



Republik
Österreich
Patentamt

(11) Nummer: **AT 392 973 B**

(12)

PATENTSCHRIFT

(21) Anmeldenummer: 1665/89

(51) Int.Cl.⁵ : **C08G 18/34**
C08G 73/10

(22) Anmeldetag: 10. 7.1989

(42) Beginn der Patentdauer: 15.12.1990

(45) Ausgabetag: 25. 7.1991

(56) Entgegenhaltungen:

EP-A2-194058

(73) Patentinhaber:

LENZING AKTIENGESELLSCHAFT
A-4860 LENZING, OBERÖSTERREICH (AT).

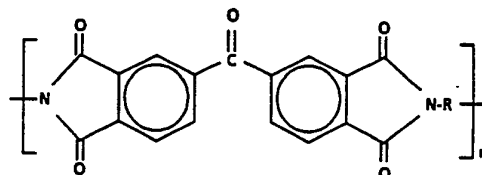
(72) Erfinder:

SEIDL SIGRID DR.
SEEWALCHEN, OBERÖSTERREICH (AT).
SIMHARL REINHOLD
LENZING, OBERÖSTERREICH (AT).
WEINROTTER KLAUS DR.
VÖCKLABRUCK, OBERÖSTERREICH (AT).

(54) VERFAHREN ZUR HERSTELLUNG VON POLYIMIDEN UND IMIDEN

(57) Zur Herstellung von Polyimiden durch Erhitzen einer Lösung von intramolekularen Tetracarbonsäuredianhydriden und organischen Diisocyanaten in einem aprotischen organischen Lösungsmittel in Gegenwart eines Polymerisationsbeschleunigers wird als Polymerisationsbeschleuniger eine katalytische Menge eines Alkalimetallhydroxides eingesetzt.

Das Verfahren erlaubt eine einfache Herstellung von Polyimiden mit hohem Molekulargewicht. Die erhaltenen Polyimide zeichnen sich durch ihre hohe Temperaturbeständigkeit aus.



AT 392 973 B

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Polyimiden durch Erhitzen einer Lösung von intramolekularen Tetracarbonsäuredianhydriden und organischen Diisocyanaten in einem aprotischen organischen Lösungsmittel in Gegenwart eines Polymerisationsbeschleunigers.

Es ist bekannt, daß Carbonsäuredianhydride und Diisocyanate zu Polyimiden kondensieren, wenn sie in polaren organischen Lösungsmitteln zwischen 6 und 24 Stunden auf Temperaturen von mindestens 100 °C erhitzt werden. Unter diesen Reaktionsbedingungen leidet aber die Selektivität der Polykondensation, weil die Isocyanate auch mit Lösungsmittelmolekülen reagieren. Diese unerwünschten Nebenreaktionen verhindern weiters das Erreichen hoher Molekulargewichte und erschweren die Abtrennung von Nebenprodukten, wodurch das gebildete Polymer verunreinigt wird.

Es hat deshalb nicht an Versuchen gefehlt, die Reaktionsgeschwindigkeit mit Polymerisationsbeschleunigern zu erhöhen.

In der US-A - 4,021,412 wird beispielsweise beschrieben, daß Alkalimetallactamate die Bildung mancher Mischpolyimide katalysieren. Als Diisocyanatkomponenten werden 4,4'-Methylen-bis-(phenylisocyanat) (MDI) und Toluylendiisocyanat (TDI) genannt.

Der US-A - 4,156,065 ist zu entnehmen, daß gewisse vier- oder fünfgliedrige, zyklische Phosphorverbindungen ebenfalls eine katalytische Wirkung auf die Bildung der MDI/TDI-Mischpolyimide ausüben. Allerdings werden Polymerisate erhalten, die neben den Imideinheiten auch eine beträchtliche Anzahl Carbodiimideinheiten enthalten. Das wirkt sich nachteilig auf die Thermostabilität der Polyimide aus.

