

(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
13. September 2007 (13.09.2007)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2007/101752 A1

(51) Internationale Patentklassifikation:
B29C 47/60 (2006.01) **B29C 45/60** (2006.01)

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2007/050805

(22) Internationales Anmeldedatum:
26. Januar 2007 (26.01.2007)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
102006011067.6 8. März 2006 (08.03.2006) DE

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme
von US): **KRAUSS-MAFFEI-KUNSTSTOFFTECH-
NIK GMBH** [DE/DE]; Krauss-Maffei Str. 2, 80997
München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **WÜRTELE, Martin**
[DE/DE]; 82239 Alling, Anton-Heinle-Str. 24, 86316
Friedberg (DE).

(74) Anwalt: **WILHELM, Ludwig**; Krauss-Maffei Str. 2, C/o
Mannesmann Plastics Machinery GmbH, 80997 München
(DE).

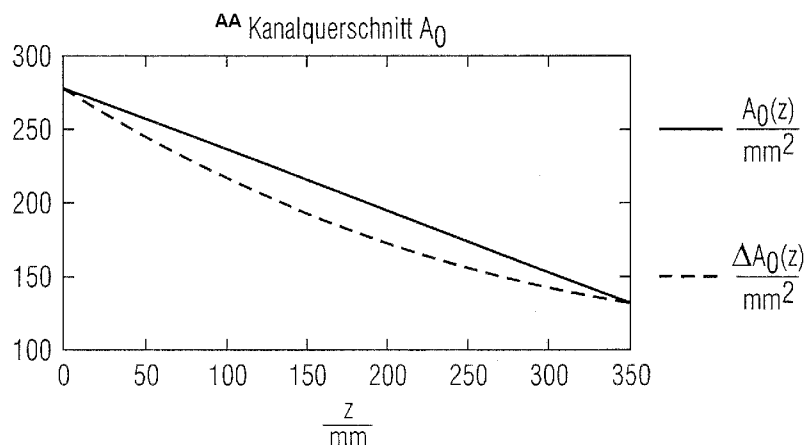
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN,
IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR,
LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX,
MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO,
RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, 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, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: EXTRUDER/INJECTION MOLDING SCREW

(54) Bezeichnung: EXTRUDER-/SPRITZGIESSSCHNECKE



BB
— konstant abnehmender Querschnittverlauf (Stand der Technik)

CC
- - - konvex abnehmender Querschnittverlauf (Erfindung)

AA ... channel cross-section A_0

BB ... constantly decreasing cross-sectional profile (prior art)

CC ... convexly decreasing cross-sectional profile (invention)

(57) Abstract: The invention relates to a screw for an extruder device or an injection molding device, comprising at least one transition zone (101) with a channel (7) for material to be melted, said channel having a channel cross-section. The aim of the invention is to provide an extrusion/injection molding screw which has an improved melting behavior and the melt of which has an improved thermal and mechanical homogeneity. For this purpose, the channel cross-section in the transition zone (101) has a channel cross-sectional profile (ΔA_0) which is convex along a coordinate (z).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2007/101752 A1



NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

(57) Zusammenfassung: Die vorliegende Erfindung betrifft eine Schnecke für eine Extrudervorrichtung oder eine Spritzgießvorrichtung aufweisend zumindest eine Aufschmelzzone (101) mit einem Kanal (7) für aufzuschmelzendes Material, der einen Kanalquerschnitt besitzt. Um eine Extrusions-/Spritzgießschnecke anzugeben, bei der ein verbessertes Aufschmelzverhalten realisiert ist und die Schmelze eine verbesserte thermische und mechanische Homogenität besitzt, wird vorgeschlagen, dass der Kanalquerschnitt innerhalb der Aufschmelzzone (101) einen Kanalquerschnittsverlauf (ΔA_0) besitzt, der entlang einer Koordinate (z) konvex verläuft.

Extruder-/Spritzgießschnecke

Die Erfindung betrifft eine Extruder-/Spritzgießschnecke nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Aus der US 6921191 B2 ist eine Extruderschnecke mit einer Einzugszone, einer Aufschmelzzone und einer Austragszone bekannt, bei der gemäß einem ersten Beispiel entlang einer Förderrichtung von der Einzugszone hin zur Austragszone der Schneckenkerndurchmesser vom Beginn der Einzugszone an zunächst linear abnimmt und in einer zweiten Sektion wieder linear zunimmt. In einem zweiten Beispiel nimmt der Schneckenkerndurchmesser zunächst linear ab. In einer darauffolgenden Zone ist er entlang der Schneckenlängsachse ein Stück konstant und steigt dann wiederum linear an und verläuft im Endbereich der Schnecke wiederum konstant.

Aus der US 6752528 ist eine Extruderschnecke mit einer Einzugszone, einer Aufschmelzzone und einer Austragszone bekannt, wobei innerhalb der Aufschmelzzone bei konstanter Gangsteigung der Schneckenkerndurchmesser linear zunimmt, so dass entlang der Aufschmelzzone der Kanalquerschnitt linear abnimmt.

Aus der US 2004/0213077 A1 ist eine Extruderschnecke mit einer Einzugszone, einer Aufschmelzzone und einer Austragszone bekannt, bei der der Kanalquerschnitt in der Aufschmelzzone immer größer ist als der Kanalquerschnitt in der Einzugszone. Eine Vergrößerung des Kanalquerschnitts im Bereich der Aufschmelzzone relativ zur Einzugszone kann durch eine geeignete

Wahl der Kanalbreite, welche der Gangsteigung entspricht und der Kanaltiefe, welche der Gangtiefe entspricht, erreicht werden.

Üblicherweise werden aus Wirtschaftlichkeitsgründen und im Sinne einer rationellen Verarbeitung Standardausführungen von Spritzgießmaschinen mit Drei-Zonen-Universalschnecken geliefert, mit denen sich fast alle für die Spritzgießverarbeitung gebräuchlichen Thermoplaste gut verarbeiten lassen. Dieser Schneckentyp ist wie in der Extrusion durch die Aufteilung der Schnecke 1 (Fig. 1) in drei verschiedene Zonen, einer Einzugszone 100, einer Umwandlungszone (Aufschmelzzzone, Kompressionszone) 101 und einer Austragszone 102 (Metering-Zone), aufgeteilt. Den einzelnen Zonen kommen unterschiedliche Aufgaben zu.

Die Einzugszone 100 ist im Wesentlichen für die Aufnahme, Förderung und Verdichtung des Kunststoffrohstoffes verantwortlich und soll einen Druckaufbau realisieren.

Die Aufschmelzzzone 101 soll den angelieferten Feststoff möglichst schonend und vollständig in den schmelzflüssigen Zustand überführen.

In der Austragszone 102 erfolgt das Fördern und Mischen der Schmelze durch Schlepp- und Druckströmung.

An einer Schneckenspitze (nicht dargestellt) befindet sich in der Regel noch eine Rückstromsperre, die das Zurückströmen der sich im Schneckenorraum befindlichen Schmelze während der Einspritzphase und Nachdruckphase verhindern soll.

Die wichtigste Aufgabe einer Spritzgießplastifiziereinheit ist das Umwandeln des Feststoffes in Schmelze. Das Gesamtsystem

"Plastifizieraggregat", dessen wesentlicher Bestandteil die Extruder-/Spritzgießschnecke 1, auch Plastifizierungsschnecke genannt, ist, wird vorrangig nach ihrem Aufschmelzvermögen beurteilt. Durch das Aufschmelzverhalten wird entscheidend die Massehomogenität im Schneckenorraum und damit die Formteilqualität beeinflusst. Für Extrusionsschnecken wurden viele qualitative visuelle Untersuchungen vorgenommen, um Erkenntnisse über den Aufschmelzvorgang zu erlangen. Bei der Verarbeitung vieler im Schmelzezustand wandhaftender Kunststoffe wurde das Maddock-Modell inzwischen von vielen Autoren im Wesentlichen bestätigt und hat sich weitgehend durchgesetzt. Dieses Modell wird nachfolgend anhand der Fig. 1 bis Fig. 2c kurz erläutert, wobei Fig. 1 schematisch eine Schnecke 1 zeigt und zur Erläuterung nachfolgend benutzter Begriffe dient.

Fig. 1 zeigt ausschnittsweise eine Extruder-/Spritzgießschnecke 1, im Folgenden Schnecke 1, welche in einem Schneckenzyylinder 2 in einer Antriebsrichtung 3 drehbar gelagert ist. Die Schnecke 1 besitzt einen Schneckenkern 4 mit einem Kerndurchmesser D. Um den Schneckenkern 4 ist, diesen helixartig umgebend, ein Schneckengang 5 angeordnet. Der Schneckengang 5 ist als Steg ausgebildet und ragt außen umfänglich um den Schneckenkern 4 ein Stück über diesen hervor. Bei einem Antrieb der Schnecke 1 in der Antriebsrichtung 3 ergibt sich eine Förderrichtung 6 entlang einer Schneckenlängsachse für von der Schnecke 1 gefördertes Material, welches sich in einem Schneckenkanal 7, im Folgenden Kanal 7 genannt, befindet. Der Kanal 7 wird durch den Schneckenkern 4, benachbarte Abschnitte des Schneckenganges 5 und außenseitig durch den Schneckenzyylinder 2 begrenzt.

Der Schneckengang 5 besitzt eine Schubflanke 5a und eine Gegenschubflanke 5b, wobei die Schubflanke 5a in Richtung der

Förderrichtung 6 weist und die Gegenschubflanke 5b entgegen dieser Richtung weist.

Der Schneckengang 5 weist einen Gangsteigungswinkel ϕ auf. Der Abstand zweier gleichartiger Flanken, d. h. der Abstand zwischen zwei in Förderrichtung 6 (= Schneckenlängsrichtung) aufeinanderfolgenden Schubflanken 5a oder zwischen zwei in Förderrichtung aufeinanderfolgenden Gegenschubflanken 5b wird als Gangsteigung t bezeichnet. Der Abstand zwischen dem Schneckenkern 4 und der Innenseite des Schneckenzyllinders 2 wird als Gangtiefe h bezeichnet.

Der Schneckengang 5 hat eine Stegbreite e . Als Gangbreite b ist die lichte Weite zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schnecken­gängen 5 definiert.

Als Relativgeschwindigkeit v_{rel} ist die Geschwindigkeit des sich im Kanal 7 befindlichen Materiales relativ zum Schnecken­zylinder 2 in Förderrichtung 6 bei angetriebener Schnecke 1 zu verstehen.

Die gesamte Aufschmelzzone 101 der Schnecke ist schematisch in den Fig. 2a-2c anhand eines in die Zeichenebene abgewickelten Kanals 7 in der Aufsicht (Fig. 2a), im Längsschnitt (Fig. 2b) und im Querschnitt (Fig. 2c) (in Richtung v_{rel}) dargestellt.

Ein sich im Kanal 7 befindlicher Feststoff/Feststoffblock 10 ist allseitig von Schmelze umhüllt. Er gleitet auf Schmelze­filmen 11 am Schnecken­grund (Schneckenkern 4) und 12 an einer Gegenflanke 5a, deren Dicken auf Grund von viskoser Reibung und Erwärmung durch die heiße Schnecke 1 in Förderrichtung 6 stetig zunimmt.

Das Aufschmelzen des Feststoffes 10 findet jedoch hauptsächlich an einer heißen Zylinderwand 13 des Schneckenzyinders 2 statt und zwar durch Wärmeleitung und viskose Reibung (Dissipation) in einem nur wenige Zehntel Millimeter dicken Schmelzefilm 14 zwischen dem Feststoff 10 und der Zylinderwand 13. Die Relativgeschwindigkeit v_{rel} sorgt dafür, dass die entstehende wandhaftende Schmelze sofort weggeschleppt wird, wodurch der Schmelzefilm 14 stets sehr dünn bleibt. Dadurch wird sowohl die Wärmeleitung von der heißen Zylinderwand 13 in den Feststoff 10 als auch die Dissipation im Schmelzefilm 14 und damit die Aufschmelzleistung in dem darunter liegenden Feststoff 10 forciert.

