

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50260/2022
(22) Anmeldetag: 20.04.2022
(43) Veröffentlicht am: 15.09.2023

(51) Int. Cl.: **C08G 63/78** (2006.01)
C08J 3/00 (2006.01)
B29B 7/72 (2006.01)
B29B 7/82 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
WO 2019162265 A1
WO 2020234684 A1
WO 2014127133 A1

(71) Patentanmelder:
EREMA ENGINEERING RECYCLING
MASCHINEN UND ANLAGEN
GESELLSCHAFT M.B.H.
4052 ANSFELDEN (AT)

(74) Vertreter:
Wildhack & Jellinek Patentanwälte OG
1030 Wien (AT)

(54) **Verfahren zur Bearbeitung von Polykondensaten**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Bearbeitung von Polykondensaten oder von Materialien enthaltend Polykondensate, insbesondere zur Recycling-Bearbeitung von verunreinigten Polykondensaten, umfassend die folgenden Bearbeitungsschritte:

- Vorlage der zu bearbeitenden Polykondensate bzw. Materialien, insbesondere in einem Behälter,
- zumindest teilweises, insbesondere vollständiges, Aufschmelzen der Polykondensate, insbesondere durch Extrudieren in einem Extruder, und Erstellung einer Polymerschmelze,
- Mischen der Polymerschmelze,
- Kühlen der Polymerschmelze,
- Behandlung der gemischten und gekühlten Polymerschmelze in einem Schmelzereaktor, insbesondere zur Polykondensation bzw. Nachkondensation, zur Erhöhung der intrinsischen Viskosität und/oder zur Reinigung der Polymerschmelze.

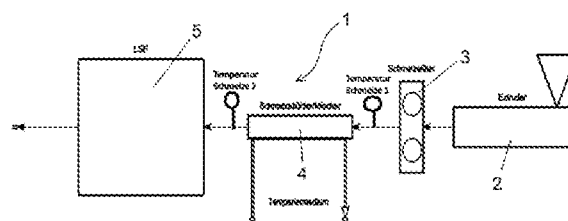


Fig. 1

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Bearbeitung von Polykondensaten oder von Materialien enthaltend Polykondensate, insbesondere zur Recycling-Bearbeitung von verunreinigten Polykondensaten, umfassend die folgenden Bearbeitungsschritte:

- a) Vorlage der zu bearbeitenden Polykondensate bzw. Materialien, insbesondere in einem Behälter,
- b) zumindest teilweises, insbesondere vollständiges, Aufschmelzen der Polykondensate, insbesondere durch Extrudieren in einem Extruder, und Erstellung einer Polymerschmelze,
- c) Mischen der Polymerschmelze,
- d) Kühlen der Polymerschmelze,
- e) Behandlung der gemischten und gekühlten Polymerschmelze in einem Schmelzereaktor, insbesondere zur Polykondensation bzw. Nachkondensation, zur Erhöhung der intrinsischen Viskosität und/oder zur Reinigung der Polymerschmelze.

Verfahren und Vorrichtung zur Bearbeitung von Polykondensaten

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Bearbeitung von Polykondensaten oder von Materialien enthaltend Polykondensate, insbesondere zur Recycling-Bearbeitung von verunreinigten Polykondensaten, gemäß Anspruch 1 bzw. Anspruch 12.

Im Wesentlichen geht es um eine Verfahrensabfolge bzw. eine Vorrichtungsabfolge, die beim Aufarbeiten von Recyclingmaterialien bestehend aus oder enthaltend thermoplastische Polykondensate eingesetzt werden kann. Als Polykondensate sind die Produkte der Polykondensation zu verstehen, wobei Monomeren mit mindestens zwei reaktionsfähigen funktionellen Gruppen unter Abspaltung von niedermolekularen Verbindungen zum Polymer verknüpft werden. Die Polykondensation ist neben der Kettenpolymerisation und der Polyaddition eine der wichtigsten Polymerisationsreaktionen.

Zu den Polykondensaten, die im Zuge der Recycling-Aufarbeiten häufig auftreten, gehören insbesondere PET, PET-G, PET-A und deren Co-Polymerisate, PA, PC, Polykondensate aus nachwachsenden Rohstoffen wie z.B. PLA, aber auch andere Esterverbindungen, die unter Temperatur und Vakuum polymerisieren bzw. polykondensieren.

Bei der Recycling-Aufbereitung erfolgt zunächst eine Überführung der im Gebrauchszustand festen Polykondensate in eine Polymerschmelze, insbesondere mit einem Extrusionssystem, z.B. mit einem bekannten PCU (Preconditioning Unit) / Schneidverdichter-Extruder-System, wobei die PCU unter Vakuum oder inerte Gase gesetzt werden kann. Die Schmelze kann filtriert werden und wird dann in weiterer Folge über einen Schmelze-Kühler in einen Schmelzereaktor - MSP (melt state process) Reaktor oder einen LSP (liquid state process) Reaktor - übergeführt, wo eine Reaktion, insbesondere eine (Nach)Polykondensation, und/oder Reinigung der Polymere erfolgt. In weiterer Folge wird die derart behandelte Schmelze einer Nachfolgevorrichtung zugeführt, die entweder Granulate produziert oder es werden Halbfertigprodukte in Linie, wie Fasern, Filamente, Bänder, Pre-Forms zur Produktion von Flaschen oder Behältern oder Folien mit entsprechenden Nachfolgen erzeugt.

Aus dem Stand der Technik sind solche Verfahren und Vorrichtungen, die sich zur Recycling-Bearbeitung von Polykondensaten grundsätzlich eignen, bekannt.

Polykondensate, wie beispielweise Polyethylenterephthalate, sind sensibel und unterliegen diversen Abbauprozessen, z.B. hydrolytischem Abbau, thermischem Abbau oder thermo-oxidativem Abbau. Der thermische Abbau ist primär ein Problem bei Prozessen in der Schmelzphase und führt z.B. zur Abnahme der intrinsischen Viskosität η_v , zur Bildung von Carboxyl-Endgruppen oder von Acetaldehyd oder zur Gelbfärbung des Polymers etc. Durch Sauerstoff werden diese Abbaureaktionen unter Bildung freier Radikale noch zusätzlich beschleunigt und verstärkt.

Hohe Masse- bzw. Schmelzetemperaturen führen oft zu einer negativen Beeinträchtigung der Qualität der Endpolymere und bewirken unter anderem eine Verkürzung der Molekülketten, eine unerwünschte Gelbildung oder auch ein Verbrennen von Partikeln und Polymer in der Schmelze. Auch die Zersetzung des Polymers oder von Inhaltsstoffen wird durch hohe Temperaturen gefördert. Dadurch wird ein Teil der Anstrengungen der vorgelagerten Prozesse zur Erhöhung der Materialqualität, z.B. Vorbehandlung, Filtration, Entgasung, wieder rückgängig gemacht bzw. konterkariert.

In diesem Zusammenhang wird die Eigenschaft von Polykondensaten ausgenutzt, dass Schädigungen, die bei der Herstellung oder/und Verwendung der Produkte entstanden sind - beispielsweise die Verkürzung der Polymerketten durch thermischen und/oder hydrolytischen Abbau, oder das Eindringen von Fremdstoffen in das Polymer, relativ einfach zu „reparieren“ sind, beispielsweise durch Re-Polymerisation. Dadurch können wieder gleiche oder nahezu gleiche Eigenschaften wie beim Ausgangsprodukt hergestellt werden. Manche Eigenschaften können durch eine derartige Behandlung sogar verbessert werden, beispielsweise die mechanischen Eigenschaften, aber auch die Reduzierung von Fremdstoffen, die z.B. vorher beim Gebrauch in das Polymer migriert sind.

Die Beeinflussung der Eigenschaften von gebrauchten Polykondensat-Produkten ist weitgehend bekannt und kann durch Polykondensationsreaktionen bzw. Reinigung durch Diffusion, vor dem Aufschmelzen, während des Aufschmelzens oder nach dem Aufschmelzvorgang in der flüssigen Phase oder in der festen Phase vorgenommen werden. Dazu werden in der Regel Festphasen-Nachkondensations-Reaktoren (Solid State SSP Reaktoren) oder Schmelzereaktoren (MSP oder LSP Reaktoren) verwendet.

