt D kleiner als S.

Mit Fig. 5 wird aufgezeigt, dass erfindungsgemäß verwendete exzentrische Profile auch dadurch erhalten werden, dass man ein Schneckenprofil mit Spalten konstruiert und anschließend die Profile innerhalb der Spalte verschiebt. Die Profile von Abbildung 5 a-d sind identisch mit dem Profil aus Abbildung 4d. Die Verschiebung erfolgt in Bezug zu einer Geraden durch die Drehpunkte der Schneckenelemente in Fig. 5a im Winkel von 0°, in Fig. 5b im Winkel von 30°, in Fig. 5c im Winkel von 60° und in Fig. 5d im Winkel von 90°.

Fig. 5 zeigt Beispiele, in denen beide Wellen mit demselben Verschiebevektor verschoben werden. Grundsätzlich ist es auch möglich, beide Wellen innerhalb der Spiele mit einem unterschiedlichen Vektor zu verschieben. Man erhält dann Profile, die sich mit einem Spalt abreinigen, der während einer Umdrehung der Wellen variiert.

Die Förderwirkung eines Profilpaares kommt bekanntlich dadurch zustande, dass man die Profile in Achsrichtung kontinuierlich schraubenförmig verdreht. Auf diese Weise entsteht ein Fördergewinde, wie es beispielhaft in Fig. 6a dargestellt ist.

5 Knetelemente mit erhöhter Dispergierleistung gegenüber dem Fördergewinde erhält man, indem man prismatische Scheiben aus selbstreinigenden Profilen um einen Versatzwinkel gegeneinander verdreht auf der Achse anordnet. Ein Beispiel für ein Knetelement mit sieben Knetscheiben, die mit einem Versatzwinkel von 30° auf der Achse angeordnet sind, zeigt Fig. 6b.

10 In den Figuren 1 bis 6 wurden ausschließlich zweigängige Schneckenelemente behandelt. Dieselben Prinzipien lassen sich jedoch auch auf Schneckenelemente mit drei und mehr Gängen anwenden. Fig. 7 zeigt im Querschnitt zwei dreigängige Schneckenelemente nach dem Stand der Technik (siehe z.B. [1] S. 103). Das dreigängige Profil in Fig. 7 besteht aus drei symmetrischen Abschnitten. An den Übergängen der Abschnitte treten Knicke auf, und das Profil bildet den Schnecken-

15 kamm aus (beispielhaft durch den Pfeil mit 7-1 markiert). Hier rotiert das Profil mit engem Abstand zum Gehäuse und prägt mit den beschriebenen Nachteilen der Polymerschmelze eine reine Scherung auf.

Fig. 8 zeigt dagegen einen Profil-Abschnitt eines erfindungsgemäß verwendeten dreigängigen Schneckenelements. Da das Profil achsensymmetrisch bzgl. dreier in einem Winkel von 60° zueinander angeordneter Geraden (S1, S2, S3) ist, die durch den Koordinatenursprung gehen, ist hier nur ein 60° -Ausschnitt gezeigt. Das gesamte Profil ergibt sich durch fortlaufende Spiegelung der

20 gezeigten Profilkurve an den Spiegelgeraden S1, S2 und S3. Die Profilkurve ist in dem gezeigten Abschnitt zwischen den Geraden S1 und S3 aus zwei Kreisbögen aufgebaut. Für die Schnecke ergibt sich ein konvergent-divergenter Kanal, der über seinen gesamten Umfang dem Mischgut eine Kombination aus Scher- und Dehnströmung aufprägt. Der tangentielle Übergang zwischen den profilerzeugenden Kreisen 1 und 1' erfolgt an der Stelle, an der das Profil die Gerade FP tangiert.

25 Für dreigängige Profile verläuft die Gerade FP in einem Abstand vom halben Achsabstand vom Drehpunkt mit einer Steigung von -1,73. Die in Fig. 8 gezeigte Konstruktion lässt sich in analoger Weise für alle Verhältnisse von Schneckenaußenradius zu Achsabstand von 0,5 bis 0,577 anwenden.

Für die dreigängigen Profile lassen sich exzentrisch rotierende Profile konstruieren. Solche Schneckenprofile werden in Fig. 9 a-d gezeigt. Die Vorgehensweise ist analog zur Vorgehensweise bei den zweigängigen Profilen. Der Außenradius des Profils wird gegenüber dem Gehäuseradius ver-

30 kleinert und das Profil paarweise verschoben, wobei der Drehpunkt zentrisch zum Gehäuse beibehalten wird. Besonders interessant sind Schneckenprofile, bei denen sich die Schnecken untereinander

der vollständig abreinigen und wo das Gehäuse mit nur einem von drei Kämmen abgereinigt wird. In Fig. 9a ist die Erzeugung eines solchen Profils gezeigt, indem man das Profil horizontal nach rechts verschiebt, bis der rechte Schneckenkamm an der Gehäusekontur ankommt. Bei dieser Anordnung entstehen symmetrische Schneckengänge zwischen dem Profil und dem Gehäuse. Weitere Anordnungen, bei denen einer der drei Schneckenkämmen das Gehäuse abreinigt, erhält man bei einer Verschiebung der Profile in einem Winkel von 20° (Fig. 9b) oder 40° in Bezug zu einer Geraden, die durch die Drehpunkte verläuft (Fig. 9c). Bei diesen Profilen ist der entstehende Schneckengang asymmetrisch. Es entsteht mit zunehmender Verschiebung ein Bereich mit intensiverer Scherung (in den Figuren 9b und 9c oben) und ein Bereich mit weniger intensiver Scherung (in den Figuren 9b und 9c unten). Bei Verschiebung des Profils in einem Winkel von 60° in Bezug zu einer Geraden, die durch die Drehpunkte verläuft (Fig. 9d), lässt sich eine Anordnung erzeugen, bei der zwei von drei Kämmen das Gehäuse abreinigen. Die Asymmetrie ist hier am stärksten ausgeprägt. Es entstehen zwei Bereiche mit sehr intensiver Scherbelastung (in Fig. 9d oben) und ein Bereich mit geringer Scherbelastung (in Fig. 9d unten). Die zu verarbeitende Masse wird somit stark wechselnden Beanspruchungen ausgesetzt, was bei Dispergieraufgaben hilfreich ist.

Die Erzeugung von Spalten bei der gegenseitigen Abreinigung der Profile und bei der Abreinigung des Gehäuses erfolgt in völliger Übereinstimmung mit der Vorgehensweise bei den zweigängigen Profilen.

Die dreigängigen Profile können als kontinuierliches Fördergewinde nach Fig. 10a oder als Knet-scheiben nach Fig. 10b erfindungsgemäß eingesetzt werden.

Achsensymmetrische viergängige Schneckenprofile sind durch einen 45°-Abschnitt des Schneckenprofils vollständig definiert. Fig. 11 zeigt einen Profil-Abschnitt eines erfindungsgemäß verwendeten achsensymmetrischen, viergängigen Schneckenelements, der sich aus zwei Kreis-segmenten zusammensetzt. Die Konstruktion ist analog für alle Verhältnisse von Schnecken-außenradius zu Achsabstand von 0,5 bis 0,541 anzuwenden.

Die Erzeugung von exzentrischen Profilen und die Erzeugung von Spalten bei der Abreinigung erfolgt auf ähnliche Art und Weise wie bei den zwei- und dreigängigen Profilen und wird hier nicht gezeigt.

Die viergängigen Profile können als kontinuierliches Fördergewinde nach Fig. 12a oder als Knet-scheiben nach Fig. 12b eingesetzt werden.

Erfindungsgemäß verwendete Profile mit mehr als vier Gängen können auf analoge Weise hergestellt werden. Ebenso können auf analoge Weise die Spalte variiert und exzentrische Profile erzeugt werden.

In der Fig. 13a ist schematisch ein Beispiel eines erfindungsgemäß verwendeten Schneckenelementepaares im Querschnitt gezeigt. 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. 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 (Begrenzungslinien). Der Schneckenaußenradius ist jeweils für das erzeugende und das erzeugte Schneckenprofil gleich groß. Im Bereich des Schneckengehäuses ist der Schneckenaußenradius durch eine dünne gestrichelte Linie gekennzeichnet, im Zwickelbereich durch eine dünne gepunktete Linie. Bedingt durch die Vielzahl der Kreisbögen und bedingt durch die Erzeugung der Figuren mittels eines Computerprogramms kann es vorkommen, dass die Nummern einzelner Kreisbögen mit Begrenzungslinien überlappen und daher schlecht lesbar sind. Trotz der teilweisen schlechten Lesbarkeit einzelner Nummern, wird der Aufbau der Profile aus dem Zusammenhang in Verbindung mit dieser Beschreibung und der Koordinatenangaben in der Fig. 13b dennoch deutlich.

Das in Fig. 13a gezeigte erfindungsgemäß verwendete Paar von Schneckenprofilen ist punktsymmetrisch, aber nicht achsensymmetrisch. Die Gerade FP (gepunktet gezeichnet) wird nicht tangiert. Ein derartiges Schneckenelement erlaubt besonders große Freiheiten für die Dispergierwirkung, da die Bereiche vor und nach den Kämmen, die für die Dispergierwirkung entscheidend sind, genau auf die Aufgabe angepasst werden können, ohne auf die geometrische Einschränkung durch die Gerade FP Rücksicht nehmen zu müssen. Fig. 13b zeigt für alle Kreisbögen der Fig. 13a die x- und y-Koordinaten (M_x und M_y) der Mittelpunkte, die Radien R und die Winkel α der Kreisbögen. Die Winkelangaben erfolgen im Bogenmaß; alle übrigen Maßangaben sind auf den Achsabstand normiert und daher dimensionslos.

Plastische Massen, die erfindungsgemäß mit hoher Effizienz bei gleichzeitiger Produktschonung extrudiert werden können, sind z.B. Suspensionen, Pasten, Glas, Keramische Massen, Metalle in Form einer Schmelze, Kunststoffe, Kunststoffschmelzen, Polymerlösungen, Elastomer- und Kautschuk-Massen.

Bevorzugt werden Kunststoffe und Polymerlösungen eingesetzt, besonders bevorzugt thermoplastische Polymere. Als thermoplastisches Polymer wird bevorzugt wenigstens eines aus der Reihe Polycarbonat, Polyamid, Polyester, insbesondere Polybutylenterephthalat und Polyethylenterephthalat, Polylactide, Polyether, thermoplastisches Polyurethan, Polyacetal, Fluorpolymer, insbesondere Polyvinylidenfluorid, Polyethersulfone, Polyolefin, insbesondere Polyethylen und Polypropylen, Polyimid, Polyacrylat, insbesondere Poly(methyl)methacrylat, Polyphenylenoxid, Polyphenylensulfid, Polyetherketon, Polyaryletherketon, Styrolpolymerisate, insbesondere Polystyrol, Styrolcopolymere, insbesondere Styrolacrylnitrilcopolymer, Acrylnitrilbutadienstyrolblockcopolymere und Polyvinylchlorid eingesetzt. Ebenso bevorzugt eingesetzt werden so genannte Blends aus den aufgeführten Kunststoffen, worunter der Fachmann eine Kombination aus zwei oder mehreren Kunststoffen versteht. Besonders bevorzugt sind Polycarbonat und Mischungen enthaltend Polycarbonat, ganz besonders bevorzugt Polycarbonat, beispielsweise erhalten nach dem Phasengrenzflächenverfahren oder dem Schmelzeumesterungsverfahren.

Weitere bevorzugte Einsatzmaterialien sind Kautschuke. Als Kautschuk wird bevorzugt wenigstens einer aus der Reihe Styrol-Butadien-Kautschuk, Naturkautschuk, Butadien-Kautschuk, Isopren-Kautschuk, Ethylen-Propylen-Dien-Kautschuk, Ethylen-Propylen-Kautschuk, Butadien-Acrylnitril-Kautschuk, hydrierter Nitrilkautschuk, Butylkautschuk, Halobutylkautschuk, Chloropren-Kautschuk, Ethylen-Vinylacetat-Kautschuk, Polyurethan-Kautschuk, Thermoplastisches Polyurethan, Guttapercha, Arylatkautschuk, Fluorkautschuk, Siliconkautschuk, Sulfidkautschuk, Chlorsulfonyl-Polyäthylen-Kautschuk eingesetzt. Eine Kombination von zwei oder mehreren der aufgeführten Kautschuke, oder eine Kombination aus einem oder mehreren Kautschuk mit einem oder mehreren Kunststoffen ist natürlich auch möglich.

Diese Thermoplaste und Elastomere können in reiner Form oder als Mischungen mit Füll- und Verstärkungsstoffen, wie insbesondere Glasfasern, als Mischungen untereinander oder mit anderen Polymeren oder als Mischungen mit üblichen Polymeradditiven eingesetzt werden.

In einer bevorzugten Ausführungsform werden den plastischen Massen, insbesondere den Polymerschmelzen und Mischungen von Polymerschmelzen, Additive beigemischt. Diese können als Feststoffe, Flüssigkeiten oder Lösungen gemeinsam mit dem Polymer in den Extruder gegeben werden oder aber es wird wenigstens ein Teil der Additive oder alle Additive dem Extruder über einen Seitenstrom zugeführt.

Additive können einem Polymer vielfältige Eigenschaften verleihen. Dies können beispielsweise Farbmittel, Pigmente, Verarbeitungshilfsmittel, Füllstoffe, Antioxidantien, Verstärkungsstoffe, UV-Absorber und Lichtstabilisatoren, Metalldesaktivatoren, Peroxidfänger, basische Stabilisato-

ren, Keimbildner, als Stabilisatoren oder Antioxidantien wirksame Benzofurane und Indolinone, Formtrennmittel, flammhemmende Additive, antistatische Mittel, Färbemittel und Schmelzestabilisatoren. Beispielhaft für diese sind Ruß, Glasfaser, Ton, Glimmer, Graphitfaser, Titandioxid, Kohlenstofffasern, Kohlenstoffnanoröhrchen, ionische Flüssigkeiten und Naturfasern

- 5 Die Vorteile, die sich bei Einsatz des Verfahrens für die verschiedenen Polymere ergeben, sind je nach Art des Extrusionsprozesses und der Art der plastischen Masse unterschiedlich.

Bei der Extrusion von Polyethylen und Polyethylen-Copolymere zeigen sich bei zu hoher Temperatur Abbau von Molekulargewicht, Verzweigung und Vernetzung. Weiterhin reagieren Polyethylen und Polyethylen-Copolymere mit Luftsauerstoff in dem dem Fachmann bekannten Autoxidationszyklus ([2] Hepperle, J.: Schädigungsmechanismen bei Polymeren. Polymeraufbereitung 2002, VDI-K, VDI-Verlag GmbH, [3] Zweifel, H.: Stabilization of Polymeric Materials. Berlin: Springer 1997, [4] Schwarzenbach, K., et al.: Antioxidants, in Zweifel, H. (Hrsg.): Plastics Additives Handbook. München: Hanser 2001, [5] Cheng, H.N., Schilling, F.C., Bovey, F.A.: ¹³C Nuclear Magnetic Resonance Observation of the Oxidation of Polyethylene, Macromolecules 9 (1976) S. 363-365) unter Bildung von geruchsintensiven und daher störenden niedermolekularen Komponenten wie beispielsweise Ketone, Aldehyde, Carbonsäuren und Alkohole.

Bei der Extrusion von Copolymeren auf Basis Polyethylen und Vinylacetat bildet sich bei zu hoher Temperatur zusätzlich geruchsintensive und korrosive Essigsäure.

Bei der Extrusion von Polypropylen und Polypropylen-Copolymeren zeigt sich zu hoher Temperatur Abbau von Molekulargewicht. Weiterhin reagieren Polypropylen und Polypropylen-Copolymere mit Luftsauerstoff in dem Autoxidationszyklus unter Bildung von geruchsintensiven und daher störenden niedermolekularen Komponenten wie beispielsweise Ketone, Aldehyde, Carbonsäuren und Alkohole.

Bei der Extrusion von Polyvinylchlorid spaltet bei zu hoher Temperatur Polyvinylchlorid unter Verfärbung korrosives Salzsäuregas ab, wobei die Salzsäure wiederum katalytisch bei der weiteren Abspaltung von Salzsäure wirkt.

Bei der Extrusion von Polystyrol bildet sich bei zu hoher Temperatur gesundheitsschädliches Styrol sowie dimeres und trimeres Styrol, mit Abbau von Molekulargewicht und entsprechendem Verschlechterung von mechanischen Eigenschaften.

Bei der Extrusion von Polystyrol – Acrylnitril – Copolymer (SAN) verfärbt sich das Produkt unter thermischer Belastung zum Gelben hin, was zu verringerter Transparenz führt, und bildet das

krebserregende Monomer Acrylnitril sowie Styrol, unter Abbau von Molekulargewicht und Verschlechterung von mechanischen Eigenschaften.

5 Bei der Extrusion von aromatische Polycarbonaten verfärbt sich unter zu hoher thermischer Belastung, insbesondere unter Sauerstoffeinfluss, zum Gelben hin, was zu verringerter Transparenz führt, und zeigt Abbau im Molekulargewicht, insbesondere unter Einfluss von Wasser. Auch werden unter erhöhter Temperatur Monomere wie z.B. Bisphenol A, zurückgespalten.

10 Bei der Extrusion von Polyestern wie z.B. Polyethylenterephthalat, Polybutylenterephthalat, Polytrimethylenterephthalat oder Polylactiden ergibt sich unter zu hoher Temperatur und Wassereinfluss eine Verringerung im Molekulargewicht und Verschiebung der Endgruppen im Molekül. Dies ist vor allem beim Recycling von Polyethylenterephthalat problematisch. Polyethylenterephthalat spaltet bei hoher Temperatur Acetaldehyd ab, was beispielsweise zu Veränderungen an Geschmack in dem Inhalt von Getränkeflaschen führen kann.

15 Bei der Extrusion von mit Dienkautschuken, insbesondere mit Butadienkautschuk schlagzäh modifizierten Thermoplasten, insbesondere schlagzäh modifizierte Polystyroltypen (HIPS) und schlagzäh modifiziertes SAN (Acrylnitril-Butadien-Styrol, ABS) spaltet sich unter zu hoher Temperatur krebserregendes Butadien sowie giftiges Vinylcyclohexen ab. Weiterhin vernetzt der Dienkautschuk, so dass Verschlechterungen der mechanischen Eigenschaften des Produktes auftreten.

Bei der Extrusion von Polyoxymethylen spaltet sich bei zu hoher Temperatur giftiges Formaldehyd ab.

20 Bei der Extrusion von Polyamiden wie Polyamid 6, Polyamid 6,6, Polyamid 4,6, Polyamid 11 und Polyamid 12 führt zu hohe Temperatur zu Verfärbungen des Produktes und zu Molekulargewichtsabbau und zur Rückbildung von Monomeren und Dimeren und damit zu Verschlechterung von mechanischen Eigenschaften, vor allem in Gegenwart von Wasser.

25 Bei der Extrusion von thermoplastischen Polyurethanen führt zu hohe Temperatur zu Veränderungen der Molekülstruktur durch Umurethanisierung und, in Gegenwart von Wasser, zu Molekulargewichtsabbau. Beides beeinflusst die Eigenschaften des thermoplastischen Polyurethans in unerwünschter Weise.

30 Bei der Extrusion Polymethylmethacrylat spaltet bei zu hoher thermischer Belastung unter Abbau von Molekulargewicht Methylmethacrylat ab, was zu Geruchsbelästigung und zu verschlechterten mechanischen Eigenschaften führt.

