

Verfahren zur Gewinnung eines Wachses
aus einem Pyrolyserückstand

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Gewinnung eines Wachses aus einem Pyrolyserückstand.

Verfahren zum Pyrolysieren eines Ausgangsstoffs, insbesondere eines Kunststoffes, sind im Stand der Technik bekannt. Der Fokus liegt dabei regelmäßig auf der Gewinnung von Produkten aus einer gasförmigen Fraktion des erhaltenen Pyrolyseprodukts. Der Pyrolyserückstand fällt dabei als Abfallprodukt an und wird normalerweise energetisch verwertet.

Ein solches Pyrolyseverfahren wird beispielsweise in der JPH 09125073 A offenbart. Dabei wird ein Altkunststoff in einem Pyrolysereaktor pyrolysiert, um ein Pyrolyseprodukt umfassend eine gasförmige Fraktion und einen Pyrolyserückstand zu erhalten. Die gasförmige Fraktion wird abgekühlt und zu einem Produktöl kondensiert. Aus diesem Produktöl können durch Destillation verschiedene fraktionierte Öle gewonnen werden. Zum Pyrolyserückstand wird ein Lösungsmittel zugegeben, das ein Produktöl oder ein fraktioniertes Öl sein kann. Alternativ können Kerosin, Leichtöl, Schweröl, Benzol, Toluol oder Xylol als Lösungsmittel verwendet werden. Ein Teil des Pyrolyserückstands soll sich im Lösungsmittel lösen, was ein Abtrennen einer im Pyrolyserückstand enthaltenen festen, kokshaltigen Fraktion ermöglichen soll. Das Lösungsmittel mit dem darin gelösten Teil des Pyrolyserückstands wird anschließend zur neuerlichen Pyrolyse in den Pyrolysereaktor rückgeführt.

Die WO 2023/285472 A2 beschreibt ein Verfahren zur Pyrolyse eines Kunststoffabfalls, wobei ein dabei entstehendes Pyrolysegas von Feststoffen (z.B. Koks) abgetrennt wird. Das Pyrolysegas wird anschließend kondensiert, um eine Pyrolyseölfraction zu erhalten, von welcher dann ein Wachs abgetrennt wird.

Die WO 2017/168165 A1 betrifft ein Verfahren zur Herstellung eines Schmierstoffs durch Pyrolyse eines Kunststoffes. In der WO 2021/115982 A1 wird ein Verfahren zur Gewinnung aliphatischer Kohlenwasserstoffe aus einem flüssigen Kohlenwasserstoffstrom beschrieben. Die US 2021/0332300 A1 ist gerichtet auf ein Verfahren zur Umwandlung von Kunststoffabfall in Recyclingprodukte

zur Verwendung für die Polymerisation von Propylen. In der WO 2009/086107 A2 wird ein Verfahren zur Umwandlung von Schweröl in niedriger siedende Kohlenwasserstoffprodukte bereitgestellt. Gegenstand der US 2009/0057192 A1 ist ein Verfahren zur Erzeugung eines verbesserten Einsatzstroms für einen Entasphaltierungsprozess. In der US 3,720,599 A wird ein Verfahren zum Entparaffinieren von Erdöl offenbart.

Trotz der aus dem Stand der Technik bekannten Verfahren ist die Verwertung von Pyrolyserückständen, insbesondere aus der Kunststoffpyrolyse, noch nicht zufriedenstellend gelöst. Es besteht daher ein Bedarf an alternativen, besseren Verfahren zur Verwertung solcher Pyrolyserückstände. Es ist eine Aufgabe der Erfindung, ein solches Verfahren zur Verfügung zu stellen.

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Gewinnung eines Wachses aus einem Pyrolyserückstand, umfassend die Schritte

(a) Bereitstellen des Pyrolyserückstands, wobei der Pyrolyserückstand das Wachs und einen Feststoff umfasst, vorzugsweise wobei der Feststoff ein anorganisches Salz, einen keramischen Rohstoff, ein Asphalt, ein Teer und/oder ein Koks umfasst,

(b) Zugabe eines Lösungsmittels zum Pyrolyserückstand, um eine feststofffreie Mischung umfassend den Feststoff und das Lösungsmittel zu erhalten, wobei das Wachs zumindest teilweise im Lösungsmittel gelöst ist,

(c) Abtrennen zumindest eines Teils des Feststoffs von der feststofffreien Mischung, um eine feststoffarme Mischung zu erhalten, und

(d) Abtrennen zumindest eines Teils des Wachses von der feststoffarmen Mischung.

Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass ein Pyrolyserückstand, insbesondere ein durch eine Kunststoffpyrolyse erhaltener Pyrolyserückstand, eine wertvolle Quelle für ein Wachs darstellt. Durch das erfindungsgemäße Verfahren kann nicht nur zumindest ein Teil des im Pyrolyserückstand enthaltenen Wachses gewonnen werden, sondern auch zumindest ein Teil des im Pyrolyserückstand enthaltenen Feststoffs. Mit dem Verfahren kann folglich die Umwelt entlastet werden, da Treibhausgasemissionen

gesenkt werden können und die Menge an Abfall reduziert werden kann. Insgesamt kann dadurch der Ressourcenverbrauch erheblich reduziert werden und die Kreislaufwirtschaft gestärkt werden, was auch wirtschaftliche Vorteile mit sich bringen kann. Insbesondere das gewonnene Wachs kann eine nachhaltige Alternative zu unmittelbar aus Erdöl gewonnenem Wachs darstellen.

Der Pyrolyserückstand kann durch Pyrolysieren eines Kunststoffs, insbesondere eines Altkunststoffs, erhalten werden. Die Pyrolyse kann in einem Pyrolysereaktor erfolgen, vorzugsweise bei einer Temperatur von 300 bis 500 °C, insbesondere von 350 bis 450 °C. Hierdurch kann eine gute Balance zwischen Wirtschaftlichkeit und Verfahrenseffizienz erreicht werden.

Die Pyrolyse kann eine thermische Pyrolyse (d.h. ein thermisches Cracken, ohne Zusatz eines Katalysators) und/oder eine katalytische Pyrolyse (d.h. ein katalytisches Cracken) sein. Eine thermische Pyrolyse ist bevorzugt, um etwaige Verunreinigungen des Wachses und/oder des Feststoffs aufgrund von Katalysatorbestandteilen zu vermeiden.

Die Pyrolyse kann weitgehend unter Ausschluss von Sauerstoff durchgeführt werden, insbesondere in inerter Atmosphäre, beispielsweise unter Stickstoff. Durch einen Sauerstoffmangel bzw. Sauerstoffausschluss kann eine vollständige Verbrennung verhindert werden und kann ein im Kunststoff enthaltenes Polymer gespalten bzw. depolymerisiert werden.

Der Kunststoff umfasst vorzugsweise ein Polyolefin und/oder ein Polystyrol (PS), wobei das Polyolefin ein Polyethylen (PE) und/oder ein Polypropylen (PP) umfassen kann. Vorzugsweise umfasst der Kunststoff das Polyolefin und/oder das Polystyrol in einer Menge von zumindest 65 Gew%, bevorzugter zumindest 70 Gew%, insbesondere zumindest 90 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Kunststoffs. Hierdurch kann ein Pyrolyserückstand erhalten werden, der einen signifikanten Anteil eines aliphatischen Kohlenwasserstoffs (bzw. einer Mischung aus mehreren aliphatischen Kohlenwasserstoffen) umfasst, d.h. einen signifikanten Anteil des Wachses.

Vorzugsweise umfasst der Kunststoff zumindest 20 Gew% des Polyolefins, bevorzugter zumindest 50 Gew%, noch bevorzugter zumindest 70 Gew%, insbesondere zumindest 90 Gew%, bezogen auf das

Gesamtgewicht des Kunststoffes. Mit steigendem Polyolefinanteil kann die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren gewonnene Wachsmenge erhöht werden, was die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens verbessern kann. Der Kunststoff kann ein weiteres Polymer aus der Gruppe bestehend aus Thermoplasten, Duromeren und/oder Elastomeren umfassen, insbesondere ein Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer (ABS), ein Polyvinylchlorid (PVC), ein Polyamid (PA) und/oder einen Polyester.

