

Verfahren und Vorrichtung zur energieeffizienten Aufbereitung
sekundärer Lagerstätten

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Depolymerisation von Kunststoffmaterial, insbesondere Alt- bzw. Abfallkunststoffen, mittels Wärmeeintrag, wobei das Kunststoffmaterial zu einer Kunststoffschmelze geschmolzen und entgast wird, bevor es einem eine Heizvorrichtung aufweisenden Depolymerisationsreaktor zugeführt wird. Weiters betrifft die Erfindung eine Vorrichtung zur Depolymerisation von Kunststoffmaterial, insbesondere Alt- bzw. Abfallkunststoffen, mit einer Entgasungs- bzw. Schmelzvorrichtung, mit welcher das Kunststoffmaterial in eine Kunststoffschmelze überführt wird, und einem Depolymerisationsreaktor.

Es ist grundsätzlich bereits bekannt Alt- bzw. Abfallkunststoffe zu verölen, um die Alt- bzw. Abfallkunststoffe wiederzuverwerten.

Für die Kunststoffaufbereitung sind einerseits Hochtemperaturpyrolyseverfahren bekannt, bei welchen das Kunststoffmaterial in einem Temperaturbereich von ca. 600-1.000°C behandelt wird; andererseits sind Niedertemperaturdepolymerisationsverfahren bekannt, bei welchen Cracking-Reaktionen üblicherweise in einem Temperaturbereich von ca. 300-450°C durchgeführt werden. Insbesondere bei der Niedertemperaturdepolymerisation ist die Energiezufuhr zu den Molekülen des Kunststoffmaterials problematisch, da die Kunststoffschmelze eine hohe Viskosität aufweist und Kunststoffe grundsätzlich schlechte Wärmeleiter sind. Demzufolge konnten bisher nur relativ kleine Depolymerisationsreaktoren mit einem Umsatzvolumen von bis zu ca. 6.000 Tonnen pro Jahr realisiert werden; bei größeren Anlagen hingegen treten beträchtliche Probleme beim Wärmeeintrag auf. Anlagen mit einem Umsatzvolumen in der Größenordnung von 6.000 Tonnen pro Jahr sind jedoch kaum wirtschaftlich zu betreiben.

Andererseits sind z.B. aus der Publikation Shabtai J. et al., Energy & Fuels 11 (1997): 76-87 oder der US 2002/169223 A1, katalytische Depolymerisationsverfahren bekannt, bei welchen die Depolymerisation mittels einem katalytischen Cracking erfolgt.

Aus dem Stand der Technik ist eine Vorrichtung zur Depolymerisation von Alt- und Abfallkunststoffen, beispielsweise aus der WO 95/32262 bekannt, wobei hier zum schonenden Aufheizen des Reaktorinhalts ein Kreislaufsystem an den Reaktor angeschlossen ist und der Reaktorinhalt vor dem Eintritt in eine Abzugsleitung eine in den Reaktor integrierte Steigstrecke zur Abtrennung größerer Festkörper-Partikel mit entsprechend hoher Sinkgeschwindigkeit durchläuft.

Aus der US 7,771,699 B2 ist weiters eine Vorrichtung zur Depolymerisation von organischen und anorganischen Abfallmaterialien bekannt, die gehäxelt werden, mit einem Lösungsmittel versetzt werden, und mit Hilfe von Wasser oder dergl. wird eine Suspension gebildet, welche sodann einer Depolymerisationsstufe zugeführt wird. Anschließend werden Feststoffe aus dieser Suspension entfernt.

Ein sehr ähnliches Verfahren, bei welchem eine wässrige Suspension dem Depolymerisationsreaktor zugeführt wird, ist weiters aus der WO 2009/108761 A1 bekannt.

Weiters ist aus der US 2008/035079 A ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Depolymerisation von Kunststoffmaterial bekannt, bei welcher der Reaktor eine Trennvorrichtung aufweist, um flüssiges Kunststoffmaterial von dampfförmigem Kunststoffmaterial zu trennen.

Nachteilig ist bei allen bekannten Depolymerisationsverfahren bzw. -vorrichtungen, dass - wie eingangs bereits erwähnt - die Wärmeübertragung zu den Molekülen des Kunststoffmaterials insbesondere bei größeren Mengen schwierig ist.