Anschließend wird die weggeschleppte Schmelze an der Schubflanke 5a größtenteils abgeschabt und sammelt sich in einem Schmelzepool/Schmelzewirbel 15. In geringem Maße wird der Feststoff 10 auch auf der dem Schmelzewirbel (Schmelzepool) 15 zugewandten Seite aufgeschmolzen. Ein kleiner Teil der Schmelze vom Schmelzewirbel 15 gelangt über einen Leckspalt 16 in den Schmelzefilm 14 zurück. Beim Fortschreiten des Materialstroms in einer Kanalrichtung 17 wird der Schmelzewirbel 15 immer breiter und drückt dabei den deformierbaren und daher schmaler werdenden Feststoffblock 10 zur Gegenschubflanke 5b hin. Um die Aufschmelzfläche zwischen dem Feststoff 10 und der Zylinderwand 13 möglichst groß zu halten, wird in der Regel die Schnecke 1 in der Aufschmelzzone 101 mit abnehmender Gangtiefe h ausgeführt, wodurch der Feststoffblock 10 sowohl in die Breite gequetscht als auch in Kanalrichtung 17 beschleunigt wird.

Gegen Ende der Aufschmelzzone 101 bricht der Feststoffblock 10 oftmals in Folge von Beschleunigungskräften in Teilstücke 18 auseinander und die in der in Fig. 2c gezeigten idealisierten Vorstellungen treffen in diesem Endbereich der Aufschmelzzone

101 in der Praxis dann nicht mehr zu. Falls die in der Schmelzzone fortschwimmenden Teilstücke 18 in den Nachfolgezonen der Schnecke 1 nicht oder nur ungenügend aufgeschmolzen werden, führt dies zu thermischen Inhomogenitäten im Formteil/Extrudat, wodurch die Produktqualität erheblich beeinträchtigt werden kann.

Übliche Schnecken 1 besitzen in der Aufschmelzzone 101 eine zur Austragszone 102 hin linear abnehmende Gangtiefe h .

Außerdem ist es bekannt, dass in der Aufschmelzzone 101 gleichzeitig die Gangsteigung t linear zunehmen kann (US 4,129,386). Eine kontinuierliche Abnahme der Gangtiefe h bei gleichbleibender Gangsteigung t führt zu einer linear verlaufenden Abnahme eines Kanalquerschnitts A_0 von der Einzugszone 100 hin zur Austragszone 102 (Metering-Zone).

Der Kanalquerschnitt A_0 einer Schnecke 1 berechnet sich in jedem Abschnitt der Schnecke 1 aus dem Produkt seiner Gangbreite b und der Gangtiefe h in diesem Abschnitt. Dabei können Verlustflächen, die sich aus dem üblicherweise vorliegenden Flankenwinkeln und -radien ergeben, berücksichtigt werden. Für eine übliche Schnecke 1 mit konstanter Gangsteigung t und kontinuierlich abnehmender Gangtiefe h wird dies im Folgenden an einem Beispiel dargestellt.

Schneckendurchmesser	$D := 50 \text{ mm}$
Zonenlänge (z. B. der Aufschmelzzone 101)	$L := 350 \text{ mm}$
Gangtiefe zu Beginn der Zone 101	$h_a := 6,5 \text{ mm}$
Gangtiefe am Ende der Zone 101	$h_e := 3,0 \text{ mm}$
Gangsteigung zu Beginn der Zone 101	$t_a := 50 \text{ mm}$
Gangsteigung am Ende der Zone 101	$t_e := 50 \text{ mm}$
Stegbreite zu Beginn der Zone 101	$e_a := 5 \text{ mm}$
Stegbreite am Ende der Zone 101	$e_e := 5 \text{ mm}$

aktiver Flankenwinkel	$\gamma_a := 90 \text{ Grad}$
passiver Flankenwinkel	$\gamma_p := 120 \text{ Grad}$
aktiver Radius	$r_a := 3 \text{ mm}$
passiver Radius	$r_p := 6 \text{ mm}$
Gangzahl	$i := 1$

Für die Betrachtung des Kanalquerschnitts A_0 wird die Aufschmelzzone 101 beispielsweise in Teilabschnitte zerlegt.

Anzahl der Intervalle	$\Delta z := 10$
Intervallgröße	$\Delta L := \frac{L}{\Delta z} \quad \Delta L = 35 \text{ mm}$
Intervall	$z := 0 \text{ mm}, \Delta L, \dots L$

Somit ergibt sich für die einzelnen Teilabschnitte der folgende Verlauf der Geometrie Größen:

Steigung der Gangtiefe	$H := \frac{h_a - h_e}{L}$
Steigung der Gangsteigung	$T := \frac{t_a - t_e}{L}$
Steigung der Stegbreite	$E := \frac{e_a - e_e}{L}$
Gangtiefenverlauf	$h(z) := h_a - H \cdot z$
Gangsteigungsverlauf	$t(z) := t_a - T \cdot z$
Stegbreitenverlauf	$e(z) := e_a - E \cdot z$

Für die Berechnung der Gangbreite wird zunächst der Gangsteigungswinkel berechnet

Gangsteigungswinkel	$\varphi(z) := \text{atan}\left(\frac{t(z)}{\pi \cdot D}\right)$
Gangbreite	$b(z) := \frac{t(z) \cdot \cos(\varphi(z))}{i} - e(z)$
Der Kanalquerschnitt A_0 berechnet sich somit zu:	
Kanalquerschnitt A_0	$A_0(z) := b(z) \cdot h(z)$

Werden die Verlustflächen berücksichtigt, sind zunächst einige Hilfsgrößen zu berechnen

aktive tangentielle Höhe

$$h_{T_a} := \frac{r_a}{\tan\left(\frac{\gamma_a}{2}\right)} \cdot \sin(\gamma_a)$$

$$h_{T_a} = 3 \text{ mm}$$

passive tangentielle Höhe

$$h_{T_p} := \frac{r_p}{\tan\left(\frac{\gamma_p}{2}\right)} \cdot \sin(\gamma_p)$$

$$h_{T_p} = 3 \text{ mm}$$

Bei der Berechnung der aktiven Verlustflächen sind folgende Fallunterscheidungen vorzunehmen:

1. $r_a \leq h(z)$ und

$$1.1. \quad \gamma_a \leq 90^\circ: \quad B_a(z) = \frac{r_a^2}{4}(4 - \pi)$$

$$1.2. \quad \gamma_a > 90^\circ: \quad B_a(z) = \frac{1}{2} \left[(r_a + h_{T_a}) \sqrt{2r_a - h_{T_a}} \sqrt{h_{T_a}} \right] - \pi \frac{r_a^2}{360^\circ} \operatorname{acos} \left(1 - \frac{h_{T_a}}{r_a} \right) + \frac{h_{T_a}^2 - (h(z))^2}{2 \tan(\gamma_a - 180^\circ)}$$

2. $r_a > h(z)$ und $\gamma_a \leq 90^\circ$

$$B_a(z) = \frac{1}{2} \left[(r_a + h(z)) \sqrt{2r_a - h(z)} \sqrt{h(z)} \right] - \pi \frac{r_a^2}{360^\circ} \operatorname{acos} \left(1 - \frac{h(z)}{r_a} \right)$$

3. $r_a > h(z)$ und $\gamma_a > 90^\circ$ und

$$3.1. \quad h(z) \leq h_{T_a}: \quad B_a(z) = \frac{1}{2} \left[(r_a + h(z)) \sqrt{2r_a - h(z)} \sqrt{h(z)} \right] - \pi \frac{r_a^2}{360^\circ} \operatorname{acos} \left(1 - \frac{h(z)}{r_a} \right)$$

$$3.2. \quad h(z) > h_{T_a}: \quad B_a(z) = \frac{1}{2} \left[(r_a + h_{T_a}) \sqrt{2r_a - h_{T_a}} \sqrt{h_{T_a}} \right] - \pi \frac{r_a^2}{360^\circ} \operatorname{acos} \left(1 - \frac{h_{T_a}}{r_a} \right) + \frac{h_{T_a}^2 - (h(z))^2}{2 \tan(\gamma_a - 180^\circ)}$$

Bei der Berechnung der passiven Verlustflächen sind folgende Fallunterscheidungen vorzunehmen:

1. $r_p \leq h(z)$ und

$$1.1. \quad \gamma_p \leq 90^\circ: \quad B_p(z) = \frac{r_p^2}{4}(4 - \pi)$$

$$1.2. \quad \gamma_p > 90^\circ: \quad B_p(z) = \frac{1}{2} \left[(r_p + h_{T_p}) \sqrt{2r_p - h_{T_p}} \sqrt{h_{T_p}} \right] - \pi \frac{r_p^2}{360^\circ} \arccos \left(1 - \frac{h_{T_p}}{r_p} \right) + \frac{h_{T_p}^2 - (h(z))^2}{2 \tan(\gamma_p - 180^\circ)}$$

$$2. \quad r_p > h(z) \quad \text{und} \quad \gamma_p \leq 90^\circ$$

$$B_p(z) = \frac{1}{2} \left[(r_p + h(z)) \sqrt{2r_p - h(z)} \sqrt{h(z)} \right] - \pi \frac{r_p^2}{360^\circ} \arccos \left(1 - \frac{h(z)}{r_p} \right)$$

$$3. \quad r_p > h(z) \quad \text{und} \quad \gamma_p > 90^\circ \quad \text{und}$$

$$3.1. \quad h(z) \leq h_{T_p}: \quad B_p(z) = \frac{1}{2} \left[(r_p + h(z)) \sqrt{2r_p - h(z)} \sqrt{h(z)} \right] - \pi \frac{r_p^2}{360^\circ} \arccos \left(1 - \frac{h(z)}{r_p} \right)$$

$$3.2. \quad h(z) > h_{T_p}: \quad B_p(z) = \frac{1}{2} \left[(r_p + h_{T_p}) \sqrt{2r_p - h_{T_p}} \sqrt{h_{T_p}} \right] - \pi \frac{r_p^2}{360^\circ} \arccos \left(1 - \frac{h_{T_p}}{r_p} \right) + \frac{h_{T_p}^2 - (h(z))^2}{2 \tan(\gamma_p - 180^\circ)}$$

Es ergibt sich ein korrigierter
Kanalquerschnitt zu:

$$A(z) := A_0(z) - (B_a(z) + B_p(z))$$

Somit ergeben sich für die gewählte Aufschmelzzone 101 folgen-
de Daten:

ermittelter linearer Verlauf

$$A_L(z) := \frac{A(L) - A(0\text{mm})}{L} \cdot z + A(0\text{mm})$$

$$A_{0L}(z) := \frac{A_0(L) - A_0(0\text{mm})}{L} \cdot z + A_0(0\text{mm})$$

z = mm	A ₀ (z) = mm ²	A(z) = mm ²	A _{0L} (z) = mm ²	A _L (z) = mm ²
0	277,189	261,126	277,189	261,126
35	262,264	247,479	262,264	247,161
70	247,338	233,761	147,338	233,195
105	232,413	219,972	232,413	219,229
140	217,487	206,112	217,487	205,263
175	202,561	192,182	202,561	191,298
210	187,636	178,181	187,636	177,332
245	172,71	164,109	172,710	163,366
280	157,785	149,966	157,785	149,401
315	142,859	135,753	142,859	135,435
350	127,934	121,469	127,934	121,469

Oben aufgeführte tabellarische Zahlenwerte sind in Fig. 3 graphisch dargestellt. Fig. 3 zeigt den Kanalquerschnittsverlauf $A_0(z)$ in der Einheit mm^2 als durchgezogene Linie und den Kanalquerschnittsverlauf $A(z)$ in mm^2 als punktierte Linie. Der Graph für den Kanalquerschnitt $A(z)$ liegt durchgängig unterhalb des Graphen des Kanalquerschnittes $A_0(z)$. Der Unterschied der Werte für einen Kanalquerschnitt A_0 und einen Kanalquerschnitt A , jeweils für einen bestimmten Wert z ist ein Maß für die Verlustflächen. Der Kanalquerschnitt $A_0(z)$ und der Kanalquerschnitt $A(z)$ verlaufen über den gesamten Bereich z linear fallend ($A_0(z)$) oder konkav fallend ($A(z)$).

