



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2022 120 396.4**

(22) Anmeldetag: **12.08.2022**

(43) Offenlegungstag: **15.02.2024**

(51) Int Cl.: **C09J 163/00** (2006.01)

**C08L 63/00** (2006.01)

**C09J 11/08** (2006.01)

**C09J 177/00** (2006.01)

**C08L 77/00** (2006.01)

**C08J 3/28** (2006.01)

**C09J 5/00** (2006.01)

**B29C 65/76** (2006.01)

(71) Anmelder:

**DELO Industrie Klebstoffe GmbH & Co. KGaA,  
86949 Windach, DE**

(74) Vertreter:

**Prinz & Partner mbB Patent- und Rechtsanwälte,  
80335 München, DE**

(72) Erfinder:

**Raucheisen, Kilian, 86949 Windach, DE; Birkner,  
Markus, 86949 Windach, DE; Schimpf, Vitalij,  
86949 Windach, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

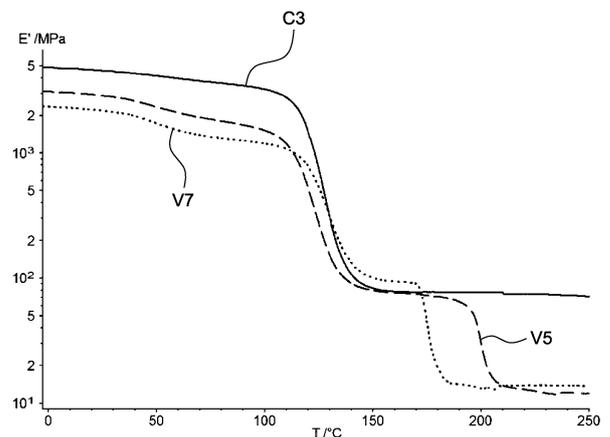
**US 10 106 661 B2**  
**US 2011 / 0 262 630 A1**

Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Verwendung einer härtbaren und wiederlösbaren Masse zur Herstellung eines Bauteils, und Masse dafür**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft eine härtbare Masse, die zur Herstellung eines Bauteils mit einer thermo-mechanisch wiederablösbaren Fügeverbindung, einer Beschichtung oder eines Vergusses verwendet wird, wobei die Masse die folgenden Komponenten umfasst: (a) mindestens eine Epoxidverbindung, die mindestens ein di- oder höherfunktionelles aromatisches Epoxid umfasst; (b) mindestens einen Härter, der für die Epoxidhärtung geeignet ist; (c) wahlweise einen Beschleuniger für die Epoxidhärtung; (d) mindestens einen polymeren Füllstoff in einem Anteil von 15 Gew.-% oder mehr, bezogen auf das Gesamtgewicht der Masse, wobei der polymere Füllstoff aus der Gruppe der Polyamide ausgewählt ist; (e) wahlweise eine oder mehrere durch radikalische Polymerisation härtbare Verbindungen; (f) wahlweise mindestens einen Initiator für die radikalische Polymerisation; und (g) wahlweise weitere Zusatzstoffe, wobei der polymere Füllstoff in der Masse als mindestens teilkristalliner Feststoff vorliegt und der Schmelzpunkt des polymeren Füllstoffs mindestens 120 °C beträgt. Ferner wird ein Verfahren zur Herstellung von Bauteilen unter Verwendung der Masse und damit hergestellte Bauteile beschrieben.



**Beschreibung**

## GEBIET DER ERFINDUNG

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft die Verwendung einer härtbaren Masse zur Herstellung eines Bauteils mit einer thermomechanisch wiederablösbaren Fügeverbindung, einer Beschichtung oder einem Verguss, und eine härtbare Masse zur Herstellung des Bauteils. Die härtbare Masse umfasst mindestens eine Epoxidverbindung, einen Härter für die Epoxidverbindung und einen polymeren Füllstoff.

**[0002]** Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils mit einer thermomechanisch wiederablösbaren Fügeverbindung, einer Beschichtung oder eines Vergusses unter Verwendung der härtbaren Masse, und ein durch das Verfahren erhältliches Bauteil.