Nach der US-A - 3,701,756 kann Benzophenontetracarbonsäuredianhydrid (BTDA) und MDI zu einem Homopolyimid kondensiert werden, wobei als Katalysator u. a. das äußerst giftige Phenylquecksilberhydroxid und tert. Alkohole genannt werden. Die Katalysatoren bleiben teilweise im Polymer eingeschlossen.

Aus der US-A - 4,001,186 ist bekannt, daß Alkalimetallalkoholate die Reaktion von BTDA und MDI und Toluylendiisocyanaten katalysieren. Für die Umsetzung genügt eine Reaktionstemperatur von 80 °C. Als Reaktionsmedium wird trockenes Dimethylformamid (DMF) verwendet. Allerdings werden auch hier Polymere mit einer unbefriedigenden Thermostabilität erhalten, da das Alkoholation mit den Diisocyanaten zu Polyurethanen reagiert, die in die Polyimidkette eingebaut werden. Außerdem müssen die Diisocyanate in einem mindestens 1 Mol-%igen Überschuß eingesetzt werden, um hohe Ausbeuten zu erreichen. Dieser Überschuß verkleinert aber andererseits den Polymerisationsgrad und damit das Molekulargewicht des Polymeren.

Bei allen heute bekannten Verfahren zur großtechnischen Herstellung von Polyimiden muß dieser Mindestüberschuß an Diisocyanat in der Reaktionsmischung vorhanden sein.

Die Erfindung bezweckt die Vermeidung aller dieser Nachteile und setzt sich insbesondere zum Ziel, ein Verfahren der eingangs beschriebenen Art zur Verfügung zu stellen, das mit einem billigen und einfach zugänglichen Polymerisationsbeschleuniger durchgeführt werden kann, der nicht in die Polymerkette eingebaut wird. Außerdem soll das erfindungsgemäße Verfahren die Herstellung von Polyimiden mit einem höheren Molekulargewicht und damit einer verbesserten Thermostabilität erlauben.

Dieses Ziel wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß als Polymerisationsbeschleuniger eine katalytische Menge eines Alkalimetallhydroxides eingesetzt wird.

Als intramolekulare Tetracarbonsäuredianhydride eignen sich insbesondere Pyromellithsäuredianhydrid, Benzol-1,2,3,4-tetracarbonsäuredianhydrid, Diphenyltetracarbonsäuredianhydrid, Naphthalintetracarbonsäuredianhydrid, Benzophenon-3,3',4,4'-tetracarbonsäuredianhydrid, 4,4'-Oxydiphthalsäuredianhydrid, Decahydronaphthalin-1,4,5,8-tetracarbonsäuredianhydrid, 4,8-Dimethyl-1,2,3,5,6,7-hexahydronaphthalin-1,2,5,6-tetracarbonsäuredianhydrid, 2,6-Dichlor-naphthalin-1,4,5,8-tetracarbonsäuredianhydrid, 2,7-Dichlornaphthalin-1,4,5,8-tetracarbonsäuredianhydrid, 2,3,6,7-Tetrachlornaphthalin-1,4,5,8-tetracarbonsäuredianhydrid, Phenanthren-1,3,9,10-tetracarbonsäuredianhydrid, Perylen-3,4,9,10-tetracarbonsäuredianhydrid, Bis(2,3-dicarboxyphenyl)methandianhydrid, Bis(3,4-dicarboxyphenyl)methandianhydrid, 1,1-Bis(2,3-dicarboxyphenyl)äthandianhydrid, 1,1-Bis(3,4-dicarboxyphenyl)äthandianhydrid, 2,2-Bis(2,3-dicarboxyphenyl)propandianhydrid, 2,3-Bis(3,4-dicarboxyphenyl)propandianhydrid, Bis(3,4-dicarboxyphenyl)sulfondianhydrid, Bis(3,4-dicarboxyphenyl)ätherdianhydrid, Äthylentetracarbonsäuredianhydrid, Butan-1,2,3,4-tetracarbonsäuredianhydrid, Cyclopentan-1,2,3,4-tetracarbonsäuredianhydrid, Pyrrolidin-2,3,4,5-tetracarbonsäuredianhydrid, Pyrazin-2,3,5,6-tetracarbonsäuredianhydrid und Thio-phen-2,3,4,5-tetracarbonsäuredianhydrid.