Ziel der vorliegenden Erfindung ist es demzufolge, ein Verfahren und eine Vorrichtung zur thermischen Depolymerisation der eingangs angeführten Art zu schaffen, mit welchem bzw. welcher der Wärmeeintrag in das zu depolymerisierende Kunststoffmaterial verbessert wird. Hierdurch soll es insbesondere auch möglich sein, Depolymerisationsreaktoren mit einem größeren Fassungsvermögen zuverlässig betreiben zu können und somit Kunststoffmate-

rial zu wirtschaftlich akzeptablen Bedingungen zu depolymerisieren.

Erfindungsgemäß wird dies bei dem thermischen Depolymerisationsverfahren der eingangs angeführten Art dadurch erzielt, dass der Kunststoffschmelze eine aus Rohöl gewonnene Fraktion als Lösungsmittel zugesetzt wird, so dass die Viskosität der dem Depolymerisationsreaktor zugeführten Kunststoffschmelze-Lösung gegenüber der Viskosität der Kunststoffschmelze verringert wird. Durch das Zusetzen eines Lösungsmittels in das entgaste und geschmolzene Kunststoffmaterial, d.h. das erwärmte, nicht feste Kunststoffmaterial, kann die Viskosität der Kunststoffschmelze verringert werden und somit der Wärmeeintrag in das Kunststoffmaterial im Depolymerisationsreaktor verbessert werden. Somit erfolgt eine thermische Depolymerisation, bei welcher kein Zusatz eines Katalysators, von Wasserstoff oder dergl. erfolgt. Die Depolymerisation des Kunststoffmaterials erfolgt somit mittels thermischem Cracking und nicht mittels katalytischem Cracking. Die als Lösungsmittel vorgesehene Rohöl-Fraktion ist vorteilhafterweise ein Rückstandsöl aus der Destillation und/oder aus Crack-Anlagen der Erdölverarbeitung. Die Kunststoffschmelze weist bei Einbringung des Lösungsmittels vorzugsweise eine Temperatur von zumindest 120 °C, insbesondere zwischen 150 °C und 300 °C, auf; zwecks Erzielung einer möglichst homogenen Lösung ist vorteilhafterweise auch das Lösungsmittel auf zumindest 150°C, insbesondere auf im Wesentlichen 200°C bis 300°C vorgewärmt. Durch das Einbringen einer Lösung in den Depolymerisationsreaktor ergibt sich ein geringerer Abfall des Temperaturgradienten im Querschnitt des Depolymerisationsreaktors und somit eine deutlich geringere Gefahr des Überhitzens des Kunststoffmaterials in der Nähe der Reaktorwand, an deren Außenseite üblicherweise eine Heizvorrichtung vorgesehen ist. Darüber hinaus wird auch die Gefahr des Verkokens des Kunststoffmaterials verringert. Weiters kann durch die Viskositätserniedrigung gegenüber der reinen Kunststoffschmelze die Pumpfähigkeit der Kunststoffschmelze-Lösung deutlich verbessert werden, wodurch der Energieaufwand für den Betrieb des Depolymerisationsreaktors verringert werden kann. Darüber hinaus ist es bei derzeitigen Depolymerisationsreaktoren häufig erforderlich, eine zentrale Rührvorrichtung vorzusehen, welche nachteiligerweise über Stör-

stoffe in der Kunststoffschmelze abgenutzt wird. Durch die Viskositätserniedrigung ist es vorteilhafterweise möglich, auf eine Rührvorrichtung zu verzichten, wodurch der Betriebs- und Wartungsaufwand reduziert wird.

Um eine Durchmischung des in den Depolymerisationsreaktor eingebrachten Kunststoffmaterials zu erzielen, ist es von Vorteil, wenn kontinuierlich Kunststoffschmelze aus dem Depolymerisationsreaktor abgepumpt und in den Depolymerisationsreaktor rückgeführt wird. Hierbei wird vorzugsweise in einem unteren Teil des Reaktors oberhalb eines Reaktorsumpfes ein Teil des Reaktorinhalts abgezogen und zur weiteren Depolymerisation wiederum in den Reaktor rückgeführt. Hinsichtlich einer zuverlässigen Durchmischung des Inhalts im Depolymerisationsreaktor und zur Erzeugung von Turbulenzen im Reaktor ist es von Vorteil, wenn kontinuierlich Kunststoffschmelze aus dem Depolymerisationsreaktor abgepumpt und in den Depolymerisationsreaktor rückgeführt wird.