Vor dem Pyrolysieren kann der Kunststoff plastifiziert werden, beispielsweise in einem Mischer, insbesondere in einem Extruder. Der Kunststoff wird vorzugsweise auf eine Temperatur von zumindest 120 °C erwärmt, um ihn zu plastifizieren, bevorzugter auf eine Temperatur von 200 bis 500 °C, noch bevorzugter von 400 bis 470 °C. Dann kann die nachfolgende Pyrolyse energieeffizienter und in kürzerer Zeit durchgeführt werden. Im Extruder kann der Kunststoff auch entgast werden, um eine einheitliche Masse ohne Gaseinschlüsse zu erzeugen, sodass durch die nachfolgende Pyrolyse ein homogenes Pyrolyseprodukt erhalten werden kann.

Vor der Pyrolyse kann dem Kunststoff, insbesondere dem plastifizierten Kunststoff, ein Verdünnungsmittel zur Viskositätsreduktion zugesetzt werden. Das Verdünnungsmittel wird dem Kunststoff vorzugsweise in einer Menge von zumindest 5 Gew% zugesetzt, bevorzugter zumindest 9 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Kunststoffes. Vorzugsweise liegt das Verhältnis von Kunststoff zu Verdünnungsmittel bei mindestens 1:4, vorzugsweise bei mindestens 1:9. Durch Zusetzen des Verdünnungsmittels zum Kunststoff kann die Beweglichkeit von Polymerketten bei einer gegebenen Temperatur erhöht werden, sodass während der Pyrolyse der Wärmeeintrag in den Kunststoff verbessert werden kann. Weiters kann aufgrund der Viskositätsreduzierung die Gefahr des Überhitzens von Kunststoff in Wandbereichen des Pyrolysereaktors verringert werden, da dessen Beheizung üblicherweise durch eine nahe einer Außenwand des Pyrolysereaktors angeordnete Heizvorrichtung erfolgt. Auch die Gefahr des Verkokens des Kunststoffes während der Pyrolyse kann durch die Viskositätsreduzierung verringert werden.

Durch Zugabe des Verdünnungsmittels zum Kunststoff kann dessen Viskosität vorzugsweise um zumindest 30% reduziert werden,

bevorzugter um zumindest 50%, besonders bevorzugt um zumindest 80%, bezogen auf die Viskosität des Kunststoffes ohne Verdünnungsmittel unter denselben Messbedingungen, insbesondere bei einer Temperatur im Bereich von 180 bis 240 °C. Dadurch kann die Pumpfähigkeit des Kunststoffes verbessert werden, was dessen Verarbeitung erleichtern kann.

Bei der Zugabe des Verdünnungsmittels weist der Kunststoff bevorzugt eine Temperatur von zumindest 120 °C auf, bevorzugt eine Temperatur von 150 bis 300 °C, insbesondere von 200 bis 300 °C. Alternativ oder zusätzlich dazu kann das Verdünnungsmittel vor der Zugabe zum Kunststoff auf eine Temperatur von vorzugsweise zumindest 120 °C erwärmt werden, bevorzugt zumindest 150 °C, insbesondere auf eine Temperatur von 200 bis 300 °C. Durch eine Temperaturerhöhung des Kunststoffes und/oder des Verdünnungsmittels kann das Verdünnungsmittel schneller und effizienter in den Kunststoff eingemischt werden. Auch kann die nachfolgende Pyrolyse dadurch energieeffizienter und schneller durchgeführt werden.

Die Zugabe des Verdünnungsmittels zum Kunststoff kann mittels einer Zugabevorrichtung erfolgen. Die Zugabevorrichtung kann eine Dosiervorrichtung, etwa eine Dosierpumpe, aufweisen. Beispielsweise kann der Kunststoff, insbesondere der plastifizierte Kunststoff, einem Mischer, z.B. einem statischen Mischer, zugeführt und dort mit dem Verdünnungsmittel vermischt werden. Wird der Kunststoff in einem Extruder plastifiziert, kann die Zugabe des Verdünnungsmittels direkt im Extruder erfolgen. Hierfür kann die Zugabevorrichtung beispielsweise in der Kompressionszone oder Mischzone des Extruders angeordnet sein.

Das Verdünnungsmittel kann einen Kohlenwasserstoff ausgewählt aus einem Alkan, einem Cycloalkan und/oder einem Aromaten umfassen. Durch die Pyrolyse kann ein solches Verdünnungsmittel zu einem gasförmigen und/oder flüssigen Produkt umgesetzt werden, das zumindest teilweise vom Pyrolyserückstand abgetrennt und weiterverwertet werden kann. Das Verdünnungsmittel umfasst bevorzugt zumindest einen Teil einer flüssigen Fraktion des Pyrolyserückstands. Dieser kann beispielsweise in einem Hydrozyklon abgetrennt werden. Das Verdünnungsmittel kann alternativ oder zusätzlich dazu eine aus Rohöl gewonnene Fraktion umfassen, insbesondere ein Schweröl. Bei dem Schweröl kann es sich um ein

in einer Erdölraffinerie aus Erdöl gewonnenes Öl handeln, z.B. um ein Rückstandsöl einer Pyrolyseanlage. Das Schweröl weist bevorzugt einen Anteil eines aromatischen Kohlenwasserstoffs von zumindest 25 Gew% auf, bezogen auf das Gesamtgewicht des Schweröls.

Das Verdünnungsmittel weist bevorzugt eine Siedetemperatur (bzw. ein unteres Ende eines Siedebereichs) von zumindest 300 °C auf, insbesondere zumindest 350 °C. Dadurch kann vermieden werden, dass das Verdünnungsmittel unmittelbar nach dem Einbringen einer Mischung aus Kunststoff und Verdünnungsmittel in den Pyrolysereaktor verdampft, sondern eine Verdampfung, Spaltung und/oder Depolymerisation des Verdünnungsmittels kann erst mit fortschreitender Verweildauer der Mischung im Pyrolysereaktor und damit einhergehender Aufheizung der Mischung erfolgen. Dadurch kann ein homogenes Pyrolyseprodukt erhalten werden.

Im Rahmen der Erfindung hat sich überraschenderweise herausgestellt, dass das Zusetzen eines Verdünnungsmittels bei der Pyrolyse zu einem besonders wachsreichen Pyrolyserückstand führt. Dies ist im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren besonders vorteilhaft, da so noch eine größere Menge an Wachs gewonnen werden kann.

Der in Schritt (a) des Verfahrens bereitgestellte Pyrolyserückstand kann abgesehen vom Wachs und dem Feststoff auch eine flüssige Fraktion umfassen. Der Anteil der flüssigen Fraktion beträgt vorzugsweise maximal 95 Gew%, bevorzugter 30 bis 95 Gew%, insbesondere 50 bis 88 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Pyrolyserückstands. Mit abnehmendem Anteil der flüssigen Fraktion kann sich zumindest ein Teil des Wachses schneller im Lösungsmittel lösen, bzw. muss dem Pyrolyserückstand eine geringere Menge an Lösungsmittel zugegeben werden, um das Wachs zumindest teilweise im Lösungsmittel zu lösen. In weiterer Folge kann dadurch auch das Abtrennen zumindest eines Teils des Wachses von der feststoffarmen Mischung erleichtert werden. Somit kann das Verfahren effizienter gestaltet werden.

Der in Schritt (a) des Verfahrens bereitgestellte Pyrolyserückstand kann durch Pyrolysieren des Kunststoffs in einem Pyrolysereaktor und anschließendes Erhöhen einer Feststoffkonzentration des Pyrolyserückstands erhalten werden. Dies kann

vorteilhaft sein, um den Anteil der flüssigen Fraktion des erhaltenen Pyrolyserückstands auf vorzugsweise maximal 95 Gew% zu reduzieren, bevorzugter auf 30 bis 95 Gew%, insbesondere auf 50 bis 88 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Pyrolyserückstands. Um die Feststoffkonzentration zu erhöhen, kann eine Trennvorrichtung, vorzugsweise ein Hydrozyklon, eingesetzt werden, welcher dem Pyrolysereaktor nachgeschaltet sein kann.

Wird der Pyrolyserückstand durch Pyrolysieren eines Kunststoffes erhalten, kann im Anschluss an das Pyrolysieren und vor Schritt (a) des Verfahrens eine gasförmige Fraktion vom Pyrolyserückstand abgetrennt werden. Die Abtrennung der gasförmigen Fraktion kann mittels Verdampfung erfolgen, etwa in einem Hydrozyklon, welcher dem Pyrolysereaktor nachgeschaltet sein kann.