Bei der Extrusion von Polyphenylensulfid werden bei zu hoher Temperatur schwefelhaltige organische und anorganische Verbindungen abgespalten, die zu Geruchsbelästigung führen und zu Korrosion der Extrusionswerkzeuge führen kann. Auch werden hierbei niedermolekulare Oligomere und Monomere gebildet und Molekulargewicht abgebaut, was die mechanischen Eigenschaften von Polyphenylensulfid verschlechtert.

Bei der Extrusion von Polyphenylsulfon werden bei zu hoher Temperatur organische Verbindungen abgespalten, vor allem in Gegenwart von Wasser. Auch reduziert sich das Molekulargewicht, wodurch die mechanischen Eigenschaften verschlechtert werden.

Bei der Extrusion von Polyphenylenether werden bei zu hoher Temperatur niedermolekulare organische Verbindungen abgespalten, wobei sich das Molekulargewicht reduziert. Dies führt zu einer Verschlechterung der mechanischen Eigenschaften des Produktes.

Bei der Extrusion von Dien-Kautschuken wie beispielsweise Polybutadien (BR), Naturkautschuk (NR) und synthetisches Polyisopren (IR), Butylkautschuk (IIR), Chlorbutylkautschuk (CIIR), Brombutylkautschuk (BIIR), Styrol-Butadien-Kautschuk (SBR), Polychloropren (CR), Butadien-Acrylnitril-Kautschuk (NBR), teilweise hydrierter Butadien-Acrylnitril-Kautschuk (HNBR) sowie Ethylen-Propylen-Dien-Copolymere (EPDM) bildet sich bei zu hoher Temperatur durch Vernetzung Gel, das zu Verschlechterung von mechanischen Eigenschaften der daraus hergestellten Bauteile führt. Bei Chlor- und Brombutylkautschuk kann unter erhöhter Temperatur korrosives Salzsäure- bzw. Bromwasserstoffgas abgespalten werden, das wiederum die weitere Zersetzung des Polymers katalysiert.

Bei der Extrusion von Kautschukmischungen, die Vulkanisatoren wie z.B. Schwefel oder Peroxide enthalten, werden durch zu hohe Temperaturen zum vorzeitigen Vulkanisieren gebracht. Dies führt dazu, dass aus diesen Kautschukmischungen keine Produkte mehr hergestellt werden können.

Bei der Extrusion von Mischungen aus einem oder mehreren Polymeren bei zu hohen Temperaturen treten jeweils die Nachteile der Extrusion der einzelnen Polymere auf.

Der Teilprozess der Entgasung von Polymeren bei der Herstellung wird auf sogenannten Entgasungsextrudern durchgeführt. Entgasungsextruder sind dem Fachmann im Prinzip bekannt und beispielsweise in [1] beschrieben. Kennzeichnend für Entgasungsextruder sind die sogenannten Entgasungsdome. Dies sind Gehäuse mit Öffnungen, durch die die entstehenden Brüden entweichen können. Verschiedene Entgasungsdome können bekanntlich bei verschiedenen Drücken betrieben werden, wenn zwischen den Entgasungsdomen das Produkt abgestaut wird, so dass es eine Abdichtung zwischen den verschiedenen Drücken bildet.

Die erfindungsgemäß verwendeten Schneckenelemente werden bevorzugt in teilgefüllten Zonen und besonders bevorzugt in den Entgasungszonen eingesetzt.

Ein erfindungsgemäß verwendeter Entgasungsextruder kann auf verschiedene Art mit Produkt beschickt werden, abhängig von der Art, in der das Polymer anfällt. In einer bevorzugten Variante wird der Extruder mit einer flüssigen Phase beschickt, die neben dem Polymer noch Lösungsmittel und ggf. Restmonomere enthalten kann. Die Form, in der Polymere nach der Reaktion und ggf. einer Voreindampfung anfallen, ist dem Fachmann bekannt. Beispiele hierfür sind

- Polystyrol mit Rest-Styrol und evtl. Ethylbenzol, Toluol, Xylol, Butanon oder einem anderen Lösemittel
- Copolymer von Styrol und Acrylnitril mit Rest-Styrol, Rest-Acrylnitril, und evtl. Ethylbenzol, Toluol, Xylol, Butanon oder einem anderen Lösemittel
- Lineares Polyethylen niedriger oder hoher Dichte, verzweigtes Polyethylen mit Lösemittel wie Hexan, technisches Hexan, Propan, Isobutan und Monomeren wie Propylen, Buten-1, Hexen-1, 4-Methylpenten-1, Octen-1 (Prozesse mit Suspensionen sind: CX Prozess von Mitsui Chemicals (Hexan), Hostalen Prozess von Basell (Hexan), Chevron Philips USA (Isobutan), Borstar Prozess von Borealis (Propan) Belgien, und DSM nutzt Hexan in einem Lösungsmittelprozess) Detail dazu sind in [6] (Comparative Analysis of Various Polyethylene Production Technologies, Chem. And Petroleum Eng. Vol. 44, Nos. 7-8, 2008) beschrieben
- Polycarbonat mit Lösemittel, z.B. Chlorbenzol und Methylenchlorid
- Polymethylmethacrylat mit Monomer, d.h. Methylmethacrylat

In einer bevorzugten Variante wird einem flüssig beschickter Entgasungsextruder mit einer sogenannten Rückwärtsentgasung das Produkt zugeführt. Dabei wird eine gegebenenfalls vorgeheizte Polymerlösung in einen Zweischnckenextruder eingebracht und schäumt dort auf. Die Gase werden dann durch die Gänge des Zweischnckenextruders rückwärts zu einem Entgasungsdom abgeführt. Allgemein ist eine derartige Rückwärtsentgasung Stand der Technik und z.B. in [1] auf den Seiten 193-195 beschrieben. Die Konzentration an Polycarbonat der Lösung beträgt in diesem Fall bei dem Eintritt in den Extruder bevorzugt zwischen 55 Masse-% und 95 Masse-%, besonders bevorzugt zwischen 65 Masse-% und 90 Masse-%.

In einer weiteren bevorzugten Variante, einem flüssig beschickten, den Entgasungsextruder das Produkt zuzuführen, besteht in einer Flashverdampfung am Eintritt des Extruders. Bevorzugt wird ein Flash direkt über dem Extruder, so dass die teilentgaste Schmelze direkt auf die Schneckenwel-

len fällt. Die bei dem Flash entstehenden Brüden werden bevorzugt aus einem Abscheidebehälter, der ebenfalls über dem Extruder liegt, mittels einer oder mehrerer Brüdenleitungen abgezogen. Die Temperatur der Polymerlösung beträgt bevorzugt im Bereich von 180°C bis 300°C, besonders bevorzugt zwischen 200°C und 250°C. Der Flash wird bevorzugt in einem Druckbereich zwischen 0,3 bar abs und 6 bar abs betrieben, besonders bevorzugt zwischen 0,5 bar abs und 2 bar abs.

In einer weiteren bevorzugten Variante, einem flüssig beschickten Entgasungsextruder Produkt zuzuführen, besteht in einem Rohrbündel-Wärmetauscher am Eintritt des Extruders, der oberhalb der Wellen des Extruders angeordnet ist, so dass die aus den Rohren austretende teilentgaste Polymerlösung direkt auf die Wellen fallen kann. Zwischen dem Austritt des Rohrbündel-Wärmetauscher und den Extruderwellen befindet sich noch ein Abscheidebehälter, in dem Brüden und Polymerlösung voneinander getrennt werden und der über mindestens einen Auslass für die Brüden verfügt. Die Polymerlösung wird durch eine Eintrittsöffnung am oberen Ende des Fallrohrverdampfers eingeleitet und über einen Verteilerboden einer Vielzahl von Rohren zugeführt, die von außen beheizt werden. Bevorzugt erfolgt die Beheizung über kondensierenden Wasserdampf, einen kondensierenden organischen Wärmeträger oder über einen flüssigen organischen Wärmeträger. Über die Innenoberfläche der Rohre wird die Wärmeenergie zur Verdampfung von Lösungsmittel in die Polycarbonatschmelze eingetragen. Dabei verdampfen Lösungsmittelanteile und bilden ein zweiphasiges Gas-Flüssig-Gemisch aus. So wird gezielt eine Überhitzung der Polymerschmelze vermieden. Das entweichende dampfförmige Lösungsmittel bewirkt eine ständige Durchmischung und Oberflächenerneuerung der Polymerschmelze, was deren effizientere Aufkonzentrierung bewirkt. Es wird auf diese Weise dem Ausdampfextruder eine deutlich höher konzentrierte Polycarbonatschmelze zugeführt, so dass sowohl die Energie-Eintragung als auch die Verweilzeit der Polycarbonatschmelze im Extruder geringer sein können, um die gleiche oder gar höhere Restentgasung der Polycarbonatschmelze zu bewirken. Bevorzugt ist die Konzentration der Polymer-Lösung im Eintritt in den Rohrbündel-Wärmetauscher zwischen 50 und 80 Gew.%. Die Heiztemperatur der Rohre beträgt von 240°C bis 360°C, bevorzugt von 250°C bis 340°C und ganz besonders bevorzugt von 260°C bis 300°C. Die Polymerkonzentration am Eintritt in den Extruder beträgt zwischen 80 und 99 Gew.%, bevorzugt 90 bis 99 Gew.%. Der Druck im Abscheidebehälter beträgt bevorzugt zwischen 0,3 bar abs und 6 bar abs, besonders bevorzugt zwischen 0,5 bar abs und 2 bar abs.

Eine weitere bevorzugte Art, einen flüssig beschickten Entgasungsextruder mit Produkt zu beschicken, besteht in einem Schaumverdampfer, wie er beispielsweise in der EP 1 740 638 für Polycarbonat beschrieben ist. Ein Schaumverdampfer kann aus beispielsweise aus einem Rohrbündel oder aus einer Düsenplatte bestehen. Aus den Öffnungen des Schaumverdampfers schäumt die Polymerschmelze auf und wird bis auf geringe Restgehalte von Restlösemittel befreit.

Dieser Schaumverdampfer ist bevorzugt oberhalb der Wellen des Extruders so angeordnet, dass die aus den Rohren austretende Polymerlösung direkt auf die Wellen fallen kann. Zwischen dem Austritt des Rohrbündel-Wärmetauscher und den Extruderwellen befindet sich noch ein Abscheidebehälter, in dem Brüden und Polymerlösung voneinander getrennt werden und der über mindestens einen Auslass für die Brüden verfügt.

Besonders bevorzugt wird als Polymerlösung eine Polycarbonatlösung eingesetzt.

In diesem Fall beträgt die Konzentration der Polycarbonatlösung im Eintritt des Schaumverdampfers zwischen 90 Gew-% und 99,95 Gew-%. Optional ist der Polycarbonatlösung noch ein Schäumungsmittel wie beispielsweise Stickstoff, CO₂, zugegeben. Der Dampfdruck des Schäumungsmittels gemeinsam mit dem Rest-Lösemittel beträgt 0,1 bis 100 bar, bevorzugt 0,5 bis 60 bar und besonders bevorzugt 1 bis 40 bar. Der Druck im Abscheider beträgt Durch die Öffnungen des Schaumverdampfers wird die Polymerlösung in Teilströme zwischen 0,1 und 20 mbar aufgeteilt. Die Temperatur der Polymerlösung beträgt zwischen 250°C und 340°C. Der Druck im Abscheidebehälter beträgt bevorzugt zwischen 0,1 und 20 mbar.

Fig. 14 zeigt eine bevorzugte Ausführungsform, in der die Schneckenelemente in einem Entgassextruder verwendet werden. In der Zone A wird durch ein Flashrohr 1 die Polycarbonatlösung dem Extruder zugegeben. Die Brüden werden im Entgasungsbehälter 2 von der Polycarbonatlösung getrennt. Zonen C, E, G J und L sind Entgasungszonen. Die dort freiwerdenden Brüden werden in den Entgasungsdomen 3 abgezogen. Zonen B, D, F und H sind Stauzonen, bei denen durch ein abstauendes Element ein Produktpropfen erzeugt wird, der die Einstellung von unterschiedlichen Drücken in den jeweils benachbarten Zonen ermöglicht. In Zone K wird zusätzlich Schleppmittel zugegeben, um die Entgasung in Zone L effektiver zu gestalten. In Zone M wird das Polymer mit einem Seitenstrom mit Additiven vermischt und der Druck für die Filtrierung und Düse, die auf den Extruder folgen, aufgebaut.

Fig. 15 zeigt eine weitere bevorzugte Ausführungsform, in der die Schneckenelemente in einem Entgassextruder verwendet werden. In der Zone A wird durch einen vertikalen Vorwärmer 1 die Polycarbonat-Lösung dem Extruder zugegeben. Die Brüden werden im Entgasungsbehälter 2 von der Polycarbonatlösung getrennt. Zonen C, E, G J und L sind Entgasungszonen. Die dort freiwerdenden Brüden werden in den Entgasungsdomen 3 abgezogen. Zonen B, D, F und H sind Stauzonen, bei denen durch ein abstauendes Element ein Produktpropfen erzeugt wird, der die Einstellung von unterschiedlichen Drücken in den jeweils benachbarten Zonen ermöglicht. In Zone K wird zusätzlich Schleppmittel zugegeben, um die Entgasung in Zone L effektiver zu gestalten. In

Zone M wird das Polymer mit einem Seitenstrom mit Additiven vermischt und der Druck für die Filtrierung und Düse, die auf den Extruder folgen, aufgebaut.

Fig. 16 zeigt eine weitere bevorzugte Ausführungsform, in der die Schneckenelemente in einem Entgasungsextruder verwendet werden, mit einem Schaumverdampfer am Eintritt. In der Zone A wird durch einen Schaumverdampfer 1 die Polycarbonat-Lösung dem Extruder zugegeben. Die Brüden werden im Abscheider 2 von der Polycarbonatlösung getrennt. In den Zonen B, D, F und H wird jeweils Schleppmittel zugegeben und dispergiert. In den Zonen C, E, F, G und J werden die flüchtigen Bestandteile vom Polymer getrennt. In der In Zone K wird das Polymer mit einem Seitenstrom mit Additiven und ggf. weiterem Polymer vermischt und der Druck für die Filtrierung und Düse, die auf den Extruder folgen, aufgebaut.

Ein mit den Schneckenelementen ausgestatteter Zwei- oder Mehrwellenextruder kann bei der Herstellung von Polymeren auch mit Partikeln beschickt werden. In diesem Fall dient ein erfindungsgemäßer Extruder vor allem zum Aufschmelzen, zur Konfektionierung und zum Mischen mit Additiven. Die Form, in der die Polymere nach der Reaktion und ggf. einer Voreindampfung oder Fällung anfallen, sind dem Fachmann bekannt. Beispiele hierfür sind

- Polypropylen, bei dem das Polymer in Form von Pulver nach der letzten Reaktion anfällt
- Polyethylen hoher Dichte aus einem Gasphasen- oder Slurryprozess
- Emulsionspolymerisate wie beispielsweise Acrylnitril-Butadien-Styrol nach der Fällung und ggf. Trocknung

Bei der Aufarbeitung eignet sich ein Doppel- oder Mehrwellenextruder, der mit den Schneckenelementen ausgestattet ist, besonders für Aufgaben mit Entgasung. Besondere Vorteile ergeben sich dabei bei der direkten Aufarbeitung von Recycling -Polyethylenterephthalat aus Flaschenware, die eine Entgasung bei minimaler Temperaturbelastung erfolgt.

Besonders bevorzugt wird das erfindungsgemäße Verfahren bei der Herstellung und der Compoundierung von Polycarbonat angewendet. Hierbei bietet es Vorteile vor allem bei der Farbe des Polycarbonats, bei nicht eingefärbtem Polycarbonat gemessen mit dem Yellowness Index (YI). Die erfindungsgemäß verwendeten Schneckenelemente werden hierbei besonders bevorzugt in der Entgasungszone eingesetzt.

Für das erfindungsgemäße Verfahren geeignete Diphenole zur Herstellung von Polycarbonat sind im Stand der Technik vielfach beschrieben.

Geeignete Diphenole sind beispielsweise Hydrochinon, Resorcin, Dihydroxydiphenyl, Bis-(hydroxyphenyl)-alkane, Bis(hydroxy-phenyl)-cycloalkane, Bis-(hydroxyphenyl)-sulfide, Bis-(hydroxyphenyl)-ether, Bis-(hydroxyphenyl)-ketone, Bis-(hydroxyphenyl)-sulfone, Bis-(hydroxyphenyl)-sulfoxide, α,α' -Bis-(hydroxyphenyl)-diisopropylbenzole, sowie deren alkylierte, kern-
5 alkylierte und kernhalogenierte Verbindungen.

Bevorzugte Diphenole sind 4,4'-Dihydroxydiphenyl, 2,2-Bis-(4-hydroxyphenyl)-1-phenyl-propan, 1,1-Bis-(4-hydroxyphenyl)-phenyl-ethan, 2,2-Bis-(4-hydroxyphenyl)propan, 2,4-Bis-(4-hydroxyphenyl)-2-methylbutan, 1,3-Bis-[2-(4-hydroxyphenyl)-2-propyl]benzol (Bisphenol M), 2,2-Bis-(3-methyl-4-hydroxyphenyl)-propan, Bis-(3,5-dimethyl-4-hydroxyphenyl)-methan, 2,2-Bis-(3,5-dimethyl-4-hydroxyphenyl)-propan, Bis-(3,5-dimethyl-4-hydroxyphenyl)-sulfon, 2,4-Bis-(3,5-dimethyl-4-hydroxyphenyl)-2-methylbutan, 1,3-Bis-[2-(3,5-dimethyl-4-hydroxyphenyl)-2-propyl]-benzol und 1,1-Bis-(4-hydroxyphenyl)-3,3,5-trimethylcyclohexan (Bisphenol TMC).
10

Besonders bevorzugte Diphenole sind 4,4'-Dihydroxydiphenyl, 1,1-Bis-(4-hydroxyphenyl)-phenyl-ethan, 2,2-Bis-(4-hydroxyphenyl)-propan, 2,2-Bis(3,5-dimethyl-4-hydroxyphenyl)-propan, 1,1-Bis-(4-hydroxyphenyl)-cyclohexan und 1,1-Bis-(4-hydroxyphenyl)-3,3,5-trimethylcyclohexan (Bisphenol TMC).
15

Im Falle der Homopolycarbonate wird nur ein Diphenol eingesetzt, im Falle der Copolycarbonate werden mehrere Diphenole eingesetzt, wobei selbstverständlich die verwendeten Diphenole, wie auch alle anderen der Synthese zugesetzten Chemikalien und Hilfsstoffe mit den aus ihrer eigenen
20 Synthese, Handhabung und Lagerung stammenden Verunreinigungen kontaminiert sein können, obwohl es wünschenswert ist, mit möglichst sauberen Rohstoffen zu arbeiten.

Die zur Regelung des Molekulargewichtes benötigten monofunktionellen Kettenabbrecher, wie beispielsweise Phenol oder Alkylphenole, insbesondere Phenol, p-tert. Butylphenol, iso-Octylphenol, Cumylphenol, deren Chlorkohlensäureester oder Säurechloride von Monocarbonsäuren bzw. Gemischen aus diesen Kettenabbrechern, werden entweder mit dem Bisphenolat bzw. den Bisphenolaten der Reaktion zugeführt oder aber zu jedem beliebigen Zeitpunkt der Synthese zuge-
25 setzt, solange im Reaktionsgemisch noch Phosgen oder Chlorkohlensäureendgruppen vorhanden sind bzw., im Falle der Säurechloride und Chlorkohlensäureester als Kettenabbrecher, solange genügend phenolische Endgruppen des sich bildenden Polymers zur Verfügung stehen. Vorzugsweise werden der oder die Kettenabbrecher jedoch nach der Phosgenierung an einem Ort oder zu einem Zeitpunkt zugegeben, wo kein Phosgen mehr vorliegt, aber der Katalysator noch nicht do-
30 siert wurde. Alternativ können sie auch vor dem Katalysator, mit dem Katalysator zusammen oder parallel zudosiert werden.