Um das Kunststoffmaterial, welches über den Versorgungskreislauf rückgeführt wird, mit Lösungsmittel zu versetzen und somit günstige Bedingungen für einen Wärmeeintrag im Depolymerisationsreaktor zu schaffen, ist es von Vorteil, wenn das Lösungsmittel in den Versorgungskreislauf eingebracht, vorzugsweise eingespritzt, wird. Sofern das zuvor entgaste und geschmolzene Kunststoffmaterial ebenfalls über den Versorgungskreislauf in den Depolymerisationsreaktor eingebracht wird, ist sichergestellt, dass neu zugeführtes Kunststoffmaterial und über den Versorgungskreislauf aus dem Depolymerisationsreaktor abgepumptes Kunststoffmaterial zunächst zusammengeführt werden und sodann dem vereinten Schmelzmaterial das Lösungsmittel zugesetzt wird, so dass der verbesserte Wärmeeintrag im Reaktor sichergestellt ist.

Um sicherzustellen dass sich das Kunststoffmaterial in dem Lösungsmittel löst, ist es günstig, wenn das Lösungsmittel vorzugsweise auf ca. zumindest 150°C, insbesondere auf im Wesentlichen 200°C bis 300°C erwärmt wird, bevor es der Kunststoffschmelze zugesetzt wird.

Hierbei ist es insbesondere vorteilhaft, wenn als Lösungsmittel ein Schweröl zugesetzt wird. Schweröl (sog. Heavy Fuel Oil

(HFO) und dessen Komponenten) ist ein Rückstandsöl aus der Destillation und/oder aus Crack-Anlagen der Erdölverarbeitung, wobei dieses derzeit primär als Kraftstoff für Schiffsdieselmotoren und Brennstoff Absatz findet. Der Absatz des Schweröls ist jedoch rückläufig, so dass Überkapazitäten bestehen. Demzufolge kann Schweröl als günstiges und zudem effizientes Lösungsmittel bzw. Viskositätsverringierungsmittel zur Depolymerisation von Kunststoffmaterial eingesetzt werden. Zudem enthalten manche Schweröle feinkörnige Reste von Katalysatoren, welche einen positiven Einfluss auf das Cracking-Verhalten bei der Depolymerisation haben können.

Um zu vermeiden, dass das Lösungsmittel unmittelbar nach Einbringen der Kunststoffschmelze-Lösung in den Depolymerisationsreaktor verdampft, ist es von Vorteil, wenn das Lösungsmittel ein höheres Siedeende als die Betriebstemperatur im Depolymerisationsreaktor aufweist. Demzufolge ist es von Vorteil, wenn das Lösungsmittel, vorzugsweise das Schweröl, ein Siedeende > 300°C, vorzugsweise > 350°C, aufweist.

Als besonders vorteilhaft hat sich herausgestellt, wenn als Lösungsmittel ein Schweröl mit einem Anteil an aromatischen Kohlenwasserstoffen von zumindest 25% verwendet wird. Hierbei können insbesondere Schweröle bzw. ein Gemisch verschiedener Schweröle eingesetzt werden, welche in der EINECS (European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances)-Klassifizierung die Nr. 265-xxx-x oder Nr. 270-xxx-x aufweisen, wobei x einen beliebigen Platzhalter darstellt. Besonders bevorzugt ist hierbei ein Schweröl ausgewählt aus einer Gruppe umfassend folgende EINECS-Nr.: 265-064-6, 265-058-3, 265-189-6, 265-045-2, 265-193-8, 265-081-9, 270-675-6, 265-060-4.

Zur Verbesserung des Wärmeeintrags mittels einer Viskositätserniedrigung ist es günstig, wenn die Viskosität der Kunststoffschmelze-Lösung bei einer Temperatur von im Wesentlichen 180°C bis 240°C gegenüber der Kunststoffschmelze ohne Lösungsmittel um zumindest 30%, vorzugsweise um zumindest 50%, insbesondere um zumindest 80%, reduziert wird.

Um bei der Depolymerisation zweckmäßig weiterverwendbare Produk-

te zu erzielen, ist es von Vorteil, wenn das Kunststoffmaterial, welches beim erfindungsgemäßen Verfahren eingesetzt ist, vorsortiert wird, so dass nur spezielle Kunststoffmaterialien dem Depolymerisationsreaktor zugeführt werden. Hierbei ist es günstig, wenn als Kunststoffmaterial Polyolefine, insbesondere Polyethylen und Polypropylen, bzw. Polystyrol verwendet wird.