Näherungsweise kann für die Betrachtung des Kanalquerschnittes A_0 von einem Rechteckkanal ausgegangen werden. Somit werden die Verlustflächen auf Grund der Flankenradien und -winkel vernachlässigt. Dies ist gängige Praxis.

Schnecken 1 aus dem Stand der Technik haben üblicherweise den Nachteil, dass gegen Ende der Aufschmelzzone 101 hin zur Austragszone 102 der Feststoffblock 10 meist in Folge von hohen Beschleunigungskräften in die Teilstücke 18 auseinanderbricht. Dies konnte anhand von Schnitten nachgewiesen werden. Damit wird der Aufschmelzprozess uneffektiv und die Teilequalität des extrudierten oder spritzgegossenen Produktes nachteilig beeinflusst. Können nämlich einzelne Teilstücke 18 aus Feststoff 10 in der nachfolgenden Austragszone 102 einer Standardschnecke 1 oder der Mischzone einer Mischschnecke nicht vollständig aufgeschmolzen werden, führt dies zu Inhomogenitäten im Formteil.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Extrusions-/Spritzgießschnecke anzugeben, bei der ein verbessertes Aufschmelzverhalten realisiert ist und die Schmelze eine verbesserte thermische und mechanische Homogenität besitzt. Außerdem

soll ein erhöhter Massendurchsatz bei gleicher oder sogar verbesserter Qualität der Schmelze möglich sein. Eine weitere Aufgabe ist es, ein Auseinanderbrechen eines Feststoffblockes innerhalb der Aufschmelzzone zu vermeiden und somit die Aufschmelzleistung der Extruder-/Spritzgießschnecke im Bereich der Aufschmelzzone zu verbessern.

Diese Aufgabe wird mit einer Extruder-/Spritzgießschnecke mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst.

Vorteilhafte Ausführungsformen der Erfindung sind in den von den unabhängigen Ansprüchen abhängigen Ansprüchen angegeben.

Eine erfindungsgemäße Erkenntnis ist, dass der Verlauf der Gangsteigung t und der Verlauf der Gangtiefe h entlang einer Förderrichtung 6 von der Einzugszone 100 hin zur Austragszone 102 (Metering-Zone) derart gewählt sind, dass der Verlauf des Kanalquerschnittes A_0 einem konvexen Kurvenverlauf gehorcht. Unter einem konvexen Kurvenverlauf ist dabei ein Abbild einer Funktion zu verstehen, welche in einem betrachteten Abschnitt stets oberhalb einer seiner Tangenten liegt.

Definition:

1. Eine in einem Bereich (a, b) differenzierbare Funktion f ist konvex, wenn die erste Ableitung der Funktion f in dem Bereich (a, b) monoton steigend ist.
2. Eine in einem Bereich (a, b) zweimal differenzierbare Funktion f ist in dem Bereich (a, b) konvex, wenn für alle Werte aus dem Bereich (a, b) gilt, dass die zweite Ableitung der Funktion f größer oder gleich 0 ist (vergleiche Bronstein, Taschenbuch der Mathematik, 23. Auflage 1987, Seite 270, 271 mit Fußnote 1).

Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass ein Auseinanderbrechen des Feststoffblockes 10 innerhalb einer Aufschmelzzone 102 einer Extruder-/Spritzgießschnecke 1 (im Folgenden Schnecke 1) wesentlich von der Beschleunigung des Materialstranges innerhalb eines Kanalquerschnittes A_0 der Schnecke 1 abhängt. Erfindungsgemäß wurde weiter erkannt, dass eine wesentliche Verbesserung des Zusammenhalts des Feststoffblockes 10 in der Aufschmelzzone 101 der Schnecke 1 auch bis zum Ende der Aufschmelzzone 101 hin erreicht werden kann, wenn die Beschleunigung des Materialstranges innerhalb der Kanäle 7 auf niedrigem Niveau, insbesondere auf niedrigem Niveau konstant oder nahezu konstant verläuft. Wenn die Beschleunigung des Materialstromes innerhalb des Kanals 7 konstant oder nahezu konstant über die gesamte oder nahezu über die gesamte Aufschmelzzone 101 erfolgt, werden überhöhte Kräfte auf Grund von gesteigerter Beschleunigung vermieden, die für das Auseinanderbrechen des Feststoffblocks 10, insbesondere am Ende oder zum Ende der Aufschmelzzone 101 hin, verantwortlich sind. Die Beschleunigungskräfte oder ein Ansteigen der Beschleunigungskräfte kann vermieden oder reduziert werden, wenn die Beschleunigung über die gesamte Aufschmelzzone 101 konstant, insbesondere auf niedrigem Niveau konstant, gehalten wird. Hierzu wurde in einem weiteren Schritt der Erfindung erkannt, dass die Beschleunigung des Materialstromes konstant gehalten werden kann, wenn der Kanalquerschnitt A_0 des Schneckenkanals 7 innerhalb der Aufschmelzzone 101 einer konvexen Funktion folgend ab- oder zunimmt.

Dies kann auf verschiedene Art und Weise realisiert werden.

Beispielsweise kann der Kanalquerschnitt $\Delta A_0(z)$ über eine Vorgabe des Gangtiefenverlaufes $\Delta h(z)$, des Gangsteigungsverlaufes $\Delta t(z)$ oder über eine Kombination aus beiden beeinflusst werden. Bei konstanter Gangsteigung t ist beispielsweise der Gradient, z. B. der Gangtiefenabnahme/-zunahme $\Delta h(z)$, zu Beginn

der Aufschmelzzone 101 größer als am Ende der Aufschmelzzone 101, während bei stetig abnehmender Gangtiefe $h(z)$ die Gangsteigung $\Delta t(z)$ am Beginn der Aufschmelzzone 101 abnimmt und zum Ende der Aufschmelzzone 101 hin wieder zunimmt. Es ist aber auch möglich, den Schneckenkanal 7 entlang des Kanals 7 nebeneinander verlaufend in einen Bereich mit konstant abnehmendem Kanalquerschnitt A_0 , z. B. mit halber Gangbreite b , und in einen Bereich mit konvex verlaufendem Kanalquerschnitt A_0 aufzuteilen. Hierbei ist zumindest im Bereich der Aufschmelzzone 101 die Schnecke 1 im Bereich des Kanalbodens gestuft ausgebildet, wobei ein Teilkanal im Querschnitt linear ab- oder zunimmt und ein anderer Teilkanal im Querschnitt einer konvexen Funktion gehorcht.

Weiterhin ist es möglich, den konvexen Querschnittsverlauf $\Delta A_0(z)$ in der Aufschmelzzone 101 durch das Aneinanderreihen von Teilzonen mit jeweils linear abnehmendem Querschnittsverlauf anzunähern, wobei der Gradient einer nachfolgenden Teilzone kleiner ist als derjenige der vorhergehenden Teilzone.

Bei ansteigendem Querschnittsverlauf $\Delta A_0(z)$ gilt dies in umgekehrter Weise.

Bei der Erfindung ist von Vorteil, dass die zur Verfügung stehende Aufschmelzlänge der Schnecke 1 besser genutzt wird, da der Feststoffblock 10 am Ende der Aufschmelzzone 101 nicht auseinanderbricht. Dadurch wird ein verbessertes Aufschmelzen, bzw. eine verbesserte Aufschmelzleistung, der Schnecke 1 erreicht. Außerdem ergibt sich eine verbesserte thermische und mechanische Homogenität der Schmelze. Weiterhin sind erhöhte Durchsätze an Material bzw. Schmelze bei gleicher und/oder verbesserter Qualität möglich.

Figurenkurzbeschreibung:

Es zeigen:

Figur 1: schematisch eine teilgeschnittene Längsschnittansicht auf eine Extruder-/Spritzgießschnecke zur Darstellung zu definierender Begriffe;

Figur 2a: eine schematische Darstellung eines Aufschmelzvorganges in einer Aufschmelzzone nach Maddock in einer abgewinkelten Kanaldraufsicht;

Figur 2b: eine Schnittdarstellung entlang der Linie Z-Z in Fig. 2a;

Figur 2c: eine Schnittdarstellung entlang der Linie X-X in Fig. 2a;

Figur 3: eine graphische Darstellung eines Kanalquerschnittsverlaufes eines Kanals einer Schnecke gemäß dem Stand der Technik entlang der Aufschmelzzone;

Figur 4: eine graphische Darstellung einer Strömungsgeschwindigkeit in einem Kanal einer Schnecke gemäß dem Stand der Technik entlang der Aufschmelzzone;

Figur 5: eine graphische Darstellung des Beschleunigungsverlaufes in einem Kanal entlang der Aufschmelzzone gemäß dem Stand der Technik.

Die folgenden Figuren 6 bis 7c dienen zur Erläuterung der Erfindung, welche anhand dieser Figuren beispielhaft näher beschrieben wird. Es zeigen:

Figur 6: eine graphische Darstellung des Kanalquerschnittverlaufes gemäß der Erfindung und gemäß dem Stand der Technik;

Figur 7a: graphisch eine Gegenüberstellung des Verlaufes der Gangtiefe gemäß der Erfindung im Vergleich zum Stand der Technik;

Figur 7b: graphisch den Verlauf der Kanalgeschwindigkeit gemäß der Erfindung im Vergleich zum Stand der Technik;

Figur 7c: graphisch den Verlauf der Beschleunigung im Kanal gemäß der Erfindung gegenüber dem Stand der Technik;

Figur 8a: den Verlauf der Gangsteigung gemäß der Erfindung im Vergleich zum Stand der Technik;

Figur 8b: den Verlauf der Strömungsgeschwindigkeit im Kanal gemäß der Erfindung im Vergleich zum Stand der Technik;

Figur 8c: den Verlauf der Beschleunigung im Kanal gemäß der Erfindung im Vergleich zum Stand der Technik.

Ziel ist es, die Aufschmelzzone 101 einer Schnecke 1 so auszulegen, dass das Granulat-/Schmelzegemisch - vor allem am Ende der Aufschmelzzone 101 - nur gering beschleunigt wird, um dadurch das Aufbrechen des Feststoffblocks 10 und die daraus resultierenden negativen Auswirkungen auf die Schmelze (siehe oben) zu unterdrücken. Um dies zu realisieren wird eine Schnecke 1 vorgestellt, deren Kanalquerschnitt A_0 in der Aufschmelzzone 101 nicht linear oder konkav vom Ende der Einzugszone 100 hin zum Beginn der Austragszone 102 verläuft (üblicherweise abnimmt), sondern einem konvexen Kurvenverlauf folgt. Dies kann sowohl über eine Vorgabe des Gangtiefenverlaufes $\Delta h(z)$,

des Gangsteigungsverlaufes $\Delta t(z)$ oder über eine Kombination aus beiden vorgegeben werden. Bei konstanter Gangsteigung t ist somit der Gradient des Gangtiefenverlaufes, d. h. der Gradient der Gangtiefenerhöhung oder der Gradient der Gangtiefenabnahme zu Beginn der Aufschmelzzone 101 größer als am Ende der Aufschmelzzone 101, während bei linear abnehmender (zunehmender) Gangtiefe $h(z)$ die Gangsteigung $\Delta t(z)$ am Beginn der Aufschmelzzone 101 abnimmt (zunimmt) und zum Ende der Aufschmelzzone 101 hin wieder zunimmt (abnimmt). Es ist aber auch möglich, den Schneckenkanal 7 in einen Bereich mit konstant abnehmendem Querschnitt (z. B. halber Gangbreite b) und in einen Bereich mit konvex verlaufendem Querschnitt ΔA_0 aufzuteilen.