In der gleichen Weise werden ggf. Verzweiger oder Verzweigmischungen der Synthese zugesetzt. Üblicherweise werden Verzweiger jedoch vor den Kettenabbrechern zugesetzt. In der Regel werden Trisphenole, Quarterphenole oder Säurechloride von Tri- oder Tetracarbonsäuren oder Gemische der Polyphenole oder der Säurechloride verwendet. Einige der als Verzweiger geeignete

5 Verbindungen mit drei oder mehr als drei phenolischen Hydroxylgruppen sind beispielsweise Phloroglucin, 4,6-Dimethyl-2,4,6-tri-(4-hydroxyphenyl)-hepten-2, 4,6-Dimethyl-2,4,6-tri-(4-hydroxyphenyl)-heptan, 1,3,5-Tri-(4-hydroxyphenyl)-benzol, 1,1,1-Tri-(4-hydroxyphenyl)-ethan, Tri-(4-hydroxyphenyl)-phenylmethan, 2,2-Bis-(4,4-bis-(4-hydroxyphenyl)-cyclohexyl)-propan, 2,4-Bis-(4-hydroxyphenyl-isopropyl)-phenol, Tetra-(4-hydroxyphenyl)-methan.

10 Einige der sonstigen trifunktionellen Verbindungen sind 2,4-Dihydroxybenzoesäure, Trimesinsäure, Cyanurchlorid und 3,3-Bis-(3-methyl-4-hydroxyphenyl)-2-oxo-2,3-dihydroindol.

Bevorzugte Verzweiger sind 3,3-Bis-(3-methyl-4-hydroxyphenyl)-2-oxo-2,3-dihydroindol und 1,1,1-Tri-(4-hydroxyphenyl)-ethan.

Die in der Phasengrenzflächensynthese von Polycarbonat bevorzugt verwendeten Katalysatoren

15 sind tertiäre Amine, insbesondere Triethylamin, Tributylamin, Trioctylamin, N-Ethylpiperidin, N-Methylpiperidin, N-i/n-Propylpiperidin, quartäre Ammoniumsalze wie Tetrabutylammonium-, Tributylbenzylammonium-, Tetraethylammonium-hydroxid, -chlorid, -bromid, -hydrogensulfat, -tetrafluoroborat, sowie die den Ammoniumverbindungen entsprechenden Phosphoniumverbindungen. Diese Verbindungen sind als typische Phasengrenzflächenkatalysatoren in der Literatur be-

20 schrieben, kommerziell erhältlich und dem Fachmann geläufig. Die Katalysatoren können einzeln, im Gemisch oder auch neben- und nacheinander der Synthese zugesetzt werden, gegebenenfalls auch vor der Phosgenierung, bevorzugt sind jedoch Dosierungen nach der Phosgeneintragung, es sei denn, es werden eine Oniumverbindung oder ein Gemisch aus Oniumverbindungen als Katalysatoren verwendet. In diesem Fall ist eine Zugabe vor der Phosgendosierung bevorzugt. Die Dosie-

25 rung des Katalysators oder der Katalysatoren kann in Substanz, in einem inerten Lösungsmittel, vorzugsweise dem Lösungsmittel der Polycarbonatsynthese oder auch als wässrige Lösung, im Falle der tert. Amine dann als deren Ammoniumsalze mit Säuren, bevorzugt Mineralsäuren, insbesondere Salzsäure, erfolgen. Bei Verwendung mehrerer Katalysatoren oder der Dosierung von Teilmengen der Katalysatorgesamtmenge können natürlich auch unterschiedliche Dosierungswei-

30 sen an verschiedenen Orten oder zu verschiedenen Zeiten vorgenommen werden. Die Gesamtmenge der verwendeten Katalysatoren liegt bei 0,001 bis 10 Mol-% bezogen auf Mole eingesetzte Bisphenole, bevorzugt 0,01 bis 8 Mol-%, besonders bevorzugt 0,05 bis 5 Mol-%.

Die Durchführung der Polycarbonatsynthese kann kontinuierlich oder diskontinuierlich geschehen. Die Reaktion kann daher in Rührkesseln, Rohrreaktoren, Umpumpreaktoren oder Rührkesselkaskaden oder Kombinationen daraus erfolgen. Dabei ist durch Verwendung der bereits erwähnten Mischorgane sicherzustellen, dass wässrige und organische Phase sich möglichst erst dann entmischen, wenn das Synthesegemisch ausreagiert hat, d.h. kein verseifbares Chlor von Phosgen oder Chlorkohlensäureestern mehr enthält.

Nach Eintrag des Phosgens kann es vorteilhaft sein, eine gewisse Zeit die organische Phase und die wässrige Phase zu durchmischen, bevor gegebenenfalls Verzweiger, sofern dieser nicht gemeinsam mit dem Bisphenolat dosiert wird, Kettenabbrecher und Katalysator zugegeben werden. Eine derartige Nachreaktionszeit kann nach jeder Dosierung von Vorteil sein. Diese Nachrührzeiten liegen bei 10 Sekunden bis 60 Minuten, bevorzugt 30 Sekunden bis 40 Minuten, besonders bevorzugt 1 bis 15 Minuten.

Die organische Phase kann aus einem Lösungsmittel oder Mischungen mehrerer Lösungsmittel bestehen. Geeignete Lösungsmittel sind chlorierte Kohlenwasserstoffe (aliphatische und/oder aromatische), bevorzugt Dichlormethan, Trichlorethylen, 1,1,1-Trichlorethan, 1,1,2-Trichlorethan und Chlorbenzol und deren Gemische. Es können jedoch auch aromatische Kohlenwasserstoffe wie Benzol, Toluol, m/p/o-Xylol oder aromatische Ether wie Anisol allein, im Gemisch mit oder zusätzlich zu chlorierten Kohlenwasserstoffen verwendet werden. Eine andere Ausführungsform der Synthese verwendet Lösungsmittel, welche Polycarbonat nicht lösen, sondern nur anquellen. Es können daher auch Nichtlösungsmittel für Polycarbonat in Kombination mit Lösungsmitteln verwendet werden. Dabei können als Lösungsmittel auch in der wässrigen Phase lösliche Lösungsmittel wie Tetrahydrofuran, 1,3/1,4-Dioxan oder 1,3-Dioxolan verwendet werden, wenn der Lösungsmittelpartner die zweite organische Phase bildet.

Das ausreagierte, höchstens noch Spuren (<2 ppm) an Chlorkohlensäureestern enthaltende mindestens zweiphasige Reaktionsgemisch lässt man zur Phasentrennung absitzen. Die wässrige alkalische Phase wird evtl. ganz oder teilweise zurück in die Polycarbonatsynthese als wässrige Phase geleitet oder aber der Abwasseraufarbeitung zugeführt, wo Lösungsmittel- und Katalysatoranteile abgetrennt und rückgeführt werden. In einer anderen Variante der Aufarbeitung wird nach Abtrennung der organischen Verunreinigungen, insbesondere von Lösungsmitteln und Polymerresten, und gegebenenfalls nach der Einstellung eines bestimmten pH-Wertes, z.B. durch Natronlaugezugabe, das Salz abgetrennt, welches z.B. der Chloralkalielektrolyse zugeführt werden kann, während die wässrige Phase gegebenenfalls wieder der Synthese zugeführt wird.

Die organische, das Polycarbonat enthaltende Phase kann nun von allen Kontaminationen alkalischer, ionischer oder katalytischer Art gereinigt werden. Die organische Phase enthält auch nach einem oder mehreren Absetzvorgängen noch Anteile der wässrigen alkalischen Phase in feinen Tröpfchen sowie den Katalysator, in der Regel ein tert. Amin. Die Absetzvorgänge können gegebenenfalls dadurch unterstützt werden, dass die organische Phase Absetzkessel, Rührkessel, Coalescer oder Separatoren bzw. Kombinationen daraus durchläuft, wobei gegebenenfalls Wasser in jedem oder einigen Trennschritten unter Umständen unter Verwendung von aktiven oder passiven Mischorganen zudosiert werden kann.

Nach dieser groben Abtrennung der alkalischen, wässrigen Phase wird die organische Phase ein oder mehrmals mit verdünnten Säuren, Mineral-, Carbon- Hydroxycarbon- und/oder Sulfonsäuren gewaschen. Bevorzugt sind wässrige Mineralsäuren insbesondere Salzsäure, phosphorige Säure und Phosphorsäure oder Mischungen dieser Säuren. Die Konzentration dieser Säuren sollte im Bereich 0,001 bis 50 Gew.-%, bevorzugt 0,01 bis 5 Gew.-% liegen.

Weiterhin wird die organische Phase mit entsalztem oder destilliertem Wasser wiederholt gewaschen. Die Abtrennung der, gegebenenfalls mit Teilen der wässrigen Phase dispergierten, organischen Phase nach den einzelnen Waschschritten geschieht mittels Absetzkessel, Rührkessel, Coalescer oder Separatoren bzw. Kombinationen daraus, wobei das Waschwasser zwischen den Waschschritten gegebenenfalls unter Verwendung von aktiven oder passiven Mischorganen zudosiert werden kann.

Zwischen diesen Waschschritten oder auch nach der Wäsche können ggf. Säuren, vorzugsweise gelöst im Lösungsmittel, welches der Polymerlösung zugrunde liegt, zugegeben werden. Bevorzugt werden hier Chlorwasserstoffgas und Phosphorsäure oder phosphorige Säure verwendet, die ggf. auch als Mischungen eingesetzt werden können.

Die nach dem erfindungsgemäßen Verfahren erhaltenen plastische Massen können zur Veränderung von Eigenschaften mit den üblichen Additiven und Zusatzstoffen (z.B. Hilfs- und Verstärkungsstoffe) versehen werden. Der Zusatz von Additiven und Zuschlagsstoffen dient der Verlängerung der Nutzungsdauer (z.B. Hydrolyse- oder Abbaustabilisatoren), der Verbesserung der Farbstabilität (z.B. Thermo- und UV-Stabilisatoren), der Vereinfachung der Verarbeitung (z.B. Entformer, Fließhilfsmittel), der Verbesserung der Gebrauchseigenschaften (z.B. Antistatika), der Verbesserung des Flammenschutzes, der Beeinflussung des optischen Eindrucks (z.B. organische Farbmittel, Pigmente) oder der Anpassung der Polymereigenschaften an bestimmte Belastungen (Schlagzähmodifikatoren, fein zerteilte Mineralien, Faserstoffe, Quarzmehl, Glas- und Kohlenstofffasern).

Die folgenden Beispiele dienen der exemplarischen Erläuterung der Erfindung und sind nicht als Beschränkung aufzufassen.

Das Druckaufbauvermögen, der Leistungsbedarf und die maximale Temperaturerhöhung von Schneckenelementen mit einem zweigängigen Erdmenger-Schneckenprofil nach dem Stand der Technik und von erfindungsgemäß verwendeten Schneckenelementen mit neuartigen Schneckenprofilen wurden mit Hilfe der Strömungssimulation berechnet.

Wie der Fachmann weiß und wie es in [1] auf den Seiten 129 bis 146 nachzulesen ist, kann das Betriebsverhalten von Schneckenelementen wie Förder-, Knet- und Mischelementen durch eine Druckdifferenz-Durchsatz- und durch eine Leistungs-Durchsatz-Charakteristik beschrieben werden. Um eine Übertragbarkeit auf unterschiedliche Extrudergrößen zu erleichtern, werden die Größen Druckdifferenz, Leistung und Durchsatz häufig in ihrer dimensionslosen Form verwendet. Im Fall einer plastischen Masse mit Newtonschem Fließverhalten ergibt sich ein linearer Zusammenhang sowohl zwischen Druckdifferenz und Durchsatz als auch zwischen Leistung und Durchsatz. In der Druckdifferenz-Durchsatz-Charakteristik werden die Achsenschnittpunkte mit A1 und A2 gekennzeichnet ([1], Seite 133). Der Betriebspunkt A1 kennzeichnet den Eigendurchsatz eines Schneckenelements. Der Betriebspunkt A2 kennzeichnet das Druckaufbauvermögen ohne Durchsatz. In der Leistungs-Durchsatz-Charakteristik werden die Achsenschnittpunkte mit B1 und B2 gekennzeichnet ([1], Seite 136). Der Punkt B1 ist der sogenannte Turbinenpunkt. Ist der Durchsatz größer als B1, so wird Leistung an die Schneckenwellen abgegeben. Der Betriebspunkt B2 kennzeichnet den Leistungsbedarf ohne Durchsatz.

In einer Druckaufbauzone kann nur ein Teil der eingebrachten Leistung in Strömungsleistung überführt werden. Der Rest der eingebrachten Leistung dissipiert. Die Strömungsleistung berechnet sich als Produkt von Durchsatz und Druckdifferenz. Wie der Fachmann leicht erkennt, ist die Strömungsleistung an den Achsenschnittpunkten A1 und A2 jeweils gleich 0, da entweder die Druckdifferenz gleich 0 (A1) oder der Durchsatz gleich 0 (A2) ist. Im Bereich zwischen A1 und A2 sind sowohl die Druckdifferenz als auch der Durchsatz größer 0 und es ergibt sich eine positive Strömungsleistung. Dividiert man die Strömungsleistung eines Betriebspunkts gegeben durch einen Durchsatz durch die zu diesem Betriebspunkt von den Schneckenwellen abgegebene Leistung, so erhält man den Wirkungsgrad zum Druckaufbau an diesem Betriebspunkt. Durch Ableitung des Wirkungsgrads nach dem Durchsatz und anschließende Nullstellensuche lässt sich der maximale Wirkungsgrad eines Schneckenelements finden.

Die Strömungsberechnung innerhalb eines Paares von Schneckenelementen wurde für das Druckaufbauvermögen und den Leistungsbedarf mit der kommerziell erhältlichen Software Fluent in der

Version 6.3.26 und für die maximale Temperaturerhöhung mit der Open Source Software Open-FOAM in der Version 1.5 durchgeführt. Eine Einführung zur Strömungssimulation von Zweiwel-
lenschnecken findet sich zum Beispiel in [1], Seiten 147 - 168.

5 In der Strömungssimulation wurden jeweils Schneckenelemente untersucht, deren Länge gleich der halben Steigung ist. Diese Schneckenelemente wurden in der Strömungssimulation an ihrem axialen Anfang und ihrem axialen Ende mit periodischen Randbedingungen versehen, um einen hydrodynamisch eingelaufen Strömungszustand zu berechnen.

10 Als plastische Masse wurde ein Fluid mit Newtonschem Fließverhalten verwendet. Als Stoffdaten wurden typische Werte verwendet, wie sie z.B. aus dem Buch Polymeraufbereitung 2002, VDI-K, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2002 auf der Seite 159 entnommen werden können. Die Dichte der plastischen Masse beträgt 1000 kg/m^3 . Die Viskosität der plastischen Masse beträgt $1000 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Die Wärmeleitfähigkeit der plastischen Masse beträgt $0,2 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Die Wärmekapazität der plastischen Masse beträgt $2000 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$.

Beispiele

Vergleichsbeispiel 1:

Die Geometrie des Förderelements nach dem Stand der Technik kann aus den Figuren 17a bis 17c entnommen werden.

Die Figur 17a zeigt im Querschnitt ein Viertel eines Schneckenprofils eines Schneckenelements mit einem Erdmenger-Schneckenprofil nach dem Stand der Technik. In der Mitte der Figur 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 dimensionslose Schneckenaußenradius RA wird durch eine dünne, gestrichelte Linie charakterisiert, dessen Zahlenwert rechts unten in der Figur auf vier signifikante Stellen angegeben wird. Rechts neben der Figur werden zu jedem Kreisbogen der Radius R, der Winkel α 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. Das Schneckenprofil ist spiegelsymmetrisch zur x- und y-Achse, sodass sich das gesamte Schneckenprofil durch Spiegelung des gezeigten Viertels an der x- und y-Achse ergibt.

Schneckenprofile, bei denen ein Viertel des Schneckenprofils aus insgesamt n Kreisbögen besteht, werden nachfolgend als n-Kreis-Schneckenprofile bezeichnet.

Die Nummerierung der Kreisbögen eines n-Kreis-Schneckenprofils in der Figur 17a erfolgt derart, dass die ersten $n/2$ Kreisbögen in aufsteigender Reihenfolge 1 bis $n/2$ durchnummeriert werden und die letzten $n/2$ Kreisbögen in absteigender Reihenfolge $(n/2)'$ bis $1'$ durchnummeriert werden. Der Kreisbogen $n/2$ und der Kreisbogen $(n/2)'$ berühren jeweils die Gerade FP. Jeder Kreisbogen i des Schneckenprofils korrespondiert mit einem Kreisbogen i' des Schneckenprofils. Der Radius eines Kreisbogens i' berechnet sich aus der Differenz von Achsabstand minus des Radius des Kreisbogens i, also $R_{i'} = A - R_i$. Der Winkel eines Kreisbogens i' ist gleich dem Winkel eines Kreisbogens i, also $\alpha_{i'} = \alpha_i$. Daraus folgt, dass ein Kammbereich mit einem Kreisbogen j gleich einem Nutbereich mit einem Kreisbogen j' ist. Daraus folgt ferner, dass ein Nutbereich mit einem Kreisbogen j gleich einem Kammbereich mit einem Kreisbogen j' ist.

Die Figur 17a zeigt ein Viertel eines zweigängigen Erdmenger-Schneckenprofils gemäß Stand der Technik, welches aus 4 Kreisbögen aufgebaut ist. Charakteristisch für Erdmenger-Schneckenprofile ist, dass der Radius $R_1=RA$, der Radius $R_2=0$, der Radius $R_2'=A=1$ und der Radius $R_1'=A-RA=RI$ ist. Die Winkel α_1 , α_2 , α_2' und α_1' hängen vom Schneckenaußenradius und vom Achsabstand ab. Der Winkel α_1 ist gleich dem halben Kammwinkel eines zweigängigen Erdmenger-Schneckenprofils. Das Erdmenger-Schneckenprofil weist an der Stelle des Radius R_2 einen Knick auf. Die „Größe des Knicks“ ist durch den Winkel α_2 gegeben, d.h. der Übergang vom Kreisbogen 1 auf den Kreisbogen 2' erfolgt durch Drehung um den Winkel α_2 .

In der Figur 17a beträgt der dimensionslose Schneckenaußenradius $RA = 0,6069$. Der halbe Kammwinkel ist $\alpha_1=0,1829$.

Die Figur 17b zeigt ein Paar von Schneckenelementen, ausgebildet als Fördererlemente, deren Schneckenprofil auf Figur 17a basiert. Der Achsabstand der beiden Fördererlemente beträgt dimensionsbehaftet $a=26,2$ mm und dimensionslos $A=a/a=1$. Das Spiel zwischen den beiden Fördererlementen beträgt dimensionsbehaftet $s=0,2$ mm und dimensionslos $S=s/a=0,0076$. Das Spiel zwischen den beiden Fördererlementen und dem Gehäuse beträgt dimensionsbehaftet $d=0,1$ mm und dimensionslos $D=d/a=0,0038$. Die Steigung der Fördererlemente beträgt dimensionsbehaftet $t=28,0$ mm und dimensionslos $T=t/a=1,0687$. Die Länge der Fördererlemente beträgt dimensionsbehaftet $l=14,0$ mm und dimensionslos $L=l/a=0,5344$, was einer Drehung der Schneckenprofile um einen Winkel von π entspricht. Das Gehäuse wird durch dünne, durchgezogene Linien links und rechts der beiden Fördererlemente dargestellt. Der Gehäusedurchmesser beträgt dimensionsbehaftet $dg=31,8$ mm und dimensionslos $DG=dg/a=2*RA=1,2137$. Auf den Oberflächen der beiden Fördererlemente ist ferner ein mögliches Rechengitter dargestellt, welches zur Berechnung der Strömung in Zwei- und Mehrwellenextrudern verwendet werden kann. Die Anzahl der Gitterelemente in Umfangsrichtung ist gleich 180 und in Axialrichtung gleich 90.