Das Abtrennen der gasförmigen Fraktion vom Pyrolyserückstand und das Erhöhen der Feststoffkonzentration des Pyrolyserückstands können beispielsweise mit einer Trennvorrichtung oder mit mehreren, in Serie geschalteten Trennvorrichtungen erfolgen. Vorteilhafterweise erfolgen sowohl das Abtrennen der gasförmigen Fraktion vom Pyrolyserückstand als auch das Erhöhen der Feststoffkonzentration des Pyrolyserückstands in nur einem Verfahrensschritt mittels eines Hydrozyklons, der dem Pyrolysereaktor nachgeschaltet sein kann. Ein solcher Hydrozyklon wird in der Anmeldung WO 2023/036751 A1 beschrieben. Durch Einleiten einer Mischung umfassend den Pyrolyserückstand und die gasförmige Fraktion über einen in einem oberen Bereich eines Mantels des Hydrozyklons angeordneten Einlass kann im Hydrozyklon eine Wirbelströmung erzeugt werden, wodurch die gasförmige Fraktion vom Pyrolyserückstand abgetrennt und über einen im oberen Bereich des Hydrozyklons (z.B. an dessen Decke) angeordneten Auslass abgeführt werden kann. Der Pyrolyserückstand kann anschließend schwerkraftsbedingt in Richtung eines Bodens des Hydrozyklons abgeführt werden, wobei eine Tangentialgeschwindigkeit einer sich ausbildenden Wirbelströmung kontinuierlich zunehmen kann. Dadurch kann zumindest ein Teil des Pyrolyserückstands, insbesondere zumindest ein das Wachs und den Feststoff zumindest teilweise umfassender Teil des Pyrolyserückstands, über einen im Boden des Hydrozyklons angeordneten Auslass abgeführt werden, während zumindest ein Teil der flüssigen Fraktion des Pyrolyserückstands in einen im Hydrozyklon angeordneten Innenbehälter

gelangen und von dort über einen Auslass abgeführt werden kann, z.B. zur Weiterverwendung als Verdünnungsmittel. Der über den im Boden des Hydrozyklons angeordneten Auslass abgeführte Pyrolyserückstand kann anschließend gemäß Schritt (a) des Verfahrens bereitgestellt werden. Der Hydrozyklon wird vorzugsweise bei einer Temperatur im Bereich von 300 und 450 °C betrieben, bevorzugter von 320 bis 420 °C, besonders bevorzugt von 360 bis 400 °C.

Der Pyrolyserückstand kann vor der Zugabe des Lösungsmittels abgekühlt werden, entweder vor Schritt (a) des Verfahrens, oder zwischen den Schritten (a) und (b). Die Abkühlung kann mittels einer Kühleinheit erfolgen. Der Pyrolyserückstand wird vorzugsweise auf eine Temperatur von nicht mehr als 240 °C, bevorzugter nicht mehr als 220 °C, besonders bevorzugt nicht mehr als 180 °C, abgekühlt. Die Abkühlung des Pyrolyserückstands kann vor allem dann vorteilhaft sein, wenn der Pyrolyserückstand durch ein unmittelbar zuvor erfolgtes Verarbeiten eines Kunststoffes (durch Pyrolysieren und ggf. nachfolgendes Abtrennen einer gasförmigen Fraktion vom Pyrolyserückstand und/oder Erhöhen der Feststoffkonzentration des Pyrolyserückstands) erhalten wird. Durch die Abkühlung des Pyrolyserückstands kann eine unerwünschte Verdampfung und/oder Zersetzung des Lösungsmittels bei der Zugabe zum Pyrolyserückstand verringert bzw. gänzlich verhindert werden. Der Pyrolyserückstand wird vorzugsweise auf eine Temperatur von nicht weniger als 80 °C abgekühlt, bevorzugter nicht weniger als 100 °C, besonders bevorzugt nicht weniger als 120 °C. Wenn diese Temperatur nicht unterschritten wird, hat dies den Vorteil, dass die Löslichkeit des Wachses im Lösungsmittel besser ist.

Das Lösungsmittel kann dem Pyrolyserückstand in Schritt (b) des Verfahrens mittels einer Einbringungsvorrichtung zugegeben werden. Die Einbringungsvorrichtung kann eine Dosiervorrichtung, etwa eine Dosierpumpe, aufweisen. Zur Zugabe des Lösungsmittels kann der Pyrolyserückstand einem Behälter zugeführt werden, mit welchem die Einbringungsvorrichtung verbunden sein kann. Der Behälter kann beheizbar sein, sodass das Lösen des Wachses im Lösungsmittel bei einer bestimmten Temperatur erfolgen kann.

Das Lösen des Wachses im Lösungsmittel erfolgt vorzugsweise bei einer Temperatur von zumindest 80 °C, bevorzugter zumindest 100 °C, noch bevorzugter zumindest 120 °C, noch bevorzugter 140 °C, insbesondere zumindest 160 °C. Das Lösen des Wachses

erfolgt vorzugsweise bei einer Temperatur im Bereich von 80 bis 240 °C, bevorzugter von 100 bis 160 °C, insbesondere 100 bis 140 °C. Hierdurch kann eine gute Verfahrenseffizienz sichergestellt werden, da sich einerseits das Wachs gut und schnell im Lösungsmittel lösen kann, und andererseits das Verfahren schnell und energieeffizient durchgeführt werden kann. Besonders gut kann sich das Wachs bereits bei einer Temperatur von 100 bis 120 °C im Lösungsmittel lösen, während eine Temperatur von 120 bis 140 °C verfahrenstechnisch optimal sein kann.

Das Lösen des Wachses im Lösungsmittel kann bevorzugt bei einem Druck im Bereich von 1 bis 25 bar erfolgen, insbesondere im Bereich von 5 bis 16 bar. Dadurch kann die Verfahrensführung weiter verbessert und ein schnelles Lösen des Wachses im Lösungsmittel erreicht werden.

Das Lösungsmittel kann vorzugsweise eine Siedetemperatur (bzw. einen Siedebereich) im Bereich von 20 bis 270 °C aufweisen, bevorzugter von 20 bis 250 °C, noch bevorzugter von 35 bis 255 °C, noch bevorzugter von 20 bis 200 °C, insbesondere von 50 bis 150 °C. Dadurch kann das Verfahren effizient durchgeführt werden. Insbesondere weist das Lösungsmittel vorzugsweise eine Siedetemperatur (bzw. ein oberes Ende eines Siedebereichs) auf, die um zumindest 10 °C, bevorzugter um zumindest 30 °C, insbesondere um zumindest 50 °C, unterhalb der Siedetemperatur des Wachses liegt (bzw. unterhalb eines unteren Endes des Siedebereichs des Wachses). Dadurch kann das Wachs gut von der feststoffarmen Mischung abgetrennt werden. Die Siedetemperatur (bzw. der Siedebereich) des Lösungsmittels kann mit der Norm ASTM D5399-09:2017 oder ASTM D2887-22:2022 bestimmt werden.

Das Lösungsmittel umfasst vorzugsweise zumindest 10 Gew%, bevorzugter zumindest 20 Gew%, noch bevorzugter zumindest 50 Gew%, noch bevorzugter zumindest 70 Gew%, insbesondere zumindest 90 Gew%, eines aliphatischen Kohlenwasserstoffs, bezogen auf das Gesamtgewicht des Lösungsmittels. Bevorzugt besteht das Lösungsmittel aus einem aliphatischen Kohlenwasserstoff, oder aus einer Mischung bestehend aus zwei oder mehreren aliphatischen Kohlenwasserstoffen. Mit steigendem Anteil an aliphatischem Kohlenwasserstoff kann sich nicht nur die Fähigkeit des Lösungsmittels zum Lösen des Wachses verbessern, sondern kann auch die Löslichkeit des Feststoffs im Lösungsmittel verringert werden. Bei

einem hohen Anteil eines Aromaten im Lösungsmittel kann sich der Feststoff, insbesondere ein Asphalten oder ein Teer, hingegen gut im Lösungsmittel lösen, was das nachfolgende Abtrennen des Wachses erschweren kann, bzw. wodurch das abgetrennte Wachs verunreinigt sein kann. Bei einem hohen Anteil eines Cycloalkans im Lösungsmittel kann sich das Wachs zwar gut lösen, allerdings kann die Ausbeute vergleichsweise gering sein.

Der aliphatische Kohlenwasserstoff ist vorzugsweise aus der Gruppe aliphatischer Kohlenwasserstoffe mit bis zu 15 Kohlenstoffatomen pro Molekül ausgewählt, insbesondere von 4 bis 12 Kohlenstoffatomen pro Molekül. Dadurch kann das Verfahren effizient durchgeführt werden, und kann eine gute Abtrennung des Wachses von der feststoffarmen Mischung ermöglicht werden.