## TECHNISCHER HINTERGRUND

**[0003]** Die Kreislaufwirtschaft strebt ein System an, in dem der Einsatz von Ressourcen und die Produktion von Abfall beispielsweise durch das Schließen von Energie- und Materialkreisläufen minimiert wird. Unter diesem Gesichtspunkt stellt die Wiederverwertung von Komponenten oder Bauteilen in der Industrie eine große Herausforderung dar. Insbesondere bei hochpreisigen oder global begrenzt verfügbaren Teilen, die über eine lange Lebensdauer eine verhältnismäßig geringe Alterung erfahren, besteht ein ausgeprägter Wunsch, diese in neuen Produktgenerationen direkt oder in recycelter Form wieder zu verwerten. Häufig befinden sich die Bauteile jedoch in komplexen Vorrichtungen, die zunächst demontiert werden müssen, um die Bauteile von anderen Komponenten zu trennen. Im Sinne der Kreislaufwirtschaft ist es wünschenswert auch bei den Demontageprozessen möglichst wenig Energie aufbringen zu müssen und auf harsche Verfahren wie beispielsweise Pyrolysen zu verzichten. Zusätzlich ist aus ökologischen Gesichtspunkten bei der Demontage ein Verzicht auf Lösungsmittel geboten. Dementsprechend existiert im Stand der Technik der Bedarf nach Massen, die mit vertretbarem Energieeintrag und unter möglichst milden Bedingungen das Wiederablösen von Fügeverbindungen ermöglichen. Gleichzeitig dürfen diese Massen die Lebensdauer der Maschine während ihres Betriebes jedoch nicht verkürzen oder deren Leistung verschlechtern.

**[0004]** Im Stand der Technik existieren unterschiedliche Ansätze, um Fügeverbindungen wiederablösbar auszugestalten. Häufig werden die Fügepartner thermomechanisch, unter Wärmeeintrag durch mechanische Kraft, voneinander gelöst. Weitere Möglichkeiten umfassen den Einsatz von Lösungsmittel sowie die Pyrolyse, Belichtung oder Bestromung der Fügeverbindung.

**[0005]** Die EP 1 096 517 A2 offenbart ein Recyclingverfahren zur Produktion von magnetischem Pulver aus gefügten Magneten. Die Fügeverbindung umfasst thermoplastische Materialien und wird unter harschen Bedingungen durch Lösungsmittel gelöst.

**[0006]** Die WO 1998 031 738 A1 beschreibt Epoxy-Amin-Massen mit einem modifizierten Aminhärter, die zusätzlich einen Weichmacher enthalten. Die Massen sind für den Einsatz zur Verklebung von Halbleiterelementen in Verbindung mit Reparatur vorgesehen. Der Reparaturvorgang umfasst das Erweichen der gehärteten Masse durch Behandlung mit 250 °C heißer Luft für eine Minute.

**[0007]** Die JP 3 808 819 B2 beschreibt ein Verfahren zum Recyceln von gefügten Magneten durch Behandlung mit heißem Wasser und anschließendem Abschälen der Magnete. Der eingesetzte Klebstoff, der die Magnete in Position hält, verfügt zusätzlich über organische thermisch expandierbare Partikel, die bei Einwirken von 70 - 120 °C heißem Wasser expandieren. Derartige Massen eignen sich nicht für Magnete wie sie beispielsweise in leistungsfähigen Elektromotoren eingesetzt werden, da die angegebene Ablösetemperatur bereits im Normalbetrieb regelmäßig erreicht oder überschritten wird.

**[0008]** Die US 5 872 158 A beschreibt wiederablösbare Massen auf Basis von (Meth)Acrylaten, die acetal-funktionalisierte Diacrylate enthalten. Die Offenbarung sieht das Lösen der gehärteten Masse durch Behandlung mit verdünnter Säure unter Spaltung der Acetalgruppen vor.

**[0009]** Die US 2007 0 196 612 A1 beschreibt Die-Attach-Massen auf Basis von Epoxiden, (teil)fluorierten aromatischen Aminhärtern, anorganischen Füllstoffen und organischen Additiven. Die organischen Additive umfassen unter anderem Polyacrylate, Butadien-Styrol-Copolymere, Polyamide und EVA-Copolymere. Ein Anteil von mehr als 20 Gew.-% an organischen Additiven wird ausgeschlossen, da die Viskosität der Massen dadurch unvorteilhaft zunimmt. Zur Ablösung eines Siliziumchips von der gehärteten Masse wird diese mit

einer Mischung aus Lösungsmitteln wie N,N-Dimethylformamid oder Bis(2-methoxyethyl)ether behandelt. Dieser Ansatz ist ökotoxikologisch bedenklich und kann ferner umliegende Bauteile ungewünscht schädigen.