Weiterhin ist es möglich, den konvexen Querschnittsverlauf ΔA_0 in der Aufschmelzzone 101 durch das Aneinanderreihen von Teilzonen mit linear abnehmendem Querschnittsverlauf (wie im Folgenden dargestellt) anzunähern.

Im Folgenden wird beispielhaft eine mögliche Auslegungsvariante vorgestellt, mit deren Hilfe der konvexe Verlauf des Kanalquerschnittes ΔA_0 dimensioniert werden kann. Die Auslegung realisiert eine konstante Beschleunigung auf niedrigem Niveau.

Für die Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit in Kanalrichtung 17 wird eine Schneckendrehzahl angenommen, mit deren Hilfe der Volumenstrom als Produkt der Strömungsgeschwindigkeit und des Kanalquerschnitts A_0 berechnet wird.

Drehzahl (Zahlenwert beispielhaft) $n := 250 \frac{1}{\text{min}}$

Umfangsgeschwindigkeit $v_u := D \cdot \pi \cdot n$ $v_u := 0,654 \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Geschwindigkeit in Kanalrichtung 17 $v_z(z) := v_u \cdot \cos(\phi(z))$

Beschleunigung in Kanalrichtung 17	$a_z(z) := 2 \cdot \frac{(v_z(z) - v_z(z - \Delta L))^2}{\Delta L}$
Volumenstrom ohne Verlustflächen	$V_0(z) := v_z(z) \cdot A_0(z)$
Volumenstrom mit Verlustflächen	$V(z) := v_z(z) \cdot A(z)$

In der Aufschmelzzone 101 wird das Granulat in Schmelze umgewandelt. Für die Berechnung des Massedurchsatzes kann zu Beginn der Aufschmelzzone 101 mit der Dichte am Ende der Einzugszone 100 (nach Bürkle) und am Ende der Aufschmelzzone 101 von der Schmelzedichte des zu verarbeitenden Kunststoffes ausgegangen werden.

Schüttdichte (Zahlenwert beispielhaft)	$\rho_{\text{Sch}} := 0,59 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Dichte am Ende der Einzugszone 100 (Zahlenwert beispielhaft)	$\rho_E := 1,14 \rho_{\text{Sch}}$
Schmelzdichte (Zahlenwert beispielhaft)	$\rho_s := 0,74 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}$
Steigung der Dichte	$p := \frac{\rho_E - \rho_s}{L}$
Dichtefunktion	$\rho(z) := \rho_{\text{Sch}} \cdot \left(\frac{L - z}{L} \right) + \rho_s \cdot \frac{z}{L}$

Aus dem tatsächlichen Massedurchsatz der Schnecke 1 lässt sich mit Hilfe der Dichtefunktion die tatsächliche Strömungsgeschwindigkeit bzw. Beschleunigung in Kanalrichtung in jedem Intervall betrachten.

tatsächlicher Massedurchsatz (Zahlenwert beispielhaft)	$m_{\text{abs}} := 36,7 \frac{\text{g}}{\text{s}}$
tatsächlicher Volumenstrom	$V_t(z) := \frac{m_{\text{abs}}}{\rho(z)}$
tatsächliche Strömungsgeschwindigkeit	$v_t(z) := \frac{V_t(z)}{A_0(z)}$
tatsächliche Beschleunigung im Kanal	$a_t(z) := 2 \cdot \frac{(v_t(z) - v_t(z - \Delta L))^2}{\Delta L}$

Für die oben angegebenen beispielhaften Zahlenwerte für die Schüttdichte, die Dichte am Ende der Einzugszone 100 und die Schmelzdichte sowie der Wert für den tatsächlichen Massendurchsatz ist in Fig. 4 beispielhaft ein tatsächlicher Strömungsgeschwindigkeitsverlauf im Kanal 7 dargestellt. Hinsichtlich der geometrischen Randbedingungen betreffend den Schneckendurchmesser, die Zonenlänge, die Gangtiefe h am Beginn und am Ende der Zone 101, die Gangsteigung t am Beginn und am Ende der Zone 101 sowie die Stegbreite e am Beginn und am Ende der Zone 101 sind die Zahlenwerte gemäß der vorne näher erläuterten Schnecke aus dem Stand der Technik zu Grunde gelegt. Die Strömungsgeschwindigkeit im Kanal 7 steigt von einem Ausgangswert bei $z = 0$ in Form einer konvexen Kurve an bis auf einen Endwert bei $z = 350$ mm.

Aus obiger Formelherleitung für die tatsächliche Beschleunigung im Kanal 7 ist mit den für die Fig. 4 genannten Zahlenvorgaben in Fig. 5 für dieses Beispiel aus dem Stand der Technik die tatsächliche Beschleunigung im Kanal 7 graphisch dargestellt. Die Beschleunigung im Kanal 7 nimmt von einem Startwert bei $z = 0$ mm bis zu einem Endwert bei $z = 350$ mm am Ende der Aufschmelzzone 101 zu und besitzt einen konvexen Verlauf. Da die Beschleunigung am Ende der Aufschmelzzone 101 am größten ist, sind dort auch die Kräfte auf den Feststoffblock 10 am größten, was das ungewollte Auseinanderreißen des Feststoffblockes 10 bewirkt.

Ausgehend von dieser Erkenntnis am Beispiel einer Schnecke aus dem Stand der Technik wird im Folgenden eine Herleitung für die Auslegung einer erfindungsgemäßen Schnecke 1 angegeben, bei der das Ziel einer konstanten Beschleunigung im Kanal 7 innerhalb der Aufschmelzzone 101 erreicht ist.

Idealerweise nimmt die Strömungsgeschwindigkeit über der Länge der Aufschmelzzone 101 konstant zu, d. h. mit konstanter Beschleunigung (siehe oben). Somit ist eine linear ansteigende Strömungsgeschwindigkeit anzustreben.

Geschwindigkeit zu Beginn der Aufschmelzzone 101 $v_a := \frac{V_t(0\text{mm})}{A_0(0\text{mm})}$

Geschwindigkeit am Ende der Aufschmelzzone 101 $v_e := \frac{V_t(L)}{A_0(L)}$

Verlauf der idealisierten Strömungsgeschwindigkeit $v(z) := v_a - \frac{v_a - v_e}{L} \cdot z$

Durch Gleichsetzen des tatsächlichen Verlaufs der Strömungsgeschwindigkeit $v_t(z)$ mit dem anzustrebenden linearisierten Verlauf $v(z)$ erhält man den erforderlichen Kanalquerschnitt A_0 aus

$$\frac{V_t(z)}{\Delta A_0(z)} = v(z) \implies$$

der erforderliche Kanalquerschnitt $\Delta A_0(z) := \frac{V_t(z)}{v(z)}$. Hierbei sind die Verlustflächen nicht berücksichtigt.

Der erfindungsgemäß ermittelte Kanalquerschnitt $\Delta A_0(z)$ ist in Fig. 6 zusammen mit dem linear abfallenden Querschnittsverlauf $A_0(z)$ gemäß dem Stand der Technik graphisch dargestellt. Der Kanalquerschnittsverlauf $\Delta A_0(z)$ besitzt über dem ausgewählten z -Bereich einen konvexen Verlauf, da der Graph der Funktion $\Delta A_0(z)$ für alle z aus dem betrachteten Bereich stets oberhalb einer beliebig an diesem Graph angelegten Tangente verläuft (vergleiche Definition oben).

Da der Kanalquerschnitt A_0 näherungsweise das Produkt aus Gangbreite b und Gangtiefe h ist, lässt sich somit der erforderliche Gangtiefenverlauf $\Delta h(z)$ bei konstanter oder linearer Gang-

steigung $t(z)$ oder der erforderliche Gangsteigungsverlauf $\Delta t(z)$ bei konstanter oder linearer Gangtiefe $h(z)$ ableiten.

1. Beispiel:

Bestimmung des erforderlichen Gangtiefenverlaufes $\Delta h(z)$

erforderlicher Kanalquerschnitt

$$\Delta A_0(z) = b(z) \cdot \Delta h(z)$$

erforderlicher Gangtiefenverlauf
für $t(z)$ unverändert

$$\Delta h(z) := \frac{\Delta A_0(z)}{b(z)}$$

idealisierte Kanalgeschwindigkeit

$$v_h(z) := \frac{V_t(z)}{b(z) \cdot \Delta h(z)}$$

idealisierte Beschleunigung

$$a_h(z) := 2 \cdot \frac{(v_h(z) - v_h(z - \Delta L))^2}{\Delta L}$$

$\Delta h(z) =$ mm	$h(z) =$ mm	$v_t(z) =$ $\frac{m}{s}$	$v_h(z) =$ $\frac{m}{s}$	$a_h(z) =$ $\frac{mm}{s^2}$
6,5	6,5	0,197	0,197	20,805
5,867	6,15	0,216	0,216	20,805
5,338	5,8	0,235	0,235	20,805
4,889	5,45	0,254	0,254	20,805
4,503	5,1	0,273	0,273	20,805
4,169	4,75	0,292	0,292	20,805
3,877	4,4	0,311	0,311	20,805
3,619	4,05	0,33	0,33	20,805
3,389	3,7	0,349	0,349	20,805
3,184	3,35	0,369	0,369	20,805
3	3	0,388	0,388	20,805

Diese oben genannten beispielhaften tabellarisch aufgelisteten Zahlenwerte sind in den Fig. 7a bis 7c graphisch veranschaulicht. Fig. 7a zeigt den erfindungsgemäßen Gangtiefenverlauf $\Delta h(z)$ in einer punktierten Linie und den Gangtiefenverlauf $h(z)$ gemäß dem Stand der Technik in einer durchgezogenen Linie. Fig. 7b zeigt den Kanalgeschwindigkeitsverlauf $v_h(z)$ gemäß

der Erfindung in einer punktierten Linie und den Kanalgeschwindigkeitsverlauf $v_t(z)$ gemäß dem Stand der Technik in einer durchgezogenen Linie. Fig. 7c zeigt den Beschleunigungsverlauf $a_h(z)$ gemäß der Erfindung in einer punktierten Linie und den Beschleunigungsverlauf $a_t(z)$ gemäß dem Stand der Technik in einer durchgezogenen Linie.

Fig. 7a zeigt, dass bei einer konstanten Gangsteigung t der Gangtiefenverlauf $\Delta h(z)$ gemäß der Erfindung einer konvexen Funktion gehorchen muss, welche insbesondere monoton fallend ist. Hieraus ergibt sich eine resultierende Kanalgeschwindigkeit gemäß der Erfindung, welche linear ansteigend ausgebildet ist (vergleiche Fig. 7b). Dies bedeutet, dass die zugehörige Beschleunigung $a_h(z)$ konstant ist, wie aus Fig. 7c hervorgeht. Im Gegensatz dazu ist die resultierende Beschleunigung $a_t(z)$ gemäß dem Stand der Technik ansteigend. Somit ist das Ziel einer konstanten Beschleunigung über den gesamten Bereich der Aufschmelzzone 101 erreicht. Hieraus resultiert ein gleichmäßiger Krafteintrag auf den Feststoffblock 10, so dass ein ungewolltes Abreißen der Teilstücke 18 vermieden ist.