Eine zweckmäßige Temperatur zur Depolymerisation der Alt- bzw. Abfallkunststoffmaterialien ist gegeben, wenn das Kunststoffmaterial in dem Depolymerisationsreaktor bei ca. 300°C bis 500°C, vorzugsweise 350°C bis 450°C, depolymerisiert wird.

Hinsichtlich einer zweckmäßigen Weiterverarbeitung des im Reaktor depolymerisierten Kunststoffmaterials ist es günstig, wenn das depolymerisierte Kunststoffmaterial in einem oberen Abschnitt des Depolymerisationsreaktors dampfförmig abgezogen wird. Die vorzugsweise am Kopf des Depolymerisationsreaktors abgezogene Produktmischung kann sodann einer nachgeschalteten Trennkolonne zugeführt werden, wobei es hierbei besonders von Vorteil ist, wenn das dampfförmige, depolymerisierte Kunststoffmaterial in mehrere Produkte aufgetrennt wird, vorzugsweise einen Gasstrom, Flüssiggas und Naphtha, sowie ein gasölähnliches Produkt.

Um den Wärmeeintrag in das Kunststoffmaterial möglichst effizient zu gestalten, ist es von Vorteil, wenn die Kunststoffschmelze-Lösung vor Einbringung in den Depolymerisationsreaktor erwärmt wird. Somit kann bereits ein wesentlicher Teil der Wärme, die für die endothermen Cracking-Reaktionen im Rahmen der Depolymerisation erforderlich ist, vor der Einbringung der Kunststoffschmelze-Lösung in den Depolymerisationsreaktor der Kunststoffschmelze-Lösung zugeführt werden.

Die Vorrichtung der eingangs angeführten Art ist dadurch gekennzeichnet, dass eine Lösungsmiteleinbringungsanordnung vorgesehen ist, über welche der Kunststoffschmelze eine aus Rohöl gewonnene Fraktion als Lösungsmittel zugesetzt wird, so dass die Viskosität der dem Depolymerisationsreaktor zugeführten Kunststoffschmelze-Lösung gegenüber der Viskosität der Kunststoffschmelze verringert wird. Mit Hilfe der erfindungsgemäßen Vor-

richtung kann somit - wie mit dem vorstehend beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahren - die Viskosität der in den Depolymerisationsreaktor eingebrachten Schmelze reduziert werden und somit der Wärmeeintrag verbessert werden. Zwecks Vermeidung von Wiederholungen wird auf die im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren im Detail erläuterten Vorteile verwiesen.

Hinsichtlich einer einfachen Einschmelzung und Vergasung des Kunststoffmaterials und effizienten Einbringung des Lösungsmittels ist es von Vorteil, wenn als Entgasungs- bzw. Schmelzvorrichtung ein Extruder vorgesehen ist und die Lösungsmittleinbringungsanordnung zumindest eine Dosierpumpe aufweist.

Um in dem Depolymerisationsreaktor eine Drallströmung zu erzielen und somit eine kontinuierliche Durchmischung des im Reaktor befindlichen Inhalts zu ermöglichen, ist es von Vorteil, wenn an den Depolymerisationsreaktor eine Versorgungskreislaufleitung angeschlossen ist, über welche ein Teil der im Depolymerisationsreaktor befindlichen Kunststoffschmelze abgepumpt wird und in den Depolymerisationsreaktor rückgeführt wird. Hierbei ist es günstig, wenn an die Versorgungskreislaufleitung die Entgasungs- bzw. Schmelzvorrichtung bzw. die Lösungsmittleinbringungsanordnung angeschlossen ist, da hierdurch sichergestellt ist, dass sowohl neu in den Reaktor einzubringendes Kunststoffmaterial als auch jenes, welches über die Versorgungsleitung aus dem Reaktor abgepumpt wurde, mit dem Lösungsmittel versetzt wird, und somit der Wärmeeintrag in die Kunststoffschmelze verbessert wird.

Sofern an die Versorgungskreislaufleitung ein Wärmetauscher angeschlossen ist, kann die Kunststoffschmelze-Lösung mit Hilfe des Wärmetauschers schon vor der Einbringung in den Depolymerisationsreaktor vorgewärmt werden, wodurch wiederum die Effizienz des Energieeintrags erhöht wird.