**[0010]** WO 2021 033 368 A1 offenbart Epoxy-Amin-Massen, die zusätzlich eine polymere Komponente und mindestens einen anorganischen Füllstoff enthalten. Die polymere Komponente umfasst mindestens ein Phenoxy-Harz, welches in den Massen gelöst vorliegt. Das Wiederablösen von Fügeverbindungen ist nicht vorgesehen.

**[0011]** Die EP 2 084 205 B1 beschreibt faserverstärkte Composite, die mindestens ein difunktionelles und zusätzlich ein trifunktionelles Epoxidharz enthalten. Als Härter werden Verbindungen auf Stickstoff-Basis vorgeschlagen. Zusätzlich werden den Massen unlösliche Partikel aus der Gruppe der Polyamide zugesetzt. Diese verbessern den sogenannten CAI-Wert (compression after impact) und damit das mechanische Rückstellverhalten der gehärteten Massen. Eine Wiederablösbarkeit der Massen wird nicht beschrieben. Stattdessen wird die Verwendung der Massen in der Luft- und Raumfahrtindustrie als Matrix zur Herstellung von Prepregs beschrieben.

**[0012]** Die im Stand der Technik beschriebenen Massen benötigen zum Wiederablösen entweder sehr harsche Bedingungen oder sind nicht für den dauerhaften Einsatz als Fügemaaterial in Maschinen geeignet, die bereits im Normalbetrieb hohen thermischen Belastungen unterliegen.

### ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0013]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die oben beschriebenen Nachteile der aus dem Stand der Technik bekannten Zusammensetzungen zu vermeiden.

**[0014]** Insbesondere sollen Massen bereitgestellt werden, die wiederablösbar sind und im Laufe des Lebenszyklus der Vorrichtung oder des Bauteils, in dem sie zum Einsatz kommen, auch bei thermischer Belastung oder Belastung durch Medien, ihre hohe Verbundfestigkeit und Beständigkeit beibehalten.

**[0015]** Diese Aufgaben werden erfindungsgemäß durch die Verwendung einer härtbaren Masse nach Anspruch 1, eine härtbare Masse nach Anspruch 8, ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils unter Verwendung der Masse nach Anspruch 9 und ein durch das Verfahren erhältliches Bauteil nach Anspruch 10 gelöst.

**[0016]** Vorteilhafte Ausführungsformen der erfindungsgemäßen Masse sind in den Unteransprüchen angegeben, die wahlweise miteinander kombiniert werden können.

**[0017]** Erfindungsgemäß wird zur Herstellung eines Bauteils mit einer thermomechanisch wiederablösbaren Fügeverbindung, einer Beschichtung oder einem Verguss eine härtbare Masse verwendet, welche die folgenden Komponenten umfasst:

- (a) mindestens eine Epoxidverbindung, die mindestens ein di- oder höherfunktionelles aromatisches Epoxid umfasst;
- (b) mindestens einen Härter, der für die Epoxidhärtung geeignet ist, bevorzugt einen Härter auf Stickstoffbasis;
- (c) wahlweise einen Beschleuniger für die Epoxidhärtung;
- (d) mindestens einen polymeren Füllstoff in einem Anteil von 15 Gew.-% oder mehr, bezogen auf das Gesamtgewicht der Masse, wobei der polymere Füllstoff aus der Gruppe der Polyamide ausgewählt ist;
- (e) wahlweise eine oder mehrere durch radikalische Polymerisation härtbare Verbindungen;
- (f) wahlweise mindestens einen Initiator für die radikalische Polymerisation; und
- (g) wahlweise weitere Zusatzstoffe,

**[0018]** Der polymere Füllstoff liegt in der Masse als mindestens teilkristalliner Feststoff vor, wobei der Schmelzpunkt des polymeren Füllstoffs mindestens 120 °C beträgt.

**[0019]** Das Bauteil weist bevorzugt eine Fügeverbindung auf. Insbesondere eignen sich die erfindungsgemäßen Massen für das Verkleben von Magneten, vorzugsweise zur Herstellung von Statoren und/oder Rotoren für Elektromotoren.