Die Festphasen-Nachkondensation (SSP) ist ein Verfahren zur Weiterkondensation von Polykondensaten, um deren Molmasse unter möglichst schonenden Bedingungen zu erhöhen. Das granuliertes Polykondensat wird dabei unter Inertgas oder Vakuum nachbehandelt. Dieses

Verfahren hat gegenüber einer Schmelz-Polykondensation den Vorteil einer tieferen Reaktionstemperatur und daher einer geringeren Verfärbung der Polykondensate. Außerdem vermeidet sie Viskositätsprobleme, die in einer Polykondensat-Schmelze gravierend sein können. Allerdings benötigt eine SSP-Behandlung regelmäßig mehr Zeit, z.B. 10-20 h im Vergleich zu etwa 1 h bei einer MSP bzw. LSP-Behandlung. Die Systeme sind dadurch größer und weniger flexibel. Variable Viskositäten (η) beim Input können schwerer ausgeregelt werden.

Auch die Schmelz-Polykondensation unter Vakuum nutzt die inhärente Eigenschaft von Polykondensaten, v.a. PET, in der Schmelzephase zu (re)kondensieren, was zu einer Erhöhung des IV-Werts und zur effizienten Entfernung von flüchtigen Störstoffen führt. Im Vergleich zur SSP ist die Reaktionsgeschwindigkeit in der Schmelze deutlich höher als in der Festphase.

Im Falle der Behandlung von Materialien aus dem Gebiet des Aufbereitens von industriellen oder Post-Consumer Abfällen mittels einer Schmelze und einer Schmelzreaktions-Behandlung ergibt sich durch die unterschiedlichen Eigenschaften der Eingangsmaterialien, insbesondere durch die Unterschiede bei Viskosität, Verschmutzung, Inhaltsstoffen etc. oft folgendes Problem:

Bei der Überführung in die Schmelze, z.B. durch ein Extrusionssystem, gelingt es oftmals nicht oder wird nicht ausreichend darauf geachtet, eine enge Temperaturverteilung der Schmelze zu erreichen. Zum Teil liegt dies im Bereich des Aufschmelzvorganges, zum Teil im Bereich der mechanischen Filtration der Schmelze, wobei je nach Polymereigenschaften und Grad der Verschmutzung unterschiedliche Schmelze-Temperaturen erzeugt werden. Zum Teil bleiben niederviskose Teile der Schmelze kälter und hochviskose Teile der Schmelze bekommen mehr Energie in Form von Scherung, beispielsweise in der Extruderschnecke oder bei der Filtration, ab und erhitzen sich dadurch stärker. Diese Viskositätsunterschiede sind sehr häufig bereits im Eingangsmaterial vorhanden und teilweise nicht bekannt oder erkennbar bzw. werden nicht berücksichtigt. Dies führt allerdings zu Problemen beim Aufbereitungsprozess und zu einer verringerten Qualität der Endprodukte.

Es ist damit Aufgabe der vorliegenden Erfindung ein Verfahren und eine Vorrichtung zur vorteilhaften Aufbereitung von Polykondensaten oder von Materialien enthaltend Polykondensate zu schaffen, mit dem/der eine erhöhte Prozesssicherheit und eine erhöhte Qualität der Endprodukte erreicht werden kann. Insbesondere soll damit auch die intrinsische

Viskosität des Materials erhöht bzw. der Gehalt an Störstoffen bzw. Verunreinigungen verringert werden.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch ein Verfahren zur Bearbeitung von Polykondensaten oder von Materialien enthaltend Polykondensate, insbesondere zur Recycling-Bearbeitung von verunreinigten Polykondensaten, z.B. PET, PA, PC oder PLA, wobei das Verfahren die folgenden Bearbeitungsschritte umfasst:

- a) Vorlage der zu bearbeitenden Polykondensate bzw. Materialien, insbesondere in einem Behälter,
- b) zumindest teilweises, insbesondere vollständiges, Aufschmelzen der Polykondensate, insbesondere durch Extrudieren in einem Extruder, und Erstellung einer Polymerschmelze,
- c) Mischen der Polymerschmelze,
- d) Kühlen der Polymerschmelze,
- e) Behandlung der gemischten und gekühlten Polymerschmelze in einem Schmelzereaktor, insbesondere zur Polykondensation bzw. Nachkondensation, zur Erhöhung der intrinsischen Viskosität und/oder zur Reinigung der Polymerschmelze.

Analog wird die objektive Aufgabe erfindungsgemäß gelöst durch eine Vorrichtung zur Bearbeitung von Polykondensaten oder von Materialien enthaltend Polykondensate, insbesondere zur Recycling-Bearbeitung von verunreinigten Polykondensaten, wobei die Vorrichtung umfasst:

- eine Schmelzvorrichtung zum Aufschmelzen der zu verarbeitenden Polykondensate und zur Erstellung einer Polymerschmelze,
- eine der Schmelzvorrichtung nachfolgende Mischvorrichtung zum Mischen der Polymerschmelze,
- eine der Schmelzvorrichtung nachfolgende Kühlvorrichtung zur Reduktion der Temperatur der Polymerschmelze,
- einen daran angeschlossenen Schmelzereaktor zur Behandlung der gemischten und gekühlten Polymerschmelze, insbesondere zur Polykondensation bzw. Nachkondensation, zur Erhöhung der intrinsischen Viskosität und/oder zur Reinigung der Polymerschmelze.

Beim Wiederaufbereiten von unterschiedlichen bzw. inhomogenen Materialien kommen unterschiedliche Stoffströme, z.B. aus der Verpackung von Gebinden und Flaschen, die eine hohe Ausgangsviskosität haben, mit Materialien aus dem Bereich der Tiefziehfolien, die eine niedrigere Viskosität in der Schmelze besitzen und/oder mit fasrigen Stoffen, die eine sehr niedrige Viskosität besitzen zusammen. So ergibt sich bei manchen PET-Mischungen eine mittlere Kerntemperatur der Schmelze von 275 °C, mit einer erheblichen Bandbreite von +/- 20 °C.

Bei einer Behandlung einer Polykondensat-Schmelze in einen Schmelzereaktor, beispielsweise ein MSP Reaktor, wird unter Temperatur, Verweilzeit und unter Entzug von u.a. Feuchte, Sauerstoff, Glykol oder anderen Stoffen, eine Reaktion oder/und Reinigung vorgenommen.

Wird im Schmelzereaktor eine solche Polymerisation bzw. Nachkondensation vorgenommen, wird die Molekülkettenverteilung umso enger, je enger das Temperaturspektrum der Eingangsschmelze und je enger das Verweilzeitspektrum im Schmelzereaktor ist.

Das Verweilzeitspektrum im Schmelzereaktor wird durch geeignete Maßnahmen, beispielsweise Fördereinrichtungen, Füllstandsmessungen etc., in einem möglichst engen Bereich gehalten. Weiters wird durch Anlegen von Vakuum oder/und Spülen mit Inertgasen sichergestellt, dass die Reaktion längs des Reaktors weitgehend gleich verläuft.

Unter Berücksichtigung, dass sich die Reaktionsgeschwindigkeit einer chemischen Reaktion bei einer Temperaturerhöhung von 10 °C etwa verdoppelt, ist es vorteilhaft, wenn die Schmelze eine enge Temperaturverteilung beim Eintritt in den Schmelzereaktor hat.

Weiters hat es sich als vorteilhaft erwiesen, dass die absolute Temperatur der Schmelze beim Eintritt in den Schmelzereaktor so niedrig wie sinnvoll möglich gewählt wird. Das verringert zwar die Reaktionsgeschwindigkeit und verlängert die nötige Zeit im Reaktionssystem, aber es führt zu einer höheren Prozesssicherheit und einer besseren Endqualität. Die Beeinflussung der Reaktionsgeschwindigkeiten durch die Temperatur unterliegt einem exponentiellen Zusammenhang, wohingegen die Veränderung über die Verweilzeit nur einem linearen Zusammenhang folgt. Auch durch Einstellen einer niedrigeren Temperatur der Schmelze kann somit die Viskositätsbandbreite bzw. Molekülkettenverteilung enger gehalten werden, da kurzkettige Polymerteile, also Polymerteile mit niedrigerer Viskosität, im Verhältnis zu langkettigen Molekülen bei einer bestimmten Temperatur schneller polymerisieren.

