

**Verfahren zur Gewinnung eines Wachses aus einem
Pyrolyserückstand**

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

Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, ein Wachs durch Kristallisation von einem Ausgangsprodukt abzutrennen. Beispielsweise wird in der US 2002/0096451 A1 ein Verfahren zur Aufreinigung eines Erdölprodukts beschrieben. Dabei wird dem Erdölprodukt bei Raumtemperatur ein Lösungsmittel zugesetzt. Die erhaltene Mischung wird anschließend abgekühlt, um ein im Erdölprodukt enthaltenes Wachs zu kristallisieren und abzutrennen.

Ein ähnliches Verfahren zur Entparaaffinierung wird in der WO 2021/115982 A1 offenbart, wo einem Pyrolyserückstand, der aus der Pyrolyse eines Kunststoffes erhalten wurde, bei Raumtemperatur ein Lösungsmittel zugegeben wird. Die erhaltene Mischung wird dann abgekühlt, um ein darin enthaltenes Wachs durch Kristallisation abzutrennen.

Weitere Verfahren, die in Bezug mit der Abtrennung von Wachsen stehen, sind bekannt aus US 3,720,599 A, US 5,006,222 A, US 2,614,065 A, WO 2017/168165 A1 und WO 2021/115982 A1.

In den im Stand der Technik bekannten Verfahren dient die Abtrennung des Wachses vorwiegend dem Zweck einer Reinigung des Ausgangsprodukts. Das abgetrennte Wachs kann eine relativ geringe Reinheit aufweisen. Für zahlreiche Einsatzgebiete kann es jedoch notwendig sein, ein Wachs mit einer hohen Reinheit einzusetzen, was eine weitere, aufwändige Reinigung des abgetrennten Wachses erforderlich machen kann. Es besteht ein Bedarf an günstigen, einfachen Verfahren zur Herstellung eines Wachses mit einer hohen Reinheit. Eine Aufgabe der Erfindung ist es, ein solches Verfahren zur Verfügung zu stellen.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Gewinnung eines Wachses aus einem Pyrolyserückstand umfasst die Schritte

- (a) Bereitstellen des Pyrolyserückstands, wobei der Pyrolyserückstand das Wachs umfasst,
- (b) Vermischen des Pyrolyserückstands mit einem

Lösungsmittel bei zumindest 30 °C, um eine Mischung zu erhalten, wobei das Wachs zumindest teilweise im Lösungsmittel gelöst wird,

(c) Abkühlen der Mischung, um zumindest einen Teil des gelösten Wachses zu kristallisieren,

(d) Abtrennen zumindest eines Teils des kristallisierten Wachses von der 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 Vermischen des Pyrolyserückstands mit dem Lösungsmittel bei zumindest 30 °C kann sich das Wachs zu einem großen Teil bzw. sogar zur Gänze im Lösungsmittel lösen und in weiterer Folge mit einer hohen Reinheit vom Pyrolyserückstand abgetrennt werden. 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.

Im Rahmen der Erfindung hat es sich als vorteilhaft erwiesen, wenn eine Fraktion, vorzugsweise eine schwere Fraktion, des pyrolysierten Kunststoffs als Pyrolyserückstand verwendet wird.

In einer bevorzugten Ausführungsform wird der Pyrolyserückstand daher durch Pyrolysieren eines Kunststoffes und Abtrennung zumindest einer Fraktion, vorzugsweise einer gasförmigen Fraktion, vom pyrolysierten Kunststoff erhalten. Vorzugsweise weist die abgetrennte Fraktion eine niedrigere Siedetemperatur (bzw. einen niedrigeren Siedebereich) als der Pyrolyserückstand auf.

In einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist der Pyrolyserückstand eine Siedetemperatur (bzw. ein unteres Ende eines Siedebereichs) von mindestens 100 °C auf, bevorzugt mindestens 150 °C, mehr bevorzugt mindestens 200°C, mehr bevorzugt mindestens 240°C, mehr bevorzugt mindestens 270°C, mehr bevorzugt mindestens 300°C. Vorzugsweise weist der Pyrolyserückstand eine Siedetemperatur (bzw. ein unteres Ende eines Siedebereichs) im Bereich von 100 °C bis 700 °C auf, bevorzugt von 150 °C bis 600 °C, mehr bevorzugt von 200°C bis 500 °C, mehr bevorzugt von 240 °C bis 460 °C, mehr bevorzugt von 270 °C bis 430 °C, mehr bevorzugt von 300°C bis 400 °C. Es hat sich herausgestellt, dass Fraktionen mit einer solchen Siedetemperatur besonders hohe Wachsanteile aufweisen können und daher besonders gut für das erfindungsgemäße Verfahren geeignet sind. Als besonders vorteilhaft hat es sich herausgestellt, wenn der Pyrolyserückstand ein Spindelöl, vorzugsweise mit einer Siedetemperatur (bzw. einem unteren Ende eines Siedebereichs) im Bereich von 300 °C bis 400 °C, ist. In diesem Fall kann der Wachsanteil am Pyrolyserückstand beispielsweise ca. 50 Gew% betragen.

Die Siedetemperatur (bzw. der Siedebereich) kann vorzugsweise mittels der Norm ASTM D7500-15:2019 bestimmt werden. Alternativ dazu kann die Norm ASTM D2887-22:2022 verwendet 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 Kunststoffes. 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 Kunststoffs. Mit steigendem Polyolefinanteil kann die mit dem erfindungsgemäßen Verfahren gewonnene Wachsmenge erhöht werden, was die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens verbessern kann.