Als organische Diisocyanate eignen sich insbesondere 2,4-Toluylendiisocyanat, 2,6-Toluylendiisocyanat, 4,4'-Methylenbis(phenylisocyanat), Dianisidindiisocyanat, Tolidindiisocyanat, Hexamethylenendiisocyanat, 4,4'-Methylenbis(cyclohexylisocyanat), m-Xyloldiisocyanat, 1,5-Naphthalindiisocyanat, 1,4-Diäthylbenzol- β,β' -diisocyanat.

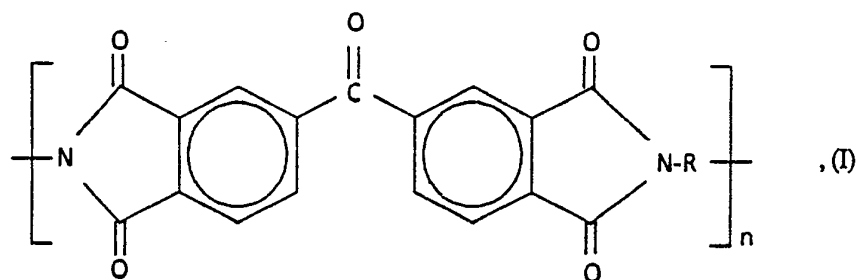
Nach dem erfindungsgemäßen Verfahren können auch Mischungen mehrerer Dianhydride mit Mischungen mehrerer Diisocyanate zu Polyimiden umgesetzt werden.

Als aprotische Lösungsmittel kommen in erster Linie dipolare Lösungsmittel, wie DMF, Dimethylacetamid, Dimethylsulfoxid, N-Methyl-2-pyrrolidon und Tetrahydrofuran in Frage. Das erfindungsgemäße Verfahren kann aber auch in Benzol, Toluol oder Xylol ausgeführt werden.

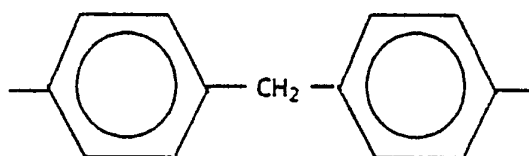
An der inhärenten Viskosität der fertigen Polykondensationslösung zeigt sich, daß die erfindungsgemäße Verwendung eines Alkalimetallhydroxides als Polymerisationsbeschleuniger zu Polyimiden mit einem höheren Molekulargewicht führt, als es bei Verwendung von Alkalimetallalkoholaten erreicht wird.

Das Alkalimetallhydroxid kann entweder in fester Form oder zweckmäßigerweise in Form einer wässrigen Lösung der Reaktionsmischung zugegeben werden.

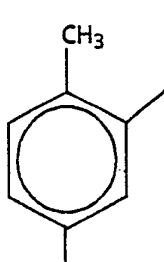
Nach einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird zur Herstellung von Polyimiden mit Struktureinheiten der allgemeinen Formel



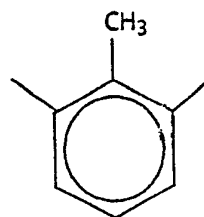
worin R die Gruppe



und/oder die Gruppe(n)



und/oder



bedeutet und n für eine ganze Zahl größer 1 steht, eine Lösung von Benzophenontetracarbonsäuredianhydrid und 4,4'-Methylenbis(phenylisocyanat) und/oder 2,4- und/oder 2,6-Toluylendiisocyanat, in einem dipolaren, aprotischen Lösungsmittel erhitzt, wobei als Alkalimetallhydroxid Natriumhydroxid eingesetzt wird.