Auch gilt es zu beachten, dass es bei der Reaktion im Schmelzereaktor, neben den gewünschten Polykondensations-Reaktionen, diverse unerwünschte Seitenreaktionen gibt, die die Qualität des Endpolymers negativ beeinträchtigen. Diese Seitenreaktionen fallen ebenfalls bei niedrigeren Temperaturen beträchtlich geringer aus. Die Verweilzeit hat auf diese Nebenreaktionen einen erhöhenden Einfluss, die Temperatur hat darauf allerdings einen exponentiellen Einfluss, d.h. bei höherer Temperatur steigt die Zahl der unerwünschten Seitenreaktionen überproportional.

Eine besonders unerwünschte Störsubstanz ist in diesem Zusammenhang Acetaldehyd. Acetaldehyd sorgt speziell im Bereich der Getränkeflaschen für einen fruchtigen Apfelgeschmack, der aber gerade bei der Verpackung von Wasser äußerst unerwünscht ist. Derartige Nebenprodukte können aber auch auf die Verarbeitbarkeit einen negativen Einfluss haben.

Auch an die Bandbreite der Schmelzeviskosität der Endprodukte wird regelmäßig eine hohe Anforderung gestellt. So ist bei Neuware eine Bandbreite von $\pm 0,002$ dl/g ein gängiger Wert. Durch den hohen Einsatz von Recyclaten ist diese Bandbreite auch bei der Wiederaufarbeitung einzuhalten.

Der unterschiedliche Gehalt an Restkatalysatoren, Füllstoffen, etc. beeinflusst die Reaktionsgeschwindigkeit und zum Teil auch die Diffusionsgeschwindigkeit. Auch aus diesen Gründen ist es vorteilhaft die niedrigste sinnvolle Reaktionstemperatur und Temperaturbandbreite einzustellen.

Eine weitere, beim Recycling typischerweise auftretende Situation, ist das Verbleiben von Resten von Migrationsstoffen, Verschmutzungen etc. im Polymer. Diese Fremd- bzw. Störstoffe führen regelmäßig zu qualitativen Einbußen des produzierten Werkstoffes. So verfärbt sich ein Werkstoff beispielsweise deutlich stärker bei erhöhter Temperatur als bei Verlängerung der Zeit.

Es sind dementsprechend mehrere Faktoren zu berücksichtigen, vor allem

- dass eine Temperaturerhöhung der Schmelze für den anschließenden Prozess oft nachteilig und unerwünscht ist,
- dass uneinheitliche und zu hohe Schmelzetemperaturen oft zu Qualitätsproblemen führen, und/oder

- dass eine homogenisierte, gemischte und gekühlte Schmelze oft vorteilhaft für eine verbesserte Produktqualität ist und damit ein konstantes Austragsvolumen und eine homogene Viskositätsverteilung erreichbar ist.

Erfindungsgemäß liegt eine besondere Kombination aus Extruder, Schmelzemischer und Schmelzekühler sowie Schmelzereaktor vor. Die Voraussetzungen bzw. die Vorbereitung der Schmelze für einen Prozess in einem Schmelzereaktor MSP/LSP sind besonders heikel bzw. anspruchsvoll – eine entsprechende Vorbereitung und Einstellung der Schmelzeparameter ist dementsprechend wichtiger und schwieriger als z.B. für eine SSP.

Aus diesem Grund wird erfindungsgemäß vorgeschlagen, bei der Verarbeitung von Polykondensaten, insbesondere aus sekundären Rohstoffquellen, mittels Schmelzereaktor, vor dem Schmelzereaktor für eine Vergleichmäßigung, eine Absenkung und eine Breitenverringern, der Temperatur der Schmelze zu sorgen. Gerade bei den im Schmelzereaktor regelmäßig vorliegenden erhöhten Temperaturen ist darauf besonderes Augenmerk zu legen. All dies wird durch das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung gewährleistet.

Die Vergleichmäßigung der Temperatur ist dabei sowohl zeitlich als auch örtlich zu verstehen, d.h. die Temperatur sollte über einen längeren Zeitraum, d.h. von mehreren Minuten bis zu Stunden, möglichst konstant sein und auch die örtliche bzw. lokale Abweichung quer zur Fließrichtung sollte möglichst gering sein.

In jedem Kanalsystem ist quer zur Fließrichtung eine gewisse Temperaturverteilung bzw. ein radialer Temperatur-Gradient von innen nach außen vorhanden. Bei höheren Durchsätzen benötigt man entsprechende Kanalquerschnitte und dies ergibt eine quer zur Fließrichtung bestehende örtliche Temperaturinhomogenität. Es ist damit eine örtliche Quermischung der Schmelze vorteilhaft.

Im Verlauf des kontinuierlichen Prozesses, insbesondere durch den Extrusionsprozess, gibt es aber auch zeitliche Temperaturveränderungen, z.B. durch die Reinigung der Filter gibt es kurzfristig höhere Scherung im Extruder und führt dies temporal zu erhöhten Temperaturen. Auch durch unterschiedliche Materialformen, z.B. Mahlgut, teilkristallisierte Fasern, dicke Faser, hoch verstreckte Fasern, aber auch iV-Unterschiede im Ausgangsmaterial, wird das Material im Extruder unterschiedlich geschert, was ebenfalls zu weiteren zeitlichen Temperatur-Inhomogenitäten, und dadurch resultierenden Viskositätsschwankungen, im Prozessverlauf führt.

Temperatur-Vergleichmäßigung: durch das gezielte Temperieren wird die zeitliche Komponente der Temperatur-Abweichung verringert.

Temperatur-Breitenverringern: die Schmelzetemperatur hat quer zum Kanal eine Verteilung und über die Zeit eine Verteilung, die durch die vorangegangenen Beeinflussungen und/oder die Materialkomponenten bestimmt ist. Das Mischen reduziert diese Temperatur-Breite, aber auch das Temperieren.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren erfolgen die Bearbeitungsschritte vorteilhafterweise in der angegebenen Reihenfolge a) bis e).

Besonders vorteilhaft ist es allerdings, wenn die Schritte c) und d) gleichzeitig bzw. in einem gemeinsamen Verfahrensschritt erfolgen, wenn also die Polymerschmelze gleichzeitig gemischt und gekühlt wird.

Um die Reinigung zu verbessern, ist es vorteilhaft, wenn vor Schritt c) und d) eine Filtration der Polymerschmelze zur Befreiung von nicht aufgeschmolzenen Bestandteilen und/oder Verunreinigungen erfolgt.

Eine Erhöhung der Produktqualität ergibt sich auch dadurch, dass vor Schritt c) und d) eine Entgasung der filtrierten Polymerschmelze erfolgt.

Eine besonders effiziente und vorteilhafte Mischung und ein, grundsätzlich vorteilhaftes, enges Verweilzeitspektrum wird erreicht, wenn die Polymerschmelze distributiv gemischt wird.

Vorteilhaft für die Produktqualität ist es, wenn die Polymerschmelze derart gemischt und/oder gekühlt wird, dass die Temperaturverteilung in der Polymerschmelze, insbesondere in der Phase von vor dem Mischen bzw. Kühlen bis unmittelbar vor dem Schmelzereaktor, vorzugsweise in der Phase vom Beginn des Aufschmelzens bei der Extrusion bis vor dem Schmelzereaktor, insbesondere über den gesamten Prozessverlauf, $< \pm 10^\circ \text{C}$, insbesondere $< \pm 5^\circ \text{C}$, vorzugsweise $< \pm 1^\circ \text{C}$, ist. Dadurch können auch eine enge Viskositätsbandbreite bzw. Molekülkettenverteilung erreicht werden.