Im Zuge der Erfindung hat es sich herausgestellt, dass ein hoher Polyethylen (PE)-Anteil besonders vorteilhaft ist, da beim Pyrolysieren von Kunststoff mit hohem PE-Anteil ein besonders hoher Wachsanteil erhalten werden kann. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform weist der Kunststoff daher einen PE-Anteil von zumindest 10 Gew% auf, bevorzugt zumindest 20 Gew%, mehr bevorzugt zumindest 30 Gew%, mehr bevorzugt zumindest 40 Gew%, mehr bevorzugt zumindest 50 Gew%, mehr bevorzugt zumindest 60 Gew%, noch mehr bevorzugt zumindest 70 Gew% auf.

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 Kunststoffs. 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 Kunststoffs während der Pyrolyse kann durch die Viskositätsreduzierung verringert werden.

Durch Zugabe des Verdünnungsmittels zum Kunststoff kann dessen Viskosität vorzugsweise um zumindest 30%, bevorzugter um zumindest 50%, besonders bevorzugt um zumindest 80% reduziert werden, bezogen auf die Viskosität des Kunststoffs ohne Verdünnungsmittel unter denselben Messbedingungen, insbesondere bei einer Temperatur im Bereich von 180 bis 240 °C. Dadurch kann die Pumpfähigkeit des Kunststoffs verbessert werden, was dessen Verarbeitung erleichtern kann.

Bei der Zugabe des Verdünnungsmittels weist der Kunststoff bevorzugt eine Temperatur von zumindest 120 °C auf, bevorzugter 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, bevorzugter zumindest 150 °C, insbesondere auf eine Temperatur von 200 bis 300 °C. Durch eine Temperaturerhöhung des Kunststoffs 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. Insbesondere kann das Verdünnungsmittel eine aus Rohöl gewonnene Fraktion umfassen, bevorzugt 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 Verdünnungsmittel umfasst bevorzugt zumindest einen Teil einer flüssigen Fraktion des Pyrolyserückstands. Dieser kann beispielsweise in einem Hydrozyklon abgetrennt werden.

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.

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 70 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Pyrolyserückstands. Mit abnehmendem Anteil der flüssigen Fraktion kann die Geschwindigkeit, mit der sich zumindest ein Teil des Wachses im Lösungsmittel löst, steigen, bzw. kann 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. Auch der Lösungsmiteleinsatz kann dadurch

verringert werden. Somit kann das Verfahren effizienter gestaltet werden.

Der in Schritt (a) des Verfahrens bereitgestellte Pyrolyserückstand kann durch Pyrolysieren des Kunststoffes in einem Pyrolysereaktor und anschließendes Erhöhen einer Feststoffkonzentration des Pyrolyserückstands erhalten werden. Dadurch kann der Anteil der flüssigen Fraktion des resultierenden Pyrolyserückstands auf vorzugsweise maximal 95 Gew% reduziert werden, bevorzugter auf 30 bis 95 Gew%, insbesondere auf 50 bis 70 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Pyrolyserückstands. Um die Feststoffkonzentration zu erhöhen, kann 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 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 220 °C, bevorzugter nicht mehr als 200 °C, besonders bevorzugt nicht mehr als 180 °C, abgekühlt. Die Abkühlung des Pyrolyserückstands kann vor allem dann notwendig 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 30 °C abgekühlt, bevorzugter nicht weniger als 80 °C, noch bevorzugter nicht weniger als 100 °C, besonders bevorzugt nicht weniger als 120 °C. Eine weitere Abkühlung unterhalb der genannten Temperatur kann die Löslichkeit des Wachses im Lösungsmittel verschlechtern.

Das Lösungsmittel kann dem Pyrolyserückstand mittels einer Einbringungs Vorrichtung zugegeben werden. Die Einbringungs Vorrichtung kann eine Dosier Vorrichtung, etwa eine Dosierpumpe, aufweisen. Um den Pyrolyserückstand mit dem Lösungsmittel in Schritt (b) des Verfahrens zu vermischen, 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 Vermischen in Schritt (b) des Verfahrens erfolgt vorzugsweise bei zumindest 50 °C (d.h. bei 50 °C oder darüber), bevorzugter bei zumindest 80 °C (d.h. bei 80 °C oder darüber). Dann kann eine Fraktion des Wachses mit einem Schmelzpunkt oberhalb der Raumtemperatur (d.h. oberhalb von 20 bis 25 °C) im Lösungsmittel gelöst werden. Das Vermischen in Schritt (b) erfolgt bevorzugt bei einer Temperatur im Bereich von 50 bis 200 °C, bevorzugter von 100 bis 200 °C, noch bevorzugter von 80 bis 200 °C, besonders bevorzugt von 80 bis 120 °C. Dadurch kann das Wachs nicht nur zu einem großen Teil bzw. zur Gänze im Lösungsmittel gelöst werden, sondern es kann auch sichergestellt werden, dass das Lösungsmittel nicht aufgrund einer zu hohen Temperatur verdampft. 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 Vermischen in Schritt (b) des Verfahrens erfolgt vorzugsweise bei einem Druck im Bereich von 1 bis 25 bar, insbesondere von 5 bis 16 bar. Dadurch kann die Verfahrensführung weiter verbessert und ein schnelles Lösen des Wachses im Lösungsmittel erreicht werden.