Als Lösungsmittel eignen sich DMF und N-Methyl-2-pyrrolidon besonders gut.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann besonders schonend bei einer Temperatur von maximal 100 °C, bevorzugt zwischen 60 °C und 80 °C durchgeführt werden, wobei pro Mol Diisocyanat zwischen 0,0001 und 0,2 Mol Alkalihydroxid, bevorzugt zwischen 0,01 Mol und 0,05 Mol Alkalihydroxid, und pro Mol Tetracarbonsäuredianhydrid zwischen 0,97 Mol und 1,01 Mol Diisocyanat eingesetzt werden.

Das Fortschreiten des erfindungsgemäßen Verfahrens läßt sich mit üblichen Analysenverfahren, beispielsweise durch IR-Spektralanalyse (Abwesenheit einer Absorption entsprechend der freien NCO-Gruppe) verfolgen. Da während der Reaktion CO₂ abgespalten wird, zeigt das Aufhören der CO₂-Entwicklung das Ende der Polykondensation an. Das Reaktionsprodukt kann durch Verdampfen des Lösungsmittels oder Ausfällen isoliert werden, oder es kann die Lösung direkt weiterverarbeitet werden. Die erhaltenen Polyimide können zur Herstellung von hochtemperaturbeständigen Fasern, Formkörpern und Beschichtungen verwendet werden.

Es hat sich gezeigt, daß sich mit Alkalimetallhydroxiden nicht nur die Bildung von Polyimiden, sondern auch von Mono- und Diimiden aus den entsprechenden Ausgangsverbindungen katalysieren läßt. Derartige Imide sind bekannt. Nach der US-A - 3,701,756 kann beispielsweise N-Phenylphthalimid durch Umsetzung von Phthalsäureanhydrid und Phenylisocyanat in Gegenwart von Phenylquecksilberhydroxid hergestellt werden. Die Reaktion wird bei erhöhter Temperatur in Benzol ausgeführt.

Die Erfindung betrifft deshalb auch ein Verfahren zur Herstellung von Mono- oder Diimiden durch Umsetzung von intramolekularen Dicarbonsäureanhydriden mit organischen Mono- oder Diisocyanaten oder durch Umsetzung von intramolekularen Tetracarbonsäuredianhydriden mit organischen Monoisocyanaten, das dadurch

gekennzeichnet ist, daß die Umsetzung in einem dipolaren, aprotischen Lösungsmittel in Gegenwart katalytischer Mengen eines Alkalimetallhydroxides durchgeführt wird, wobei das Alkalimetallhydroxid zweckmäßigerweise als wässrige Lösung vorliegt.

Als intramolekulare Dicarbonsäureanhydride eignen sich insbesondere Phthalsäureanhydrid, Bernsteinsäureanhydrid, Adipinsäureanhydrid, Glutarsäureanhydrid, Citraconsäureanhydrid, Maleinsäureanhydrid, Itaconsäureanhydrid, Naphthalin-1,2-dicarbonsäureanhydrid, Naphthalin-1,8-dicarbonsäureanhydrid, Chlorendicsäureanhydrid und 1,2,3,6-Tetrahydrophthalsäureanhydrid.

Als Diisocyanate und Tetracarbonsäureanhydride kommen die weiter oben genannten in Betracht und als Monoisocyanate insbesondere Phenylisocyanat, p-Toluylisocyanat, o-Toluylisocyanat, m-Xylylisocyanat, α -Naphthylisocyanat, Octadecylisocyanat, Benzylisocyanat, Allylisocyanat, Cyclohexylisocyanat und p-Nitrophenylisocyanat.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung von Mono- bzw. Diimiden ist durch die weiteren Merkmale gekennzeichnet, daß

- es bei einer Temperatur von maximal 100 °C, bevorzugt zwischen 60 °C und 80 °C durchgeführt wird, pro Mol Mono- bzw. Diisocyanat zwischen 0,0001 und 0,2 Mol Alkalihydroxid, bevorzugt zwischen 0,01 Mol und 0,005 Mol Alkalimetallhydroxid, eingesetzt werden,

- pro Mol Dicarbonsäureanhydrid bzw. Tetracarbonsäuredianhydrid zwischen 0,97 Mol und 1,01 Mol Mono- bzw. Diisocyanat eingesetzt werden.