2. Beispiel:

Bestimmung des erforderlichen Gangsteigungsverlaufes $\Delta t(z)$

$$\text{erforderlicher Kanalquerschnitt} \quad \Delta A_0(z) = \left(\frac{\Delta t(z) \cdot \cos\left(\text{atan}\left(\frac{\Delta t(z)}{\pi \cdot D}\right)\right)}{i} - c(z) \right) \cdot h(z)$$

erforderlicher Gangsteigungsverlauf
für $h(z)$ unverändert

$$\Delta t(z) := \frac{i \cdot \pi \cdot D \cdot (h(z) \cdot c(z) + \Delta A_0(z))}{\sqrt{-i^2 \cdot h(z)^2 \cdot c(z)^2 - 2 \cdot i^2 \cdot h(z) \cdot c(z) \cdot \Delta A_0(z) - i^2 \cdot \Delta A_0(z)^2 + D^2 \cdot h(z)^2 \cdot \pi^2}}$$

$$\text{erforderlicher Gangsteigungswinkel} \quad \Delta \phi(z) := \text{atan}\left(\frac{\Delta t(z)}{\pi \cdot D}\right)$$

erforderlicher Gangbreitenverlauf $\Delta b(z) := \frac{\Delta t(z) \cdot \cos(\Delta \phi(z))}{i} - e(z)$

idealisierte Strömungsgeschwindigkeit $v_{st}(z) := \frac{V_t(z)}{\Delta b(z) \cdot h(z)}$

idealisierte Beschleunigung $a_{st}(z) := 2 \cdot \frac{(v_{st}(z) - v_{st}(z - \Delta L))^2}{\Delta L}$

$\Delta t(z) =$ mm	$h(z) =$ mm	$v(z) =$ $\frac{m}{s}$	$v_{st}(z) =$ $\frac{m}{s}$	$a_{st}(z) =$ $\frac{mm}{s^2}$
50	6,5	0,197	0,197	20,805
47,745	6,15	0,216	0,216	20,805
46,111	5,8	0,235	0,235	20,805
44,992	5,45	0,254	0,254	20,805
44,321	5,1	0,273	0,273	20,805
44,068	4,75	0,292	0,292	20,805
44,228	4,4	0,311	0,311	20,805
44,823	4,05	0,33	0,33	20,805
45,907	3,7	0,349	0,349	20,805
47,578	3,35	0,369	0,369	20,805
50	3	0,388	0,388	20,805

Oben tabellarisch aufgeführte Zahlenwerte sind in den Fig. 8a bis 8c graphisch dargestellt. Fig. 8a zeigt den Gangsteigungsverlauf $\Delta t(z)$ gemäß der Erfindung in einer punktierten Linie und den Gangsteigungsverlauf $t(z)$ gemäß dem Stand der Technik in einer durchgezogenen Linie. Fig. 8b zeigt den Verlauf der Strömungsgeschwindigkeit $v_{st}(z)$ gemäß der Erfindung in einer punktierten Linie und den Verlauf der Strömungsgeschwindigkeit $v_t(z)$ gemäß dem Stand der Technik in einer durchgezogenen Linie. Fig. 8c zeigt den Verlauf der Beschleunigung $a_{st}(z)$ gemäß der Erfindung in einer punktierten Linie und den Beschleunigungsverlauf $a_t(z)$ gemäß dem Stand der Technik in einer durchgezogenen Linie. Aus Fig. 8a geht hervor, dass der erfindungsgemäße Gangsteigungsverlauf $\Delta t(z)$ einer konvexen Funktion ge-

horcht und ausgehend von $z = 0$ zunächst monoton fällt, bis etwa zur Mitte der Aufschmelzzone 101, um anschließend wiederum auf den Ausgangswert, wie bei $z = 0$, anzusteigen. Der Kurvenverlauf der Funktion $\Delta t(z)$ ist konvex im Sinne obiger Definition, da der Graph der Funktion stets oberhalb seiner Tangenten verläuft. Aus einem derartigen Verlauf der Gangsteigung $\Delta t(z)$ über z resultiert gemäß Fig. 8b ein erfindungsgemäß gewünschter linearer Anstieg der Strömungsgeschwindigkeit im Kanal 7 der in Fig. 8b dargestellt ist. Da die Strömungsgeschwindigkeit im Kanal 7 gemäß der Erfindung linear ansteigt, muss die zugehörige Beschleunigung $a_{st}(z)$ gemäß der Erfindung konstant sein. Dies ist in Fig. 8c verdeutlicht. Da die Beschleunigung im Kanal 7 über die gesamte Aufschmelzzone 101 konstant ist, ist ein Kraftanstieg gerade am Ende der Aufschmelzzone 101 auf den Feststoffblock 10 vermieden, so dass ein ungewolltes Abbrechen bzw. Abreißen von Teilstücken 18 vermieden ist.

Für den konvexen Verlauf des Kanalquerschnittes A_0 ergeben sich somit beispielsweise die folgenden Vorgaben für den Gangtieffenverlauf $\Delta h(z)$ bei gegebenem Verlauf der Gangsteigung $t(z)$ oder für den Gangsteigungsverlauf $\Delta t(z)$ bei gegebenem Verlauf der Gangtiefe $h(z)$.

Mit $t(z)$ ergibt sich $\Delta h(z)$ und für $h(z)$ ergibt sich $\Delta t(z)$

= mm	= mm	= mm	= mm
50	6,5	6,5	50
50	5,867	6,15	47,745
50	5,338	5,8	46,111
50	4,889	5,45	44,992
50	4,503	5,1	44,321
50	4,169	4,75	44,068
50	3,877	4,4	44,228

50
50
50
50

3,619
3,389
3,184
3

4,05
3,7
3,35
3

44,823
45,907
47,578
50

Auch wenn in der Aufschmelzzone 101 anstelle der Dichte am Ende der Einzugszone 100 nur mit der Schmelzedichte oder der Schüttdichte gerechnet wird, ergibt sich mit einem konvexen Verlauf (Zunahme oder Abnahme) des Kanalquerschnitts A_0 eine Optimierung der Beschleunigung in Kanalrichtung 17.

Für Schnecken 1, bei denen der Kanalquerschnitt A_0 der Austragszone 102 nicht kleiner als der der Einzugszone 100 ist, sondern gleich oder größer, gilt die gleiche Vorgehensweise. Auch in diesem Fall kann die Beschleunigung durch einen konvexen Verlauf des Kanalquerschnittes ΔA_0 von der Einzugszone 100 hin zur Austragszone 102 konstant auf niedrigem Niveau gehalten werden.

Bezugszeichenliste:

1	Schnecke
2	Schneckenzyylinder
3	Antriebsrichtung
4	Schneckenkern
5	Schneckengang
5a	Schubflanke
5b	Gegenschubflanke
6	Förderrichtung
7	Kanal
10	Feststoff/Feststoffblock
11	Schmelzefilm
12	Schmelzefilm
13	Zylinderwand
14	Schmelzefilm
15	Schmelzewirbel/Schmelzewirbel
16	Leckspalt
17	Kanalrichtung
18	Teilstücke
100	Einzugszone
101	Aufschmelzzone
102	Austragszone
D	Kerndurchmesser
ϕ	Gangsteigungswinkel
t	Gangsteigung
h	Gangtiefe
b	Gangbreite
e	Stegbreite
A ₀	Kanalquerschnitt

Patentansprüche

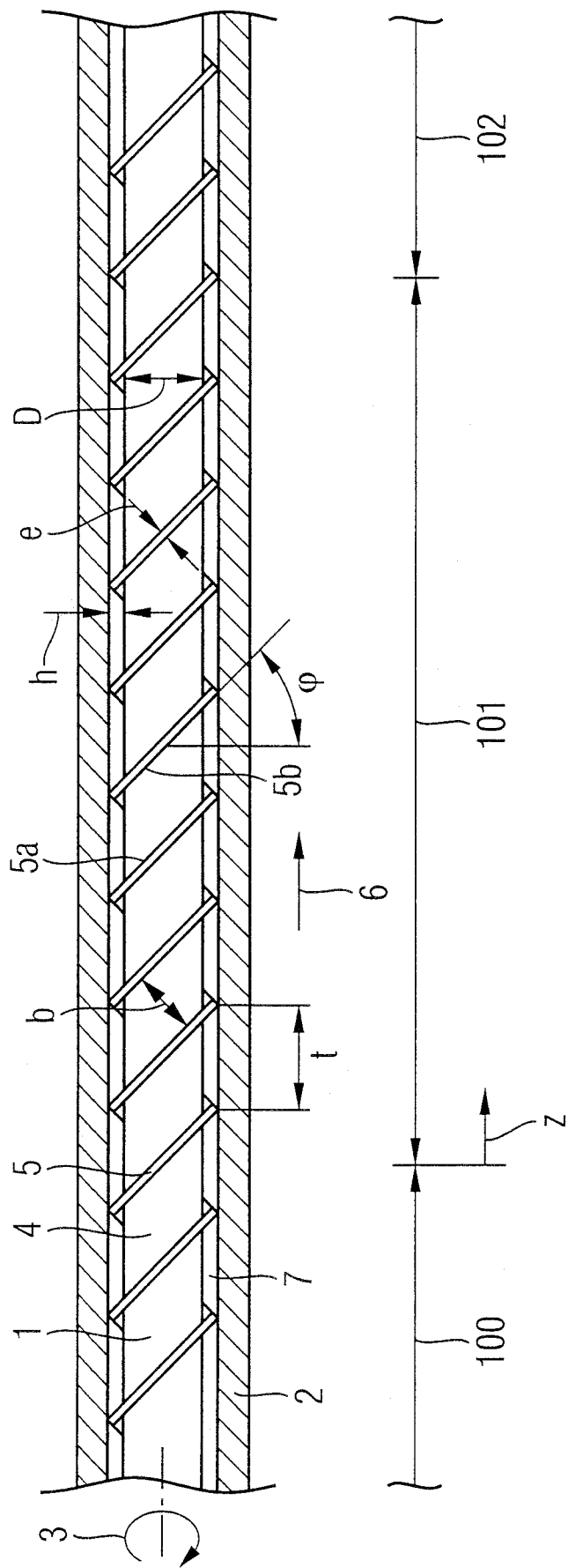
1. Schnecke für eine Extrudervorrichtung oder eine Spritzgießvorrichtung aufweisend zumindest eine Aufschmelzzone (101) mit einem Kanal (7) für aufzuschmelzendes Material, der einen Kanalquerschnitt besitzt, dadurch gekennzeichnet, dass der Kanalquerschnitt innerhalb der Aufschmelzzone (101) einen Kanalquerschnittsverlauf (ΔA_0) besitzt, der entlang einer Koordinate (z) konvex verläuft.
2. Schnecke nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Verlauf des Kanalquerschnittes (ΔA_0) konvex zunehmend ausgebildet ist.
3. Schnecke nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Verlauf des Kanalquerschnittes (ΔA_0) konvex abnehmend ausgebildet ist.
4. Schnecke nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer konstanten Gangsteigung (t) innerhalb der Aufschmelzzone (101) ein Gangtiefenverlauf ($\Delta h(z)$) konvex ansteigend oder konvex abfallend ausgebildet ist.
5. Schnecke nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer linear abnehmenden Gangtiefe (h) innerhalb der Aufschmelzzone (101) ein Gangsteigungsverlauf ($\Delta t(z)$) konvex ansteigend oder konvex abfallend ausgebildet ist.