Die Erfindung wird nachstehend anhand eines in der Zeichnung dargestellten bevorzugten Ausführungsbeispiels, auf das sie jedoch keinesfalls beschränkt sein soll, noch näher erläutert.

Die einzige Zeichnungsfigur zeigt hierbei schematisch den Aufbau des erfindungsgemäßen Verfahrens bzw. der erfindungsgemäßen Vorrichtung.

In der einzigen Zeichnungsfigur ist ersichtlich, dass vorsortiertes Kunststoffmaterial, welches insbesondere aus Polyolefinen, vorzugsweise Polyethylen und/oder Polypropylen, und gegebenenfalls Polystyrol besteht, einem als Eintragsvorrichtung bzw. Entgasungs- und Schmelzvorrichtung 2 vorgesehenen Extruder zugeführt wird. In dem Extruder 2 wird das Kunststoffmaterial kompaktiert, entgast und geschmolzen. Die aus dem Extruder 2 austretende Kunststoffschnmelze wird nicht direkt einem Depolymerisationsreaktor 3 zugeführt, sondern in eine Versorgungskreislaufleitung 4 eingebracht. Über die Versorgungskreislaufleitung 4 wird mit Hilfe einer Pumpe 5 zudem oberhalb eines im unteren Teil des Reaktors 3 anfallenden Reaktorsumpfes ein Teil der im Reaktor 3 befindlichen Kunststoffschnmelze abgezogen. Durch die Einbringung von Lösungsmittel 6 in die Versorgungskreislaufleitung 4 wird das Lösungsmittel 6 somit der aus dem Reaktor 3 abgezogenen Kunststoffschnmelze sowie der über den Extruder 2 zugeführten Kunststoffschnmelze zugemischt. Vor Zumischung des Lösungsmittels 6 zu der Kunststoffschnmelze wird das Lösungsmittel 6 einer Lösungsmittelinbringungs Vorrichtung 6' zugeführt, in welcher das Lösungsmittel 6 auf ca. 200°C bis 300°C, insbesondere ca. 250°C vorgewärmt wird.

Durch die Zufuhr des Lösungsmittels 6 in die Versorgungsleitung 4 über die Lösungsmittelinbringungs Vorrichtung 6', welche insbesondere nicht näher dargestellte Düsen zum über zumindest eine Dosierpumpe gesteuerten Einspritzen von Lösungsmittel 6 in die Kunststoffschnmelze aufweist, kann somit die Viskosität der Kunststoffschnmelze, welche in den Depolymerisationsreaktor 3 eingebracht wird, verringert werden. Bevorzugt wird hierbei zur Erzielung einer homogenen Lösung vorgewärmtes Schweröl (HFO) beigemischt. Bevorzugt wird hierbei ein Schweröl mit einer EINECS (European Inventory of Existing Commercial Chemical Substances)-Nummer bzw. CAS (Chemical Abstracts Service)-Nummer ausgewählt aus der nachfolgenden Tabelle 1 bzw. eine Mischung verschiedener dieser Schweröle zugemischt.

EINECS-Nummer	CAS-Nummer	
269-783-6	68333-27-7	
295-990-6	92201-59-7	
265-064-6	64741-62-4	
269-782-0	68333-26-6	
265-063-0	64741-61-3	
269-784-1	68333-28-8	
274-684-6	70592-77-7	
270-984-6	68512-62-9	
274-683-0	70592-76-6	
265-058-3	64741-57-7	
265-189-6	64742-86-5	
265-162-9	64742-59-2	
273-263-4	68955-27-1	
274-685-1	70592-78-8	
285-555-9	85117-03-9	
292-658-2	90669-76-4	
270-796-4	68478-17-1	
270-983-0	68512-61-8	
271-763-7	68607-30-7	
272-184-2	68783-08-4	
269-777-3	68333-22-2	
265-045-2	64741-45-3	
265-181-2	64742-78-5	
265-193-8	64742-90-1	
308-733-0	98219-64-8	
271-013-9	68513-69-9	
292-657-7	90669-75-3	
273-272-3	68955-36-2	
270-792-2	68478-13-7	
265-069-3	64741-67-9	
265-081-9	64741-80-6	
265-082-4	64741-81-7	
265-076-1	64741-75-9	
309-863-0	101316-57-8	
298-754-0	93821-66-0	
295-396-7	92045-14-2	