Monoimide werden als Fungizide, Insektivizide und Herbizide verwendet.

Die Erfindung wird mit den folgenden Beispielen noch näher erläutert.

Beispiel 1:

Eine Mischung aus 5,92 g (0,04 mol) Phthalsäureanhydrid, 4,76 g (0,04 mol) Phenylisocyanat und 0,02 mg (0,005 mol) NaOH, gelöst in einem Tropfen Wasser, wurden in 40 ml trockenem Dimethylformamid 3,5 Stunden bei 100 °C gerührt. Nach beendetem Erhitzen wurde das Reaktionsgemisch auf Raumtemperatur abgekühlt, worauf der hierbei ausgefallene Feststoff abfiltriert, mit Hexan gewaschen und getrocknet wurde. Ausbeute: 7,54 g N-Phenylphthalimid (= 85,1 %) in Form weißer Kristalle.

Zum Vergleich wurde die Umsetzung ohne Katalysator durchgeführt, wobei in nur 56,1 %iger Ausbeute 4,99 g N-Phenylphthalimid erhalten wurden.

Mit Dimethylphospholenoxid als Katalysator wurden in Xylol in 59,1 %iger Ausbeute N-Phenylphthalimid erhalten.

Beispiel 2:

Eine Mischung aus 8,72 g (0,04 mol) Pyromellithsäuredianhydrid, 6,97 g (0,04 mol) 2,4-Toluyldiisocyanat und 0,02 mg (0,0005 mol) NaOH, gelöst in einem Tropfen Wasser, wurden in 40 ml trockenem Dimethylformamid 3,5 Stunden bei 100 °C gerührt. Nach beendetem Erhitzen wurde der ausgefallene gelbe Niederschlag filtriert, gewaschen und getrocknet. Ausbeute an Polytoluylenpyromellithsäureimid: 99,2 %. Im Vergleich dazu betrug die Ausbeute der ohne Katalysator durchgeführten Umsetzung nur 90,1 %.

Beispiel 3:

In einem 1000 ml Kolben mit Rührer, Rückflußkühler, Thermometer und Stickstoffkühlung wurden 161 g (0,5 mol) Benzophenon-3,3',4,4'-tetracarbonsäuredianhydrid und 0,15 g (0,0037 mol) Natronlauge, gelöst in 0,4 ml Wasser, in 496 g trockenem DMF gelöst. Die Reaktionsmischung wurde auf 80 °C erwärmt und unter konstantem Rühren unter Stickstoffatmosphäre wurden innerhalb von sechs Stunden 94,7 g (0,5 mol) Isocyanatgemisch, bestehend aus 69,7 g (0,4 mol) 2,4-Toluyldiisocyanat und 25 g (0,1 mol) 4,4'-Methylenbis(phenylisocyanat) zugegeben. Die Polykondensationslösung wurde danach bis zur Beendigung der CO₂-Entwicklung eine Stunde bei 80 °C weitergerührt. Im IR-Spektrum waren dann keine freien Anhydridgruppen mehr sichtbar, wodurch sich eine Zugabe von weiterem Diisocyanat erübrigte.

Die fertige Polykondensationslösung hatte eine inhärente Viskosität ($\eta = 0,5$ g/dl bei 25 °C in DMF/1 % LiBr) von 66 ml/g. Durch Zugabe von Aceton wurde das Polyimid ausgefällt, der Niederschlag abfiltriert, gewaschen und getrocknet. Die Glasübergangstemperatur des gewonnenen Pulvers lag bei 315 °C.