6. Schnecke nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Gangtiefenverlauf ($\Delta h(z)$) und der Gangsteigungsverlauf ($\Delta t(z)$) entlang der Aufschmelzzone (101) hinsichtlich ihres Verlaufes derart variabel gewählt sind, so dass das Produkt aus der Gangtiefe ($\Delta h(z)$) und der Gangsteigung ($\Delta t(z)$) entlang der Aufschmelzzone (101) einen konvexen Verlauf besitzt, wobei das Produkt aus Gangtiefe ($\Delta h(z)$) und Gangsteigung ($\Delta t(z)$) näherungsweise dem Kanalquerschnitt ($\Delta A_0(z)$) entspricht.
7. Schnecke nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Strömungsgeschwindigkeit ($v_h(z)$) im Kanal (7) linear ansteigend oder linear abfallend über z ausgebildet ist.
8. Schnecke nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Beschleunigung im Kanal (7), welche auf das sich im Kanal (7) befindliche Material einwirkt, über die Koordinate (z) entlang der Aufschmelzzone (101) konstant ist.
9. Schnecke nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Gangsteigungsverlauf ($\Delta t(z)$) vom Beginn der Aufschmelzzone (101) an zunächst abfällt und anschließend einem konvexen Verlauf gehorchend wieder ansteigt.
10. Schnecke nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kanalquerschnitt (A_0) in einer der Aufschmelzzone (101) vorgelagerten Einzugszone (100) der Schnecke (1) kleiner ist als der Kanalquerschnitt (A_0)

einer der Aufschmelzzone (101) nachgelagerten Austragszone (102).

11. Schnecke nach einem der vorangegangenen Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Kanalquerschnitt (A_0) in einer der Aufschmelzzone (101) vorgelagerten Einzugszone (100) der Schnecke (1) gleich oder größer ist als der Kanalquerschnitt (A_0) einer der Aufschmelzzone (101) nachgelagerten Austragszone (102).

Fig. 1



2/7

Fig. 2a

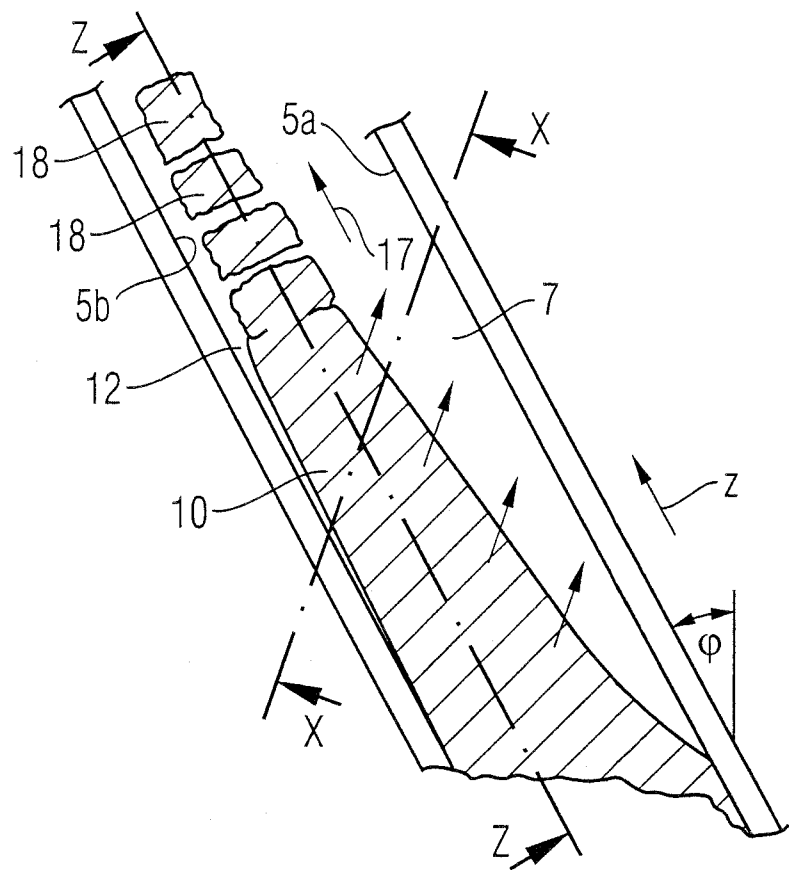


Fig. 2b Z-Z

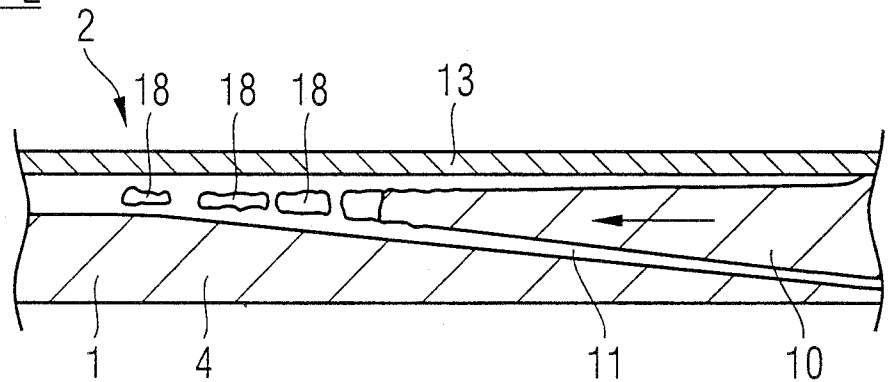
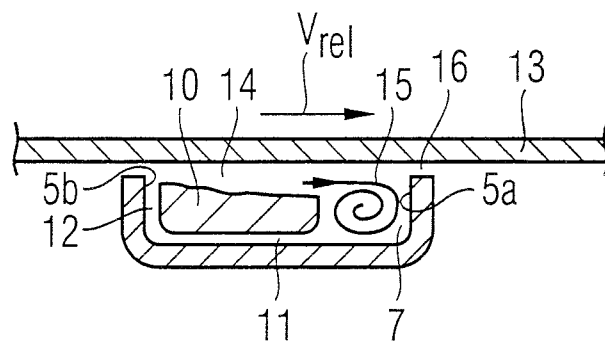


Fig. 2c X-X



3/7

Fig. 3
Stand der Technik

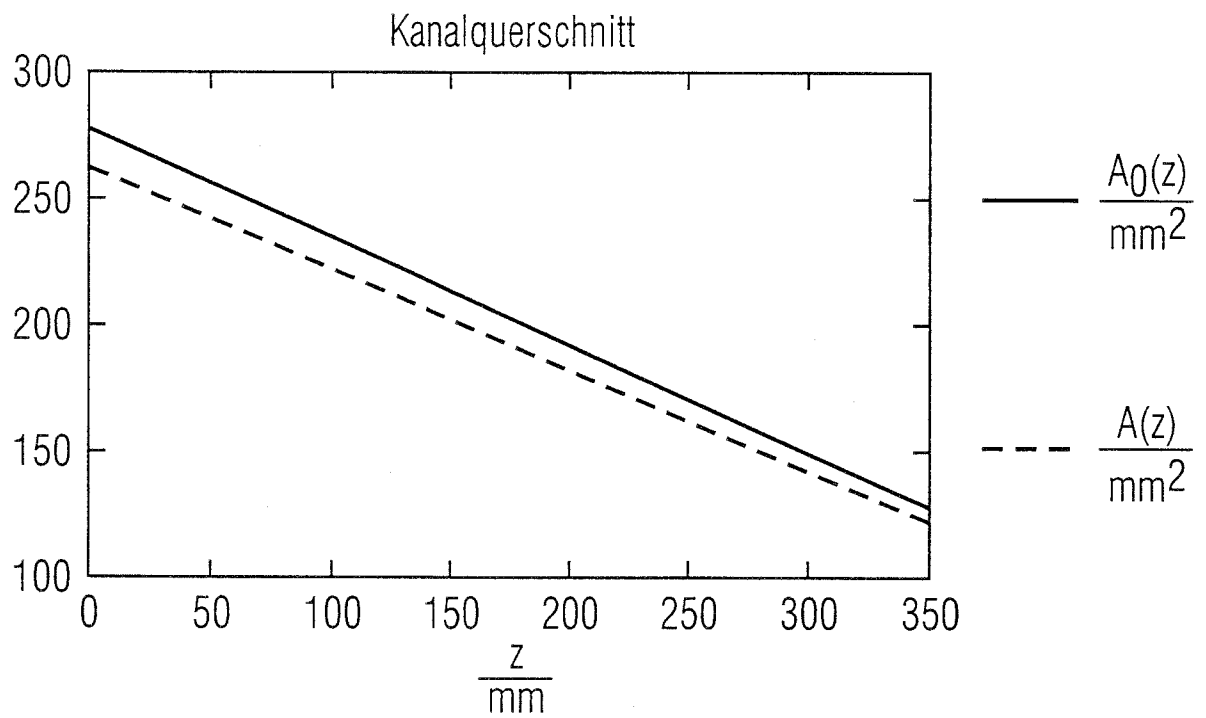
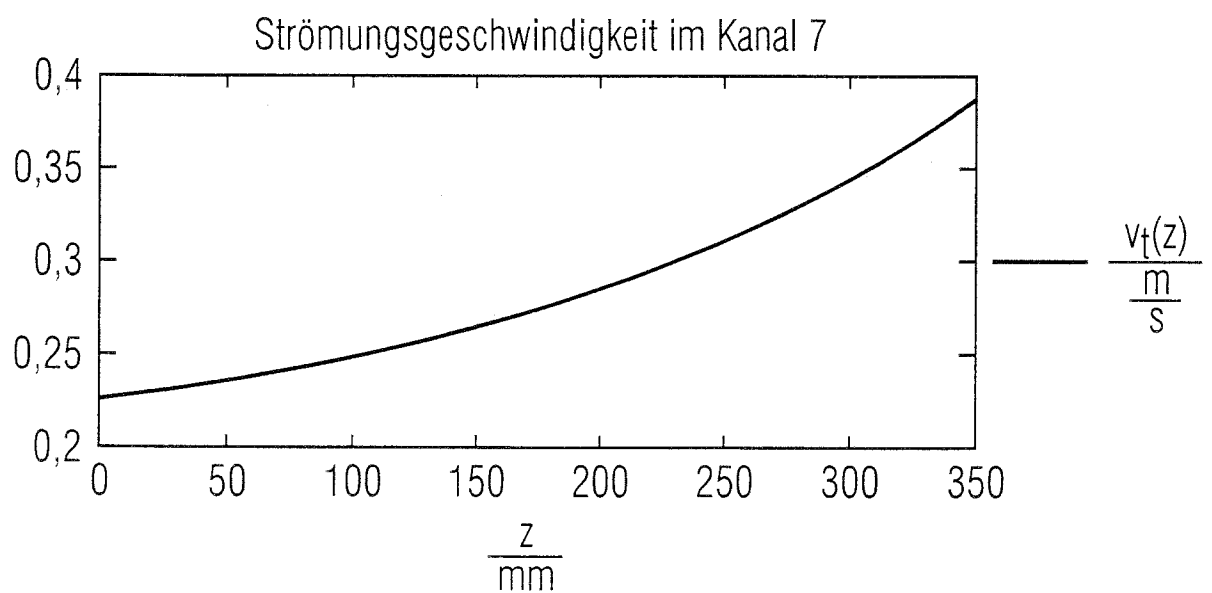