272-187-9	68783-13-1	
271-384-7	68553-00-4	
270-675-6	68476-33-5	
270-674-0	68476-32-4	
265-057-8	64741-56-6	
265-188-0	64742-85-4	
295-518-9	92062-05-0	
302-656-6	94114-22-4	
309-712-9	100684-39-7	
309-713-4	100684-40-0	
265-043-1	64741-43-1	
272-341-5	68814-87-9	
272-817-2	68915-96-8	
296-468-0	92704-36-4	
309-695-8	100684-24-0	
265-060-4	64741-59-9	
265-062-5	64741-60-2	
269-781-5	68333-25-5	
271-260-2	68527-18-4	
285-505-6	85116-53-6	
295-411-7	92045-29-9	
308-278-8	97926-59-5	
309-865-1	101316-59-0	
309-939-3	101631-14-5	
307-662-2	97675-88-2	
265-049-4	64741-49-7	
265-059-9	64741-58-8	
265-190-1	64742-87-6	
295-407-5	92045-24-4	
295-408-0	92045-26-6	
295-409-6	92045-27-7	
307-750-0	97722-01-5	
309-693-7	100684-22-8	
309-694-2	100684-23-9	
265-092-9	64741-90-8	
265-112-6	64742-12-7	
265-129-9	64742-29-6	
265-148-2	64742-46-7	

265-182-8	64742-79-6	
265-183-3	64742-80-9	
270-719-4	68477-29-2	
270-721-5	68477-30-5	
292-454-3	-	
292-615-8	90640-93-0	
309-667-5	100683-97-4	
309-668-0	100683-98-5	
309-669-6	100683-99-6	
270-671-4	68476-30-2	
270-676-1	68476-36-6	
270-673-5	68476-31-3	

Tabelle 1

Tests haben gezeigt, dass durch Zumischung eines derartigen Lösungsmittels die Viskosität der in den Depolymerisationsreaktor 3 eingebrachten Lösung gegenüber der reinen Kunststoffschmelze signifikant verringert wird.

Beispiel 1:

Aus reinem Polypropylen-Granulat und Lösungsmittel ("Geklärtes Sumpföl" (GSO), EINECs-Nr. 265-064-6) wurden Proben mit Zumischungsraten von 0 Gewichts-%, 50 Gewichts-%, 70 Gewichts-% und 100 Gewichts-% hergestellt. Unter Stickstoffatmosphäre wurden die Mischungen erhitzt und kurzzeitig (wenige Minuten) auf eine bevorzugte Prozesstemperatur des Depolymerisationsverfahrens von ca. 360-390°C gehalten, um einerseits die Prozessbedingungen mit zu berücksichtigen, andererseits um eine möglichst vollständige Homogenisierung der Proben zu erreichen. Danach erfolgte die Messung der dynamischen Viskosität bei den jeweiligen Messtemperaturen mithilfe eines Zylinder-Rheometers (Typ: Bohlin Visco 88 Viscometer) mit verschiedenen Rotationsgeschwindigkeiten im mittleren Justierbereich des Zylinders.

Folgende Werte konnten für die Mischungen konstant und nahezu unabhängig von der Schergeschwindigkeit (bei mittleren Geschwindigkeiten) ermittelt werden (die Viskosität des reinen Lösungsmittels war nicht bestimmbar, da die Viskosität außerhalb des Messbereichs lag):

Messtemperatur [°C]	Zumischungsraten Lösungsmittel [%]			
	0 (=reine Kunststoff- schmelze)	50	70	100
180	1,9	0,17	0,03	n.b.
200	0,6	0,12	0,02	n.b.
220	0,46	0,09	0,02	n.b.
240	0,37	0,06	0,01	n.b.

Tabelle 2: Viskositäten der Mischungen [Pa*s]

Durch die Zumischung eines Lösungsmittels und der damit erzielten Viskositätsverringerung ergeben sich vorteilhafterweise zudem höhere Turbulenzen im Depolymerisationsreaktor 3, wodurch insbesondere der Wärmeeintrag zu den Molekülen des Kunststoffmaterials verbessert wird. Darüber hinaus kann somit der Abfall des Temperaturgradienten entlang des Reaktorradius verringert werden, wodurch wiederum eine geringere Gefahr des Überhitzens im äußeren Randbereich des Reaktors 3 in der Nähe einer mantelförmigen Heizvorrichtung 3' des Reaktors besteht und die Gefahr einer Verkokung des Kunststoffmaterials verringert werden kann.