Zur Erreichung einer hohen Produktqualität und einer höheren Prozesssicherheit und zur Vermeidung von Nebenreaktionen ist es weiters vorteilhaft, wenn die Polymerschmelze derart

gekühlt wird, dass die Temperatur der Polymerschmelze unmittelbar vor bzw. beim Eintritt in den Schmelzereaktor um 5-25 % geringer ist als die Temperatur der Polymerschmelze unmittelbar vor dem Mischen und Kühlen bzw. vor Schritt c) und d).

In diesem Zusammenhang ist es auch vorteilhaft und lassen sich die gerade genannten Vorteile erreichen, wenn die Polymerschmelze derart gekühlt wird, dass die Temperatur der Polymerschmelze unmittelbar vor bzw. beim Eintritt in den Schmelzereaktor nur relativ geringfügig, also um 1-10 %, über dem Schmelzbereich des Polymers liegt.

Eine vorteilhafte Verfahrensführung sieht bereits am Anfang des Aufbereitungsverfahrens spezielle Schritte vor, nämlich, dass die Polykondensate bzw. Materialien vor dem Aufschmelzen gemäß Schritt b), insbesondere während Schritt a), zerkleinert und/oder erwärmt werden, wobei vorzugsweise vorgesehen ist, dass die Polykondensate bzw. Materialien unter Erhaltung ihrer Stückigkeit und Rieselfähigkeit, erwärmt und permanent gemischt, und gegebenenfalls entgast, erweicht, getrocknet, in ihrer Viskosität erhöht und/oder kristallisiert werden.

Eine weiters vorteilhafte und effiziente Verfahrensführung besteht darin, dass zumindest die Bearbeitungsschritte c), d) und e), insbesondere alle vorgesehenen Bearbeitungsschritte, zeitlich und örtlich unmittelbar und direkt, jeweils ohne weiteren dazwischengeschalteten Bearbeitungsschritt aufeinanderfolgen.

Bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung kann vorteilhafterweise vorgesehen sein, dass der Schmelzereaktor räumlich unmittelbar und direkt, ohne weitere dazwischengeschaltete funktionelle Einheit, in Förderrichtung an die Mischvorrichtung oder die Kühlvorrichtung angeschlossen ist bzw. der Mischvorrichtung oder die Kühlvorrichtung nachgeschaltet und prozessual hintereinander gekoppelt ist.

Eine effektive und vorteilhafte Vorrichtung sieht vor, dass die Schmelzvorrichtung ein Extruder ist, wobei der Extruder insbesondere einen Schmelzefilter und/oder eine Entgasungszone umfasst.

Eine zur Erreichung qualitativ hochwertiger Endprodukte vorteilhafte Gesamtanordnung ist dadurch gekennzeichnet, dass der Schmelzvorrichtung ein Schneidverdichter vorgeschaltet ist, wobei insbesondere eine Schneidverdichter-Extruder-Kombination vorgesehen ist, zum Zerkleinern und/oder Erwärmen der Polykondensate bzw. Materialien. Der Schneidverdichter ist dabei vorzugsweise dafür eingerichtet und geeignet, um die vorgelegten Polykondensate

bzw. Materialien unter Erhaltung ihrer Stückigkeit und Rieselfähigkeit, zu erwärmen und permanent zu mischen, und gegebenenfalls zu entgasen, zu erweichen, zu trocknen, in ihrer Viskosität zu erhöhen und/oder zu kristallisieren.

Eine effiziente und vorteilhafte Vorrichtung sieht vor, dass die Mischvorrichtung ein distributiver Mischer ist.

Besonders vorteilhaft ist es in diesem Zusammenhang, wenn die Mischvorrichtung gleichzeitig die Kühlvorrichtung ist, wobei insbesondere ein Schmelze-Kühlmischer bzw. Schmelze-Kühler/Mischer vorgesehen ist.

Als Schmelzereaktor ist vorteilhaft ein MSP-Reaktor oder ein LSP-Reaktor vorgesehen.

Für den erfindungsgemäßen Einsatzzweck ist die genaue Bauart des Schmelzereaktors relativ unerheblich. Es kann vorteilhafterweise ein Schmelze-Reaktor nach Bauart der DE 1745541 sein, aber auch nach Bauart der DE 4013912 oder der DE 4126425.

Allen Schmelze-Reaktoren gemeinsam ist, dass versucht wird, unter reduzierten Druckbedingungen oder in einer inerten Gasströmung, die Schmelze in ihrer Oberfläche stark zu vergrößern und eine Polykondensationsreaktion zu starten, um die Polymerketten zu verlängern und somit die mechanischen Eigenschaften des Polymers beim Wiedereinsatz in ein Endprodukt zu optimieren. Weiters ermöglicht der Diffusionsprozess eine Beseitigung von unerwünschten Stoffen, die durch den vorangegangenen Gebrauch möglicherweise in das Polymer gelangt sind. Das schafft die Möglichkeit diese Polymere wieder in Applikationen zu verwenden, bei der die Lebensmitteltauglichkeit, der Geruch aber auch die Hautverträglichkeit gegeben sein muss. Die Reaktionsprodukte bzw. Diffusionsprodukte werden entweder durch den Unterdruck oder durch die Inertgas Strömung abgezogen.

Zur Erreichung einer guten Produktqualität ist vorteilhaft vorgesehen, wenn die Mischvorrichtung und/oder die Kühlvorrichtung bzw. der Schmelze-Kühlmischer so steuerbar oder gesteuert sind, dass die Temperaturverteilung in der Polymerschmelze $< \pm 10^\circ \text{C}$, insbesondere $< \pm 5^\circ \text{C}$, vorzugsweise $< \pm 1^\circ \text{C}$, ist. Es ist in diesem Zusammenhang besonders vorteilhaft, wenn diese Temperaturverteilung im Bereich vor dem Mischer bzw. Kühler bis unmittelbar zum bzw. vor dem Schmelzereaktor, vorzugsweise im Bereich der Aufschmelzeinheit bzw. des Extruders bis vor dem Schmelzereaktor, insbesondere in der gesamten Anlage bzw. Vorrichtung erreicht wird.

Zur Erreichung und Einstellung einer guten Produktqualität und einer höheren Prozesssicherheit ist vorteilhafterweise vorgesehen, wenn die Mischvorrichtung und/oder die

Kühlvorrichtung so steuerbar oder gesteuert sind, dass die Temperatur der Polymerschmelze unmittelbar vor bzw. beim Eintritt in den Schmelzereaktor um 5-25 % geringer ist als die Temperatur der Polymerschmelze unmittelbar vor der Mischvorrichtung und der Kühlvorrichtung bzw. vor dem Kühlmischer. Auf diese Weise können Nebenreaktionen verringert und einen enge iV-Breite beim Endprodukt erhalten werden.

Um diese Vorteile ebenfalls zu erreichen, kann vorteilhaft vorgesehen sein, dass die Mischvorrichtung und/oder die Kühlvorrichtung so steuerbar oder gesteuert sind, dass die Temperatur der Polymerschmelze unmittelbar vor/bei Eintritt in den Schmelzereaktor um 1-10 % über dem Schmelzbereich des Polymers liegt.

Es kann aus anlagentechnischer Sicht vorteilhaft sein, sowohl vor dem Kühler bzw. Mischer, als auch nach dem Kühler bzw. Mischer, und/oder nach dem Schmelzereaktor, Förderpumpen für die Schmelze einzusetzen, um allfällige Druckunterschiede zu überwinden. Dabei ist allerdings darauf zu achten, dass es dadurch, insbesondere durch eine allfällige Pumpe nach dem Kühler/Mischer, vor dem Schmelzereaktor zu keiner wesentlichen Temperaturerhöhung kommt.

Die Kerntemperatur der Schmelze wird vorteilhafterweise entsprechend der gewünschten Verweilzeit und der gewünschten Reaktionsgeschwindigkeit im Schmelzereaktor bzw. Reaktionsbehälter gewählt. Es hat sich gezeigt, dass generell versucht werden sollte, die niedrigste mögliche Kerntemperatur einzustellen.