Fig. 4



4/7

Fig. 5

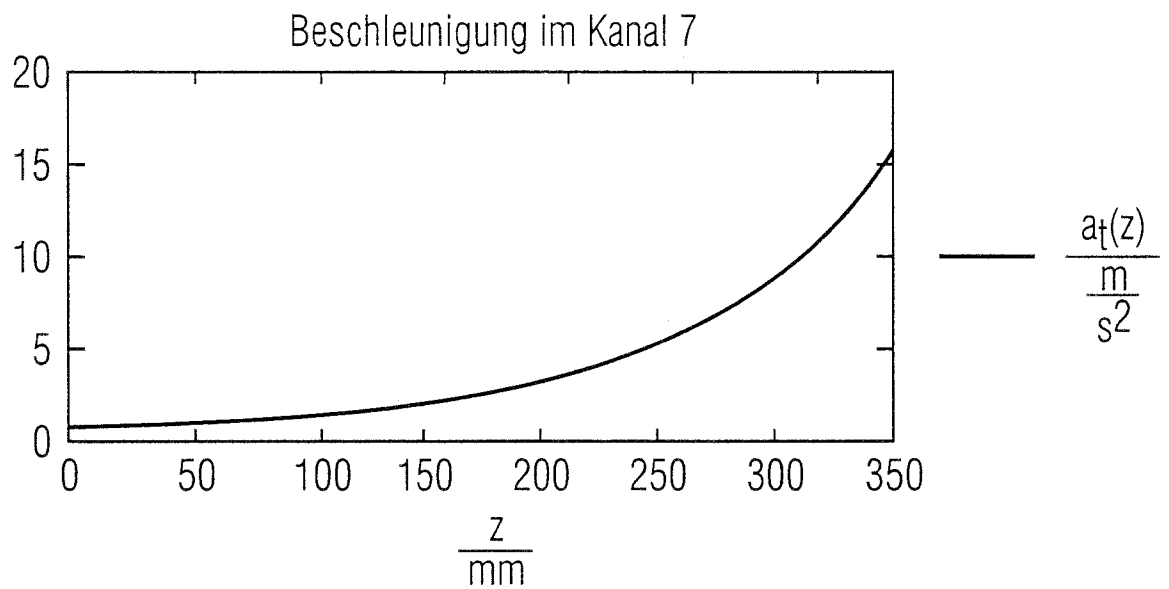
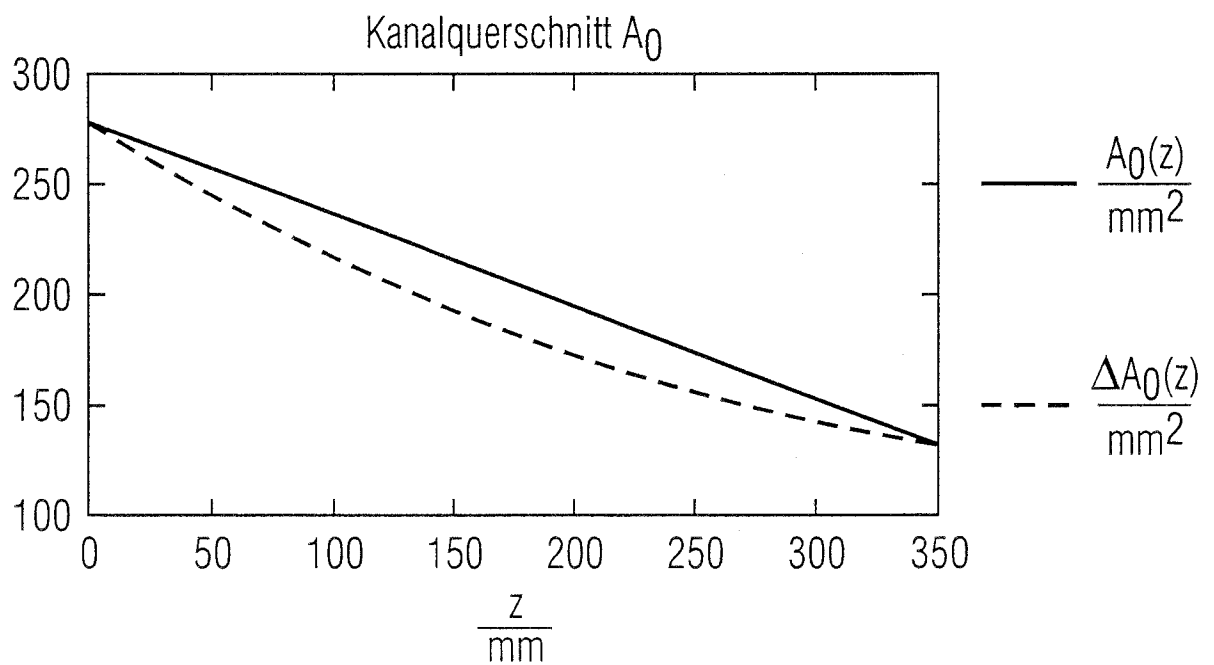


Fig. 6



— konstant abnehmender Querschnittverlauf (Stand der Technik)

- - - konvex abnehmender Querschnittverlauf (Erfindung)

5/7

Fig. 7a

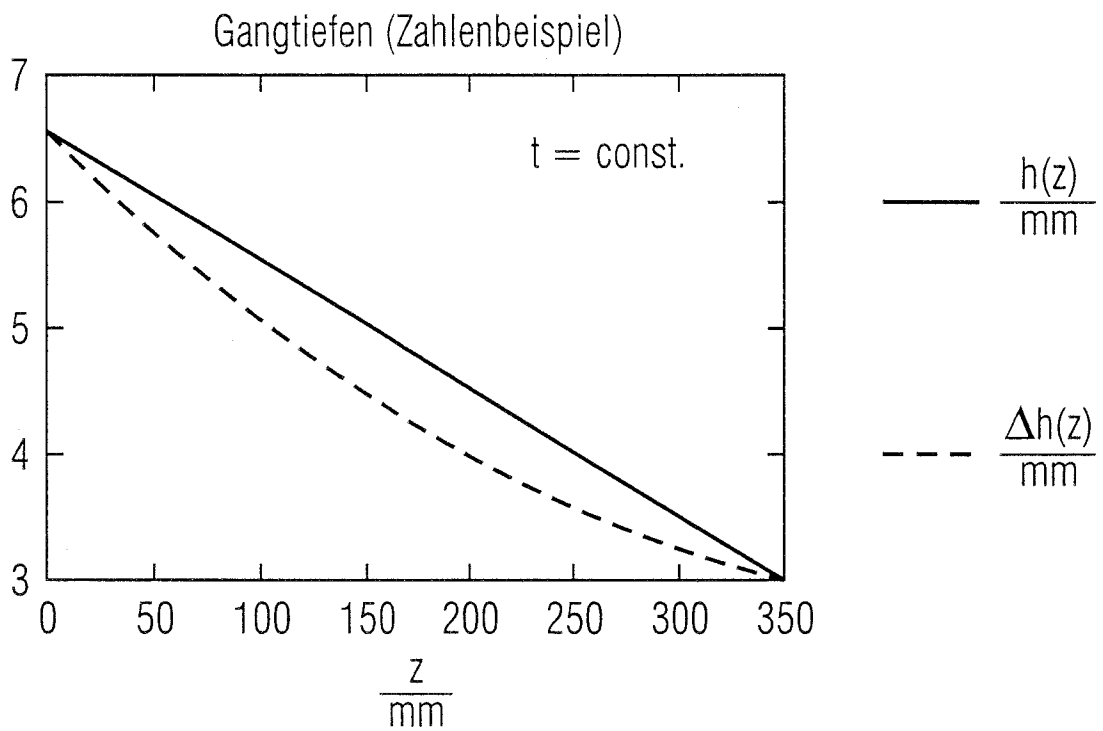
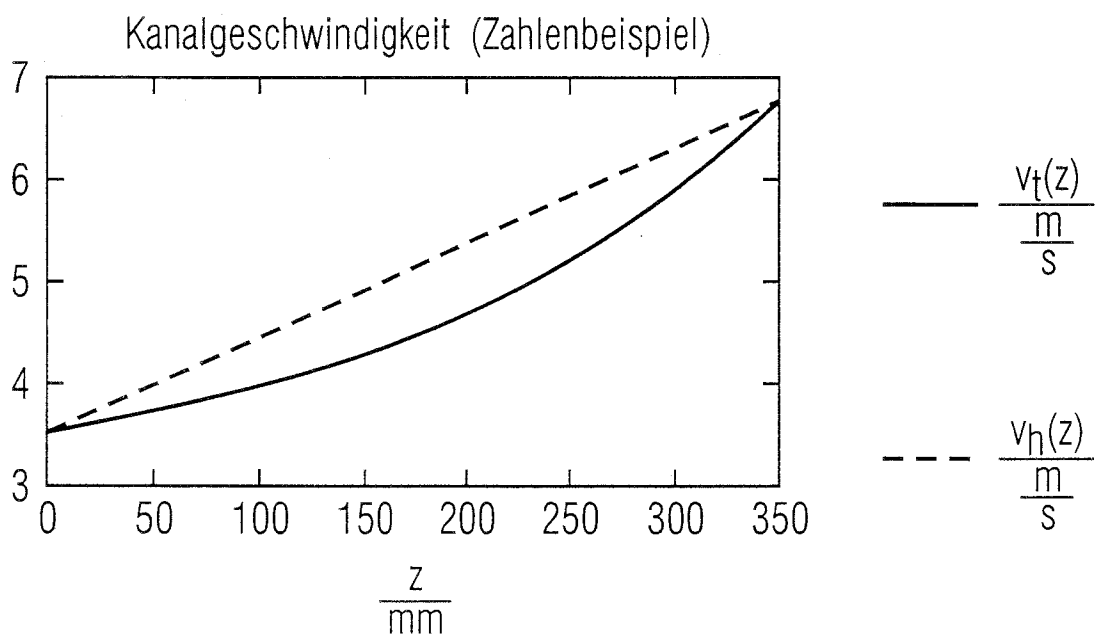
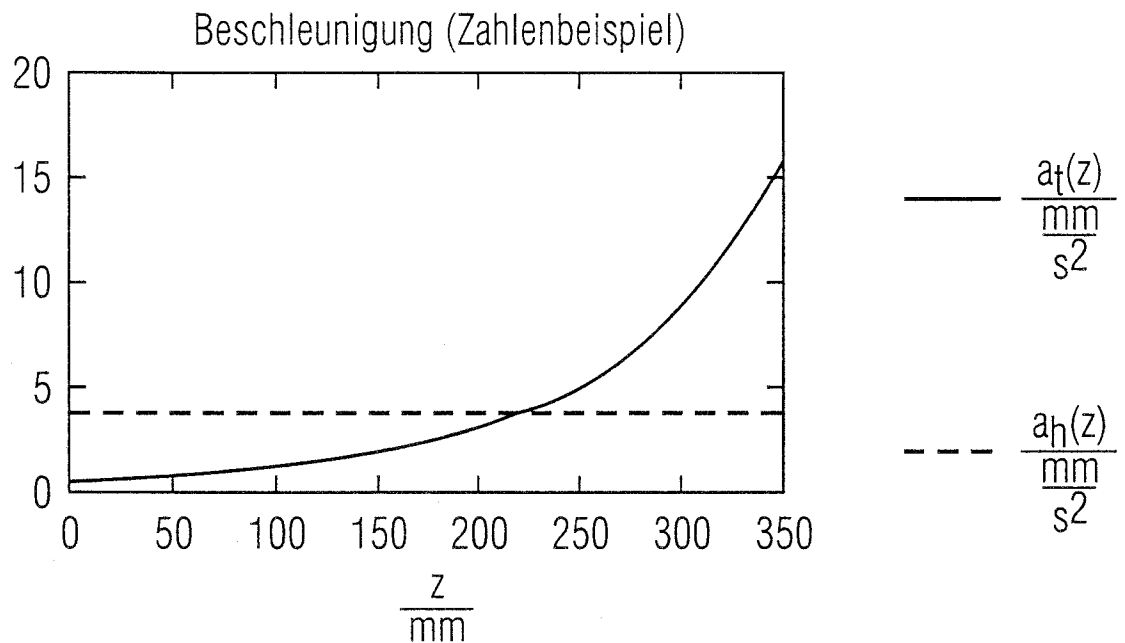