Die Figur 17c zeigt eine Draufsicht auf das Paar von Schneckenelementen nach Figur 17b. Das freie Volumen zwischen den Fördererlementen und dem Gehäuse ist mit einem möglichen Rechengitter versehen, welches zur Berechnung der Strömung in Zwei- und Mehrwellenextrudern verwendet werden kann. Die Anzahl der Gitterelemente in Umfangsrichtung ist gleich 180 und in Radialrichtung gleich 10. Die Drehachsen der beiden Schneckenelemente sind durch kleine Kreise markiert.

Im Gegensatz zu den in den Figuren 17b und 17c gezeigten Rechengittern wird für die Berechnung der Druckdifferenz-Durchsatz-Charakteristik und der Leistungs-Durchsatz-Charakteristik ein Rechengitter verwendet, das 320 Gitterelemente in Umfangsrichtung, 160 Gitterelemente in Axial-

richtung und 12 Gitterelemente in Radialrichtung aufweist. Die Achsenabschnitte der Druckdifferenz-Durchsatz-Charakteristik wurden wie folgt berechnet: $A1=0,263$ und $A2=4250$. Die Achsenabschnitte der Leistungs-Durchsatz-Charakteristik wurden wie folgt berechnet: $B1=1,033$, $B2=4390$. Der maximale Wirkungsgrad beim Druckaufbau ergibt sich zu 7,32%.

- 5 Für die Berechnung der maximalen Temperaturerhöhung wurde das Rechengitter nach den Figuren 17b und 17c verwendet. Das Geschwindigkeits- und Druckfeld wurde mit einem Nullvektor initialisiert. Der Druckgradient längs den Drehachsen wurde auf 0 gesetzt, so dass sich als Durchsatz der Eigendurchsatz $A1$ einstellt. Das Temperaturfeld wurde mit 300°C initialisiert. Sowohl die Gehäusewand als auch die Oberfläche der beiden Fördererlemente wurde als adiabat angenommen.
- 10 Die Entwicklung des Temperaturfeldes wurde über zwei Umdrehungen des Extruders verfolgt. Die Zeitschrittweite betrug $0,000925926$ s. Die Drehzahl des Doppelschneckenextruders betrug 360 U/min.

- Nach zwei Umdrehungen wurde die maximale Temperatur im Rechengbiet erreicht. Die maximale Temperatur liegt in praktisch gleicher Temperaturhöhe auf den Oberflächen der beiden Fördererlemente und zwar in den Kammbereichen, die gerade das Gehäuse abreinigen. Die maximale
- 15 Temperatur beträgt laut Berechnung etwa 400°C .

Beispiel 2:

- Die Geometrie eines erfindungsgemäß verwendeten Fördererlements geht aus den Figuren 18a bis
- 20 18c hervor.

- Die Figur 18a zeigt im Querschnitt ein Viertel eines Schneckenprofils eines erfindungsgemäß verwendeten Schneckenelements. Der Aufbau der Figur ist analog der Figur 17a und bereits dort ausführlich beschrieben worden. In der Figur 18a besteht das Viertel des Schneckenprofils aus 2
- 25 Kreisbögen. Charakteristisch für dieses Schneckenprofil ist ferner, dass das Schneckenprofil keinen Knick enthält und dass der Kammwinkel des Kammbereichs, also eines Bereich der auf dem Schneckenaußenradius liegt, gleich 0 ist. Der dimensionslose Schneckenaußenradius beträgt $RA=0,6069$.

- Die Figur 18b zeigt ein Paar von Schneckenelementen, ausgebildet als Fördererlemente, deren Schneckenprofil auf Figur 18a basiert. Der Achsabstand der beiden Fördererlemente beträgt dimensionsbehaftet $a=26,2$ mm und dimensionslos $A=a/a=1$. Das Spiel zwischen den beiden Förderer-
- 30 elementen beträgt dimensionsbehaftet $s=0,2$ mm und dimensionslos $S=s/a=0,0076$. Das Spiel zwi-

schen den beiden Förderelementen und dem Gehäuse beträgt dimensionsbehaftet $d=0,1$ mm und dimensionslos $D=d/a=0,0038$. Die Steigung der Förderelemente beträgt dimensionsbehaftet $t=28,0$ mm und dimensionslos $T=t/a=1,0687$. Die Länge der Förderelemente beträgt dimensionsbehaftet $l=14,0$ mm und dimensionslos $L=l/a=0,5344$, was einer Drehung der Schneckenprofile um einen Winkel von π entspricht. Das Gehäuse wird durch dünne, durchgezogene Linien links und rechts der beiden Förderelemente dargestellt. Der Gehäusedurchmesser beträgt dimensionsbehaftet $d_g=31,8$ mm und dimensionslos $DG=d_g/a=2 \cdot RA=1,2137$. Auf den Oberflächen der beiden Förderelemente ist ferner ein mögliches Rechengitter dargestellt, welches zur Berechnung der Strömung in Zwei- und Mehrwellenextrudern verwendet werden kann. Die Anzahl der Gitterelemente in Umfangsrichtung ist gleich 180 und in Axialrichtung gleich 90.

Die Figur 18c zeigt eine Draufsicht auf das Paar von Schneckenelementen nach Figur 18b. Das freie Volumen zwischen den Förderelementen und dem Gehäuse ist mit einem möglichen Rechengitter versehen, welches zur Berechnung der Strömung in Zwei- und Mehrwellenextrudern verwendet werden kann. Die Anzahl der Gitterelemente in Umfangsrichtung ist gleich 180 und in Radialrichtung gleich 10. Die Drehachsen der beiden Schneckenelemente sind durch kleine Kreise markiert.

Im Gegensatz zu den in den Figuren 18b und 18c gezeigten Rechengittern wird für die Berechnung der Druckdifferenz-Durchsatz-Charakteristik und der Leistungs-Durchsatz-Charakteristik ein Rechengitter verwendet, das 320 Gitterelemente in Umfangsrichtung, 160 Gitterelemente in Axialrichtung und 12 Gitterelemente in Radialrichtung aufweist. Die Achsenabschnitte der Druckdifferenz-Durchsatz-Charakteristik wurden wie folgt berechnet: $A1=0,245$ und $A2=4530$. Die Achsenabschnitte der Leistungs-Durchsatz-Charakteristik wurden wie folgt berechnet: $B1=0,803$, $B2=3640$. Der maximale Wirkungsgrad beim Druckaufbau ergibt sich zu 9,05%.

Überraschender Weise zeigt sich, dass das Druckaufbauvermögen des erfindungsgemäß verwendeten Förderelements trotz der minimierten, im dreidimensionalen nur linienförmigen Kammbereiche um etwa 6,6% größer ist als bei einem Förderelement mit zweigängigem Erdmenger-Schneckenprofil nach dem Stand der Technik aus Beispiel 1. Mit einem erfindungsgemäß verwendeten Förderelement lässt sich daher ein gewünschter oder erforderlicher Druckaufbau in einer kürzeren Druckaufbauzone bewerkstelligen, wodurch sich der Extruderaufbau entweder verkürzt oder sich bei konstanter Extruderlänge andere Verfahrenszonen wie beispielsweise eine Entgasungszone oder eine Mischzone verlängern und sich somit deren Wirkung auf die plastische Masse verbessert.

Zusätzlich zeigt sich, dass der Leistungsparameter B2 beim erfindungsgemäß verwendeten Förder-
element etwa 17% niedriger ist als bei einem Förderelement mit zweigängigem Erdmenger-
Schneckenprofil nach dem Stand der Technik aus Beispiel 1. Ein niedrigerer Energieeintrag ver-
ringert die Temperaturerhöhung und als Folge daraus auch die unerwünschte Polymerschädigung.

- 5 Für die Berechnung der maximalen Temperaturerhöhung wurde das Rechengitter nach den Figuren
17b und 17c verwendet. Das Geschwindigkeits- und Druckfeld wurde mit einem Nullvektor initia-
lisiert. Der Druckgradient längs den Drehachsen wurde auf 0 gesetzt, so dass sich als Durchsatz
der Eigendurchsatz A1 einstellt. Das Temperaturfeld wurde mit 300°C initialisiert. Sowohl die
Gehäusewand als auch die Oberfläche der beiden Förderelemente wurde als adiabat angenommen.
- 10 Die Entwicklung des Temperaturfeldes wurde über zwei Umdrehungen des Extruders verfolgt. Die
Zeitschrittweite betrug 0,000925926 s. Die Drehzahl des Doppelschneckenextruders betrug 360
U/min.

- Nach zwei Umdrehungen wurde die maximale Temperatur im Rechenggebiet gesucht. Die maxima-
le Temperatur liegt in praktisch gleicher Temperaturhöhe auf den Oberflächen der beiden Förder-
elemente und zwar auf einer Oberfläche knapp neben den minimierten Kambbereichen, die sich
15 gerade im Zwickelbereich befinden, also in dem Bereich, in dem sich die beiden Gehäusebohrun-
gen gegenseitig durchdringen. Die maximale Temperatur beträgt laut Berechnungen etwa 365°C.
Die maximale Oberflächentemperatur auf den minimierten Kambbereichen, die gerade das Ge-
häuse abreinigen beträgt laut Berechnungen etwa 340°C.

- 20 Im Vergleich mit dem Förderelement nach dem Stand der Technik aus Beispiel 1 wird mit dem
erfindungsgemäß verwendeten Förderelement aus Beispiel 2 eine um etwa 35°C niedrigere Spit-
zentemperatur erreicht. Bezogen auf die Kambbereiche ergibt sich sogar eine Temperaturdifferenz
von etwa 60°C. Unter der Annahme, dass sich die Reaktionsgeschwindigkeitskonstante einer Po-
lymerschädigungsreaktion pro 10°C Temperaturerhöhung verdoppelt, ergibt sich im Bereich der
25 Schneckenkämme des Förderelements nach Beispiel 1 eine etwa 50-mal schnellere Polymerschä-
digung wie im Bereich der Schneckenkämme des Förderelements nach Beispiel 2.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Extrusion von plastischen Massen unter Verwendung von Schneckenelemente für mehrwellige Schneckenmaschinen mit paarweise gleichsinnigen und paarweise exakt abschabenden Schneckenwellen, mit zwei oder mehr Schneckengängen, dadurch gekennzeichnet, dass die Schneckenprofile im gesamten Querschnitt jeweils durch eine stetig differenzierbare Profilkurve darstellbar sind.
2. Verfahren gemäß Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass sich das Schneckenprofil im gesamten Querschnitt aus vier oder mehr Kreisbögen zusammensetzt, wobei die Kreisbögen an ihren Anfangs- und Endpunkten tangential ineinander übergehen.
3. Verfahren gemäß Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass
- ein erzeugendes und ein erzeugtes Schneckenprofil einen Achsabstand a voneinander haben,
 - die Anzahl der Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils n ist,
 - der Außenradius r_a des erzeugenden Schneckenprofils größer als 0 ($r_a > 0$) und kleiner dem Achsabstand ($r_a < a$) ist,
 - der Kernradius r_i des erzeugenden Schneckenprofils größer als 0 ($r_i > 0$) und kleiner oder gleich r_a ($r_i \leq r_a$) ist,
 - alle Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils tangential ineinander übergehen,
 - die Kreisbögen ein geschlossenes Schneckenprofil bilden, d.h. die Summe der Winkel α_j aller Kreisbögen j gleich 2π ist, wobei π die Kreiszahl ($\pi \approx 3,14159$) ist,
 - die Kreisbögen ein konvexes Schneckenprofil bilden,
 - 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 in einem Punkt P_A berührt,
- mindestens einer der Kreisbögen des erzeugenden Schneckenprofils den Kernradius r_i des erzeugenden Schneckenprofils in einem Punkt P_i berührt,
- 5 - die Anzahl der Kreisbögen n' des erzeugten Schneckenprofils gleich der Anzahl der Kreisbögen n des erzeugenden Schneckenprofils ist,
- der Außenradius r_a' des erzeugten Schneckenprofils gleich der Differenz Achsabstand minus Kernradius r_i des erzeugenden Schneckenprofils ist ($r_a' = a - r_i$),
- 10 - der Kernradius r_i' des erzeugten Schneckenprofils gleich der Differenz Achsabstand minus Außenradius r_a des erzeugenden Schneckenprofils ist ($r_i' = a - r_a$),
- der Winkel α_j' des j' -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils gleich dem Winkel α_j des j -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils ist, wobei j und j' ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich von 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen n beziehungsweise n' durchlaufen,
- 15 - die Summe von Radius $r_{j'}$ des j' -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils und Radius r_j des j -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils gleich dem Achsabstand a ist, wobei j und j' ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen n beziehungsweise n' durchlaufen,
- 20 - der Mittelpunkt des j' -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils einen Abstand von dem Mittelpunkt des j -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils besitzt, der gleich dem Achsabstand a ist, und der Mittelpunkt des j' -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils einen Abstand von dem Drehpunkt des erzeugten Schneckenprofils besitzt, der gleich dem Abstand des Mittelpunkts des j -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils von dem Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils ist, und die Verbindungslinie zwischen dem Mittelpunkt des j' -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils und dem Mittelpunkt des j -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils eine Parallele zu einer Verbindungslinie zwischen dem
- 25
- 30

Drehpunkt des erzeugten Schneckenprofils und dem Drehpunkt des erzeugenden Schneckenprofils ist, wobei j und j' ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen n beziehungsweise n' durchlaufen,

- 5 - ein Anfangspunkt des j' -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils in einer Richtung bezogen auf den Mittelpunkt des j' -ten Kreisbogens des erzeugten Schneckenprofils liegt, die entgegengesetzt derjenigen Richtung ist, die ein Anfangspunkt des j -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils bezogen auf den Mittelpunkt des j -ten Kreisbogens des erzeugenden Schneckenprofils besitzt, wobei j und j' ganze Zahlen sind, die gemeinsam alle Werte im Bereich 1 bis zur Anzahl der Kreisbögen n beziehungsweise n' durchlaufen.
- 10
4. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Schneckenelemente punktsymmetrisch sind und sich die Profilkurve in einem Ausschnitt von
- 15 $360^\circ/(2 \cdot Z)$ aus mindestens zwei Kreisbögen zusammensetzt, wobei Z die Gangzahl der Schneckenelemente ist.
5. Verfahren gemäß einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass sie achsensymmetrisch sind und sich die Profilkurve in einem Ausschnitt von $360^\circ/(2 \cdot Z)$ aus mindestens zwei Kreisbögen zusammensetzt, wobei Z die Gangzahl der Schneckenelemente ist.
- 20
6. Verfahren gemäß Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Profilkurve in dem Ausschnitt aus zwei Kreisbögen zusammensetzt, wobei die Kreisbögen in einem Punkt P_{FP} stetig differenzierbar ineinander übergehen, wobei der Punkt P_{FP} auf einer Geraden FP liegt, deren Orthogonale im Punkt P_{FP} durch die Mittelpunkte der beiden Kreisbögen verläuft.
- 25
7. Verfahren gemäß Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Schneckenelemente mit einem Drehpunkt D , einem Punkt P_A , der auf einem Kreis um den Drehpunkt mit dem Außenradius r_a des Schneckenelements liegt, einem Punkt P_I , der auf einem Kreis um den Drehpunkt mit dem Innenradius r_i des Schneckenelements liegt, einer Geraden DP_A , die durch die Punkte P_A und D verläuft und einer Geraden DP_I , die durch die Punkte P_I und D verläuft, das bei Verwendung eines kartesischen Koordinatensystems mit dem Punkt D im Ursprung und dem Punkt P_A auf der x -Achse dadurch gekennzeichnet ist, dass die Orthogonale die Gerade DP_A im Mittelpunkt eines der Kreisbögen schneidet
- 30

und die Gerade DP_i im Mittelpunkt des anderen Kreisbogens schneidet, und dass die Gerade FP einen Abstand entsprechend dem halben Achsabstand a vom Drehpunkt und eine Steigung im Bogenmaß von $-1/\tan(\pi/(2 \cdot Z))$ besitzt.

- 5 8. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schneckenelemente als Mischelemente oder Förderelemente ausgebildet sind.
9. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schneckenelemente als Knetelemente ausgebildet sind.
10. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Schneckenelemente in einer Entgasungs- oder Förderzone eingesetzt werden.
- 10 11. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen Schneckenelementen und Gehäuse und/oder zwischen benachbarten Schneckenelementen Spiele im Bereich von 0,1 bis 0,001 bezogen auf den Durchmesser des Schneckenprofils vorhanden sind.
- 15 12. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die plastischen Massen Thermoplaste oder Elastomere sind.
- 20 13. Verfahren gemäß Anspruch 12 dadurch gekennzeichnet, dass als Thermoplaste Polycarbonat, Polyamid, Polyester, insbesondere Polybutylenterephthalat und Polyethylen-terephthalat, Polyether, thermoplastisches Polyurethan, Polyacetal, Fluorpolymer, insbesondere Polyvinylidenfluorid, Polyethersulfone, Polyolefin, insbesondere Polyethylen und Polypropylen, Polyimid, Polyacrylat, insbesondere Poly(methyl)methacrylat, Polyphenylenoxid, Polyphenylensulfid, Polyetherketon, Polyaryletherketon, Styrolpolymerisate, insbesondere Polystyrol, Styrolcopolymere, insbesondere Styrolacrylnitrilcopolymer, Acrylnitrilbutadienstyrolblockcopolymere, Polyvinylchlorid oder ein Blend von mindestens zwei der genannten Thermoplaste eingesetzt wird.
- 25 14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass als Thermoplast Polycarbonat oder ein Blend von Polycarbonat mit anderen Polymeren eingesetzt wird.
15. Verfahren gemäß Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass das Polycarbonat nach dem Grenzflächenverfahren oder dem Schmelzeumesterungsverfahren hergestellt wurde.
- 30 16. Verfahren gemäß Anspruch 12 dadurch gekennzeichnet, dass als Elastomer Styrol-Butadien-Kautschuk, Naturkautschuk, Butadien-Kautschuk, Isopren-Kautschuk, Ethy-

len-Propylen-Dien-Kautschuk, Ethylen-Propylen-Kautschuk, Butadien-Acrylnitril-Kautschuk, hydrierter Nitrilkautschuk, Butylkautschuk, Halobutylkautschuk, Chloropren-Kautschuk, Ethylen-Vinylacetat-Kautschuk, Polyurethan-Kautschuk, Thermoplastisches Polyurethan, Guttapercha, Arylatkautschuk, Fluorkautschuk, Siliconkautschuk, Sulfidkautschuk, Chlorsulfonyl-Polyäthylen-Kautschuk oder eine Kombination von mindestens zwei der genannten Elastomere eingesetzt wird.

17. Verfahren gemäß einem der voranstehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dem Polymer Füll- oder Verstärkungsstoffe oder Polymeradditive oder organische oder anorganische Pigmente, oder Mischungen davon, zugesetzt werden.