Der aliphatische Kohlenwasserstoff ist vorzugsweise aus n-Pentan, n-Hexan, cyclo-Hexan, n-Heptan, iso-Dodecan, Tetrade-can, einem Isomer derselben, oder einer Mischung davon ausgewählt. Da die Siedetemperatur dieser aliphatischen Kohlenwasserstoffe im Bereich von 35 bis 255 °C liegt, kann das Verfahren effizient und wirtschaftlich durchgeführt werden. Weiters kann sich das Wachs aufgrund des niedrigen Molekulargewichts dieser Lösungsmittel gut in diesen lösen. Bevorzugt umfasst das Lösungsmittel 10 bis 80 Gew% eines aliphatischen Kohlenwasserstoffs mit bis zu 15 Kohlenstoffatomen pro Molekül, 10 bis 40 Gew% eines Iso-Paraffins, 10 bis 40 Gew% eines n-Paraffins, und 5 bis 20 Gew% eines Aromaten. Besonders bevorzugt ist es, wenn das Lösungsmittel 20 bis 30 Gew% eines aliphatischen Kohlenwasserstoffs mit bis zu 15 Kohlenstoffatomen pro Molekül, 20 bis 30 Gew% eines Iso-Paraffins, 20 bis 30 Gew% eines n-Paraffins, und 10 bis 15 Gew% eines Aromaten umfasst. Dabei sind Mischungen von zwei oder mehr aliphatischen Kohlenwasserstoffen mit bis zu 15 Kohlenstoffatomen pro Molekül, zwei oder mehr Iso-Paraffinen, zwei oder mehr n-Paraffinen und/oder zwei oder mehr Aromaten mitgemeint. Der aliphatische Kohlenwasserstoff umfasst in dieser Ausführungsform vorzugsweise n-Heptan, n-Octan, n-Nonan und/oder n-Decan, und/oder Isomere derselben, wobei der Anteil dieser aliphatischen Kohlenwasserstoffe im Lösungsmittel vorzugsweise bei zumindest 51 Gew% liegt, bevorzugter bei zumindest 65 Gew%, noch bevorzugter bei zumindest 80 Gew%, bezogen auf den Anteil aller im Lösungsmittel vorhandenen, aliphatischen

Kohlenwasserstoffe mit bis zu 15 Kohlenstoffatomen pro Molekül. Der Anteil an Cycloalkanen im Lösungsmittel liegt in dieser Ausführungsform vorzugsweise unterhalb von 5 Gew%, bevorzugter unterhalb von 1 Gew%, noch bevorzugter unterhalb von 0,1 Gew%, bezogen auf das Gewicht des Lösungsmittels. Das Lösungsmittel mit der vorgehend angeführten Zusammensetzung hat vorzugsweise einen Siedebereich von 25 bis 200 °C, und/oder eine Dichte bei 15 °C von 0,70 bis 0,76 g/cm³. Dieses Lösungsmittel ist besonders gut zum Lösen des Wachses geeignet. Auch kann das Lösungsmittel mit dieser Zusammensetzung bei der Pyrolyse von Kunststoffabfällen anfallen, und durch die Verwendung im erfindungsgemäßen Verfahren einer Weiterverwendung zugeführt werden.

Das Verhältnis von Pyrolyserückstand zu Lösungsmittel kann vorzugsweise im Bereich von 3:1 bis 1:5 liegen, bevorzugter im Bereich von 1:1 bis 1:3. Hierdurch kann das Lösen des Wachses im Lösungsmittel schnell und möglichst vollständig erfolgen.

Zumindest ein Teil des Feststoffs wird in Schritt (c) des Verfahrens von der feststoffreichen Mischung abgetrennt, wobei die Abtrennung mittels einer ersten Trennvorrichtung erfolgen kann. Durch die zumindest teilweise Abtrennung des Feststoffs wird eine feststoffarme Mischung erhalten. Eine Feststoffkonzentration der erhaltenen feststoffarmen Mischung beträgt vorzugsweise maximal 30 Gew%, bevorzugter maximal 15 Gew%, noch bevorzugter maximal 5 Gew%, noch mehr bevorzugt maximal 2 Gew%, noch mehr bevorzugt maximal 1 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht der feststoffarmen Mischung.

Die Abtrennung des Feststoffs kann durch eine gravimetrische Abscheidung, eine Filtration und/oder eine Fliehkraftabscheidung von der feststoffreichen Mischung erfolgen. Die gravimetrische Abscheidung kann eine Sedimentation und/oder ein Dekantieren umfassen. Insbesondere kann die Abtrennung durch eine Filtration erfolgen. Die Filtration kann mit einem Filtermedium, das eine Aktivkohle oder eine Bleicherde umfassen kann, durchgeführt werden. Dadurch können etwaige gemeinsam mit dem Wachs im Lösungsmittel gelöste, polare Komponenten (z.B. ein Teer oder ein Polyphenol) gut abgetrennt und vom Filtermedium adsorbiert werden. Bei der Filtration können selbst Partikel mit einer mittleren Partikelgröße (D50) von unter 100 µm, insbesondere unter 50 µm, leicht entfernt werden (bestimmt mittels Laserdiffraktometrie).

Bevorzugt wird die Filtration bei erhöhter Temperatur durchgeführt. Vorzugsweise wird die Filtration bei einer Temperatur im Bereich von 80 bis 350 °C durchgeführt, bevorzugter von 90 bis 300 °C, noch bevorzugter von 100 bis 250 °C, am bevorzugtesten von 150 bis 180 °C. Auch ist es bevorzugt, wenn die Filtration bei einem Druck von 5 bar oder darüber durchgeführt wird, vorzugsweise bei 5 bis 20 bar, bevorzugter bei 10 bis 20 bar. Das Erhöhen der Temperatur und/oder das Reduzieren des Drucks ermöglicht eine effizientere Abtrennung des Feststoffs von der feststoffreichen Mischung.

In einer bevorzugten Ausführungsform erfolgt die Abtrennung des Feststoffs durch eine Sedimentation und eine nachfolgende Filtration, wobei die Filtration vorzugsweise bei einem Druck von 5 bar oder darüber und bei einer Temperatur im Bereich von 100 bis 250 °C erfolgt, noch bevorzugter bei einem Druck von 10 bar oder darüber und bei einer Temperatur im Bereich von 150 bis 180 °C. Bei diesen Parametern kann der Feststoff besonders gut von der feststoffreichen Mischung abgetrennt werden. Diese Abtrennungseffizienz kann noch weiter verbessert werden, wenn der im Lösungsmittel enthaltene aliphatische Kohlenwasserstoff n-Heptan ist, und insbesondere, wenn das Lösungsmittel n-Heptan ist.

Der Feststoff umfasst vorzugsweise ein anorganisches Salz, einen keramischen Rohstoff, ein Asphalten, ein Teer und/oder ein Koks. Koks ist besonders bevorzugt im Pyrolyserückstand enthalten. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn der Pyrolyserückstand durch Pyrolysieren eines Kunststoffes erhalten wird, und nachfolgend eine flüssige Fraktion und/oder eine gasförmige Fraktion vom Pyrolyserückstand abgetrennt werden, bevor der Pyrolyserückstand gemäß Schritt (a) des Verfahrens bereitgestellt wird. Insbesondere kann der Feststoff Talkum, ein Eisenoxid (z.B. Eisen(III)-oxid), Aluminiumoxid, Titandioxid, Magnesiumoxid und/oder Calciumcarbonat umfassen. Wird der bereitgestellte Pyrolyserückstand durch Pyrolysieren eines Kunststoffes erhalten, kann der Feststoff einen im Kunststoff enthaltenen Zusatzstoff umfassen. Beispielsweise kann der Zusatzstoff einen Füllstoff, ein Farbpigment, und/oder ein Additiv umfassen. Einer Fachperson ist bekannt, welche Zusatzstoffe in Abhängigkeit des jeweiligen Kunststoffes und Anwendungsgebiets verwendet werden.

Der Feststoff kann nach seinem Abtrennen von der feststoffreichen Mischung, d.h. nach Schritt (c) des Verfahrens, getrocknet werden, etwa in einem Ofen. Dadurch kann der Feststoff riefähig und dadurch leichter verarbeitbar gemacht werden. Der Feststoff wird vorzugsweise bei einer Temperatur im Bereich von 50 bis 250 °C getrocknet, bevorzugter von 100 bis 200 °C, noch bevorzugter von 130 bis 160 °C. Die Zeitdauer der Trocknung beträgt vorzugsweise bis zu 120 min, insbesondere 5 bis 60 min.