Dabei wird das Kühlmedium des Schmelzekühlsystems, z.B. des Schmelze-Kühler/Mischers, entsprechend der Kerntemperatur der Schmelze geregelt. Zu diesem Zwecke kann sowohl vor als auch nach dem Schmelzekühlsystem die Temperatur aufgenommen werden. Bei manchen Kühlsystemen ist auch in der Kühlstrecke die Temperatur der Schmelze abgreifbar. Diese Temperatur wird zum Einstellen des Kühlmediums verwendet.

Vorteilhaft ist es, wenn die Schmelzetemperatur ausreichend repräsentativ ist. So unterscheidet sich die Schmelzetemperatur in einem Zuleitungsrohr an der Wand oder in der Mitte des Rohres teilweise erheblich. Daher ist es empfehlenswert und sinnvoll sowohl die Temperatur an der Wand als auch in der Mitte des Rohres zu messen. Je dicker die Leitung, desto sinnvoller ist es auch an mehreren Punkten über den Querschnitt zu messen.

Vorteilhafte Ausführungsformen des erfindungsgemäßen Verfahrens und der erfindungsgemäßen Vorrichtung werden nachfolgend anhand von nicht einschränkend zu verstehenden, allgemeineren und spezifischeren Ausführungsbeispielen illustriert und erklärt:

Gewünscht ist oftmals die Recycling-Aufbereitung von PET-Materialien aus ganz unterschiedlichen Quellen, beispielsweise aus Resten von Filamenten, Faserresten, Tiefziehfolien (z.B. Käse- oder Wurstverpackungen, Werkzeug- oder Elektronikverpackungen), PET-Flaschenmaterial (z.B. Wasserflaschen oder Softdrinks) etc. Die Viskositätsbandbreite ist dabei regelmäßig erheblich und beträgt etwa 0,5 dl/g (bei Fasern) bis 0,79 dl/g (bei Flaschenmahlgut).

Bei einem derartigen inhomogenen Eingangsmaterialmix ergibt sich eine entsprechend breite Molekülkettenverteilung bzw. eine breite Viskositätsbandbreite. Weiters sind derartige Mischungen selten von exakt gleichen Bestandteilen geprägt, d.h. die mengenmäßigen Anteile der unterschiedlichen Materialien sind verschieden und ändern sich zudem auch laufend.

Im Aufschmelzprozess erfahren die Partikel, meist kleinere Teilchen in Form von Polymerflakes, Fasern oder Folien, je nach ihren mechanischen Eigenschaften (Größe, Verstreckung, Dicke, etc.) und ihren viskosen Eigenschaften, unterschiedliche Scherbelastungen. Dies führt zu einer breiten Schmelzetemperaturverteilung z.B.: 276 °C +/- 20 °C (nach dem Extruder), mit den eingangs beschriebenen nachteiligen Effekten, die mit einer derartig breiten und variierenden Temperaturverteilung einhergehen. Nach dem Filter liegt die Schmelzetemperaturverteilung immer noch bei ca. 277 °C +/- 15 °C. Nach dem Schmelze-Kühler/Mischer liegt die Schmelzetemperaturverteilung bei 260 °C +/- 3°C, wobei auch eine Bandbreite von unter 3°C zu erreichen ist. Es erfolgt also noch vor dem Schmelzereaktor eine Vergleichmäßigung, eine Absenkung und eine Breitenverringern der Temperatur der Schmelze.

Beispiel PET (A-PET) für Verpackungen und Fasern:

Schmelzetemperaturbereiche PET

Schmelzetemperatur von PET:	> 250 °C, typisch 256 °C
Schmelzetemperatur beim Recycling im Regelfall:	275 °C bis 310 °C (je nach Verfahren und Verschmutzung und Filtrationsfeinheit)
Zieltemperaturbereich vor LSP:	260 °C bis 270 °C +/- 3 °C
Abkühlung im Bereich von:	5 bis 25 % (bei Bezugstemperatur 260 °C)

Viskositätslift in Abhängigkeit von Schmelztemperatur:

Die Verweilzeit t im Schmelzereaktor ist konstant.

Die Eingangsviskosität vor dem Schmelzereaktor ist 0,5 dl/g.

Schmelztemperatur:	270 °C	erreichte Viskosität 0,53 dl/g
Schmelztemperatur:	280 °C	erreichte Viskosität 0,57 dl/g
Schmelztemperatur:	290 °C	erreichte Viskosität 0,62 dl/g

Ein vorteilhaftes Schema einer vorteilhaften Vorrichtung bzw. Anordnung bzw. Anlage 1 ist in Fig. 1 dargestellt und wird anhand von Fig. 1 auch ein beispielhaftes Verfahren erläutert. Es handelt sich hierbei um eine beispielhafte schematische Darstellung zur Veranschaulichung der wesentlichsten Komponenten und Einheiten dieser Vorrichtung. Diese Darstellung erhebt dementsprechend auch keinen Anspruch auf abschließende Richtigkeit aller konstruktiven Details und Proportionen.

In Fig. 1 nicht abgebildet ist ein optionaler Behälter in Form eines klassischen Schneidverdichters bzw. einer Preconditioning Unit (PCU). Dieser könnte vorliegend rechts bzw. vor bzw. stromaufwärts des Extruders angeordnet sein. Ein solcher Schneidverdichter bzw. Behälter wird mit dem zu bearbeitenden Recycling-Polymermaterial befüllt. Das Polymermaterial wird im Behälter vorgelegt, über Misch- und Zerkleinerungswerkzeuge zerkleinert, gemischt und bis zur Erweichung erwärmt, allerdings regelmäßig nicht geschmolzen. Die Stückigkeit der klebrigen Polymerteilchen bleibt erhalten. Zudem erfährt das Material eine Vorbehandlung und wird beispielsweise getrocknet, vorverdichtet und je nach Material beispielsweise die Viskosität erhöht.

Bei der Aufbereitung von Sekundärrohstoffen aus Polykondensaten wird, durch die Form der vorliegenden Materialien (z.B. Fasern, Granulate, Agglomerate, Folienschnipsel, dickwandiges Mahlgut usw.) vorgegeben, ein Extrusionsprozess für das Schmelzen der Polykondensate verwendet. Die Sekundärrohstoffe können aus unterschiedlichen Quellen stammen, und mit Feststoffen, aber auch mit flüssigen Stoffen verunreinigt sein, wie z.B. Baumwollfasern oder Spinnhilfsmitteln, die aus Ölen bestehen können. Weiters haben diese Stoffe im aufgeschmolzenen Zustand sehr häufig unterschiedliche Viskositäten.

Im untersten Bereich dieses Schneidverdichters bzw. Behälters kann der in Fig. 1 erkennbare Extruder 2 tangential angeschlossen sein. Das Material wird aus dem Behälter ausgebracht

und in den Extruder 2 übergeführt und dort von der Schnecke erfasst. Im vordersten, in Fig. 1 linken, Abschnitt des Extruders 2 wird das Material unter Druckerhöhung aufgeschmolzen und plastifiziert.

Bei diesem Aufschmelzprozess können Einschneckenextrusionssysteme oder Mehrschneckenextrusionssysteme, wie z.B. Doppelschnecken, verwendet werden. Besonders bewährt hat sich dabei das bekannte PCU-Extruder System, das es ermöglicht in der PCU unerwünschte Stoffe zum Teil abzdampfen, das Material zu verdichten und zu erwärmen bzw. zu erweichen. Außerdem hat dieses System eine Zwangsbeschickung des Extruders, die besonders bei schlechtfließenden Fasermaterialien von Vorteil ist. Der Extruder schmilzt das Material dann auf, optional entgast er die Polymere. Weiters kann dieser Vorgang mittels Unterdrucks oder Inertgasen in der PCU unterstützt werden.

Anschließend wird die Schmelze in einer Filtriereinheit 3 filtriert, die feste aber auch gelförmige Bestandteile aus der Schmelze entfernt.