Vergleich zu Beispiel 3:

Nach dem in Beispiel 3 geschilderten Verfahren und unter Verwendung identischer Einsatzmengen mit der Ausnahme, daß anstatt Natronlauge 0,2 g (0,0037 mol) Natriummethylat in fester Form zugegeben wurden, wurde dieselbe Umsetzung durchgeführt. Nach sieben Stunden Reaktionszeit konnten noch freie Anhydridgruppen im IR-Spektrum nachgewiesen werden. Es wurden daher innerhalb von zwei Stunden noch weitere 0,95 g Isocyanatgemisch, bestehend aus 0,25 g (0,001 mol) MDI und 0,70 g (0,004 mol) TDI, zugegeben. Dies entspricht einem Isocyanatüberschuß von 1 Mol %. Die fertige Polykondensationslösung hatte eine inhärente Viskosität ($\eta = 0,5$ g/dl bei 25 °C in DMF/1 % LiBr) von nur 64 ml/g. Das analog zum Beispiel 3 ausgefallte Pulver hatte eine Glasübergangstemperatur von 315 °C.

Beispiel 4:

In einem Reaktor aus Edelstahl mit Rührer, Rückflußkühler, Thermofühler und Stickstoffspülung wurden 5928 g (18,4 mol) Benzophenon-3,3',4,4'-tetracarbonsäuredianhydrid und 7,4 g (0,184 mol) Natronlauge, gelöst in 15 ml Wasser, in 23350 g trockenem DMF gelöst. Die Reaktionsmischung wurde auf 80 °C erwärmt und unter konstantem Rühren wurden unter Stickstoffatmosphäre 3485 g (18,4 mol) Isocyanatgemisch, bestehend aus 2564 g (14,72 mol) 2,4-Toluyldiisocyanat und 921 g (3,68 mol) 4,4'-Methylenbis (phenylisocyanat) innerhalb von sechs Stunden zugetropft. Die Zunahme der Viskosität wurde über ein In-line-Viskosimeter verfolgt. Bereits bei 98 %iger Zugabe der gesamten Isocyanatmenge begann die Viskosität der Polykondensationslösung zu steigen. Nach Zugabe der gesamten Isocyanatmenge wurde bis zur Beendigung der CO₂-Entwicklung eine Stunde bei 80 °C weitergerührt. Im IR-Spektrum waren keine freien Anhydrid- und Isocyanatgruppen mehr zu sehen.

Die fertige Polykondensationslösung hatte eine inhärente Viskosität ($c = 0,5$ g/dl bei 25 °C in DMF/1 % LiBr) von 57 bis 66 ml/g. Die gesamte Reaktionszeit betrug sieben Stunden.

Vergleich zu Beispiel 4:

Nach dem in Beispiel 4 geschilderten Verfahren und unter Verwendung identischer Einsatzmengen mit der Ausnahme, daß anstatt Natronlauge 9,9 g (0,184 mol) Natriummethylat in fester Form zugegeben wurden, wurde dieselbe Reaktion durchgeführt. Nach Zugabe der gesamten Isocyanatmenge war noch kein Viskositätsanstieg am In-line-Viskosimeter zu beobachten. Nach sieben Stunden Reaktionszeit konnten noch freie Anhydridgruppen im IR-Spektrum nachgewiesen werden. Es wurden daher innerhalb von zwei Stunden weitere 52,3 g (0,276 mol) Isocyanatgemisch zugetropft. Dies entspricht einem Isocyanatüberschuß von 1,5 Mol %. Erst danach begann die Viskosität der Polykondensationslösung zu steigen. Bis zur Beendigung der CO₂-Entwicklung bzw. der Beendigung des Viskositätsanstieges wurde noch eine Stunde bei 80 °C gerührt. Im IR-Spektrum wurden dann keine freien Anhydrid- bzw. Isocyanatgruppen mehr nachgewiesen.

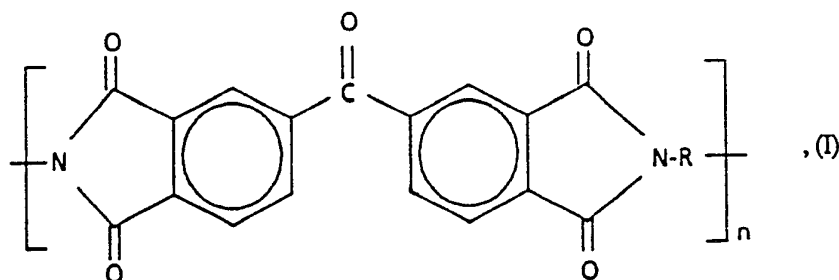
Die fertige Polykondensationslösung hatte eine inhärente Viskosität ($c = 0,5$ g/dl bei 25 °C in DMF/1 % LiBr) von nur 46 bis 55 ml/g. Die gesamte Reaktionszeit betrug neun Stunden.