Das Lösungsmittel weist vorzugsweise eine Siedetemperatur (bzw. einen Siedebereich) im Bereich von 20 bis 250 °C auf, bevorzugter von 50 bis 150 °C, noch bevorzugter von 35 bis 130 °C. Je niedriger die Siedetemperatur des Lösungsmittels ist, umso niedriger kann auch die Temperatur sein, bei der das Wachs in einen flüssigen Zustand gebracht werden kann. Weiters kann mit abnehmender Siedetemperatur des Lösungsmittels die Fähigkeit des Wachses zur Kristallisation bei der nachfolgenden Abkühlung der Mischung in Schritt (c) des Verfahrens steigen, wodurch die Ausbeute an gewonnenem Wachs erhöht werden kann. 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 bevorzugt einen aliphatischen Kohlenwasserstoff, bzw. eine Mischung aus zwei oder mehr

aliphatischen Kohlenwasserstoffen. Eine Verunreinigung, die sich im Lösungsmittel löst, kann dann gelöst bleiben, während das Wachs bereits kristallisiert. Somit kann das Wachs in einer hohen Reinheit abgetrennt werden und die Verunreinigung kann in der Mischung verbleiben. Die Verunreinigung kann eine organische Verunreinigung, die Stickstoff, Sauerstoff, Schwefel Silizium, Chlor, Brom und/oder Iod umfasst, enthalten, beispielsweise ein Heteropolymer (z.B. ein Polyamid, ein Polyethylenterephthalat, ein Polyvinylchlorid und/oder ein Acrylnitril-Butadien-Styrol-Copolymer) und/oder ein Additiv (z.B. ein Alterungsschutzmittel, einen Weichmacher, ein Farbpigment und/oder ein Flammschutzmittel).

Das Lösungsmittel umfasst vorzugsweise zumindest 10 Gew%, vorzugsweise zumindest 20 Gew%, bevorzugter zumindest 50 Gew%, des aliphatischen Kohlenwasserstoffs, bzw. einer Mischung aus zwei oder mehr aliphatischen Kohlenwasserstoffen, bezogen auf das Gesamtgewicht des Lösungsmittels. 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 Asphalt 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, n-Heptan, n-Octan, einem Isomer davon, oder einer Mischung der vorgenannten ausgewählt (d.h. aus einer Mischung umfassend n-Pentan, n-Hexan, n-Heptan, n-Octan, ein Isomer dieser Alkane, und/oder mehrere Isomere dieser Alkane). Da

die Siedetemperatur dieser aliphatischen Kohlenwasserstoffe im Bereich von 35 bis 130 °C liegt, kann das Verfahren effizient und wirtschaftlich durchgeführt werden. Das Vermischen in Schritt (b) des Verfahrens kann dann vorzugsweise bei 120 °C oder darunter erfolgen, bevorzugter bei 100 °C oder darunter, um ein Verdampfen des Lösungsmittels zu vermeiden. Weiters kann sich das Wachs aufgrund des niedrigen Molekulargewichts dieser Lösungsmittel nicht nur gut in diesen lösen, sondern kann auch eine gute Kristallisationsneigung beim nachfolgenden Abkühlen in Schritt (c) des Verfahrens aufweisen.

Das Lösungsmittel umfasst vorzugsweise zumindest 10 Gew% eines Alkohols, bevorzugter zumindest 20 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Lösungsmittels. Dadurch kann eine polare Verunreinigung im Lösungsmittel gelöst und dadurch vom Wachs, das beim Abkühlen der Mischung kristallisiert, abgetrennt werden. Dies kann die Reinheit des gewonnenen Wachses weiter erhöhen. Das Lösungsmittel umfasst vorzugsweise 10 bis 30 Gew% des Alkohols, bevorzugter 10 bis 20 Gew% des Alkohols, bezogen auf das Gesamtgewicht des Lösungsmittels. Besonders bevorzugt umfasst das Lösungsmittel zumindest 50 Gew% des aliphatischen Kohlenwasserstoffs und 10 bis 30 Gew% des Alkohols. Hierdurch können sowohl das unpolare Wachs als auch eine polare Verunreinigung gut im Lösungsmittel gelöst und während der nachfolgenden Abkühlung der Mischung gut voneinander getrennt werden. Insgesamt kann dann ein Wachs mit einer hohen Reinheit gewonnen werden.

Der Alkohol kann bevorzugt aus Methanol, Ethanol, Propanol oder einer Mischung davon ausgewählt sein. Propanol ist besonders bevorzugt, weil hierdurch Verklebungen zwischen Wachskristallen reduziert werden können. Das kann eine einfachere Abtrennung des Wachses vom Lösungsmittel in Schritt (d) des Verfahrens ermöglichen. Weiters kann nach dem Waschen im Wachs verbleibende Lösungsmittel nachfolgend während einer Trocknung des Wachses gut vom Wachs abgetrennt werden.

Das Verhältnis von Pyrolyserückstand zu Lösungsmittel in der in Schritt (b) des Verfahrens erhaltenen Mischung kann von der Schmelztemperatur des Wachses abhängen. Umso höher die Schmelztemperatur des Wachses ist, umso mehr Lösungsmittel kann erforderlich sein, um das Wachs zu lösen. Bevorzugt ist es, wenn das Verhältnis von Pyrolyserückstand zu Lösungsmittel im Bereich von

5:1 bis 1:5 liegt, vorzugsweise von 2:1 bis 3:1, insbesondere bei 1:1. Dann kann sich das Wachs zu einem großen Teil bzw. sogar zur Gänze im Lösungsmittel lösen.