Stromabwärts und anschließend an die Filtriereinheit 3, und nach diesem Prozess des Aufschmelzens und des ersten Reinigungsschrittes, wird die Schmelze, meist über eine, nicht gezeigte, Schmelzepumpe dem Schmelze-Kühler/Mischer 4 übergeben. Dieser hat die Aufgabe, die aufgetreten Temperatur-Inhomogenitäten sowohl räumlich als auch zeitlich gesehen zu verringern. Gleichzeitig wird die mittlere Schmelze-Temperatur gesenkt. Das ist notwendig, da u.a. die Streuung der unterschiedlichen Eingangsmaterialien unterschiedliche Schmelze-Temperaturen zur Folge haben. Weiters führt auch der Filtrationsprozess zu zeitlichen oder örtlichen Inhomogenitäten.

Nach der im Schmelze-Kühler/Mischer 4 erfolgenden Absenkung und Vergleichmäßigung der Temperatur der Schmelze, wird die Schmelze in den Schmelzereaktor 5 übergeführt.

Nach dem Durchlaufen des Reaktions- bzw. Reinigungsprozesses im Schmelze-Reaktor 5 gelangt das geschmolzene Material dann in eine Austragseinheit und kann gegebenenfalls nachbearbeitet, beispielsweise einer Granulation unterzogen, werden. Es kann aber auch direkt in ein Endprodukt oder Halbfertigfabrikat umgeformt werden, z.B. in Fasern, Folien, Flaschenpreforms etc.

Das Kühlmedium wird durch Messung der Schmelzetemperatur vor oder nach dem Schmelze-Kühler/Mischer 4 in seiner Menge, Temperatur und/oder Geschwindigkeit so eingestellt, dass die gewünschte Zieltemperatur erreicht wird. Wie in Fig. 1 ersichtlich, wird hier mindestens die

Schmelzetemperatur 1 erfasst und das Temperiermedium wird so eingestellt, dass die gewünschte Temperatur erreicht wird. Diese kann mit der Schmelzetemperatur 2 kontrolliert werden. Dabei kann die Temperaturmessung an unterschiedlichen Orten innerhalb der Leitung durchgeführt werden, am äußersten Rand und/oder in der Mitte des Rohres. Bei sehr hohen Anlagendurchsätzen ist es vorteilhaft dickere Leitungen und/oder mehrere Leitungen zu verbauen. Bei dicken Leitungen wird die Temperatur vorteilhafterweise an mehreren Stellen innerhalb des Rohres erfasst. Die Temperaturmessung wird idealerweise mit mehreren Temperaturerfassungseinrichtungen durchgeführt, wobei die Temperatur repräsentativ über den Querschnitt des Zu- und/oder des Abströmkanals erfasst wird

Durch Messung der Temperaturverteilung innerhalb der Zu- bzw. Ableitungen kann sowohl die Mischgüte als auch die Abkühlrate geprüft werden. Die Mischgüte ist an der engeren Temperaturverteilung erkennbar und die Abkühlgüte an der Reduzierung der mittleren Temperatur.

Vergleichsversuche:

Die nachfolgenden Versuche wurden auf einer beispielhaften, erfindungsgemäßen Versuchsanlage durchgeführt. Hierbei handelte es sich um eine PCU/Extruder Kombination INTAREMA 80 TE, ausgerüstet mit einem Schmelzefilter SW 4/134 gemäß nachfolgender Anlagenkonfiguration:

	Vorrichtung Typ	Bemerkung
Faser- vorzerkleinerung	Einwellenzerkleinerer Micromat 1500	Lindner Siebdurchmesser 70 mm
Verfahrenseinheit	Intarema 1108 TE	EREMA Durchmesser PCU 1100 mm; Durchmesser Extruder 80 mm, Extrusionsentgasung
Schmelze Kolben Filter	RTF 4/134	EREMA, Filtration 50 µm
Zahnrad Schmelzepumpe	SP 45	Maag
Schmelze- Kühler/Mischer	P1 145 DB	Promix optional, je nach Versuchsvariante
Schmelzereaktor	KA 102	Prototyp Bauart ähnlich DE 1745541

Granulierung	Stranggranulierung Primo 60 E	Maag
--------------	----------------------------------	------

Die damit aufbereiteten Materialien setzten sich aus Faserabfällen aus den unterschiedlichsten Bereichen einer Spinnfabrik zusammen. Es wurden Anfahrabfälle (Klumpen), unverstreckte Fasern, Monofilamente und verstreckte Fasern eingesetzt. Weiters hatten die Fasern unterschiedliche Spinnölanteile im Bereich von 0,3 bis 2 Gew%. Auch die Eingangsfeuchten waren unterschiedlich, zum Teil lagen diese bei 10 Gew% und mehr.

Das Material wurde mittels des Einwellenzerkleinerers vorzerkleinert. Alternativ können auch Mühlen dafür verwendet werden.

Mittels der PCU/Extruder Kombination wurden die Fasern verdichtet, getrocknet und erwärmt und nach entsprechender Verweilzeit in der PCU in den Einschneckenextruder überführt. Nach dem Aufschmelzen wurde das Material entgast und über die Schmelzefiltereinrichtung geleitet.

Anschließend wurde die filtrierte Schmelze über die Schmelzepumpe zum Schmelze-Kühler/Mischer gefördert. Der verwendete Kühler/Mischer war vorliegend ein statischer Mischer ohne bewegliche Elemente. Die Temperierung des Kühler/Mischers erfolgte mit Thermoöl, dass sowohl geheizt als auch gekühlt werden kann. Es wurde sowohl die Schmelzetemperatur vor dem Kühler/Mischer erfasst als auch die Temperatur danach, um die Wirksamkeit der Einheit zu überprüfen. Weiters wurde die Viskosität nach dem Schmelzereaktor gemessen. Dabei wurde vor allem auf die zeitliche Stabilität der Viskosität geachtet.

Zum Vergleich wurde der Schmelze-Kühler/Mischer entfernt und die Schmelze direkt in den Schmelzereaktor überführt.

Bei dem Schmelzereaktor handelte es sich um einen liegenden Scheibenreaktor, ähnlich der Bauart nach DE 1745541. Die Polymermasse wird dabei mehrfach in freifallenden Schleiern durch den Reaktionsraum geführt. Dabei ziehen drehende Scheiben die Polymermasse aus einem Sumpf und die Polymermasse fließt als dünner Film wieder zurück. Durch dieses Verfahren wird eine im Verhältnis zum Volumen der Reaktionsmasse sehr große Oberfläche erreicht, die das Ausdampfen freierwerdender Reaktionsprodukte in kurzer Zeit ermöglichen und eine Polymerreaktion wird gefördert.

Der Scheibenreaktor wurde vorliegend mit einem Unterdruck von 6 mbar beaufschlagt. Die Scheiben rotierten mit einer Umdrehung von 1 rpm. Die mittlere Verweilzeit des Materials im Reaktor lag bei ca. 60 min.

Nach Verlassen des Reaktors wurde das Material in der Stranggranulierung granuliert.

Die Ergebnisse waren wie folgt:

Ohne Schmelze-Kühler/Mischer:

Durchsatz von ca. 350 kg/h.

Als Eingangsmaterial wurde eine Mischung aus PET Abfällen von Flaschen, Fasern und Tiefziehfolien eingesetzt.

Betriebsdauer ca. 10h

Aufgezeichnet wurde die Schmelze-Temperatur vor dem Mischer/Kühler (Fig. 2, untere Kurve). Gemessen wurde die Temperatur der Polymermasse mit jeweils einem Temperatur-Fühler, der ca. 20 mm in den Schmelzestrom eintauchte. Die mittlere Eingangstemperatur war ca. 288 °C. Die Schwankungsbreite der Schmelzetemperatur betrug ca. 35 °C.

Die Intrinsische Viskosität wurde nach dem Mischer/Kühler inline gemessen und betrug im Mittel ca. 0,69 dl/g mit einer Schwankungsbreite von ca. 0,07 dl/g (Fig. 2, obere Kurve).

Mit Schmelze-Kühler/Mischer:

Durchsatz von ca. 350 kg/h.