Figuren

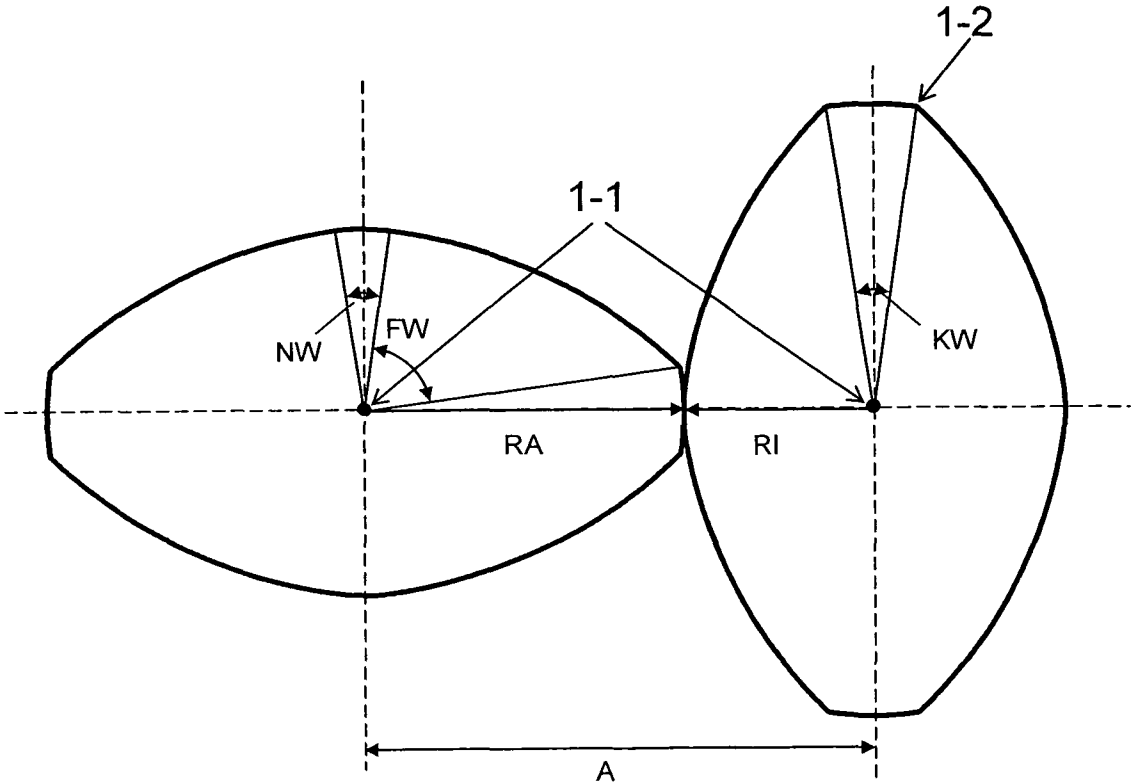
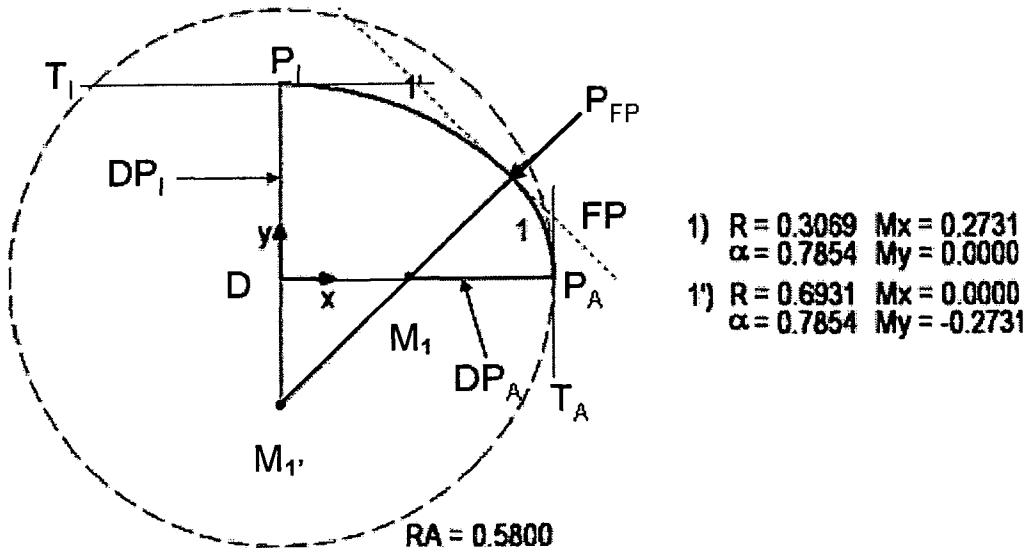


Fig. 1



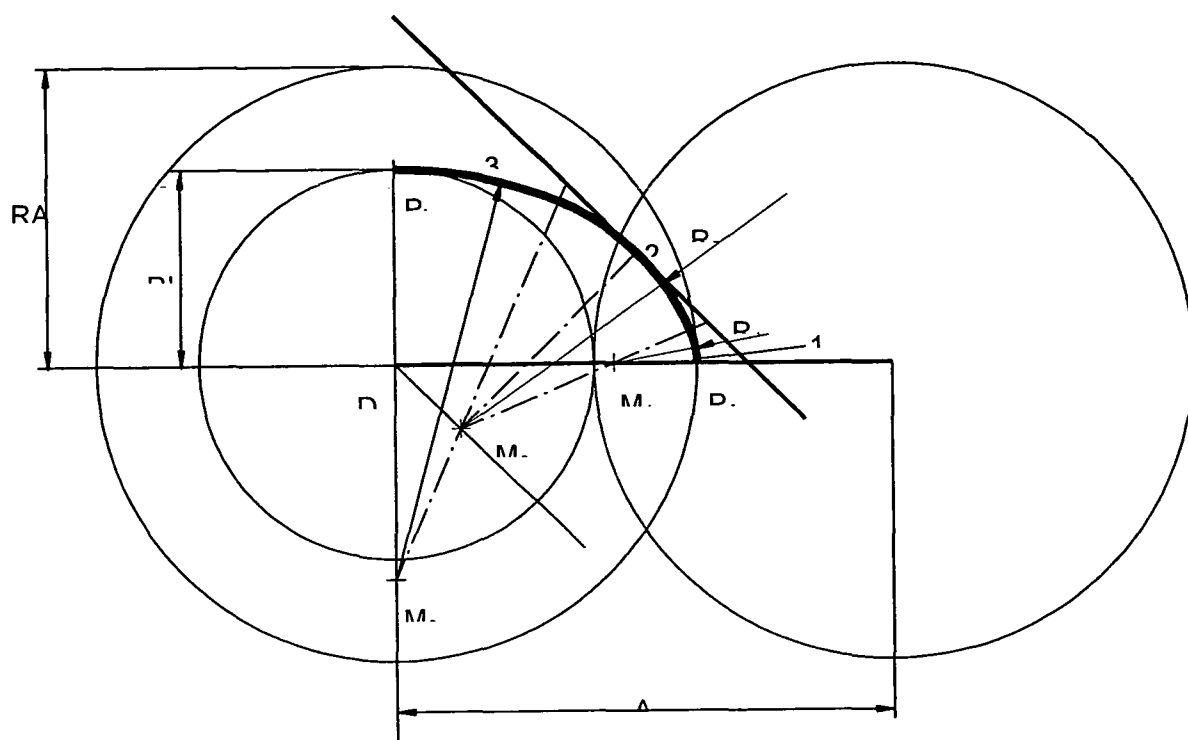


Fig. 2b

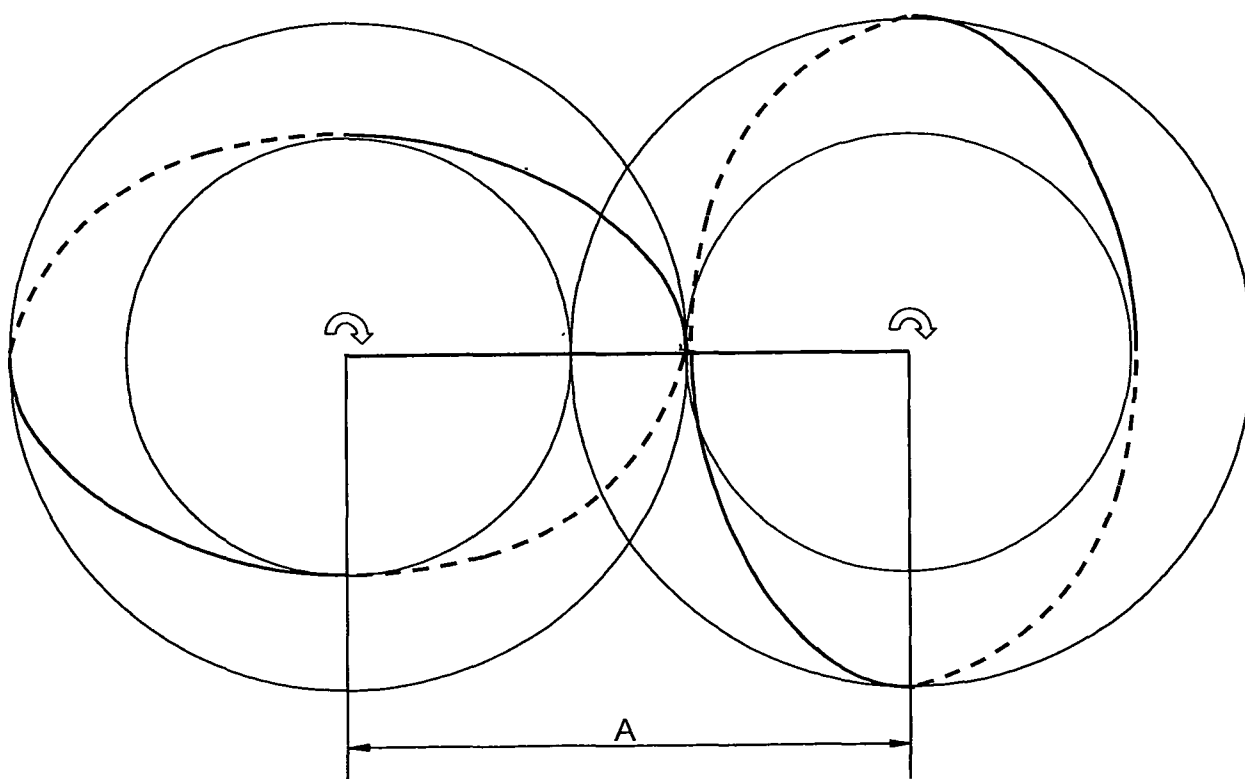


Fig. 2c

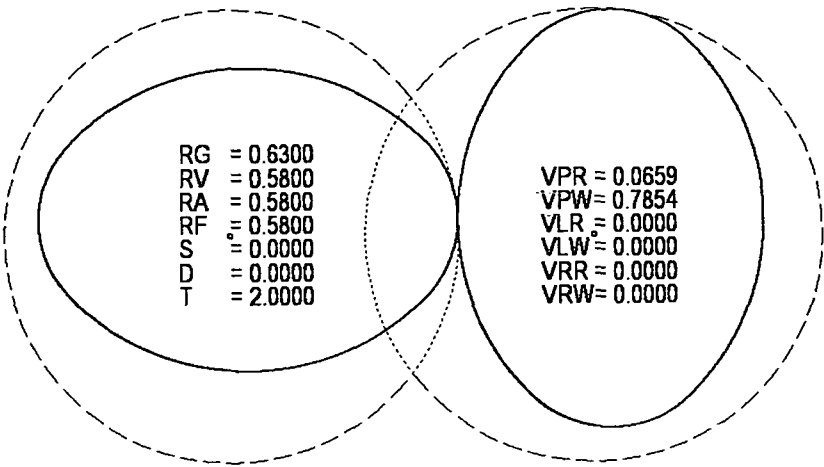


Fig. 3

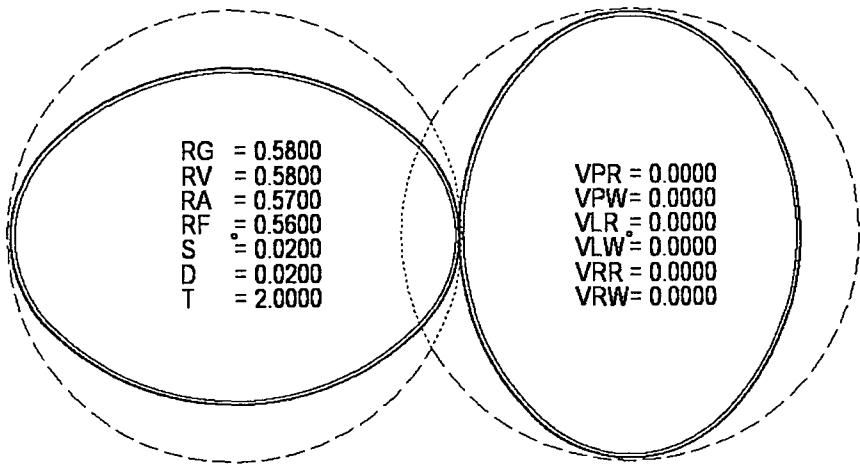


Fig. 4a

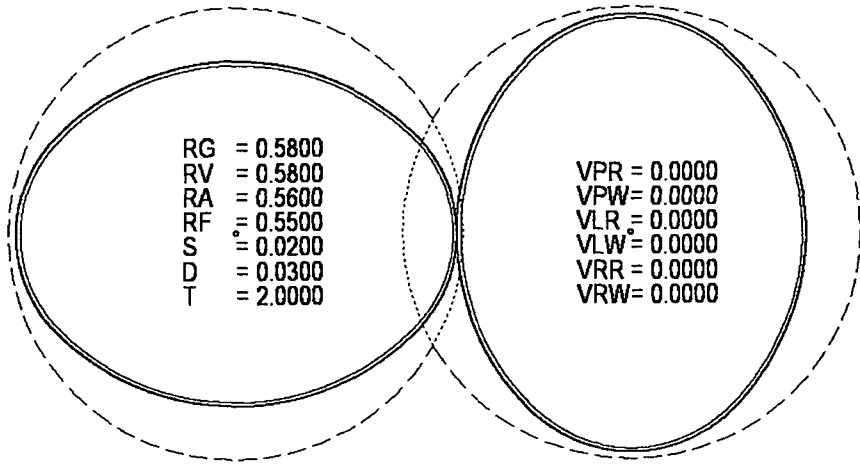


Fig. 4b

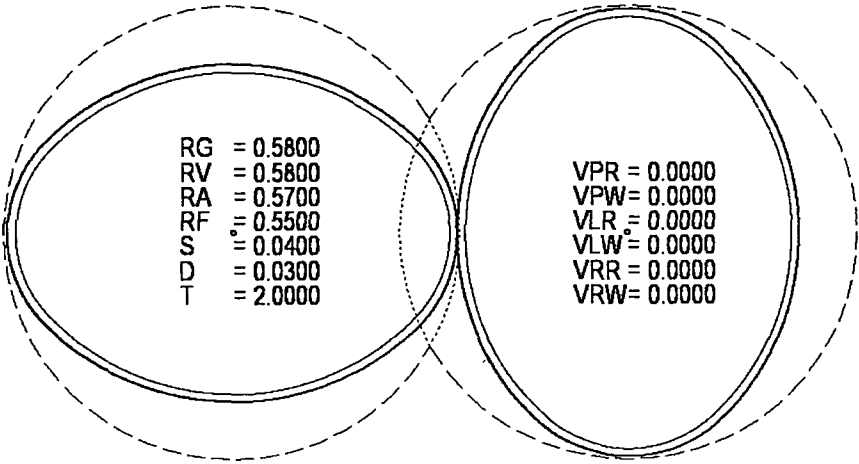
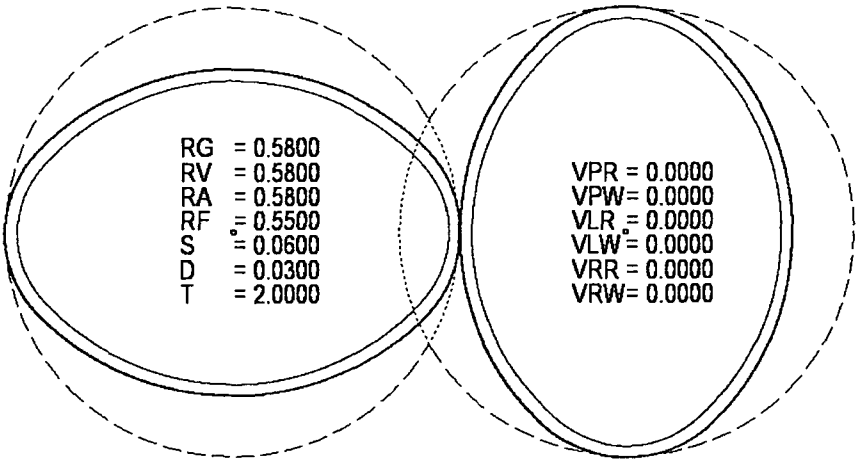