Fig. 7b



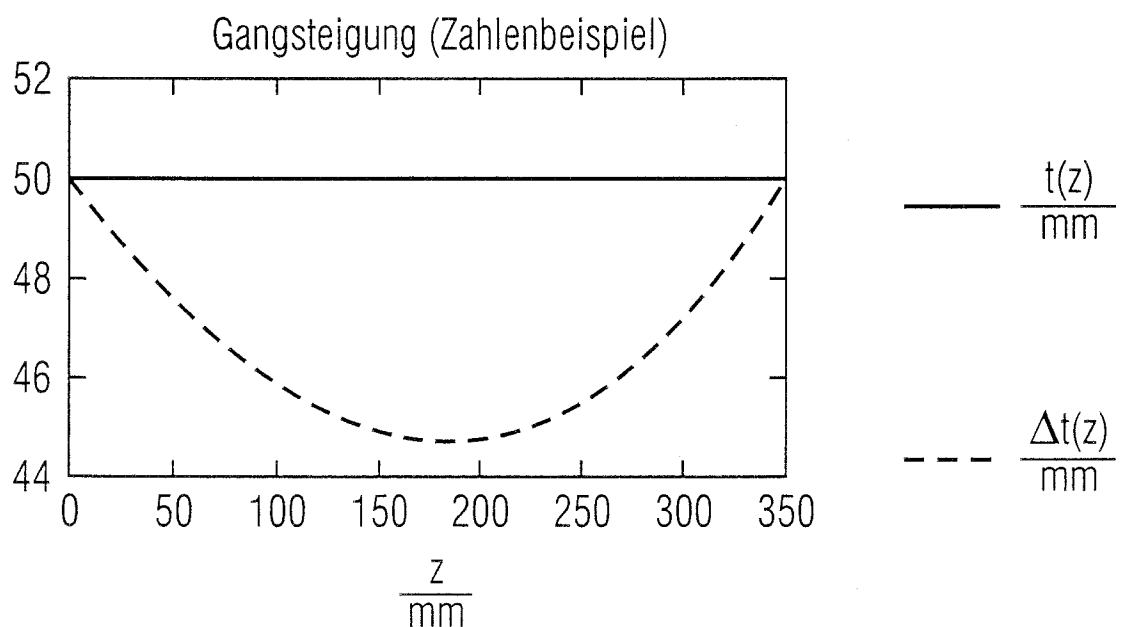
6/7

Fig. 7c



- konstant abnehmender Querschnittverlauf (Stand der Technik)
 - - - konvex abnehmender Querschnittverlauf (Erfindung)

Fig. 8a



7/7

Fig. 8b

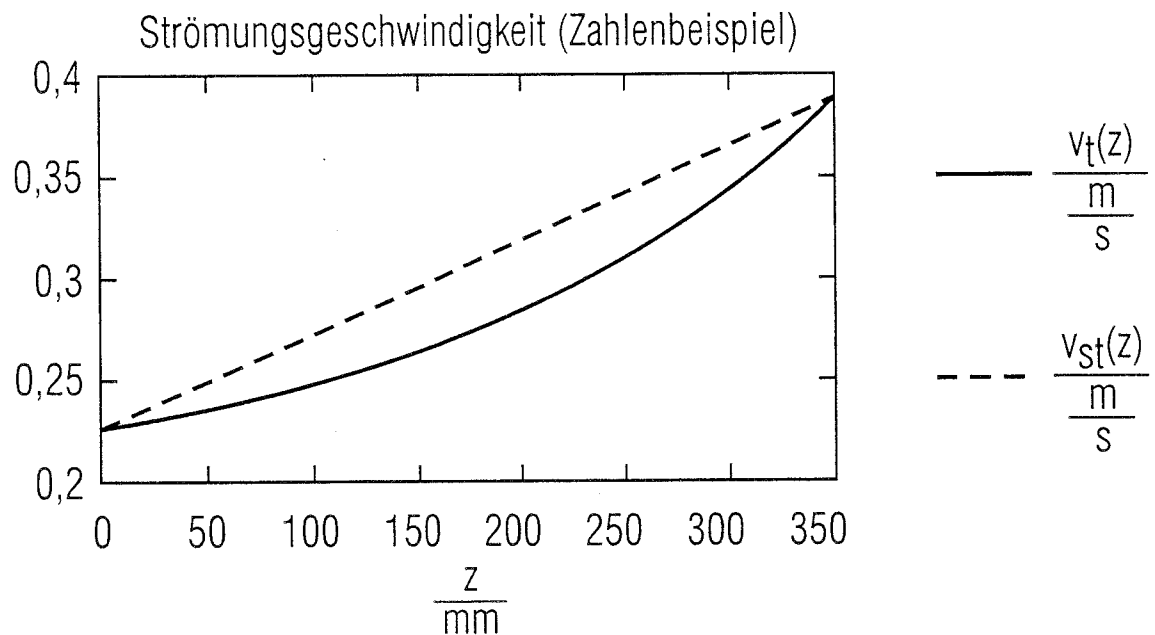
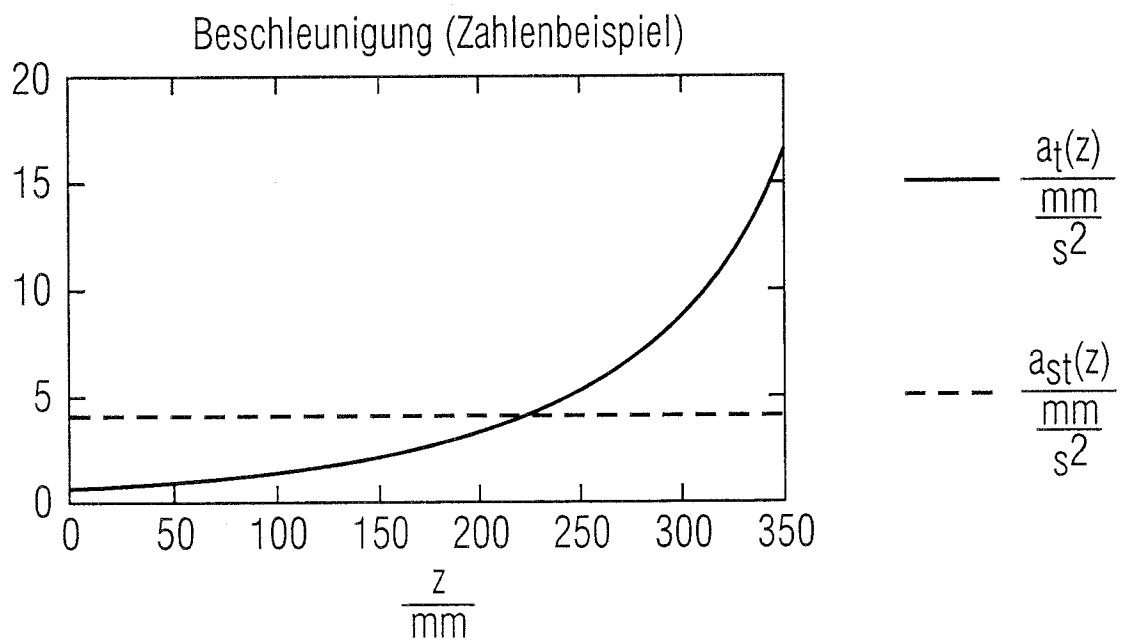


Fig. 8c



— konstant abnehmender Querschnittverlauf (Stand der Technik)

- - - konvex abnehmender Querschnittverlauf (Erfindung)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2007/050805

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. B29C47/60 B29C45/60

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)
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)

EP0-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2 872 703 A (GAMBRILL RICHARD D ET AL) 10 February 1959 (1959-02-10)	1,3,4, 6-8,11
Y	column 1, line 1 - line 43 column 3, line 31 - line 39 column 4, line 41 - line 60 column 5, line 42 - line 49; figures 4-7	5,9
X	WO 02/04184 A (BARR ROBERT [US]) 17 January 2002 (2002-01-17) page 11, line 17 - page 12, line 5; figure 11	1,2,10
X	EP 0 595 112 A1 (BRIDGESTONE CORP [JP]) 4 May 1994 (1994-05-04) column 1, line 1 - line 19 column 1, line 39 - line 56 column 2, line 53 - column 3, line 4 column 8, line 35 - line 53; figure 5	1-3
	-/-	

☒ 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.
- *G* document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 April 2007

Date of mailing of the international search report

07/05/2007

Name and mailing address of the ISA/
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Ingelgård, Tomas

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2007/050805

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	GB 791 234 A (WELDING ENGINEERS) 26 February 1958 (1958-02-26) claims 1-6	5,9
A	US 4 501 498 A (MCKELVEY JAMES M [US]) 26 February 1985 (1985-02-26) column 5, line 47 - line 53	5,9

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2007/050805

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2872703	A	10-02-1959	BE 544629 A FR 1145362 A GB 810586 A GB 810587 A NL 100413 C NL 203889 A	25-10-1957 18-03-1959 18-03-1959
WO 0204184	A	17-01-2002	AU 4151401 A CA 2414096 A1	21-01-2002 17-01-2002
EP 0595112	A1	04-05-1994	DE 69316824 D1 DE 69316824 T2 US 5464282 A	12-03-1998 18-06-1998 07-11-1995
GB 791234	A	26-02-1958	NONE	
US 4501498	A	26-02-1985	AU 565277 B2 AU 3632884 A BR 8406194 A CA 1223416 A1 DE 3482552 D1 EP 0144932 A2 JP 60242034 A	10-09-1987 04-07-1985 01-10-1985 30-06-1987 26-07-1990 19-06-1985 02-12-1985

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/050805

A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
INV. B29C47/60 B29C45/60

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

B. RECHERCHIERTE GEBIETE

Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)
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

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	US 2 872 703 A (GAMBRILL RICHARD D ET AL) 10. Februar 1959 (1959-02-10)	1,3,4, 6-8,11
Y	Spalte 1, Zeile 1 - Zeile 43 Spalte 3, Zeile 31 - Zeile 39 Spalte 4, Zeile 41 - Zeile 60 Spalte 5, Zeile 42 - Zeile 49; Abbildungen 4-7	5,9
X	WO 02/04184 A (BARR ROBERT [US]) 17. Januar 2002 (2002-01-17) Seite 11, Zeile 17 - Seite 12, Zeile 5; Abbildung 11	1,2,10



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 nahellegend ist

Z Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der internationalen Recherche

27. April 2007

Absenddatum des internationalen Recherchenberichts

07/05/2007

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
Europäisches Patentamt, P.B. 5618 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Bevollmächtigter Bediensteter

Ingelgård, Tomas

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen
PCT/EP2007/050805

C. (Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 0 595 112 A1 (BRIDGESTONE CORP [JP]) 4. Mai 1994 (1994-05-04) Spalte 1, Zeile 1 - Zeile 19 Spalte 1, Zeile 39 - Zeile 56 Spalte 2, Zeile 53 - Spalte 3, Zeile 4 Spalte 8, Zeile 35 - Zeile 53; Abbildung 5 -----	1-3
Y	GB 791 234 A (WELDING ENGINEERS) 26. Februar 1958 (1958-02-26) Ansprüche 1-6 -----	5,9
A	US 4 501 498 A (MCKELVEY JAMES M [US]) 26. Februar 1985 (1985-02-26) Spalte 5, Zeile 47 - Zeile 53 -----	5,9

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2007/050805

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 2872703 A	10-02-1959	BE 544629 A FR 1145362 A GB 810586 A GB 810587 A NL 100413 C NL 203889 A	25-10-1957 18-03-1959 18-03-1959
WO 0204184 A	17-01-2002	AU 4151401 A CA 2414096 A1	21-01-2002 17-01-2002
EP 0595112 A1	04-05-1994	DE 69316824 D1 DE 69316824 T2 US 5464282 A	12-03-1998 18-06-1998 07-11-1995
GB 791234 A	26-02-1958	KEINE	
US 4501498 A	26-02-1985	AU 565277 B2 AU 3632884 A BR 8406194 A CA 1223416 A1 DE 3482552 D1 EP 0144932 A2 JP 60242034 A	10-09-1987 04-07-1985 01-10-1985 30-06-1987 26-07-1990 19-06-1985 02-12-1985