Um zudem den Wärmeeintrag zwecks Depolymerisation effizienter zu gestalten, ist in der Versorgungskreislaufleitung 4 zudem ein Wärmetauscher 5' vorgesehen, über welchen die Kunststoffschmelze-Lösung schon vor Einbringung in den Depolymerisationsreaktor 3 erwärmt wird.

In dem Depolymerisationsreaktor 3 wird das Kunststoffmaterial sodann in einem Temperaturbereich von ca. 350°C bis 450°C und im Wesentlichen atmosphärischem Druck depolymerisiert. Hierbei entsteht ein dampfförmiges Produkt, welches über eine Entnahmeleitung 7 über Kopf aus dem Reaktor 3 abgezogen wird. Die erforderliche Wärmezufuhr zur Erzielung der endothermen Cracking-Reaktionen zwecks Depolymerisation erfolgt einerseits über die Heizvorrichtung 3' des Depolymerisationsreaktors 3 und andererseits über den Wärmetauscher 5', bevor das Kunststoffschmelze/Schweröl-Gemisch bzw. die Lösung des Versorgungskreislaufs 4 in den Depolymerisationsreaktor 3 eingebracht wird.

Zudem wird der im Reaktor 3 verbleibende Rückstand im Sumpf des Reaktors in eine Filtrationskreislaufleitung 8 mit Hilfe einer Pumpe 9 abgepumpt. Die nicht umgesetzten Kunststoffreste und der bei der Depolymerisation entstehende Koks werden hierbei mit Hilfe von Filtern 10 aus dem Sumpfprodukt entfernt, das teilweise wiederum in den Depolymerisationsreaktor 3 rückgeführt wird. Auch dieses in der Filtrationskreislaufleitung 8 beförderte Kunststoffmaterial kann vor Rückführung in den Reaktor 3 in einem nicht näher gezeigten Wärmetauscher erwärmt werden. Ein besonders schwer siedender Teil wird hierbei aus der Filtrationskreislaufleitung 8 als Nebenprodukt 11 abgezweigt.

Die am Kopf des Reaktors 3 über die Entnahmeleitung 7 abgezogene gasförmige Produktmischung wird einer nachgeschalteten Trennkolonnen 12 zugeführt. Die Produktmischung wird hierbei in der Trennkolonnen 12 in drei Produktströme aufdestilliert. Die Trennung erfolgt hierbei im Wesentlichen in einen Gasstrom 13, Flüssiggas (LPG - Liquefied Petroleum Gas), d.h. Propan, Butan und deren Gemische, und ein naphthahaltiges Produkt 14 sowie gasölähnliche Produkte 15.