Fig. 4c



5 Fig. 4d

- 5/19 -

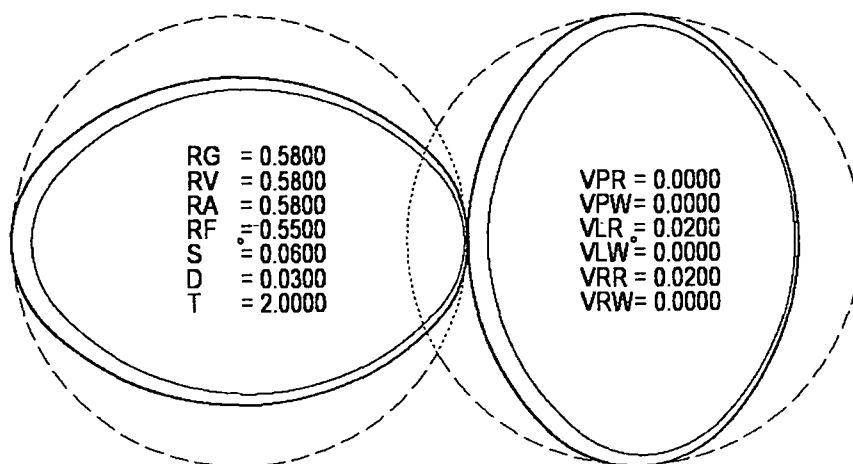


Fig. 5a

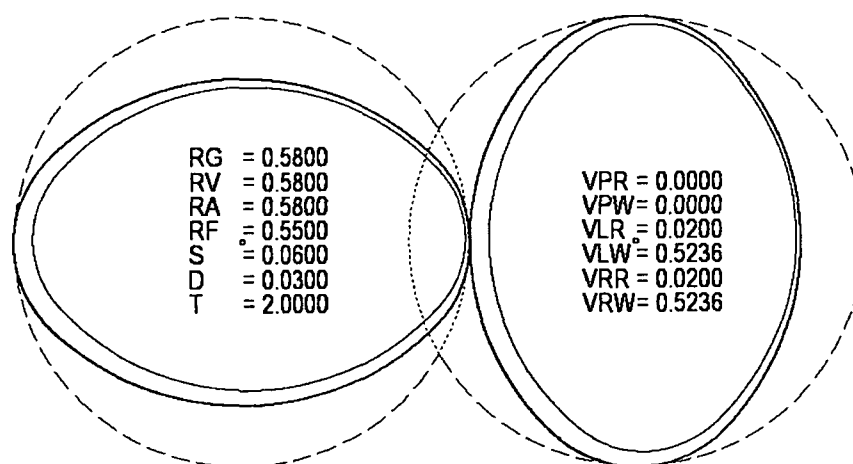


Fig. 5b

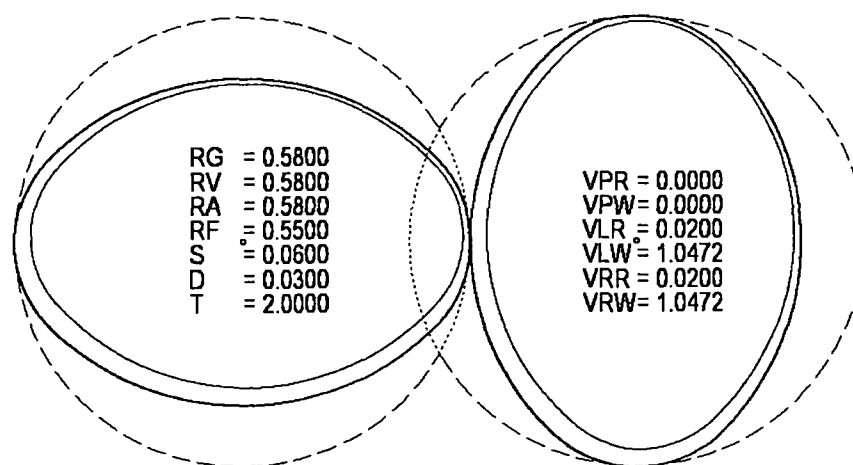


Fig. 5c

- 6/19 -

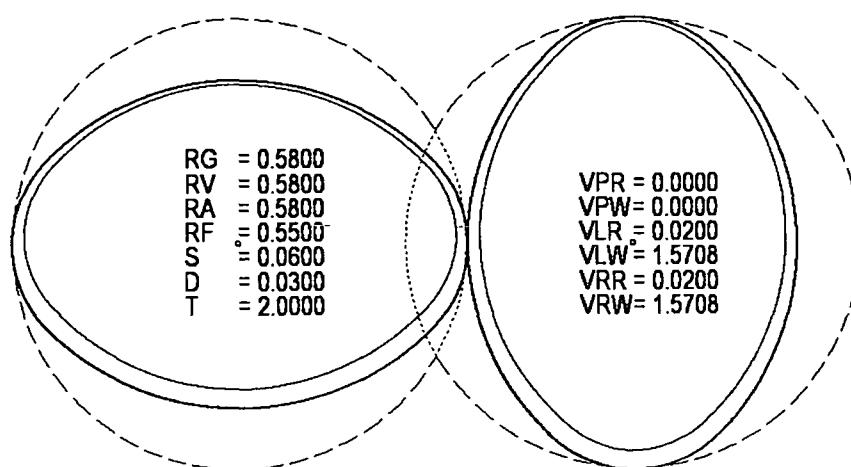


Fig. 5d

- 7/19 -

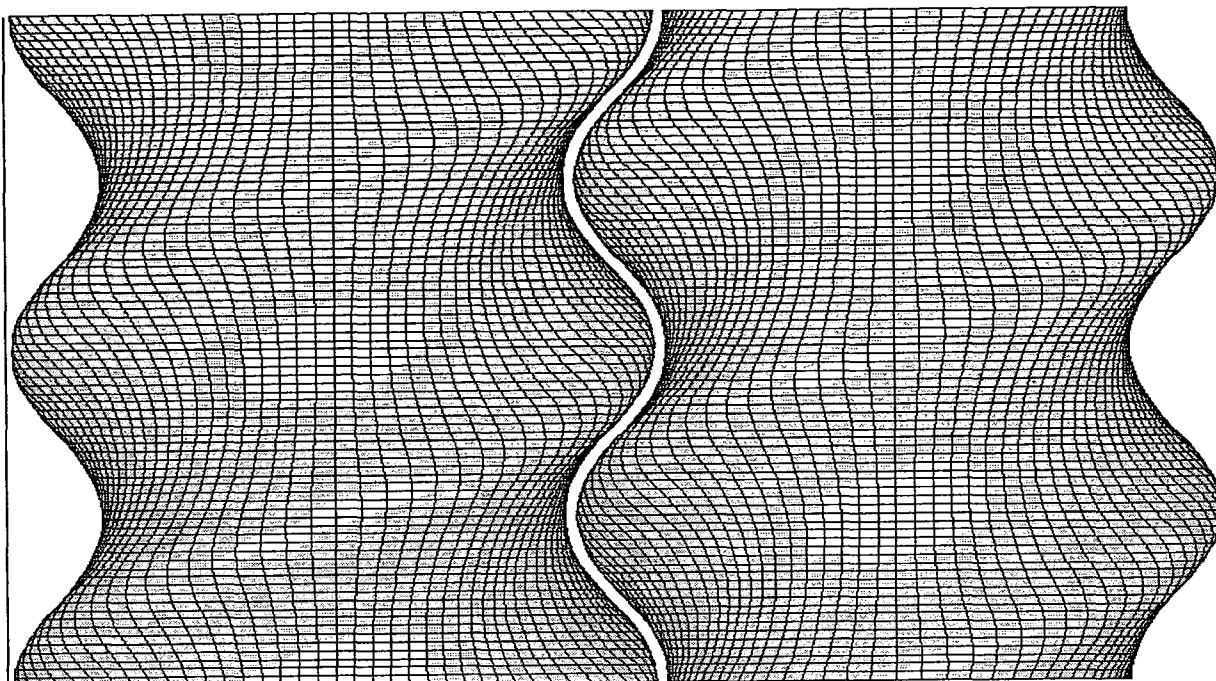


Fig. 6a

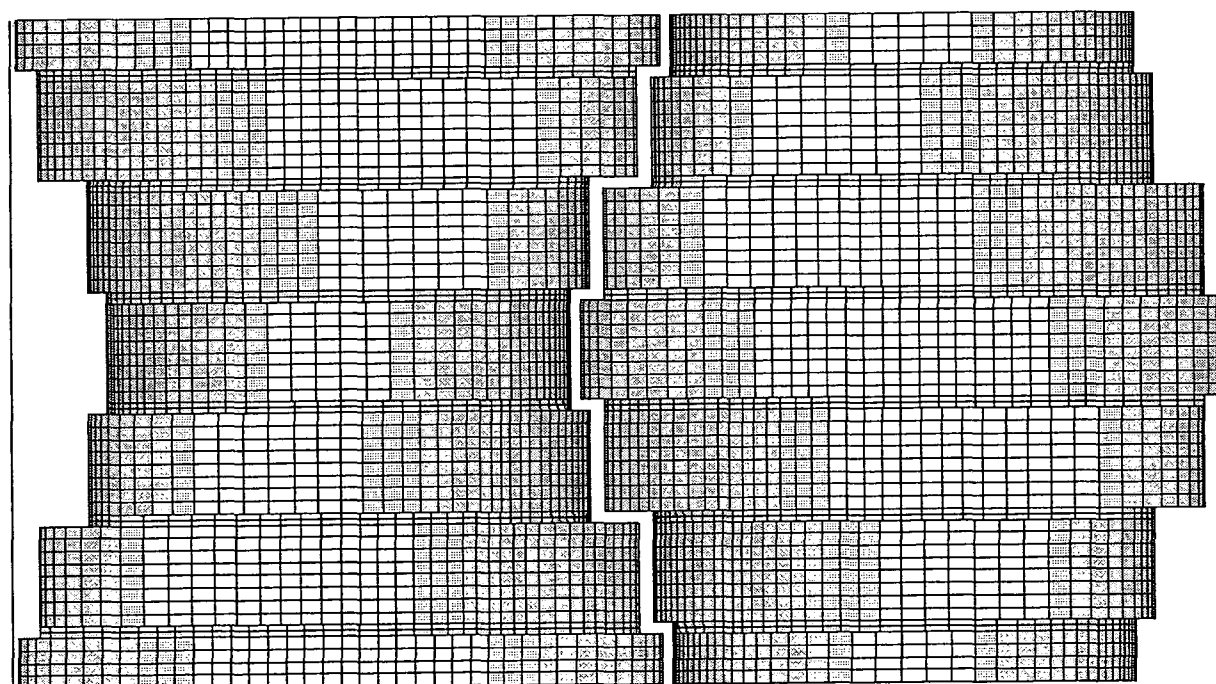


Fig. 6b

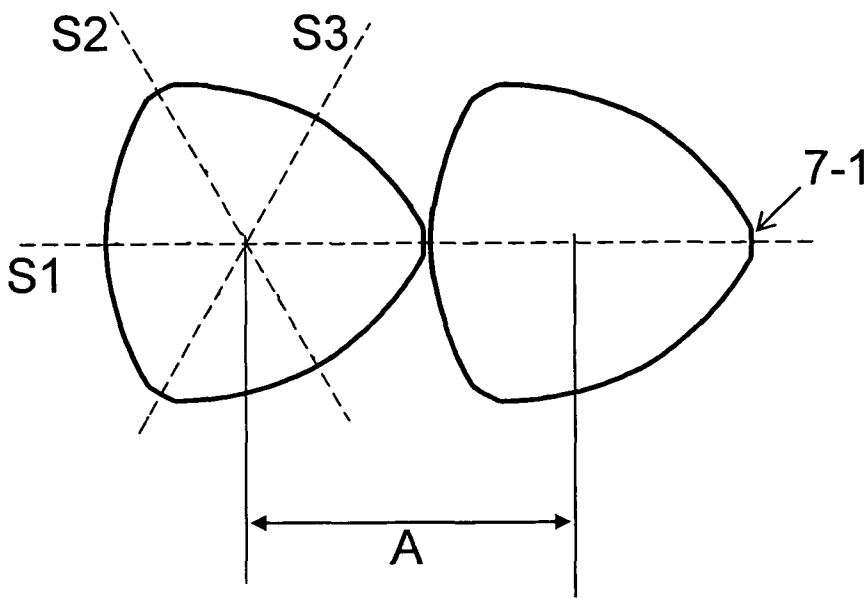


Fig. 7

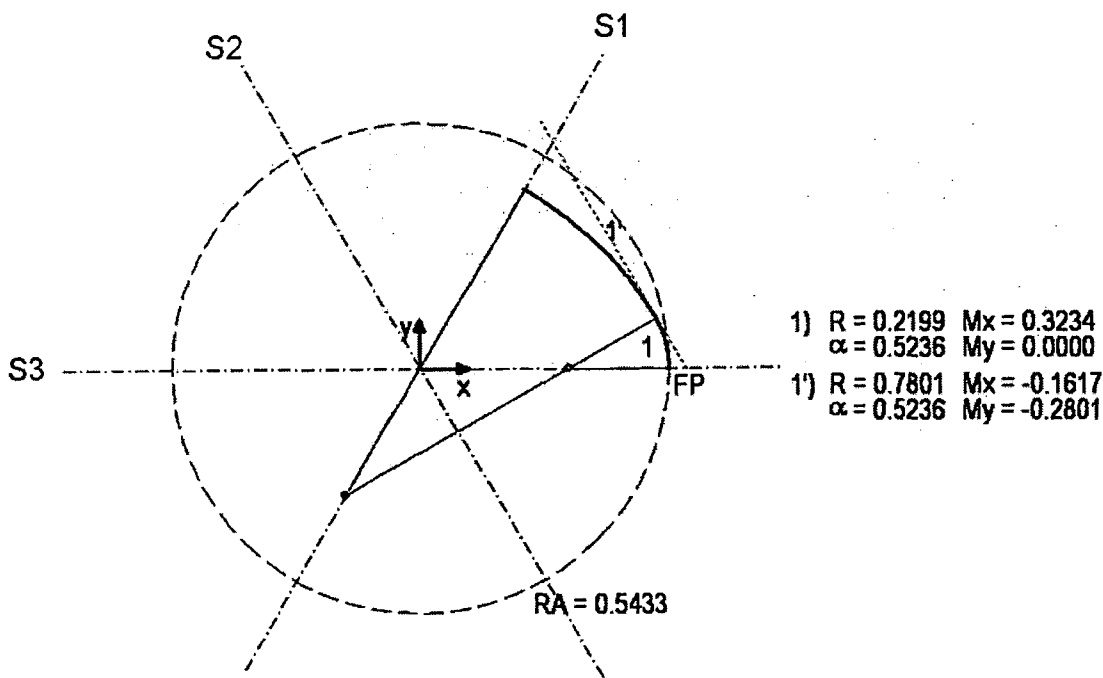


Fig. 8

- 9/19 -

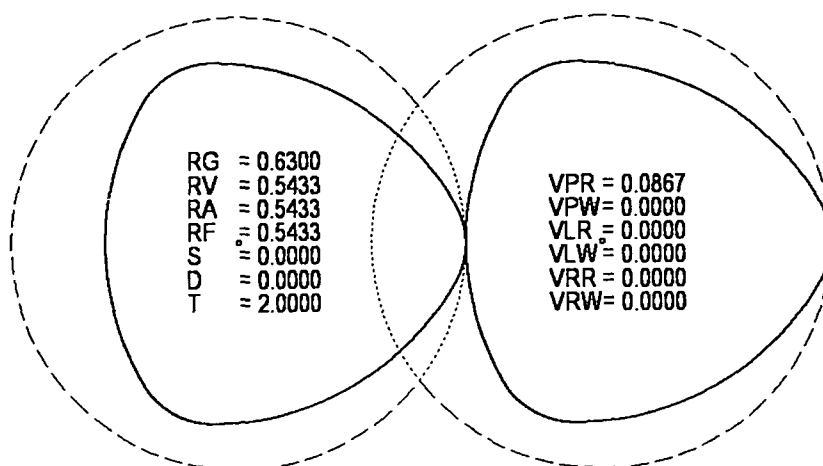


Fig. 9a

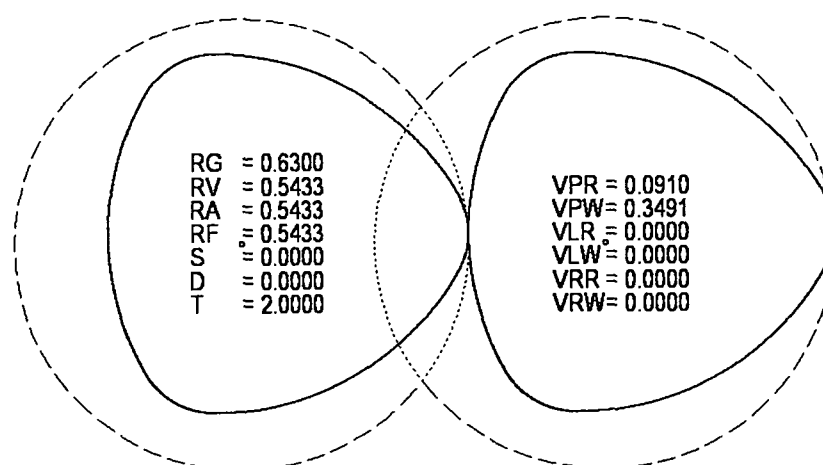


Fig. 9b

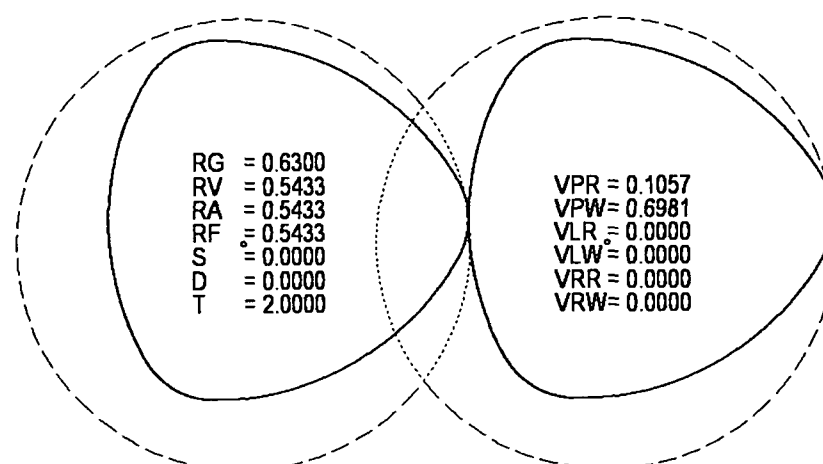


Fig. 9c

- 10/19 -

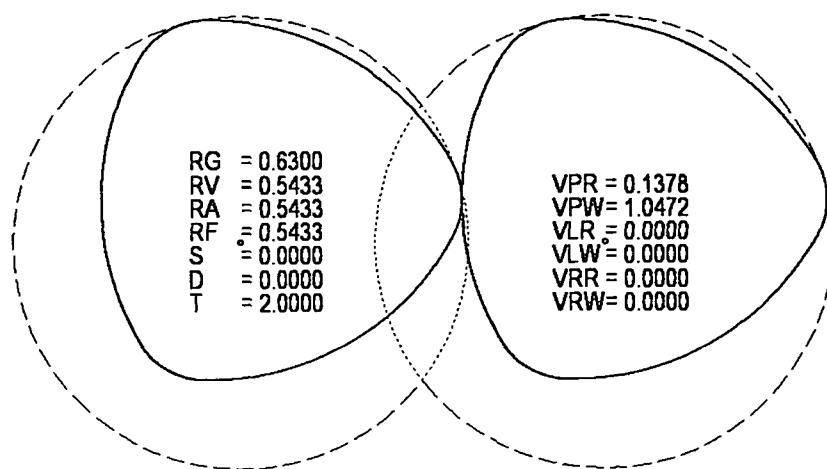


Fig. 9d

- 11/19 -

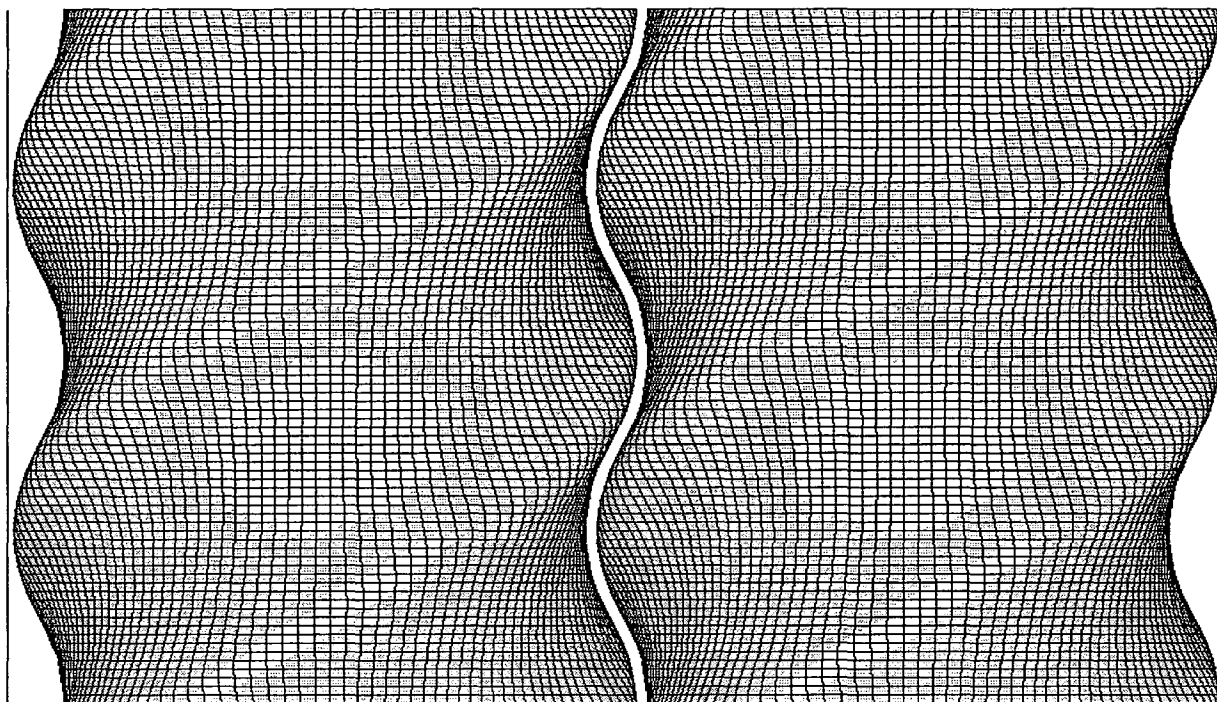


Fig. 10a

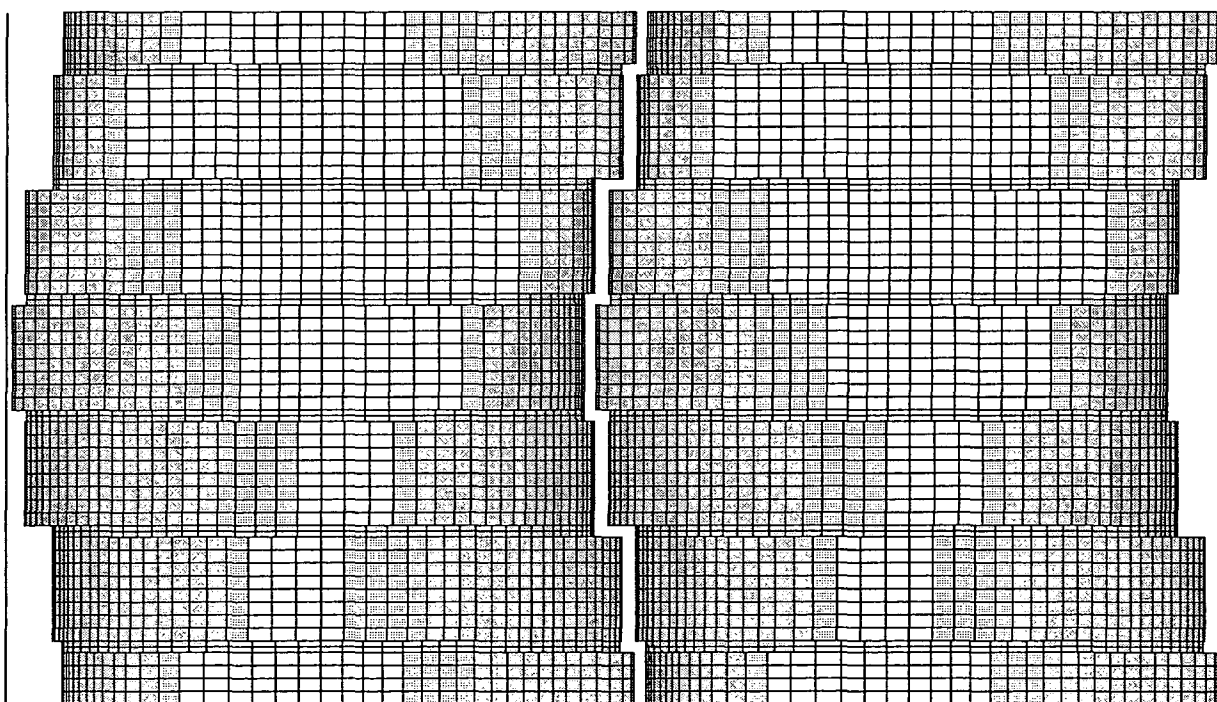
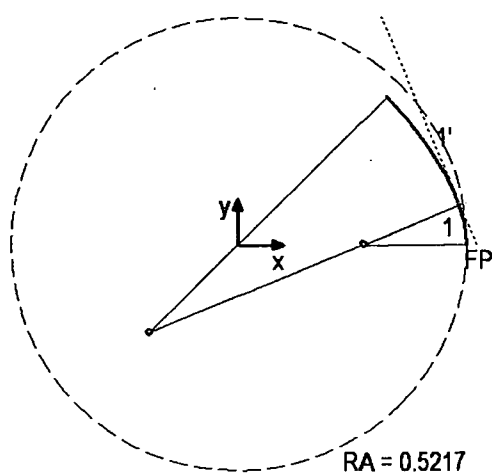


Fig. 10b

- 12/19 -



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

Fig. 11

- 13/19 -

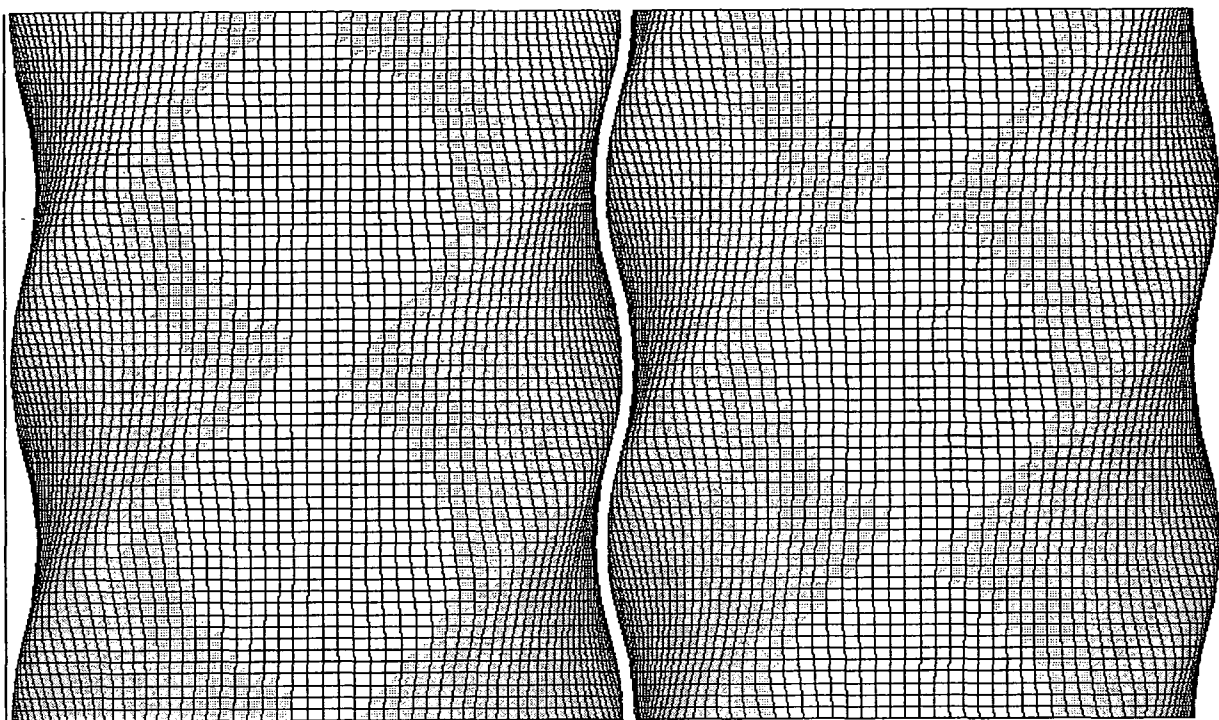


Fig. 12a

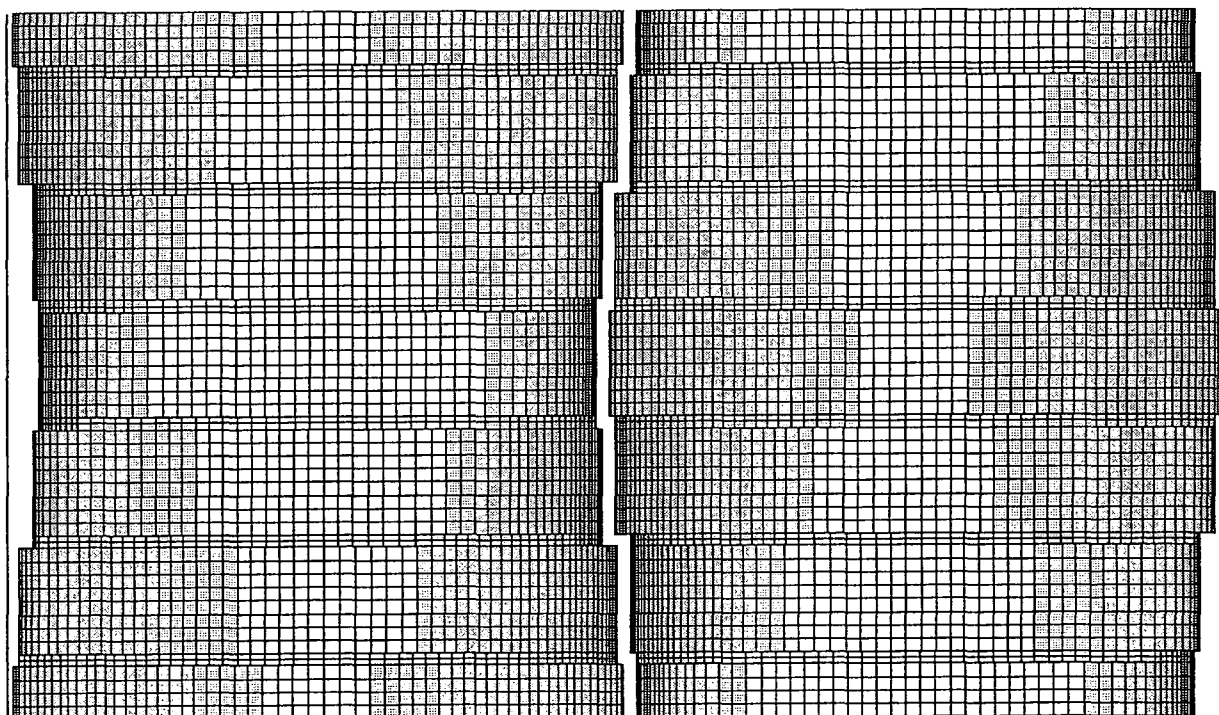


Fig. 12b

- 14/19 -

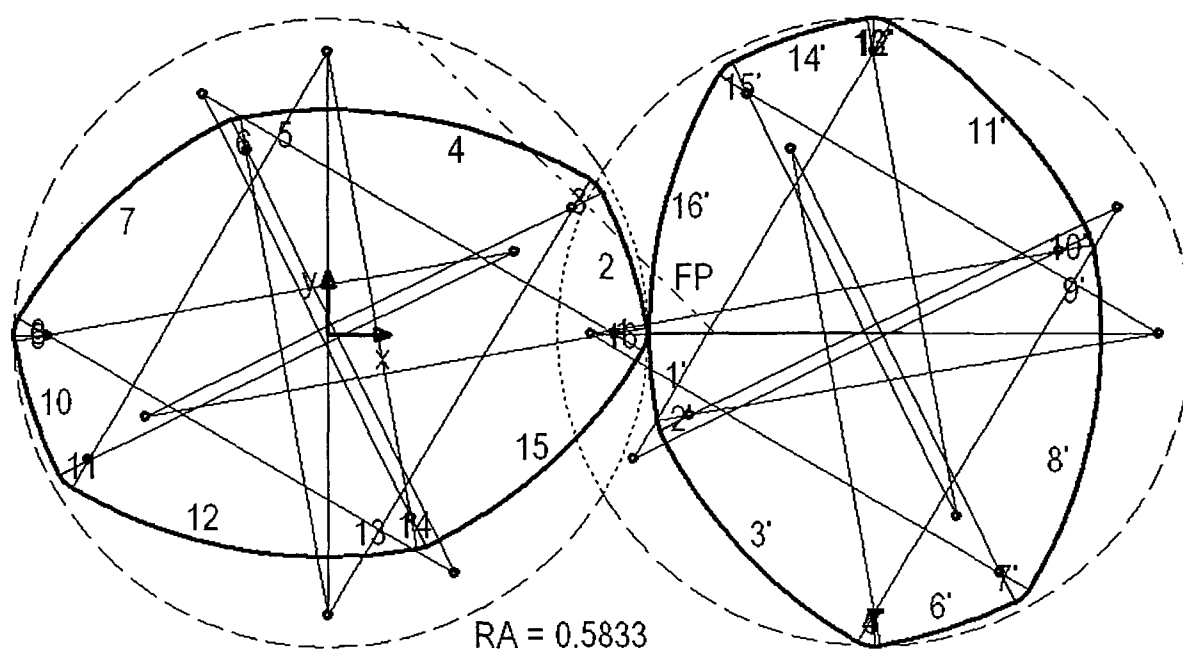


Fig. 13a

- 15/19 -

1) $R = 0.0625$ $M_x = 0.5208$ $\alpha = 0.1745$ $M_y = 0.0000$	1') $R = 0.9375$ $M_x = 1.5208$ $\alpha = 0.1745$ $M_y = -0.0000$
2) $R = 0.9375$ $M_x = -0.3409$ $\alpha = 0.2803$ $M_y = -0.1519$	2') $R = 0.0625$ $M_x = 0.6591$ $\alpha = 0.2803$ $M_y = -0.1519$
3) $R = 0.0625$ $M_x = 0.4452$ $\alpha = 0.5822$ $M_y = 0.2325$	3') $R = 0.9375$ $M_x = 1.4452$ $\alpha = 0.5822$ $M_y = 0.2325$
4) $R = 0.9375$ $M_x = 0.0000$ $\alpha = 0.5337$ $M_y = -0.5208$	4') $R = 0.0625$ $M_x = 1.0000$ $\alpha = 0.5337$ $M_y = -0.5208$