Enthält der Pyrolyserückstand einen Feststoff, kann dieser vor Schritt (c) zumindest teilweise von der Mischung abgetrennt werden. Das Abtrennen des Feststoffs kann eine Filtration, eine Adsorption und/oder eine Zentrifugation umfassen. Vorzugsweise wird der Feststoff mittels Adsorption abgetrennt. Dabei kann ein Adsorbens zum Pyrolyserückstand zugegeben werden, welches eine Aktivkohle und/oder eine Bleicherde umfassen kann. Dadurch kann der Feststoff effizient und möglichst vollständig von der Mischung abgetrennt werden.

Der Feststoff kann ein anorganisches Salz, einen keramischen Rohstoff, ein Asphalt, ein Teer und/oder ein Koks umfassen. 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 Mischung getrocknet werden, etwa in einem Ofen. Dadurch kann der Feststoff rieselfähig 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. mittels 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 gereinigt werden, vorzugsweise durch eine Verdampfung, insbesondere durch eine Rotationsverdampfung.

In Schritt (c) des Verfahrens wird die Mischung abgekühlt, um zumindest einen Teil des im Lösungsmittel gelösten Waxes zu kristallisieren. Die Mischung wird vorzugsweise mit einer Geschwindigkeit von maximal 25 °C/min, mehr bevorzugt maximal 15 °C/min, mehr bevorzugt maximal 10 °C/min, mehr bevorzugt maximal 5 °C/min, mehr bevorzugt maximal 2 °C/min abgekühlt. Vorzugsweise erfolgt die Abkühlung mit einer Geschwindigkeit im Bereich von 0,05 bis 25 °C/min, mehr bevorzugt von 0,1 bis 15 °C/min, mehr bevorzugt von 0,2 bis 10 °C/min, mehr bevorzugt von 0,4 bis 5 °C/min, mehr bevorzugt von 0,5 bis 2 °C/min. Wachskristalle können sich bei einer langsamen Abkühlgeschwindigkeit in diesem Bereich gut ausbilden, was eine bessere mechanische Abtrennung ermöglichen kann. Es hat sich zudem gezeigt, dass ein langsames Abkühlen zu einem sauberen Produkt führen kann. Ein schnelleres Abkühlen kann demgegenüber zu einer vermehrten Bildung von Mikrokristallen führen, die sich schlechter mechanisch abtrennen lassen und die zudem mehr Verunreinigungen mitschleppen können.

Es ist daher bevorzugt, wenn das Abkühlen in Schritt (c) des Verfahrens über einen Zeitraum von mindestens 5 min, mehr bevorzugt mindestens 10 min, mehr bevorzugt mindestens 30 min, mehr bevorzugt mindestens 60 min erfolgt. Vorzugsweise erfolgt das Abkühlen über einen Zeitraum von 5 bis 240 min, mehr bevorzugt von 10 bis 180 min, mehr bevorzugt von 30 bis 150 min, mehr bevorzugt von 60 bis 120 min. Die sich dabei ausbildenden Wachskristalle können eine für diese Verfahrensparameter charakteristische, schuppenförmige Form aufweisen.

Die Mischung wird in Schritt (c) des Verfahrens vorzugsweise auf 10 °C oder darunter abgekühlt, bevorzugter auf 0 °C oder darunter, noch bevorzugter auf -10 °C oder darunter. Zwar kann das Wachs prinzipiell bereits bei einem Abkühlen mit einer langsamen Abkühlgeschwindigkeit, insbesondere maximal 5 °C/min, von z.B. 100 auf nur 50 °C kristallisieren, jedoch kann dabei eine relativ große Menge an Lösungsmittel in den Wachskristallen eingeschlossen werden, was die Reinheit des Waxes verringern kann, zumal im Lösungsmittel auch eine darin gelöste Verunreinigung enthalten sein kann, die dann ebenfalls in den Wachskristallen

eingeschlossen werden kann. Bei einer Abkühlung auf eine niedrigere Temperatur (z.B. auf 10 °C oder darunter) kann der Einschluss an Lösungsmittel verringert bzw. gänzlich unterbunden werden, sodass die Reinheit des gewonnenen Wachses maßgeblich erhöht werden kann.

In Schritt (d) des Verfahrens kann zumindest ein Teil des kristallisierten Wachses von der Mischung abgetrennt werden. Das Abtrennen kann eine Filtration und/oder eine Zentrifugation umfassen. Die Temperatur liegt beim Abtrennen vorzugsweise bei 80 °C oder darunter, bevorzugter bei 30 °C oder darunter. Bevorzugt liegt die Temperatur im Bereich von -10 bis 80 °C, insbesondere von 0 bis 30 °C. Dadurch kann ein erneutes Lösen des Wachses im Lösungsmittel verhindert werden. Weiters kann die Abtrennung vorzugsweise bei einem Druck von bis zu 10 bar erfolgen, bevorzugter bei 5 bis 10 bar. Dadurch kann die Verfahrenseffizienz verbessert werden.

Nach dem Abtrennen des Wachses von der Mischung in Schritt (d) des Verfahrens kann in der Mischung enthaltenes Lösungsmittel zumindest teilweise von der Mischung abgetrennt werden. Die Abtrennung kann durch Verdampfung oder Destillation erfolgen. Abgetrenntes Lösungsmittel kann in Schritt (b) des Verfahrens wiederverwendet werden. Vor einer Rückführung in das Verfahren kann das Lösungsmittel zusätzlich gereinigt werden, vorzugsweise durch eine Verdampfung, insbesondere durch eine Rotationsverdampfung.