PATENTANSPRÜCHE

1. Verfahren zur Herstellung von Polyimiden durch Erhitzen einer Lösung von intramolekularen Tetracarbonsäuredianhydriden und organischen Diisocyanaten in einem aprotischen organischen Lösungsmittel in Gegenwart eines Polymerisationsbeschleunigers, dadurch gekennzeichnet, daß als Polymerisationsbeschleuniger eine katalytische Menge eines Alkalimetallhydroxides eingesetzt wird.

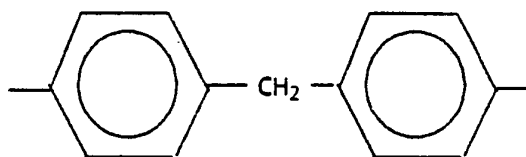
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Alkalimetallhydroxid in Form einer wässrigen Lösung eingesetzt wird.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2 zur Herstellung von Polyimiden mit Struktureinheiten der allgemeinen Formel



worin R die Gruppe

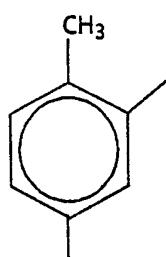
5



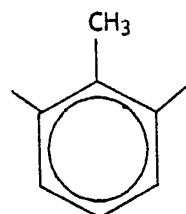
10

und/oder die Gruppe(n)

15



und/oder



20

25

bedeutet und n für eine ganze Zahl größer 1 steht, durch Erhitzen einer Lösung von Benzophenontetracarbonsäuredianhydrid und 4,4'-Methylenbis (phenylisocyanat) und/oder 2,4- und/oder 2,6-Toluylendiisocyanat, in einem dipolaren, aprotischen Lösungsmittel, **dadurch gekennzeichnet**, daß als Alkalimetallhydroxid Natriumhydroxid eingesetzt wird.

30

4. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 3, **gekennzeichnet durch** die weiteren Merkmale, daß

- es bei einer Temperatur von maximal 100 °C, bevorzugt zwischen 60 °C und 80 °C durchgeführt wird;
- pro Mol Diisocyanat zwischen 0,0001 und 0,2 Mol Alkalihydroxid, bevorzugt zwischen 0,01 Mol und 0,05 Mol Alkalimetallhydroxid, eingesetzt werden;
- pro Mol Tetracarbonsäuredianhydrid zwischen 0,97 Mol und 1,01 Mol Diisocyanat eingesetzt werden.

35

40

5. Verfahren zur Herstellung von Mono- oder Diimiden durch Umsetzung von intramolekularen Dicarbonsäureanhydriden mit organischen Mono- oder Diisocyanaten oder durch Umsetzung von intramolekularen Tetracarbonsäuredianhydriden mit organischen Monoisocyanaten, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Umsetzung in einem dipolaren, aprotischen Lösungsmittel in Gegenwart katalytischer Mengen eines Alkalimetallhydroxides durchgeführt wird.

45

6. Verfahren nach Anspruch 5, **gekennzeichnet durch** die weiteren Merkmale, daß

- es bei einer Temperatur von maximal 100 °C, bevorzugt zwischen 60 °C und 80 °C durchgeführt wird,
- pro Mol Mono- bzw. Diisocyanat zwischen 0,0001 und 0,2 Mol Alkalihydroxid, bevorzugt zwischen 0,01 Mol und 0,005 Mol Alkalimetallhydroxid, eingesetzt werden,
- pro Mol Dicarbonsäureanhydrid bzw. Tetracarbonsäuredianhydrid zwischen 0,97 Mol und 1,01 Mol Mono- bzw. Diisocyanat eingesetzt werden.