Vom Feststoff, insbesondere vom getrockneten Feststoff, kann eine Komponente bzw. können mehrere Komponenten abgetrennt werden, z.B. mit einer Filtration und/oder einer Zentrifugation. Abgetrennte Komponenten können danach wiederverwendet werden, z.B. als Zusatzstoff für einen Kunststoff.

Während der Trocknung des Feststoffs abgetrenntes Lösungsmittel kann in Schritt (b) des Verfahrens wiederverwendet werden. Vor einer Rückführung in das Verfahren kann das Lösungsmittel zusätzlich gereinigt werden, vorzugsweise durch Verdampfung, insbesondere durch Rotationsverdampfung.

Das Abtrennen zumindest eines Teils des Wachses in Schritt (d) des Verfahrens kann eine Verdampfung oder eine Extraktion unter Druck umfassen. Die Temperatur liegt in Schritt (d) vorzugsweise im Bereich von 50 bis 280 °C, bevorzugter von 80 bis 150 °C, besonders bevorzugt von 100 bis 130 °C. Der Druck liegt in Schritt (d) bevorzugt im Bereich von 0,1 bis 2,5 bar, vorzugsweise von 0,5 bis 1 bar. Dadurch kann die Abtrennung möglichst vollständig und schnell erfolgen.

Wenn die Siedetemperatur (bzw. ein oberes Ende des Siedebereichs) des Lösungsmittels deutlich unterhalb einer Extraktionstemperatur liegt (z.B. zumindest 10 °C unterhalb, oder zumindest 15 °C unterhalb), umfasst das Abtrennen vorzugsweise die Extraktion unter Druck, etwa in einem Hydrozyklon. Wenn die Siedetemperatur (bzw. ein unteres Ende des Siedebereichs) des Lösungsmittels oberhalb der Extraktionstemperatur liegt, im Wesentlichen der Extraktionstemperatur entspricht oder knapp darunter liegt (z.B. bis zu 10 °C darunter, oder bis zu 15 °C darunter), umfasst das Abtrennen bevorzugt die Verdampfung.

Nach Abtrennen des Wachses in Schritt (d) des Verfahrens kann in der feststoffarmen Mischung enthaltenes Lösungsmittel in

Schritt (b) wiederverwendet werden. Hierfür kann das Lösungsmittel von der feststoffarmen Mischung abgetrennt werden, vorzugsweise durch eine Verdampfung, insbesondere durch eine Rotationsverdampfung.

Das in Schritt (d) des Verfahrens abgetrennte Wachs weist vorzugsweise eine Siedetemperatur (bzw. ein unteres Ende eines Siedebereichs) von zumindest 280 °C auf, bevorzugter zumindest 300 °C, noch bevorzugter zumindest 350 °C. Bevorzugt hat das Wachs eine Siedetemperatur (bzw. einen Siedebereich) im Bereich von 280 bis 730 °C, noch bevorzugter von 350 bis 700 °C. Das Wachs kann dann gut von der feststoffarmen Mischung getrennt werden. Die Siedetemperatur (bzw. der Siedebereich) des Wachses kann mittels der Norm ASTM D7500-15:2019 (vorzugsweise für ein Wachs mit einer Siedetemperatur bzw. einem Siedebereich von 100 bis 850 °C, insbesondere 100 bis 735 °C) oder mittels der Norm ASTM D2887-22:2022 (vorzugsweise für ein Wachs mit einer Siedetemperatur bzw. einem Siedebereich von 55 bis 538 °C) bestimmt werden.

Das abgetrennte Wachs weist vorzugsweise zumindest 15 Kohlenstoffatome pro Molekül aufweisen, bevorzugter zumindest 20, insbesondere zumindest 40. Bevorzugt weist das Wachs 20 bis 80 Kohlenstoffatome pro Molekül auf, insbesondere 20 bis 65. Solche Wachse können gut in einer Raffinerie, als Schmiermittel und/oder als Additiv weiterverwendet werden.

Das abgetrennte Wachs umfasst vorzugsweise zumindest 0,1 Gew% des Lösungsmittels, bevorzugter zumindest 5 Gew%, insbesondere zumindest 10 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Wachses. Dadurch kann der Stockpunkt des Wachses verringert und somit dessen Pumpbarkeit verbessert werden. Das abgetrennte Wachs umfasst bevorzugt maximal 60 Gew% des Lösungsmittels, vorzugsweise maximal 50 Gew%, bevorzugter maximal 20 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Wachses. Andernfalls kann es zu einer Beeinträchtigung der Eigenschaften des Wachses kommen. Bevorzugt umfasst das abgetrennte Wachs 0,1 bis 50 Gew% des Lösungsmittels, bevorzugter 0,1 bis 20 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Wachses.

Das abgetrennte Wachs kann einer Verarbeitungsanlage einer Raffinerie zugeführt werden, insbesondere einer Fluid Catalytic

Cracking (FCC) Anlage, einem Steam-Cracker, einer Thermal Gasoil Unit (TGU-Anlage), einer Hydrierungsanlage und/oder einem Koker. Vorzugsweise wird das Wachs einer FCC-Anlage und/oder einem Steam-Cracker zugeführt. In einem Steam-Cracker kann das Wachs in ein niedermolekulares Alken (bzw. in eine Mischung aus zwei oder mehr solcher Alkene) umgesetzt werden, insbesondere in Ethen und/oder Propen. Dies ermöglicht eine Wiederverwendung bei der Herstellung von Kunststoffen, insbesondere Polyolefinen.

Vorzugsweise weist das Wachs beim Zuführen zur Verarbeitungsanlage eine Temperatur von 40 °C oder darüber auf, bevorzugt von 50 °C oder darüber, mehr bevorzugt 80 °C oder darüber, insbesondere 100 °C oder darüber; vorzugsweise beträgt die Temperatur von 40 °C bis 300 °C, bevorzugt von 50 °C bis 280 °C, noch mehr bevorzugt von 80 bis 200 °C, noch mehr bevorzugt von 100 bis 180 °C. Dann kann ein Stocken des Wachses vermieden werden. Auch kann dies aus energetischen Gründen vorteilhaft sein, wenn das Abtrennen zumindest eines Teils des Wachses von der feststoffarmen Mischung bereits bei erhöhter Temperatur erfolgt, und auch in der Verarbeitungsanlage eine erhöhte Temperatur benötigt wird, weil dann das bereits erwärmte Wachs ohne eine vorhergehende Abkühlung, und gegebenenfalls unter einem weiteren Aufheizen, der Verarbeitungsanlage zugeführt werden kann. Auch kann das abgetrennte Wachs in anderen technischen Gebieten zum Einsatz kommen, beispielsweise als Schmiermittel und/oder Additiv. Das abgetrennte Wachs kann vor einer Weiterverwendung aufbereitet werden. Beispielsweise kann das Wachs aufgereinigt und/oder in verschiedene Kohlenstofffraktionen aufgetrennt werden.

Vorzugsweise wird das abgetrennte Wachs vor dem Zuführen zu einer Verarbeitungsanlage einer Raffinerie, insbesondere einer FCC-Anlage, mit einem Kohlenwasserstoffstrom gemischt. Der Kohlenwasserstoffstrom umfasst vorzugsweise ein Gasöl, vorzugsweise ein Vakuumgasöl (VGO) und/oder ein Visbreaker-Gasöl. Der Kohlenwasserstoffstrom weist vorzugsweise eine Siedetemperatur (bzw. ein unteres Ende eines Siedebereichs) von 100 °C oder darüber auf, bevorzugter von 150 °C oder darüber, noch bevorzugter von 200 °C oder darüber. Bevorzugt ist es insbesondere, wenn der Kohlenwasserstoffstrom eine Siedetemperatur (bzw. einen Siedebereich) im Bereich von 100 bis 400 °C aufweist, bevorzugter von