Als Eingangsmaterial wurde die gleiche Mischung aus PET Abfällen von Flaschen, Fasern und Tiefziehfolien eingesetzt.

Betriebsdauer ca. 20h

Aufgezeichnet wurde die Schmelze-Temperatur vor dem Mischer/Kühler (Fig. 3, mittlere Kurve) und nach dem Mischer/Kühler (Fig. 3, unterste Kurve). Gemessen wurde die Temperatur der Masse mit jeweils einem Temperatur-Fühler, der ca. 20 mm in den Massestrom eintauchte. Die mittlere Eingangstemperatur war ca. 293 °C. Die Schmelze wurde im Mittel auf 260 °C abgekühlt.

Die Intrinsische Viskosität wurde nach dem Mischer/Kühler inline gemessen und betrug im Mittel ca. 0,65 dl/g. Die Schwankungsbreite konnte komplett eliminiert werden und lag damit besser als die Industrienorm von +/- 0,002 dl/g (Fig. 3, oberste Kurve).

Daraus ist gut die vorteilhafte Vergleichmäßigung, Absenkung und Breitenverringern der Temperatur der Schmelze und der intrinsischen Viskosität zu erkennen.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Bearbeitung von Polykondensaten oder von Materialien enthaltend Polykondensate, insbesondere zur Recycling-Bearbeitung von verunreinigten Polykondensaten, umfassend die folgenden Bearbeitungsschritte:
 - a) Vorlage der zu bearbeitenden Polykondensate bzw. Materialien, insbesondere in einem Behälter,
 - b) zumindest teilweises, insbesondere vollständiges, Aufschmelzen der Polykondensate, insbesondere durch Extrudieren in einem Extruder, und Erstellung einer Polymerschmelze,
 - c) Mischen der Polymerschmelze,
 - d) Kühlen der Polymerschmelze,
 - e) Behandlung der gemischten und gekühlten Polymerschmelze in einem Schmelzereaktor, insbesondere zur Polykondensation bzw. Nachkondensation, zur Erhöhung der intrinsischen Viskosität und/oder zur Reinigung der Polymerschmelze.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Bearbeitungsschritte in der angegebenen Reihenfolge erfolgen.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Schritte c) und d) gleichzeitig bzw. in einem gemeinsamen Verfahrensschritt erfolgen bzw. dass die Polymerschmelze gleichzeitig gemischt und gekühlt wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass vor Schritt c) und d) eine Filtration der Polymerschmelze zur Befreiung von nicht aufgeschmolzenen Bestandteilen und/oder Verunreinigungen erfolgt.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass vor Schritt c) und d) eine Entgasung der filtrierte Polymerschmelze erfolgt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Polymerschmelze distributiv gemischt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Polymerschmelze derart gemischt und/oder gekühlt wird, dass die Temperaturverteilung in der Polymerschmelze $< \pm 10^\circ \text{C}$, insbesondere $< \pm 5^\circ \text{C}$, vorzugsweise $< \pm 1^\circ \text{C}$, ist.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Polymerschmelze derart gekühlt wird, dass die Temperatur der Polymerschmelze unmittelbar vor bzw. beim Eintritt in den Schmelzereaktor um 5-25 % geringer ist als die Temperatur der Polymerschmelze unmittelbar vor dem Mischen und Kühlen bzw. vor Schritt c) und d).
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Polymerschmelze derart gekühlt wird, dass die Temperatur der Polymerschmelze unmittelbar vor bzw. beim Eintritt in den Schmelzereaktor um 1-10 % über dem Schmelzbereich des Polymers liegt.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Polykondensate bzw. Materialien vor dem Aufschmelzen gemäß Schritt b), insbesondere während Schritt a), zerkleinert und/oder erwärmt werden, wobei vorzugsweise vorgesehen ist, dass die Polykondensate bzw. Materialien unter Erhaltung ihrer Stückigkeit und Rieselfähigkeit, erwärmt und permanent gemischt, und gegebenenfalls entgast, erweicht, getrocknet, in ihrer Viskosität erhöht und/oder kristallisiert werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die Bearbeitungsschritte c), d) und e), insbesondere alle vorgesehenen Bearbeitungsschritte, zeitlich und örtlich unmittelbar und direkt, jeweils ohne weiteren dazwischengeschalteten Bearbeitungsschritt aufeinanderfolgen.
12. Vorrichtung zur Bearbeitung von Polykondensaten oder von Materialien enthaltend Polykondensate, insbesondere zur Recycling-Bearbeitung von verunreinigten Polykondensaten, umfassend
 - eine Schmelzvorrichtung (2) zum Aufschmelzen der zu verarbeitenden Polykondensate und zur Erstellung einer Polymerschmelze,
 - eine der Schmelzvorrichtung (2) nachfolgende Mischvorrichtung (3) zum Mischen der Polymerschmelze,

- eine der Schmelzvorrichtung (2) nachfolgende Kühlvorrichtung (4) zur Reduktion der Temperatur der Polymerschmelze,
 - einen daran angeschlossenen Schmelzereaktor (5) zur Behandlung der gemischten und gekühlten Polymerschmelze, insbesondere zur Polykondensation bzw. Nachkondensation, zur Erhöhung der intrinsischen Viskosität und/oder zur Reinigung der Polymerschmelze.
13. Vorrichtung nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Schmelzereaktor (5) räumlich unmittelbar und direkt, ohne weitere dazwischengeschaltete funktionelle Einheit, in Förderrichtung an die Mischvorrichtung (3) oder die Kühlvorrichtung (4) angeschlossen ist bzw. der Mischvorrichtung (3) oder die Kühlvorrichtung (4) nachgeschaltet und prozessual hintereinander gekoppelt ist.
 14. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Schmelzvorrichtung (2) ein Extruder ist, wobei der Extruder insbesondere einen Schmelzefilter und/oder eine Entgasungszone umfasst.
 15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Schmelzvorrichtung (2) ein Schneidverdichter (1) vorgeschaltet ist, wobei insbesondere eine Schneidverdichter-Extruder-Kombination vorgesehen ist, zum Zerkleinern und/oder Erwärmen der Polykondensate bzw. Materialien, wobei der Schneidverdichter (1) vorzugsweise eingerichtet und geeignet ist, um die vorgelegten Polykondensate bzw. Materialien unter Erhaltung ihrer Stückigkeit und Rieselfähigkeit, zu erwärmen und permanent zu mischen, und gegebenenfalls zu entgasen, zu erweichen, zu trocknen, in ihrer Viskosität zu erhöhen und/oder zu kristallisieren.
 16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Mischvorrichtung (3) ein distributiver Mischer ist.
 17. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Mischvorrichtung (3) gleichzeitig die Kühlvorrichtung (4) ist, wobei insbesondere ein Schmelze-Kühlmischer vorgesehen ist.
 18. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass der Schmelzereaktor (5) ein LSP-Reaktor oder ein MSP-Reaktor ist.

19. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Mischvorrichtung (3) und/oder die Kühlvorrichtung (4) so steuerbar oder gesteuert sind, dass die Temperaturverteilung in der Polymerschmelze $< \pm 10^{\circ} \text{C}$, insbesondere $< \pm 5^{\circ} \text{C}$, vorzugsweise $< \pm 1^{\circ} \text{C}$, ist.
20. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass die Mischvorrichtung (3) und/oder die Kühlvorrichtung (4) so steuerbar oder gesteuert sind, dass die Temperatur der Polymerschmelze unmittelbar vor bzw. beim Eintritt in den Schmelzereaktor (5) um 5-25 % geringer ist als die Temperatur der Polymerschmelze unmittelbar vor der Mischvorrichtung (3) und der Kühlvorrichtung (4) bzw. vor dem Kühlmischer.
21. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 20, dadurch gekennzeichnet, dass die Mischvorrichtung (3) und/oder die Kühlvorrichtung (4) so steuerbar oder gesteuert sind, dass die Temperatur der Polymerschmelze unmittelbar vor/bei Eintritt in den Schmelzereaktor (5) um 1-10 % über dem Schmelzbereich des Polymers liegt.