Das in Schritt (d) des Verfahrens abgetrennte Wachs kann eine Siedetemperatur (bzw. ein unteres Ende eines Siedebereichs) von vorzugsweise zumindest 270 °C aufweisen, bevorzugter zumindest 300 °C, noch bevorzugter eine Siedetemperatur (bzw. einen Siedebereich) im Bereich von 340 bis 700 °C. 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 von 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 auf, bevorzugter zumindest 20,

insbesondere zumindest 40. Bevorzugt weist das Wachs 20 bis 80 Kohlenstoffatome pro Molekül auf, insbesondere 20 bis 65. Solche Wachse eignen sich gut zur Weiterverwendung.

Das abgetrennte Wachs kann einer Verarbeitungsanlage einer Raffinerie zugeführt werden, insbesondere einer Fluid Catalytic Cracking (FCC) Anlage, einer Thermal Gasoil Unit (TGU-Anlage), einer Hydrierungsanlage und/oder einem Koker. 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 gereinigt und/oder in verschiedene Kohlenstofffraktionen aufgetrennt werden.

Das abgetrennte Wachs weist vorzugsweise einen Anteil einer (bzw. mehrerer) Kohlenstofffraktion von zumindest 60 Gew% auf, bevorzugter zumindest 70 Gew%, noch bevorzugter zumindest 80 Gew%, insbesondere zumindest 85 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht des abgetrennten Wachses. Dieser Anteil gibt Aufschluss über die Reinheit des abgetrennten Wachses, wobei ein hoher Anteil der Kohlenstofffraktion einer hohen Reinheit des abgetrennten Wachses entspricht. Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens kann somit ein Wachs mit einer hohen Reinheit gewonnen werden, die durch ein nachfolgendes Waschen des Wachses noch weiter erhöht werden kann. Der Anteil der Kohlenstofffraktion kann mittels einer gravimetrischen Analyse ermittelt werden, wobei die gravimetrische Analyse eine Bestimmung der Massen des Pyrolyserückstands, des zugesetzten Lösungsmittels und des abgetrennten Wachses umfassen kann.

Das abgetrennte Wachs kann nach Schritt (d) des Verfahrens gewaschen werden. Insbesondere kann das Wachs ein bis drei Mal gewaschen werden. Hierdurch kann die Reinheit des abgetrennten Wachses weiter erhöht werden.

Beim Waschen liegt die Temperatur des Wachses vorzugsweise bei 80 °C oder darunter, bevorzugter bei 30 °C oder darunter, noch bevorzugter im Bereich von -10 bis 80 °C, insbesondere von 0 bis 30 °C. Dies kann ein erneutes Lösen des Wachses im Lösungsmittel verhindern. Beim Waschen des Wachses kann eine ähnliche oder gleiche Temperatur gewählt werden wie beim Abtrennen des Wachses in Schritt (d) des Verfahrens.

Vorzugsweise wird das Wachs mit einem Alkohol gewaschen. Dadurch kann eine noch vorhandene, polare Verunreinigung ausgewaschen werden, wodurch ein Wachs mit einer besonders hohen Reinheit erhalten werden kann. Der zum Waschen verwendete Alkohol wird vorzugsweise ausgewählt aus Methanol, Ethanol, Propanol oder einer Mischung davon. Hierdurch kann nicht nur eine noch vorhandene, polare Verunreinigung gut ausgewaschen werden, sondern nach dem Waschen im Wachs verbleibendes Lösungsmittel kann nachfolgend während einer Trocknung des Wachses gut vom Wachs abgetrennt werden.

Das Verfahren kann einen weiteren Schritt (e) umfassen: Trocknen des abgetrennten Wachses. Hierdurch kann zusammen mit den Wachskristallen abgetrenntes Lösungsmittel entfernt werden. Das Trocknen kann thermisch bei einer erhöhten Temperatur erfolgen, oder alternativ bei einer niedrigen Temperatur unter Vakuum. Die Art des Trocknens kann von der weiteren Verwendung des Wachses abhängen. Um die Struktur der Wachskristalle beizubehalten, ist ein Trocknen unter Vakuum bevorzugt. Wird das Wachs nachfolgend in flüssiger Form eingesetzt, kann es auch bei einer erhöhten Temperatur getrocknet und dabei ggf. geschmolzen werden. Das thermische Trocknen wird vorzugsweise bei einer Temperatur von 150 °C oder darunter und bei Umgebungsdruck (0,7 bis 1,1 bar) durchgeführt. Das Trocknen unter Vakuum erfolgt vorzugsweise bei einer Temperatur von 30 °C oder darunter, und bei einem Druck von 750 mbar oder darunter, insbesondere bei 500 mbar oder darunter. Während des Trocknens des Wachses abgetrenntes Lösungsmittel kann in Schritt (b) des Verfahrens wiederverwendet werden. Vor einer Rückführung in das Verfahren kann das Lösungsmittel zusätzlich gereinigt werden, vorzugsweise durch eine Verdampfung, insbesondere durch eine Rotationsverdampfung.