150 bis 300 °C, noch bevorzugter von 150 bis 200 °C. Daraus können für die weitere Verarbeitung der Mischung aus dem Wachs mit dem Kohlenwasserstoffstrom optimale rheologische Eigenschaften resultieren. Die Siedetemperatur (bzw. der Siedebereich) des Kohlenwasserstoffstroms kann mittels der Norm ASTM D7500-15:2019 (vorzugsweise für einen Kohlenwasserstoffstrom mit einer Siedetemperatur bzw. einem Siedebereich von 100 bis 850 °C, insbesondere 100 bis 735 °C) oder mittels der Norm ASTM D2887-22:2022 (vorzugsweise für einen Kohlenwasserstoffstrom mit einer Siedetemperatur bzw. einem Siedebereich von 55 bis 538 °C) bestimmt werden. Vorzugsweise weist der Kohlenwasserstoffstrom eine ähnliche Anzahl an Kohlenstoffatomen pro Molekül auf wie das abgetrennte Wachs (z.B. eine Anzahl von 10 Kohlenstoffatomen oder mehr pro Molekül). Dann kann das Wachs gut mit dem Kohlenwasserstoffstrom gemischt werden. Bevorzugt enthält die Mischung des Wachses und des Kohlenwasserstoffstroms eine Menge des Wachses von 50 Gew% oder darunter, bevorzugter 20 Gew% oder darunter, noch bevorzugter 10 Gew% oder darunter, besonders bevorzugt 5 Gew% oder darunter, insbesondere 2 Gew% oder darunter, bezogen auf das Gesamtgewicht der Mischung. Besonders bevorzugt enthält die Mischung eine Menge des Wachses von 0,1 bis 2 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Mischung. Dies ermöglicht nicht nur eine Aufwertung des abgetrennten Wachses, sondern können durch die Mischung des Wachses mit dem Kohlenwasserstoffstrom auch konstante Prozessbedingungen in der Verarbeitungsanlage der Raffinerie, insbesondere der FCC-Anlage, gewährleistet werden.

Die Erfindung betrifft auch eine Vorrichtung zur Gewinnung eines Wachses aus dem Pyrolyserückstand mit dem erfindungsgemäßen Verfahren, aufweisend

eine Einbringungs Vorrichtung zur Zugabe des Lösungsmittels zum Pyrolyserückstand,

eine erste Trennvorrichtung zur Abtrennung zumindest eines Teils des Feststoffs von der feststoffreichen Mischung, und

eine zweite Trennvorrichtung zur Abtrennung zumindest eines Teils des Wachses von der feststoffarmen Mischung,

vorzugsweise wobei vor der Einbringungs Vorrichtung (14) eine Kühleinheit (11) zur Abkühlung des Pyrolyserückstands vor der Zugabe des Lösungsmittels angeordnet ist.

Die Einbringungs Vorrichtung zur Zugabe des Lösungsmittels kann eine Dosier Vorrichtung aufweisen, etwa eine Dosierpumpe.

Die Einbringungs Vorrichtung kann mit einem Behälter verbunden sein, welchem der Pyrolyserückstand zugeführt werden kann, sodass das Lösen des Wachses im Lösungsmittel in diesem Behälter erfolgen kann. Der Behälter kann beheizbar sein, damit das Lösen des Wachses im Lösungsmittel bei einer erhöhten Temperatur erfolgen kann.

Die erste Trenn Vorrichtung kann eine Vorrichtung zur gravimetrischen Abscheidung, einen Filter, einen Zyklon, einen Hydrozyklon oder eine Kombination davon aufweisen, vorzugsweise einen Filter.

Die zweite Trenn Vorrichtung kann einen Verdampfer und/oder eine Vorrichtung zur Extraktion aufweisen.

Die Vorrichtung kann weiters einen Trockner, etwa einen Ofen, insbesondere einen Vakuumofen, aufweisen, um den Feststoff nach seiner Abtrennung, d.h. nach Schritt (c), zu trocknen.

Die Erfindung betrifft weiters eine Vorrichtung zur Gewinnung eines Wachses aus einem Kunststoff, insbesondere einem Alt-kunststoff, aufweisend die vorgenannte Vorrichtung (zur Gewinnung eines Wachses aus dem Pyrolyserückstand) und einen Pyroly-sereaktor zum Pyrolysieren des Kunststoffs, um den Pyrolyserück-stand zu erhalten.

Die Vorrichtung kann weiters einen Mischer aufweisen, insbesondere einen Extruder, um den Kunststoff vor der Zugabe in den Pyroly-sereaktor zu plastifizieren.

Die Vorrichtung kann auch eine Zugabevorrichtung aufweisen, um ein Verdünnungsmittel zum Kunststoff zuzugeben und dadurch dessen Viskosität zu reduzieren, wobei die Zugabevorrichtung dem Pyroly-sereaktor vorgeschaltet ist. Weist die Vorrichtung einen Extruder auf, kann die Zugabevorrichtung dem Extruder nachge-schaltet sein bzw. direkt am Extruder angeordnet sein, insbesondere in dessen Kompressionszone oder Mischzone. Alternativ kann die Vorrichtung einen Mischer aufweisen, insbesondere einen sta-tischen Mischer, um den Kunststoff, insbesondere den plastifi-zierten Kunststoff, mit dem Verdünnungsmittel zu mischen.

Die Erfindung betrifft insbesondere die folgenden Ausführungsformen:

1. Verfahren zur Gewinnung eines Wachses aus einem Pyrolyserückstand, umfassend die Schritte

(a) Bereitstellen des Pyrolyserückstands, wobei der Pyrolyserückstand das Wachs und einen Feststoff umfasst, vorzugsweise wobei der Feststoff ein anorganisches Salz, einen keramischen Rohstoff, ein Asphalt, ein Teer und/oder ein Koks umfasst,

(b) Zugabe eines Lösungsmittels zum Pyrolyserückstand, um eine feststofffreie Mischung umfassend den Feststoff und das Lösungsmittel zu erhalten, wobei das Wachs zumindest teilweise im Lösungsmittel gelöst ist,

(c) Abtrennen zumindest eines Teils des Feststoffs von der feststoffreichen Mischung, um eine feststoffarme Mischung zu erhalten, und

(d) Abtrennen zumindest eines Teils des Wachses von der feststoffarmen Mischung.

2. Verfahren nach Ausführungsform 1, wobei das Lösungsmittel eine Siedetemperatur im Bereich von 20 bis 270 °C aufweist, vorzugsweise von 20 bis 250 °C, bevorzugter von 35 bis 255 °C, insbesondere von 50 bis 150 °C.

3. Verfahren nach Ausführungsform 1 oder 2, wobei das Lösungsmittel zumindest 10 Gew%, vorzugsweise zumindest 20 Gew%, bevorzugter zumindest 50 Gew%, noch bevorzugter zumindest 70 Gew%, insbesondere zumindest 90 Gew%, eines aliphatischen Kohlenwasserstoffs umfasst, bezogen auf das Gesamtgewicht des Lösungsmittels.

4. Verfahren nach Ausführungsform 3, wobei der aliphatische Kohlenwasserstoff ausgewählt ist aus der Gruppe aliphatischer Kohlenwasserstoffe mit bis zu 15 Kohlenstoffatomen pro Molekül, vorzugsweise von 4 bis 12 Kohlenstoffatomen pro Molekül.

5. Verfahren nach Ausführungsform 4, wobei der aliphatische Kohlenwasserstoff ausgewählt ist aus n-Pentan, n-Hexan, cyclo-Hexan, n-Heptan, iso-Dodecan, Tetradecan, einem Isomer derselben, oder einer Mischung davon.

6. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 5, wobei

das Verhältnis von Pyrolyserückstand zu Lösungsmittel im Bereich von 3:1 bis 1:5 liegt, bevorzugt im Bereich von 1:1 bis 1:3.

7. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 6, wobei in Schritt (b) das Lösen des Wachses im Lösungsmittel bei einer Temperatur von zumindest 80 °C erfolgt, vorzugsweise zumindest 100 °C, bevorzugter zumindest 120 °C, noch bevorzugter zumindest 140 °C, insbesondere zumindest 160 °C, besonders bevorzugt im Bereich von 80 bis 240 °C, bevorzugter von 100 bis 160 °C, insbesondere 100 bis 140 °C.

8. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 7, wobei in Schritt (b) das Lösen des Wachses im Lösungsmittel bei einem Druck im Bereich von 1 bis 25 bar erfolgt, bevorzugt im Bereich von 5 bis 16 bar.

9. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 8, wobei der Feststoff in Schritt (c) durch eine gravimetrische Abscheidung (insbesondere eine Sedimentation), eine Filtration und/oder eine Fliehkraftabscheidung abgetrennt wird, vorzugsweise durch eine Filtration.