Mit Hilfe der Beimengung des Lösungsmittels 6 in die Kunststoffschmelze kann somit auf wirtschaftlich rentable Weise ein vergleichsweise großer Depolymerisationsreaktor mit einem Umsatzvolumen von deutlich mehr als 6.000 Tonnen pro Jahr, vorzugsweise über 100.000 Tonnen pro Jahr, betrieben werden, wobei aufgrund der Viskositätserniedrigung der Kunststoffschmelze nicht nur ein verbesserter Wärmeeintrag in das Kunststoffmaterial erfolgen kann, sondern zudem kann auch der Energieaufwand für den Betrieb der Pumpen 5, 9 der Leitungen 4, 8 des Versorgungs- und Filterkreislaufs reduziert werden. Darüber hinaus kann vorteilhafterweise auch auf eine Rührvorrichtung im Reaktor verzichtet werden und somit der Energieaufwand weiter reduziert werden.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Depolymerisation von Kunststoffmaterial (1), insbesondere Alt- bzw. Abfallkunststoffen, mittels Wärmeeintrag, wobei das Kunststoffmaterial (1) zu einer Kunststoffschmelze geschmolzen und entgast wird, bevor es einem Depolymerisationsreaktor (3) zugeführt wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Kunststoffschmelze eine aus Rohöl gewonnene Fraktion als Lösungsmittel (6) zugesetzt wird, so dass die Viskosität der dem Depolymerisationsreaktor (3) zugeführten Kunststoffschmelze-Lösung gegenüber der Viskosität der Kunststoffschmelze verringert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass ein Teil der im Depolymerisationsreaktor (3) befindlichen Kunststoffschmelze abgepumpt und über einen Versorgungskreislauf wieder in den Depolymerisationsreaktor (3) zugeführt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass kontinuierlich Kunststoffschmelze aus dem Depolymerisationsreaktor (3) abgepumpt und in den Depolymerisationsreaktor (3) rückgeführt wird.
4. Verfahren nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Lösungsmittel (6) in den Versorgungskreislauf eingebracht, vorzugsweise eingespritzt, wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die zu depolymerisierende Kunststoffschmelze über den Versorgungskreislauf in den Depolymerisationsreaktor eingebracht wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das Lösungsmittel vorzugsweise auf ca. zumindest 150°C, insbesondere auf im Wesentlichen 200°C bis 300°C erwärmt wird, bevor es der Kunststoffschmelze zugesetzt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass als Lösungsmittel (6) ein Schweröl zugesetzt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Lösungsmittel (6), vorzugsweise das Schweröl, ein Siedeende $> 300^{\circ}\text{C}$, vorzugsweise $> 350^{\circ}\text{C}$, aufweist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass als Lösungsmittel (6) ein Schweröl mit einem Anteil an aromatischen Kohlenwasserstoffen von zumindest 25% verwendet wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass ein Schweröl zugemischt wird, welches in der EINECS-Klassifizierung die Nr. 265-xxx-x oder Nr. 270-xxx-x aufweist, wobei x einen beliebigen Platzhalter darstellt, insbesondere ein Schweröl ausgewählt aus einer Gruppe umfassend folgende EINECS-Nummern: 265-064-6, 265-058-3, 265-189-6, 265-045-2, 265-193-8, 265-081-9, 270-675-6, 265-060-4, bzw. eine Mischung hiervon.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die Viskosität der Kunststoffschmelze-Lösung bei einer Temperatur von im Wesentlichen 180°C bis 240°C gegenüber der Kunststoffschmelze ohne Lösungsmittel um zumindest 30%, vorzugsweise um zumindest 50%, insbesondere um zumindest 80% reduziert wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass als Kunststoffmaterial (1) Polyolefine, insbesondere Polyethylen und Polypropylen, bzw. Polystyrol verwendet werden bzw. wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Kunststoffmaterial (1) in dem Depolymerisationsreaktor bei ca. 300°C bis 500°C , vorzugsweise 350°C bis 450°C , depolymerisiert wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, dadurch gekennzeichnet,

zeichnet, dass das depolymerisierte Kunststoffmaterial (1) in einem oberen Abschnitt des Depolymerisationsreaktors (3) dampfförmig abgezogen wird.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass das dampfförmige, depolymerisierte Kunststoffmaterial in mehrere Produkte aufgetrennt wird, vorzugsweise einen Gasstrom (13), Flüssiggas und Naphtha (14), sowie ein gasölähnliches Produkt (15).

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die Kunststoffschmelze-Lösung vor Einbringung in den Depolymerisationsreaktor (3) erwärmt wird.

17. Vorrichtung zur Depolymerisation von Kunststoffmaterial (1), insbesondere Alt- bzw. Abfallkunststoffen, mittels Wärmeeintrag mit einer Entgasungs- bzw. Schmelzvorrichtung (2), mit welcher das Kunststoffmaterial (1) in eine Kunststoffschmelze überführt wird, und einem eine Heizvorrichtung (3') aufweisenden Depolymerisationsreaktor (3), dadurch gekennzeichnet, dass eine Lösungsmiteleinbringungs Vorrichtung vorgesehen ist, über welche der Kunststoffschmelze eine aus Rohöl gewonnene Fraktion als Lösungsmittel (6) zugesetzt wird, so dass die Viskosität der dem Depolymerisationsreaktor (3) zugeführten Kunststoffschmelze-Lösung gegenüber der Viskosität der Kunststoffschmelze verringert wird.

18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, dass an den Depolymerisationsreaktor (3) eine Versorgungskreislaufleitung (4) angeschlossen ist, über welche ein Teil der im Depolymerisationsreaktor (3) befindlichen Kunststoffschmelze abgepumpt wird und in den Depolymerisationsreaktor (3) rückgeführt wird.

19. Vorrichtung nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass an die Versorgungskreislaufleitung (4) die Entgasungs- bzw. Schmelzvorrichtung (2) bzw. die Lösungsmiteleinbringungs Vorrichtung (6') angeschlossen ist.

20. Vorrichtung nach Anspruch 18 oder 19, dadurch gekennzeichnet,

net, dass an die Versorgungskreislaufleitung (4) ein Wärmetauscher (5') angeschlossen ist.