1/2

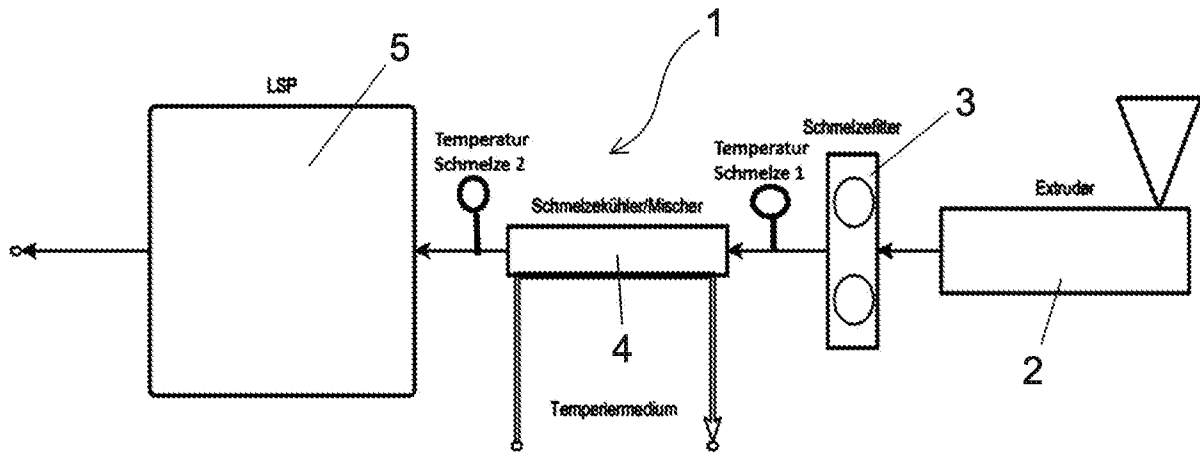


Fig. 1

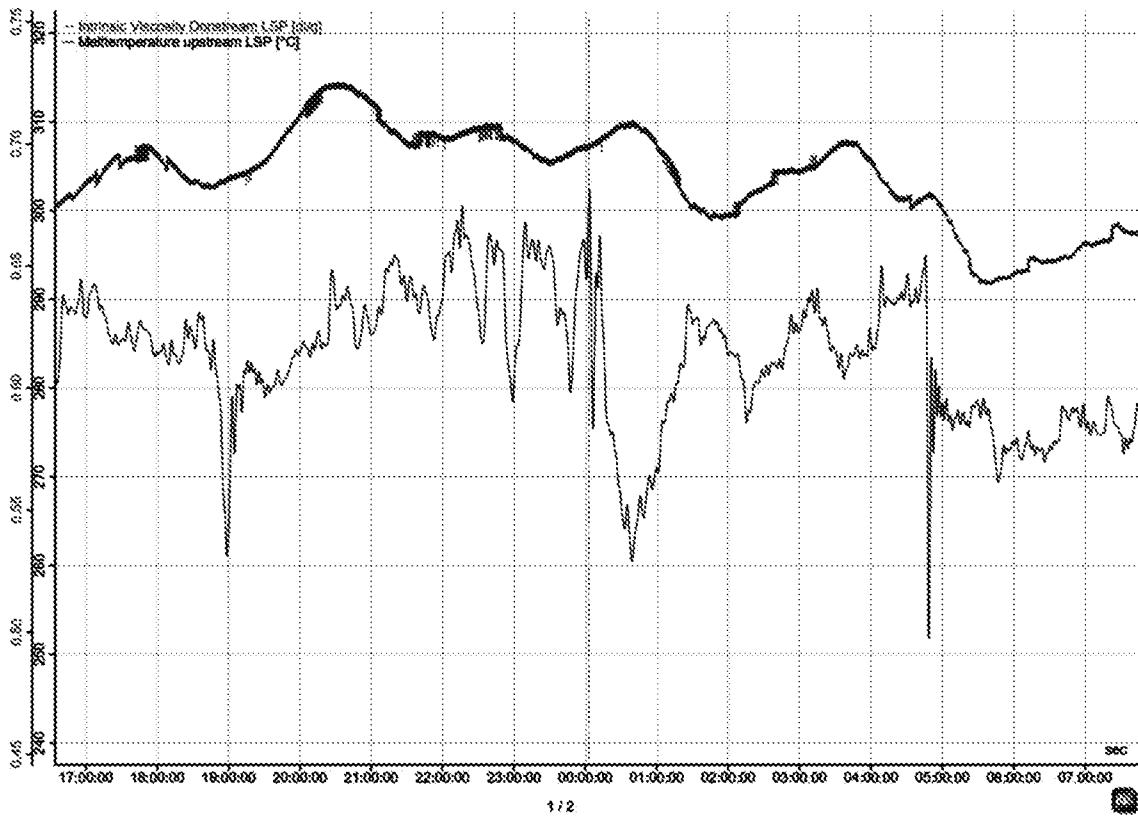


Fig. 2

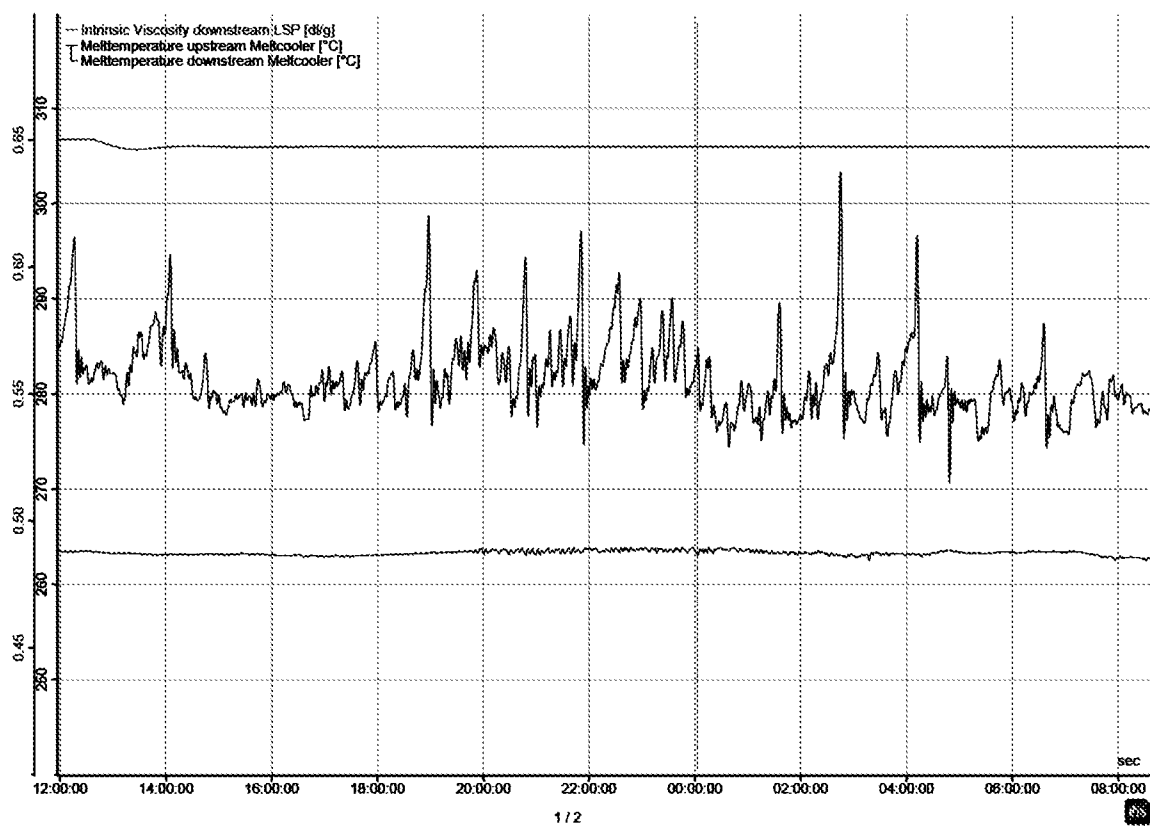


Fig. 3