10. Verfahren nach Ausführungsform 9, wobei der Feststoff in Schritt (c) durch eine Filtration abgetrennt wird, vorzugsweise durch eine Sedimentation und eine nachfolgende Filtration; vorzugsweise wobei die Filtration bei einer Temperatur im Bereich von 80 bis 350 °C durchgeführt wird, bevorzugter von 90 bis 300 °C, noch bevorzugter von 100 bis 250 °C, am bevorzugtesten von 150 bis 180 °C; und/oder bei einem Druck von 5 bar oder darüber, vorzugsweise bei 5 bis 20 bar, bevorzugter bei 10 bis 20 bar.

11. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 10, wobei der Feststoff nach Schritt (c) getrocknet wird, vorzugsweise bei einer Temperatur von 50 bis 250 °C, bevorzugter von 100 bis 200 °C, insbesondere von 130 bis 160 °C, und/oder für eine Zeitdauer von bis zu 120 min, vorzugsweise von 5 bis 60 min.

12. Verfahren nach Ausführungsform 11, wobei während der Trocknung des Feststoffs abgetrenntes Lösungsmittel in Schritt (b) wiederverwendet wird.

13. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 12, wobei das Abtrennen zumindest eines Teils des Wachses in Schritt (d)

eine Verdampfung oder eine Extraktion unter Druck umfasst.

14. Verfahren nach Ausführungsform 13, wobei die Temperatur im Bereich von 50 bis 280 °C liegt, bevorzugter von 80 bis 150 °C, besonders bevorzugt von 100 bis 130 °C, und/oder wobei der Druck im Bereich von 0,1 bis 2,5 bar liegt, bevorzugter von 0,5 bis 1 bar.

15. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 14, wobei nach Schritt (d) in der feststoffarmen Mischung enthaltenes Lösungsmittel in Schritt (b) wiederverwendet wird.

16. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 15, wobei das abgetrennte Wachs eine Siedetemperatur von zumindest 280 °C aufweist, vorzugsweise zumindest 300 °C, bevorzugter zumindest 350 °C, wobei das abgetrennte Wachs vorzugsweise eine Siedetemperatur im Bereich von 280 bis 730 °C aufweist, bevorzugter von 350 bis 700 °C.

17. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 16, wobei das abgetrennte Wachs zumindest 15 Kohlenstoffatome pro Molekül aufweist, vorzugsweise zumindest 20, insbesondere zumindest 40, wobei das Wachs vorzugsweise 20 bis 80 Kohlenstoffatome pro Molekül aufweist, insbesondere 20 bis 65.

18. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 17, wobei das in Schritt (d) abgetrennte Wachs zumindest 0,1 Gew% des Lösungsmittels umfasst, bevorzugter zumindest 5 Gew%, noch bevorzugter zumindest 10 Gew%, und/oder wobei das abgetrennte Wachs maximal 60 Gew% des Lösungsmittels umfasst, vorzugsweise maximal 50 Gew%, bevorzugter maximal 20 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Wachses.

19. Verfahren nach Ausführungsform 18, wobei das abgetrennte Wachs 0,1 bis 50 Gew% des Lösungsmittels umfasst, bevorzugter 0,1 bis 20 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Wachses.

20. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 19, wobei der Pyrolyserückstand durch Pyrolysieren eines Kunststoffes, insbesondere eines Altkunststoffes, erhalten wird.

21. Verfahren nach Ausführungsform 20, wobei der Pyrolyserückstand durch Pyrolysieren des Kunststoffes in einem Pyrolysereaktor und anschließendes Erhöhen einer Feststoffkonzentration des Pyrolyserückstands erhalten wird.

22. Verfahren nach Ausführungsform 20 oder 21, wobei der Pyrolyserückstand eine flüssige Fraktion umfasst, wobei der Anteil der flüssigen Fraktion vorzugsweise bei maximal 95 Gew% liegt, bevorzugter im Bereich von 30 bis 95 Gew%, insbesondere von 50 bis 88 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Pyrolyserückstands.

23. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 20 bis 22, wobei der Pyrolyserückstand vor Schritt (b) abgekühlt wird, vorzugsweise auf eine Temperatur von nicht mehr als 260 °C, bevorzugter nicht mehr als 220 °C, besonders bevorzugt nicht mehr als 180 °C, und/oder vorzugsweise auf eine Temperatur von nicht weniger als 80 °C, bevorzugter nicht weniger als 100 °C, besonders bevorzugt nicht weniger als 120 °C.

24. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 23, wobei das abgetrennte Wachs einer Verarbeitungsanlage einer Raffinerie zugeführt wird, insbesondere einer FCC-Anlage und/oder einem Steam-Cracker; vorzugsweise wobei das Wachs beim Zuführen zur Verarbeitungsanlage eine Temperatur von 40 °C oder darüber aufweist, bevorzugt von 50 °C oder darüber, mehr bevorzugt 80 °C oder darüber, insbesondere 100 °C oder darüber; bzw. eine Temperatur von 40 °C bis 300 °C, bevorzugt von 50 °C bis 280 °C, noch mehr bevorzugt von 80 bis 200 °C, noch mehr bevorzugt von 100 bis 180 °C.

25. Verfahren nach Ausführungsform 24, wobei das abgetrennte Wachs vor dem Zuführen zur Verarbeitungsanlage, insbesondere FCC-Anlage, mit einem Kohlenwasserstoffstrom gemischt wird; wobei der Kohlenwasserstoffstrom vorzugsweise eine Siedetemperatur (bzw. ein unteres Ende eines Siedebereichs) von 100 °C oder darüber aufweist, bevorzugter von 150 °C oder darüber, noch bevorzugter von 200 °C oder darüber; und/oder wobei eine Mischung des Wachses und des Kohlenwasserstoffstroms vorzugsweise eine Menge des Wachses von 50 Gew% oder darunter enthält, bevorzugter 20 Gew% oder darunter, noch bevorzugter 10 Gew% oder darunter, besonders bevorzugt 5 Gew% oder darunter, insbesondere 2 Gew% oder darunter, bezogen auf das Gesamtgewicht der Mischung.

26. Vorrichtung zur Gewinnung eines Wachses aus einem Pyrolyserückstand mit dem Verfahren nach einer der Ausführungsformen 1 bis 25, aufweisend

eine Einbringungs Vorrichtung zur Zugabe des Lösungsmittels

zum Pyrolyserückstand, und

eine erste Trennvorrichtung zur Abtrennung zumindest eines Teils des Feststoffs von der feststoffreichen Mischung, und

eine zweite Trennvorrichtung zur Abtrennung zumindest eines Teils des Wachses von der feststoffarmen Mischung,

vorzugsweise wobei vor der Einbringungs Vorrichtung (14) vorzugsweise eine Kühleinheit (11) zur Abkühlung des Pyrolyserückstands vor der Zugabe des Lösungsmittels angeordnet ist.

27. Vorrichtung nach Ausführungsform 26, wobei die Einbringungs Vorrichtung eine Dosier Vorrichtung aufweist, insbesondere eine Dosierpumpe.

28. Vorrichtung nach Ausführungsform 26 oder 27, wobei die erste Trennvorrichtung eine Vorrichtung zur gravimetrischen Abscheidung, einen Filter, einen Zyklon, einen Hydrozyklon oder eine Kombination davon aufweist, vorzugsweise einen Filter.

29. Vorrichtung nach einer der Ausführungsformen 26 bis 28, wobei die zweite Trennvorrichtung einen Verdampfer und/oder eine Vorrichtung zur Extraktion aufweist.

30. Vorrichtung zur Gewinnung eines Wachses aus einem Kunststoff, insbesondere einem Altkunststoff, aufweisend die Vorrichtung nach einer der Ausführungsformen 26 bis 29 und einen Pyrolyse reaktor zum Pyrolysieren des Kunststoffes, um den Pyrolyserückstand zu erhalten.

31. Vorrichtung nach Ausführungsform 30, weiters aufweisend einen Mischer, vorzugsweise einen Extruder, um den Kunststoff vor der Zugabe in den Pyrolyse reaktor zu plastifizieren.

32. Vorrichtung nach Ausführungsform 30 oder 31, weiters aufweisend eine Zugabevorrichtung zur Zugabe eines Verdünnungsmittels zum Kunststoff, wobei die Zugabevorrichtung dem Pyrolyse reaktor vorgeschaltet ist.

Die Erfindung wird nachstehend anhand von Figurenbeschreibungen einiger Ausführungsformen weiter erläutert, auf die die Erfindung jedoch nicht beschränkt ist.

Fig. 1 zeigt ein Fließschema eines Pyrolyseverfahrens, wobei Wachs aus einem Pyrolyserückstand gewonnen wird.