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 umfasst,

(b) Vermischen des Pyrolyserückstands mit einem

Lösungsmittel bei zumindest 30 °C, um eine Mischung zu erhalten, wobei das Wachs zumindest teilweise im Lösungsmittel gelöst wird,

(c) Abkühlen der Mischung, um zumindest einen Teil des gelösten Wachses zu kristallisieren,

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

2. Verfahren nach Ausführungsform 1, wobei der Pyrolyserückstand durch Pyrolysieren eines Kunststoffes, insbesondere eines Altkunststoffes, erhalten wird.

3. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei der Pyrolyserückstand durch Pyrolysieren eines Kunststoffes und Abtrennung zumindest einer Fraktion, vorzugsweise einer gasförmigen Fraktion, vom pyrolysierten Kunststoff erhalten wird.

4. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei der Pyrolyserückstand eine Siedetemperatur von mindestens 100 °C aufweist, bevorzugt mindestens 150 °C, mehr bevorzugt mindestens 200°C, mehr bevorzugt mindestens 240°C, mehr bevorzugt mindestens 270°C, mehr bevorzugt mindestens 300°C.

5. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei der Pyrolyserückstand eine Siedetemperatur im Bereich von 100 °C bis 700 °C aufweist, bevorzugt von 150 °C bis 600 °C, mehr bevorzugt von 200°C bis 500 °C, mehr bevorzugt von 240 °C bis 460 °C, mehr bevorzugt von 270 °C bis 430 °C, mehr bevorzugt von 300°C bis 400 °C.

6. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei der Kunststoff ein Polyolefin und/oder ein Polystyrol (PS) umfasst, wobei das Polyolefin ein Polyethylen (PE) und/oder ein Polypropylen (PP) umfassen kann.

7. Verfahren nach Ausführungsform 6, wobei der Kunststoff das Polyolefin und/oder das Polystyrol in einer Menge von zumindest 65 Gew% umfasst, bevorzugter zumindest 70 Gew%, insbesondere zumindest 90 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Kunststoffes.

8. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei der Kunststoff einen PE-Anteil von zumindest 10 Gew% aufweist, bevorzugt zumindest 20 Gew%, mehr bevorzugt zumindest 30 Gew%, mehr bevorzugt zumindest 40 Gew%, mehr bevorzugt zumindest

50 Gew%, mehr bevorzugt zumindest 60 Gew%, noch mehr bevorzugt zumindest 70 Gew%.

9. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei der Pyrolyserückstand vor der Zugabe des Lösungsmittels auf eine Temperatur von nicht mehr als 220 °C abgekühlt wird, bevorzugter nicht mehr als 200 °C, besonders bevorzugt nicht mehr als 180 °C.

10. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei der Pyrolyserückstand vor der Zugabe des Lösungsmittels auf eine Temperatur von nicht weniger als 30 °C abgekühlt wird, bevorzugter nicht weniger als 80 °C, noch bevorzugter nicht weniger als 100 °C, besonders bevorzugt nicht weniger als 120 °C.

11. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei das Vermischen in Schritt (b) bei zumindest 50 °C erfolgt, bevorzugter bei zumindest 80 °C, insbesondere im Bereich von 50 bis 200 °C, vorzugsweise von 100 bis 200 °C, bevorzugter von 80 bis 200 °C, insbesondere von 80 bis 120 °C.

12. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei das Vermischen in Schritt (b) bei einem Druck von 1 bis 25 bar erfolgt, vorzugsweise von 5 bis 16 bar.

13. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei das Lösungsmittel eine Siedetemperatur im Bereich von 20 bis 250 °C aufweist, vorzugsweise von 50 bis 150 °C, bevorzugter von 35 bis 130 °C.

14. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei das Lösungsmittel einen aliphatischen Kohlenwasserstoff umfasst.

15. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei das Lösungsmittel zumindest 10 Gew%, vorzugsweise zumindest 20 Gew%, bevorzugter zumindest 50 Gew%, des aliphatischen Kohlenwasserstoffs umfasst, bezogen auf das Gesamtgewicht des Lösungsmittels.

16. Verfahren nach Ausführungsform 14 oder 15, 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.

17. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 14 bis 16, wobei

der aliphatische Kohlenwasserstoff ausgewählt ist aus n-Pentan, n-Hexan, n-Heptan, n-Octan, einem Isomer davon, oder einer Mischung der vorgenannten.

18. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei das Lösungsmittel zumindest 10 Gew% eines Alkohols umfasst, vorzugsweise zumindest 20 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht des Lösungsmittels.

19. Verfahren nach Ausführungsform 18, wobei das Lösungsmittel 10 bis 30 Gew% des Alkohols umfasst, vorzugsweise 10 bis 20 Gew% des Alkohols, bezogen auf das Gesamtgewicht des Lösungsmittels.

20. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 14 bis 19, wobei das Lösungsmittel zumindest 50 Gew% des aliphatischen Kohlenwasserstoffs und 10 bis 30 Gew% des Alkohols umfasst, bezogen auf das Gesamtgewicht des Lösungsmittels.

21. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 18 bis 20, wobei der Alkohol ausgewählt ist aus Methanol, Ethanol, Propanol oder einer Mischung davon, insbesondere Propanol.

22. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei das Verhältnis des Pyrolyserückstands zum Lösungsmittel in der in Schritt (b) erhaltenen Mischung im Bereich von 5:1 bis 1:5 liegt, vorzugsweise von 2:1 bis 3:1, insbesondere bei 1:1.

23. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei ein im Pyrolyserückstand enthaltener Feststoff vor Schritt (c) zumindest teilweise von der Mischung abgetrennt wird.

24. Verfahren nach Ausführungsform 23, wobei der Feststoff ein anorganisches Salz, einen keramischen Rohstoff, ein Asphalten, ein Teer und/oder ein Koks umfasst.

25. Verfahren nach Ausführungsform 23 oder 24, wobei das Abtrennen des Feststoffs eine Filtration, eine Adsorption und/oder eine Zentrifugation umfasst.

26. Verfahren nach Ausführungsform 25, wobei das Abtrennen des Feststoffs eine Adsorption umfasst, wobei ein Adsorbens zum Pyrolyserückstand zugegeben wird, und wobei das Adsorbens vorzugsweise eine Aktivkohle und/oder eine Bleicherde umfasst.

27. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 23 bis 26, wobei der abgetrennte Feststoff getrocknet wird, vorzugsweise bei

einer Temperatur von 50 bis 250 °C, bevorzugter von 100 bis 200 °C, und/oder für eine Zeitdauer von bis zu 120 min, vorzugsweise von 5 bis 60 min.

28. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei die Mischung in Schritt (c) auf 10 °C oder darunter abgekühlt wird, vorzugsweise auf 0 °C oder darunter, bevorzugter auf -10 °C oder darunter.

29. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei die Mischung in Schritt (c) mit einer Geschwindigkeit von maximal 25 °C/min, vorzugsweise maximal 15 °C/min, mehr bevorzugt maximal 10 °C/min, mehr bevorzugt maximal 5 °C/min, mehr bevorzugt maximal 2 °C/min abgekühlt wird, vorzugsweise im Bereich von 0,05 bis 25 °C/min, mehr bevorzugt von 0,1 bis 15 °C/min, mehr bevorzugt von 0,2 bis 10 °C/min, mehr bevorzugt von 0,4 bis 5 °C/min, mehr bevorzugt von 0,5 bis 2 °C/min.

30. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei das Abkühlen in Schritt (c) über einen Zeitraum von mindestens 5 min, mehr bevorzugt mindestens 10 min, mehr bevorzugt mindestens 30 min, mehr bevorzugt mindestens 60 min erfolgt, vorzugsweise über einen Zeitraum von 5 bis 240 min, mehr bevorzugt von 10 bis 180 min, mehr bevorzugt von 30 bis 150 min, mehr bevorzugt von 60 bis 120 min.

31. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei das Abtrennen des kristallisierten Wachses in Schritt (d) eine Filtration und/oder eine Zentrifugation umfasst.

32. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei die Temperatur in Schritt (d) bei 80 °C oder darunter liegt, vorzugsweise bei 30 °C oder darunter, bevorzugter im Bereich von -10 bis 80 °C, insbesondere von 0 bis 30 °C.

33. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei das Lösungsmittel nach Schritt (d) zumindest teilweise von der Mischung abgetrennt wird, wobei abgetrenntes Lösungsmittel vorzugsweise in Schritt (b) wiederverwendet wird.

34. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei das abgetrennte Wachs eine Siedetemperatur von zumindest 270 °C aufweist, vorzugsweise zumindest 300 °C, bevorzugter eine Siedetemperatur im Bereich von 340 bis 700 °C.

35. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei das Wachs zumindest 15 Kohlenstoffatome pro Molekül aufweist, vorzugsweise zumindest 20, insbesondere zumindest 40.
36. Verfahren nach Ausführungsform 35, wobei das Wachs 20 bis 80 Kohlenstoffatome pro Molekül aufweist, vorzugsweise 20 bis 65.
37. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei das abgetrennte Wachs einen Anteil einer Kohlenstofffraktion von zumindest 60 Gew% aufweist, vorzugsweise zumindest 70 Gew%, bevorzugter zumindest 80 Gew%, insbesondere zumindest 85 Gew%, bezogen auf das Gesamtgewicht des abgetrennten Wachses.
38. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei das abgetrennte Wachs nach Schritt (d) gewaschen wird, vorzugsweise mit einem Alkohol, insbesondere ausgewählt aus Methanol, Ethanol, Propanol oder einer Mischung davon.
39. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, wobei die Temperatur beim Waschen des abgetrennten Wachses bei 80 °C oder darunter liegt, vorzugsweise bei 30 °C oder darunter, bevorzugter im Bereich von -10 bis 80 °C, insbesondere von 0 bis 30 °C.
40. Verfahren nach einer der vorgehenden Ausführungsformen, weiters umfassend Schritt (e): Trocknen des abgetrennten Wachses.
41. Verfahren nach Ausführungsform 40, wobei das Wachs in Schritt (e) bei einer Temperatur von 150 °C oder darunter und einem Druck von 0,7 bis 1,1 bar getrocknet wird.
42. Verfahren nach Ausführungsform 40 oder 41, wobei das Wachs in Schritt (e) bei einer Temperatur von 30 °C oder darunter und einem Druck von 750 mbar oder darunter, vorzugsweise von 500 bar oder darunter, getrocknet wird.
43. Verfahren nach einer der Ausführungsformen 40 bis 42, wobei beim Trocknen des Wachses in Schritt (e) abgetrenntes Lösungsmittel in Schritt (b) wiederverwendet wird.