5) $R = 0.9375$ $M_x = 0.0000$ $\alpha = 0.1745$ $M_y = -0.5208$	5') $R = 0.0625$ $M_x = 1.0000$ $\alpha = 0.1745$ $M_y = -0.5208$
6) $R = 0.0625$ $M_x = -0.1519$ $\alpha = 0.2803$ $M_y = 0.3409$	6') $R = 0.9375$ $M_x = 0.8481$ $\alpha = 0.2803$ $M_y = 0.3409$
7) $R = 0.9375$ $M_x = 0.2325$ $\alpha = 0.5822$ $M_y = -0.4452$	7') $R = 0.0625$ $M_x = 1.2325$ $\alpha = 0.5822$ $M_y = -0.4452$
8) $R = 0.0625$ $M_x = -0.5208$ $\alpha = 0.5337$ $M_y = -0.0000$	8') $R = 0.9375$ $M_x = 0.4792$ $\alpha = 0.5337$ $M_y = -0.0000$
9) $R = 0.0625$ $M_x = -0.5208$ $\alpha = 0.1745$ $M_y = -0.0000$	9') $R = 0.9375$ $M_x = 0.4792$ $\alpha = 0.1745$ $M_y = -0.0000$
10) $R = 0.9375$ $M_x = 0.3409$ $\alpha = 0.2803$ $M_y = 0.1519$	10') $R = 0.0625$ $M_x = 1.3409$ $\alpha = 0.2803$ $M_y = 0.1519$
11) $R = 0.0625$ $M_x = -0.4452$ $\alpha = 0.5822$ $M_y = -0.2325$	11') $R = 0.9375$ $M_x = 0.5548$ $\alpha = 0.5822$ $M_y = -0.2325$
12) $R = 0.9375$ $M_x = -0.0000$ $\alpha = 0.5337$ $M_y = 0.5208$	12') $R = 0.0625$ $M_x = 1.0000$ $\alpha = 0.5337$ $M_y = 0.5208$
13) $R = 0.9375$ $M_x = -0.0000$ $\alpha = 0.1745$ $M_y = 0.5208$	13') $R = 0.0625$ $M_x = 1.0000$ $\alpha = 0.1745$ $M_y = 0.5208$
14) $R = 0.0625$ $M_x = 0.1519$ $\alpha = 0.2803$ $M_y = -0.3409$	14') $R = 0.9375$ $M_x = 1.1519$ $\alpha = 0.2803$ $M_y = -0.3409$
15) $R = 0.9375$ $M_x = -0.2325$ $\alpha = 0.5822$ $M_y = 0.4451$	15') $R = 0.0625$ $M_x = 0.7675$ $\alpha = 0.5822$ $M_y = 0.4451$
16) $R = 0.0625$ $M_x = 0.5208$ $\alpha = 0.5337$ $M_y = -0.0000$	16') $R = 0.9375$ $M_x = 1.5208$ $\alpha = 0.5337$ $M_y = -0.0000$