Wie aus Fig. 1 ersichtlich, wird ein Kunststoff, der

zumindest 50 Gew% eines Polyolefins umfasst, einem Extruder 1 zugeführt, in welchem der Kunststoff plastifiziert und entgast wird. Der plastifizierte Kunststoff weist eine Temperatur von zumindest 120 °C auf und wird anschließend einem statischen Mischer 2 zugegeben. Im statischen Mischer 2 kann dem plastifizierten Kunststoff ein Verdünnungsmittel 3 zugesetzt werden, um dessen Viskosität zu reduzieren. Alternativ oder zusätzlich zum Verdünnungsmittel 3 kann ein von einem Pyrolyserückstand abgetrennter Teil einer flüssigen Fraktion 4 mit dem plastifizierten Kunststoff gemischt werden, um dessen Viskosität zu reduzieren. Die erhaltene Mischung wird anschließend einem Pyrolysereaktor 5 zugeführt, in welchem der Kunststoff bei einer Temperatur von 350 bis 450 °C pyrolysiert wird. Dadurch wird ein Pyrolyseprodukt 6 umfassend eine gasförmige Fraktion, eine flüssige Fraktion sowie ein Wachs und einen Feststoff erhalten. Das Pyrolyseprodukt 6 wird einem dem Pyrolysereaktor 5 nachgeschalteten Hydrozyklon 7 zugeführt. Zunächst wird die gasförmige Fraktion im Hydrozyklon 7 zumindest teilweise abgetrennt. Der abgetrennte Teil der gasförmigen Fraktion 8 kann anschließend weiter in ein Leichtöl (z.B. mit einem Siedebereich von 35 bis 225 °C) und ein Schweröl (z.B. mit einem Siedebereich von 225 bis 410 °C) aufgetrennt werden (nicht dargestellt). Weiters wird im Hydrozyklon 7 die flüssige Fraktion zumindest teilweise abgetrennt. Der abgetrennte Teil der flüssigen Fraktion 4 kann über einen Auslass 9 des Hydrozyklons 7 abgeführt und im Verfahren zur Viskositätsreduktion des Kunststoffs wiederverwendet werden, wie zuvor beschrieben. Zumindest ein Teil des Pyrolyserückstands, der das Wachs und den Feststoff zumindest teilweise umfasst, wird über einen im Boden des Hydrozyklons 7 angeordneten Auslass 10 abgeführt.

Wie in Fig. 1 weiters zu sehen ist, wird der über den Auslass 10 abgeführte Pyrolyserückstand einer Kühleinheit 11 zur Abkühlung auf eine Temperatur im Bereich von 80 bis 240 °C zugeführt. Anschließend wird dem Pyrolyserückstand in einem Behälter 12 ein Lösungsmittel 13 umfassend zumindest 20 Gew% eines aliphatischen Kohlenwasserstoffs mittels einer Einbringungsvorrichtung 14 zugegeben, um eine feststoffreiche Mischung zu erhalten. Der aliphatische Kohlenwasserstoff ist dabei aus der Gruppe aliphatischer Kohlenwasserstoffe von 4 bis 12

Kohlenstoffatomen pro Molekül ausgewählt. Die erhaltene feststoffreiche Mischung weist ein Verhältnis von Pyrolyserückstand zu Lösungsmittel im Bereich von 1:1 bis 1:3 auf. Der Behälter 12 ist beheizt, damit das Lösen bei einer Temperatur im Bereich von 80 bis 240 °C erfolgen kann. In einer ersten Trennvorrichtung 15, die einen Filter umfasst, wird der Feststoff zumindest teilweise von der feststoffreichen Mischung abgetrennt, um eine feststoffarme Mischung zu erhalten. Der abgetrennte Feststoff 16 wird dann in einem Ofen 17 bei einer Temperatur im Bereich von 100 bis 200 °C getrocknet. Nachfolgend können einzelne Komponenten vom Feststoff abgetrennt und weiterverwendet werden (nicht gezeigt). Die feststoffarme Mischung wird einer zweiten Trennvorrichtung 18, die einen Verdampfer aufweist, zugeführt, um das Wachs zumindest teilweise mittels einer Verdampfung abzutrennen. Die Verdampfung erfolgt bei einer Temperatur im Bereich von 80 bis 150 °C und einem Druck von 0,5 bis 1 bar. Das abgetrennte Wachs 19 kann dann einer weiteren Verwendung zugeführt werden. Zumindest ein Teil des Lösungsmittels wird nachfolgend in einem Verdampfer 20 von der feststoffarmen Mischung abgetrennt und in Schritt (b) des Verfahrens wiederverwendet, indem es über die Einbringungsvorrichtung 14 in den Behälter 12 zurückgeführt wird.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Gewinnung eines Wachses aus einem Pyrolyserückstand, umfassend die Schritte

(a) Bereitstellen des Pyrolyserückstands, wobei der Pyrolyserückstand das Wachs und einen Feststoff umfasst, und wobei der Feststoff ein anorganisches Salz, einen keramischen Rohstoff, ein Asphalten, ein Teer und/oder ein Koks umfasst,

(b) Zugeben eines Lösungsmittels zum Pyrolyserückstand, um eine feststofffreie Mischung umfassend den Feststoff und das Lösungsmittel zu erhalten, wobei das Wachs zumindest teilweise im Lösungsmittel gelöst ist,

(c) Abtrennen zumindest eines Teils des Feststoffs von der feststoffreichen Mischung, um eine feststoffarme Mischung zu erhalten, und

(d) Abtrennen zumindest eines Teils des Wachses von der feststoffarmen Mischung.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Lösungsmittel zumindest 20 Gew% eines aliphatischen Kohlenwasserstoffs umfasst, bezogen auf das Gesamtgewicht des Lösungsmittels.

3. Verfahren nach Anspruch 2, wobei der aliphatische Kohlenwasserstoff ausgewählt ist aus der Gruppe aliphatischer Kohlenwasserstoffe mit bis zu 15 Kohlenstoffatomen pro Molekül, vorzugsweise von 4 bis 12 Kohlenstoffatomen pro Molekül.

4. Verfahren nach Anspruch 3, wobei der aliphatische Kohlenwasserstoff ausgewählt ist aus n-Pentan, n-Hexan, n-Heptan, iso-Dodecan, Tetradecan oder einer Mischung davon.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei in Schritt (b) das Lösen des Wachses im Lösungsmittel bei einer Temperatur von zumindest 80 °C erfolgt.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Feststoff in Schritt (c) durch eine Sedimentation und eine nachfolgende Filtration abgetrennt wird.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei die Filtration bei einer Temperatur im Bereich von 100 bis 250 °C und einem Druck von 5 bar oder darüber durchgeführt wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei der Feststoff nach Schritt (c) getrocknet wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das Abtrennen zumindest eines Teils des Waxes in Schritt (d) eine Verdampfung oder eine Extraktion unter Druck umfasst.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei nach Schritt (d) in der feststoffarmen Mischung enthaltenes Lösungsmittel in Schritt (b) wiederverwendet wird.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei das abgetrennte Wachs eine Siedetemperatur von zumindest 280 °C aufweist.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei das in Schritt (d) abgetrennte Wachs zumindest 0,1 Gew% des Lösungsmittels umfasst.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei der Pyrolyserückstand durch Pyrolysieren eines Kunststoffes, insbesondere eines Altkunststoffes, erhalten wird.
14. Vorrichtung zur Gewinnung eines Waxes aus einem Pyrolyserückstand mit dem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13,

aufweisend

eine Einbringungsvorrichtung (14) zur Zugabe des Lösungsmittels zum Pyrolyserückstand, und

eine erste Trennvorrichtung (15) zur Abtrennung zumindest eines Teils des Feststoffs von der feststoffreichen Mischung, und

eine zweite Trennvorrichtung (18) zur Abtrennung zumindest eines Teils des Wachses von der feststoffarmen Mischung,

wobei vor der Einbringungsvorrichtung (14) eine Kühleinheit (11) zur Abkühlung des Pyrolyserückstands vor der Zugabe des Lösungsmittels angeordnet ist.

15. Vorrichtung zur Gewinnung eines Wachses aus einem Kunststoff, insbesondere einem Altkunststoff, aufweisend die Vorrichtung nach Anspruch 14 und einen Pyrolysereaktor (5) zum Pyrolysieren des Kunststoffs, um den Pyrolyserückstand zu erhalten.