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 und einen Pyrolyserückstand erhalten, wobei der Pyrolyserückstand eine flüssige Fraktion, ein Wachs und einen Feststoff umfasst. 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 ersten 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 Mischung zu erhalten, wobei das Wachs zumindest teilweise im Lösungsmittel 13 gelöst ist. Der aliphatische Kohlenwasserstoff ist dabei aus der Gruppe aliphatischer Kohlenwasserstoffe von 4 bis 12 Kohlenstoffatomen pro

Molekül ausgewählt. Die erhaltene Mischung weist ein Verhältnis von Pyrolyserückstand zu Lösungsmittel im Bereich von 2:1 bis 3:1 auf. Der Behälter 12 ist beheizt, damit das Lösen bei einer Temperatur im Bereich von 80 bis 200 °C erfolgen kann. In einer Trennvorrichtung 15 wird der Feststoff zumindest teilweise mittels Adsorption an einer Aktivkohle von der Mischung abgetrennt. Der abgetrennte Feststoff 16 wird dann in einem Ofen 17 bei einer Temperatur im Bereich von 100 bis 200 °C getrocknet. Nach der Trocknung des abgetrennten Feststoffs 16 können einzelne Komponenten vom Feststoff abgetrennt und weiterverwendet werden (nicht gezeigt). Während der Trocknung abgetrenntes Lösungsmittel 13 wird in Schritt (b) des Verfahrens wiederverwendet, indem es über die Einbringungsvorrichtung 14 in den Behälter 12 zurückgeführt wird. Vor der Rückführung kann das Lösungsmittel 13 gereinigt werden, z.B. durch eine Verdampfung (nicht dargestellt). Die Mischung wird gemäß Fig. 1 anschließend in einer zweiten Kühleinheit 18 mit einer Geschwindigkeit von maximal 5 °C/min auf -10 °C oder darunter abgekühlt, um zumindest einen Teil des im Lösungsmittel gelösten Wachses zu kristallisieren. Anschließend wird zumindest ein Teil des kristallisierten Wachses mittels eines Filters 19 von der Mischung abgetrennt. In der Mischung enthaltenes Lösungsmittel 13 wird in einem Verdampfer 20 abgetrennt und ebenfalls über die Einbringungsvorrichtung 14 in den Behälter 12 zurückgeführt.

Wie weiters aus Fig. 1 ersichtlich, wird das abgetrennte Wachs 21 in einem Wäscher 22 gewaschen, wobei zum Waschen ein Alkohol verwendet wird. Das gewaschene, abgetrennte Wachs 21 wird dann einem Trockner 23 zugeführt, um die Wachskristalle zu trocknen. Das gewonnene Wachs 24 kann anschließend einer weiteren Verwendung zugeführt werden (nicht gezeigt). Während des Trocknens des abgetrennten Wachses 21 abgetrenntes Lösungsmittel 13 wird ebenfalls über die Einbringungsvorrichtung 14 in den Behälter 12 zurückgeführt. Vor der Rückführung kann das Lösungsmittel 13 gereinigt werden, z.B. durch eine Verdampfung (nicht dargestellt).

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Gewinnung eines Wachses aus einem Pyrolyserückstand, umfassend die Schritte
 - (a) Bereitstellen des Pyrolyserückstands, wobei der Pyrolyserückstand das Wachs umfasst,
 - (b) Vermischen des Pyrolyserückstands mit einem Lösungsmittel bei zumindest 30 °C, um eine Mischung zu erhalten, wobei das Wachs zumindest teilweise im Lösungsmittel gelöst wird,
 - (c) Abkühlen der Mischung, um zumindest einen Teil des gelösten Wachses zu kristallisieren,
 - (d) Abtrennen zumindest eines Teils des kristallisierten Wachses von der Mischung.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei das Vermischen in Schritt (b) bei zumindest 80 °C erfolgt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Lösungsmittel eine Siedetemperatur im Bereich von 35 bis 130 °C aufweist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei das Lösungsmittel zumindest 50 Gew% eines aliphatischen Kohlenwasserstoffs umfasst.
5. Verfahren nach Anspruch 4, wobei der aliphatische Kohlenwasserstoff ausgewählt ist aus n-Pentan, n-Hexan, n-Heptan, n-Octan, einem Isomer davon, oder einer Mischung der vorgenannten.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei das Lösungsmittel zumindest 10 Gew% eines Alkohols umfasst.
7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Alkohol Propanol ist.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei ein im Pyrolyserückstand enthaltener Feststoff vor Schritt (c) zumindest teilweise von der Mischung abgetrennt wird, vorzugsweise wobei das Abtrennen des Feststoffs eine Adsorption umfasst, wobei ein Adsorbens zum Pyrolyserückstand zugegeben wird, und wobei das Adsorbens vorzugsweise eine Aktivkohle und/oder eine Bleicherde umfasst.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Mischung in Schritt (c) mit einer Geschwindigkeit von maximal 5 °C/min abgekühlt wird.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Mischung in Schritt (c) auf -10 °C oder darunter abgekühlt wird.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei das Abtrennen des kristallisierten Wachses in Schritt (d) eine Filtration und/oder eine Zentrifugation umfasst.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Temperatur in Schritt (d) bei 80 °C oder darunter liegt.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei das abgetrennte Wachs eine Siedetemperatur von zumindest 270 °C aufweist.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 13, weiters umfassend Schritt (e): Trocknen des abgetrennten Wachses.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei beim Trocknen des Wachses in Schritt (e) abgetrenntes Lösungsmittel in Schritt (b) wiederverwendet wird.