Fig. 13b

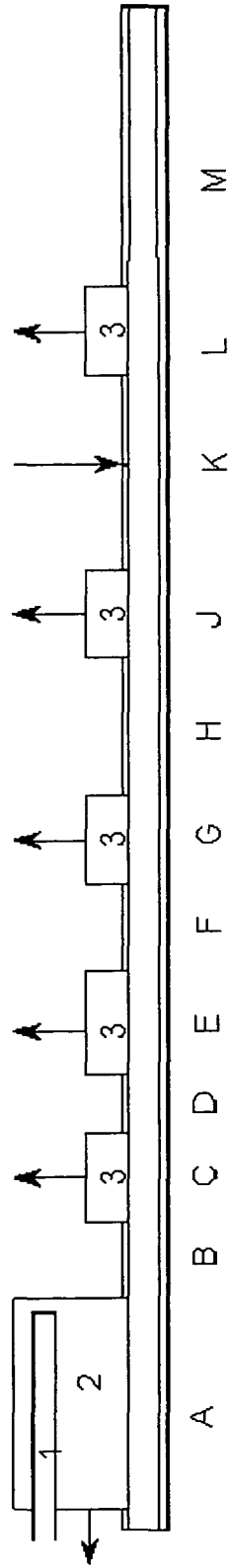


Fig. 14

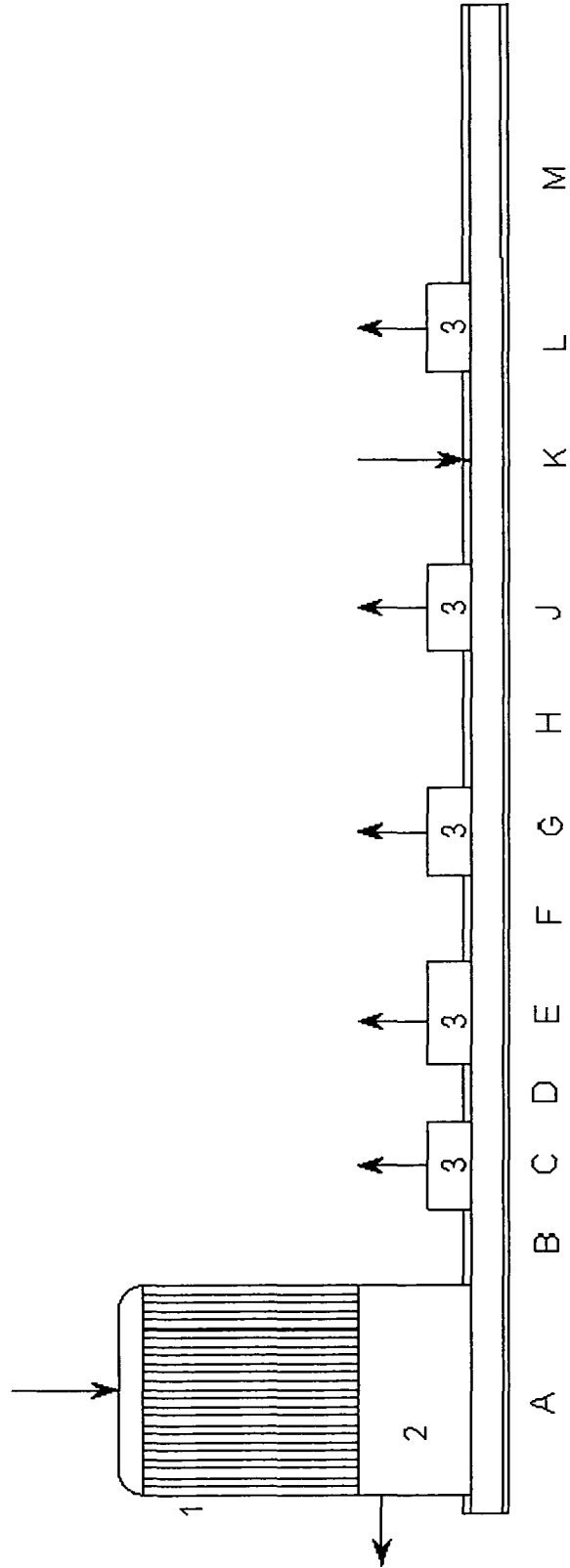


Fig. 15

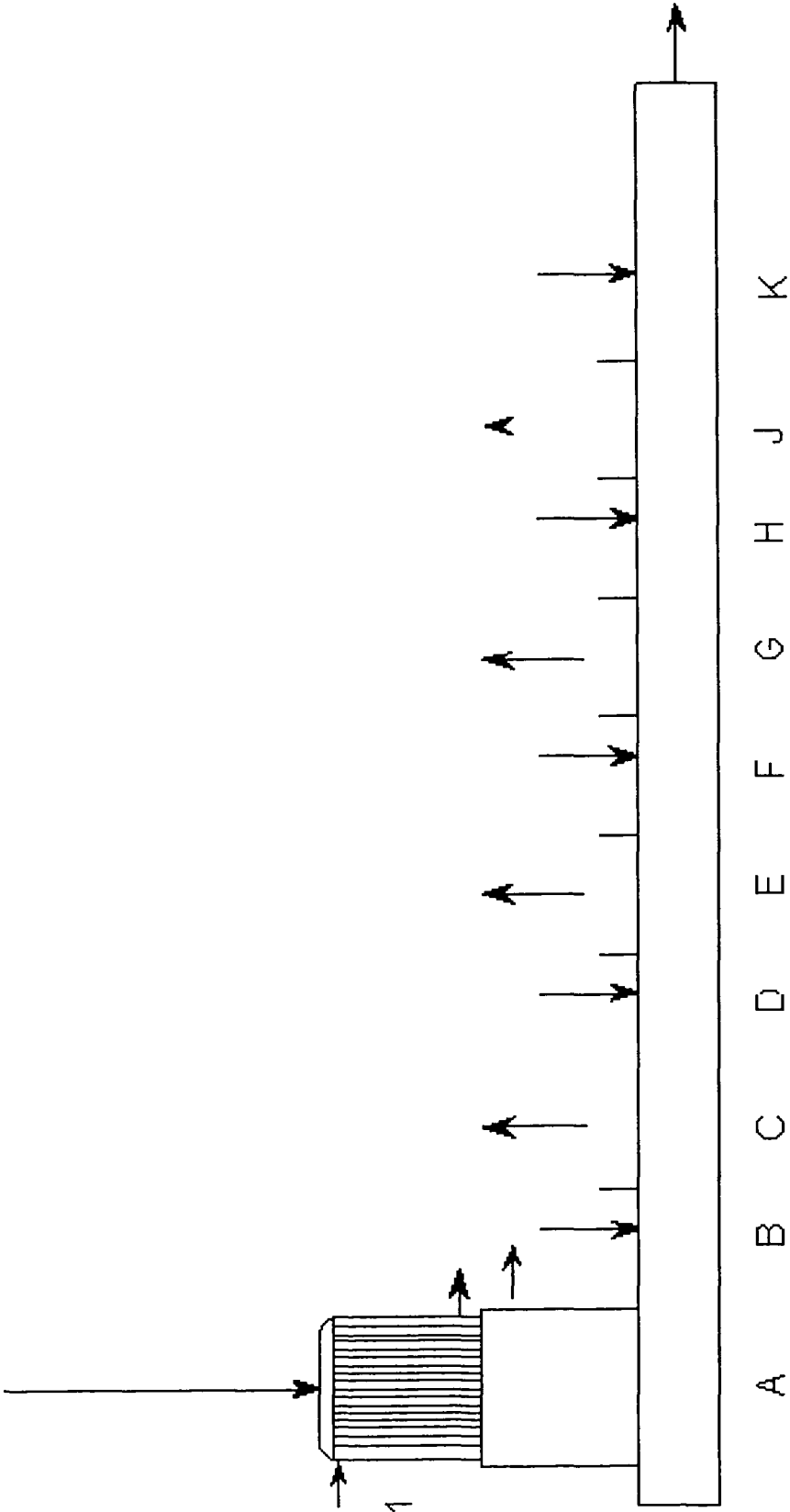


Fig. 16

- 18/19 -

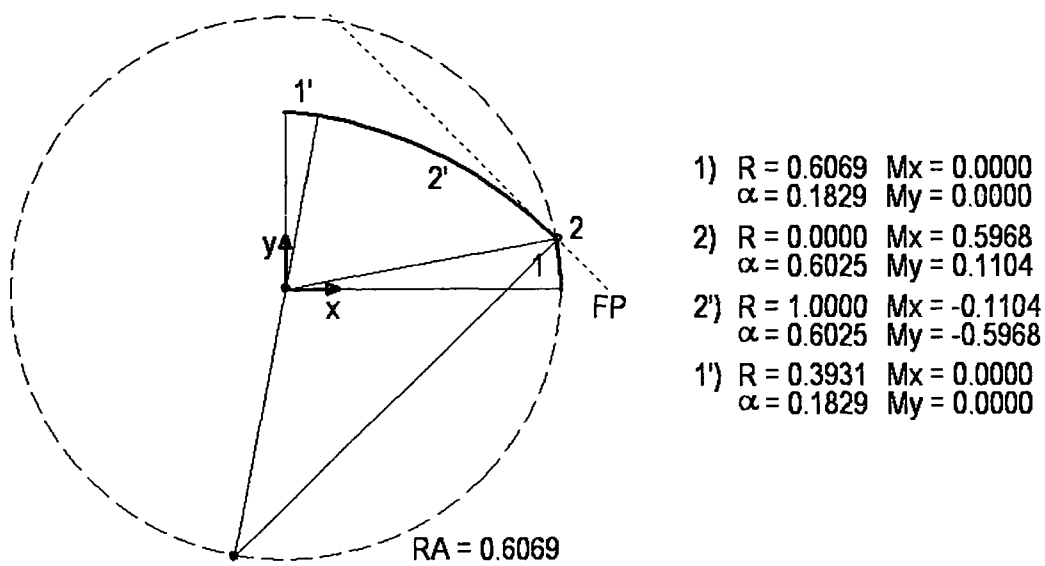


Fig. 17a

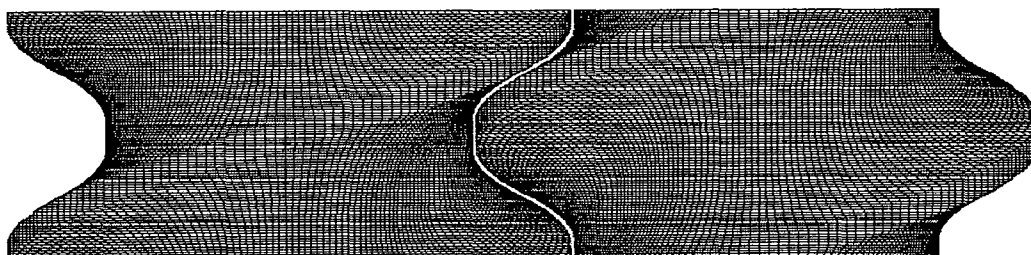


Fig. 17b

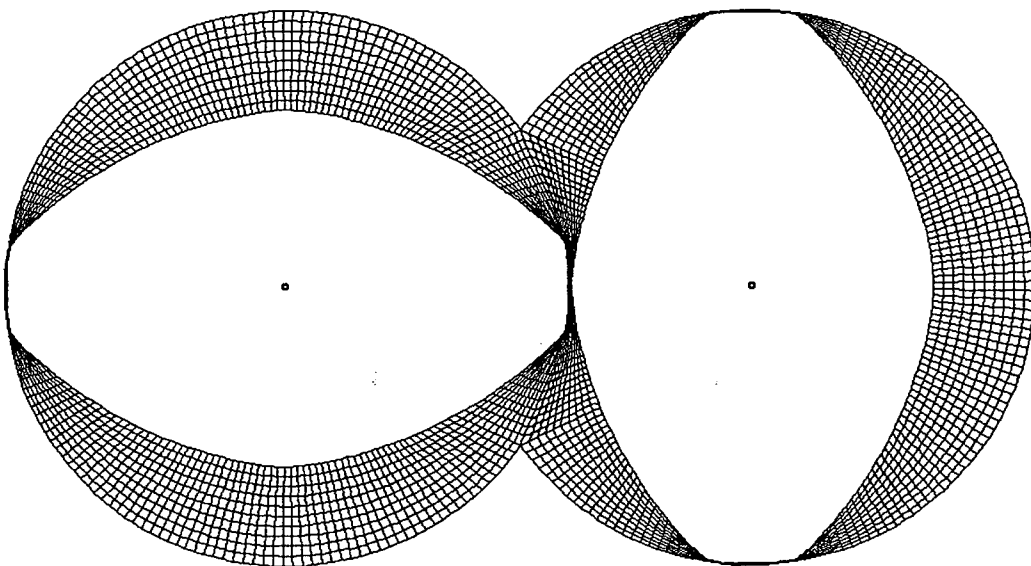


Fig. 17c

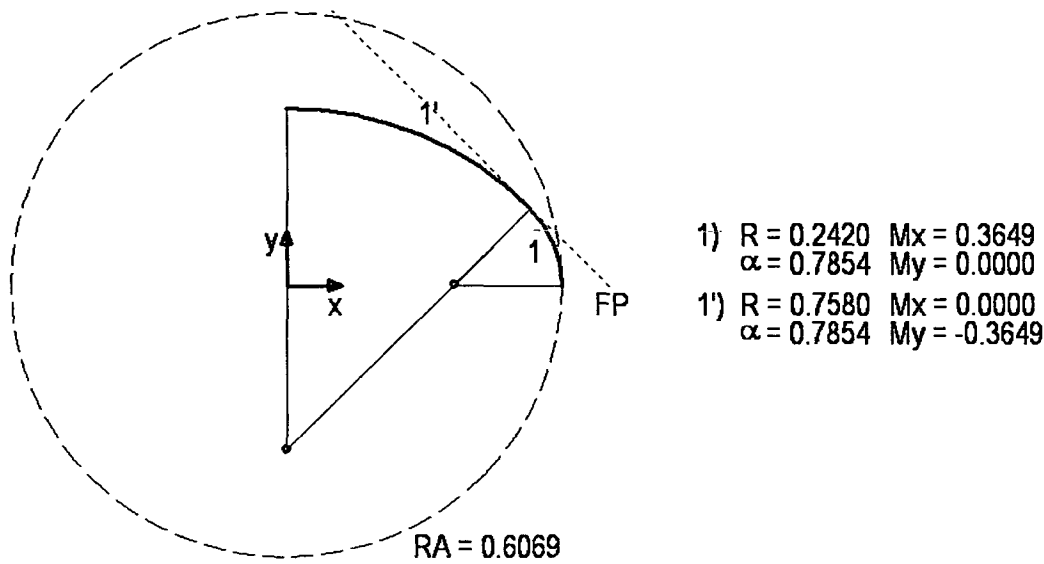


Fig. 18a

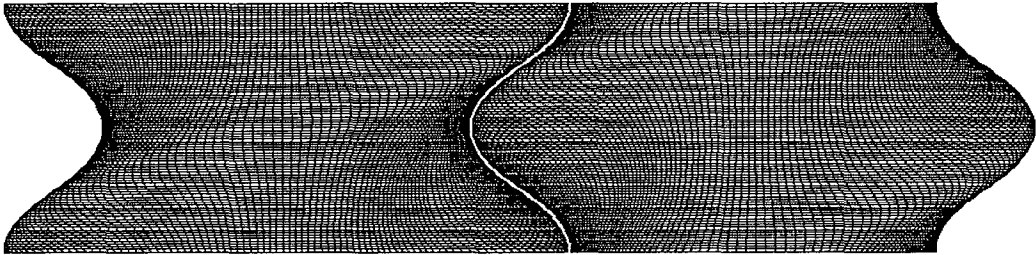


Fig. 18b

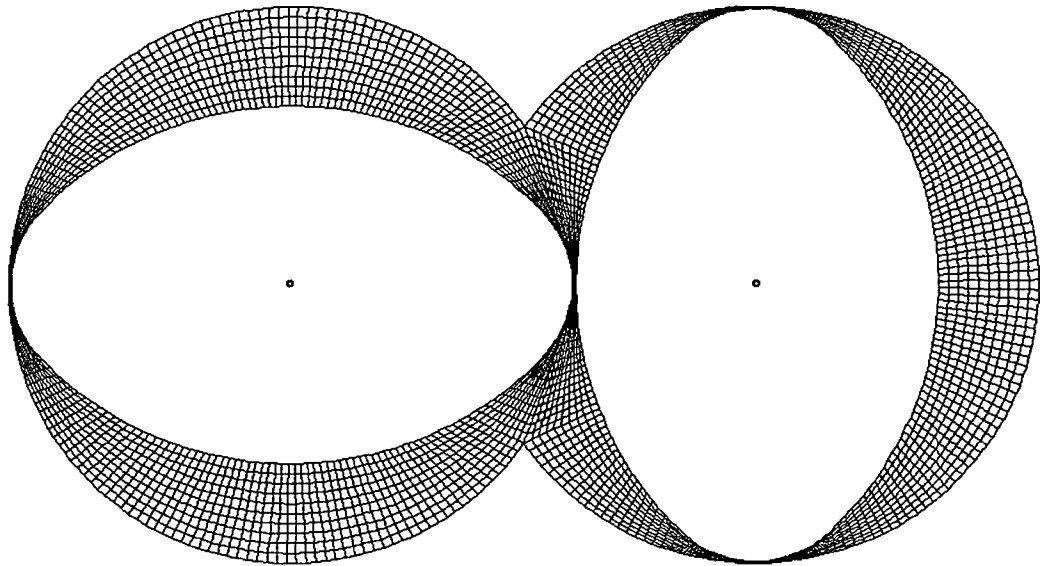


Fig. 18c

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2009/004248

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. B29B7/48 B29C47/40 B29C47/64

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

B29B B29C

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 0 778 078 A1 (TEIJIN LTD [JP]) 11 June 1997 (1997-06-11)	1-2,4-5, 8-10, 12-15,17
A	column 1, line 7 - line 9 column 12, line 18 - line 55 figures 2,10,11	3,6-7, 11,16
X	EP 0 931 640 A1 (KLOECKNER DESMA SCHUHMASCHINEN [DE]) 28 July 1999 (1999-07-28)	1-2,4-5, 8-10, 12-13, 16-17
A	paragraph [0001] paragraph [0030] - paragraph [0031] figures	3,6-7, 11,14-15
	----- -/--	



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

A document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

E earlier document but published on or after the international filing date

L document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

O document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

P document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

T later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

X document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

Y document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.

& document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

9 September 2009

Date of mailing of the international search report

18/09/2009

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Real Cabrera, Rafael

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2009/004248

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X A	EP 0 771 629 A1 (DOW CORNING TORAY SILICONE [JP]) 7 May 1997 (1997-05-07) column 1, line 3 - line 8 column 2, line 53 - column 3, line 52 figures 3A-3C -----	1-2,4-5, 8-10 3,6-7, 11-17
X A	EP 0 160 124 A2 (WERNER & PFLEIDERER [DE]) 6 November 1985 (1985-11-06) page 1, line 4 - line 17 page 9, line 1 - line 14 figure 6 -----	1-2,5, 8-13 3-4,6-7, 14-17
X A	EP 1 832 407 A1 (JAPAN STEEL WORKS LTD [JP]) 12 September 2007 (2007-09-12) paragraph [0002] paragraph [0006] - paragraph [0007] figures 1,3B,16A-16C -----	1-2,4-5, 8-10 3,6-7, 11-17

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2009/004248

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
EP 0778078	A1	11-06-1997	CN 1157753 A	27-08-1997
			DE 69614345 D1	13-09-2001
			DE 69614345 T2	10-01-2002
			SG 50776 A1	20-07-1998
			US 5816697 A	06-10-1998
EP 0931640	A1	28-07-1999	DK 931640 T3	25-08-2003
			PT 931640 E	30-09-2003
EP 0771629	A1	07-05-1997	BR 9605395 A	28-07-1998
			CA 2189196 A1	02-05-1997
			JP 9124797 A	13-05-1997
			US 5806975 A	15-09-1998
EP 0160124	A2	06-11-1985	DE 3412258 A1	10-10-1985
			JP 1014847 B	14-03-1989
			JP 1532347 C	24-11-1989
			JP 60208209 A	19-10-1985
			US 4824256 A	25-04-1989
EP 1832407	A1	12-09-2007	CN 101037020 A	19-09-2007
			JP 2007237679 A	20-09-2007
			KR 20070092625 A	13-09-2007
			US 2007211560 A1	13-09-2007

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES

INV. B29B7/48 B29C47/40 B29C47/64

Nach der internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

B29B B29C

Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

EPO-Internal, WPI Data

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 778 078 A1 (TEIJIN LTD [JP]) 11. Juni 1997 (1997-06-11)	1-2, 4-5, 8-10, 12-15, 17
A	Spalte 1, Zeile 7 - Zeile 9 Spalte 12, Zeile 18 - Zeile 55 Abbildungen 2, 10, 11	3, 6-7, 11, 16
X	EP 0 931 640 A1 (KLOECKNER DESMA SCHUHMASCHINEN [DE]) 28. Juli 1999 (1999-07-28)	1-2, 4-5, 8-10, 12-13, 16-17
A	Absatz [0001] Absatz [0030] - Absatz [0031] Abbildungen	3, 6-7, 11, 14-15
----- -/--		

☒ Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen
 ☒ Siehe Anhang Patentfamilie

* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen:

A Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist

E älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist

L Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)

O Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht

P Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist

T Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist

X Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden

Y Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist

& Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

9. September 2009

Absendedatum des internationalen Recherchenberichts

18/09/2009

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde

Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Real Cabrera, Rafael

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X A	EP 0 771 629 A1 (DOW CORNING TORAY SILICONE [JP]) 7. Mai 1997 (1997-05-07) Spalte 1, Zeile 3 - Zeile 8 Spalte 2, Zeile 53 - Spalte 3, Zeile 52 Abbildungen 3A-3C -----	1-2,4-5, 8-10 3,6-7, 11-17
X A	EP 0 160 124 A2 (WERNER & PFLEIDERER [DE]) 6. November 1985 (1985-11-06) Seite 1, Zeile 4 - Zeile 17 Seite 9, Zeile 1 - Zeile 14 Abbildung 6 -----	1-2,5, 8-13 3-4,6-7, 14-17
X A	EP 1 832 407 A1 (JAPAN STEEL WORKS LTD [JP]) 12. September 2007 (2007-09-12) Absatz [0002] Absatz [0006] - Absatz [0007] Abbildungen 1,3B,16A-16C -----	1-2,4-5, 8-10 3,6-7, 11-17

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2009/004248

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
EP 0778078	A1	11-06-1997	CN 1157753 A 27-08-1997
		DE 69614345 D1 13-09-2001	
		DE 69614345 T2 10-01-2002	
		SG 50776 A1 20-07-1998	
		US 5816697 A 06-10-1998	
EP 0931640	A1	28-07-1999	DK 931640 T3 25-08-2003
		PT 931640 E 30-09-2003	
EP 0771629	A1	07-05-1997	BR 9605395 A 28-07-1998
		CA 2189196 A1 02-05-1997	
		JP 9124797 A 13-05-1997	
		US 5806975 A 15-09-1998	
EP 0160124	A2	06-11-1985	DE 3412258 A1 10-10-1985
		JP 1014847 B 14-03-1989	
		JP 1532347 C 24-11-1989	
		JP 60208209 A 19-10-1985	
		US 4824256 A 25-04-1989	
EP 1832407	A1	12-09-2007	CN 101037020 A 19-09-2007
		JP 2007237679 A 20-09-2007	
		KR 20070092625 A 13-09-2007	
		US 2007211560 A1 13-09-2007	