**[0020]** Gemäß einer Ausführungsform umfasst eine erfindungsgemäße härtbare Masse die folgenden Komponenten:

- (a) mindestens eine Epoxidverbindung, die mindestens ein di- oder höherfunktionelles aromatisches Epoxid umfasst;
- (b) mindestens einen Härter auf Stickstoffbasis, der für die Epoxidhärtung geeignet ist;
- (c) wahlweise einen Beschleuniger für die Epoxidhärtung;
- (d) mindestens einen polymeren Füllstoff in einem Anteil von 20 Gew.-% oder mehr, bezogen auf das Gesamtgewicht der Masse, wobei der polymere Füllstoff aus der Gruppe der Polyamide ausgewählt ist;
- (e) wahlweise eine oder mehrere radikalisch strahlungshärtbare Verbindungen;
- (f) wahlweise mindestens einen Initiator für die radikalische Polymerisation; und
- (g) wahlweise weitere Zusatzstoffe,

**[0021]** In dieser Ausführungsform weist der polymere Füllstoff, der in der Masse als mindestens teilkristalliner Feststoff vorliegt, eine Schmelzenthalpie von 40 J/g oder mehr auf, bevorzugt 50 J/g oder mehr. Der Schmelzpunkt des polymeren Füllstoffs beträgt mindestens 120 °C.

**[0022]** Die erfindungsgemäße Masse zeichnet sich durch eine Wiederablösbarkeit bei einer vorbestimmten Temperatur aus, bei der in der DMTA-Kurve des Speichermoduls der gehärteten Masse ein deutlicher Modulabfall und damit ein hoher Festigkeitsverlust zu beobachten ist. Gleichzeitig weisen die gehärteten Massen einen hohen Vernetzungsgrad und eine hohe Glasübergangstemperatur auf. Dies gewährleistet einen geringen Festigkeitsabfall bei thermischer Belastung und eine gute Medienbeständigkeit.

**[0023]** Gemäß einem weiteren Aspekt betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils unter Verwendung der härtbaren, Masse wie oben beschrieben, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

- a) Dosieren der Masse auf ein erstes Substrat;
- b) Wahlweise Zuführen eines zweiten Substrats unter Bildung eines Substratverbundes, wobei das zweite Substrat mit der Masse in Kontakt gebracht wird;
- c) Wahlweise Bestrahlen der Masse mit aktinischer Strahlung, wobei die bestrahlte Masse eine Fixierfestigkeit erreicht, welche für eine Weiterverarbeitung des ersten Substrats oder des Substratverbundes ausreichend ist; und
- d) Erwärmen der wahlweise bestrahlten Masse auf dem Substrat oder in dem Substratverbund auf eine vorbestimmte Aushärtetemperatur bis zur Aushärtung, unter Bildung des Bauteils mit dem Substrat und einer ausgehärteten, mit dem Substrat und wahlweise dem weiteren Substrat verbundenen Klebeschicht, wobei die ausgehärtete Klebeschicht durch Erwärmen auf mindestens eine Ablösetemperatur thermomechanisch von dem Substrat lösbar ist.

**[0024]** Bevorzugt umfasst das Bauteil einen Substratverbund mit wenigstens zwei, durch die Klebeschicht verbundenen Substraten.

**[0025]** Der in Abhängigkeit von der Temperatur durch Dynamisch-Mechanisch-Thermische Analyse (DMTA) gemessene Speichermodul ( $E'$ ) der gehärteten Masse besitzt im Kurvenverlauf mindestens einen weiteren Wendepunkt oberhalb der Glasübergangstemperatur.

**[0026]** Der weitere Wendepunkt liegt innerhalb eines Temperaturbereichs, in dem ein steiler und ausgeprägter Abfall des Speichermoduls sowie der Festigkeit der gehärteten Masse beobachtet werden kann. Die Differenz zwischen Endset und Onset des den weiteren Wendepunkt umfassenden Temperaturbereichs, d.h. also zwischen Endset und Onset des Modulabfalls, beträgt bevorzugt höchstens 30 °C, weiter bevorzugt höchstens 20 °C oder höchstens 15 °C. Besonders bevorzugt tritt der Modulabfall in der DMTA-Kurve über ein Temperaturintervall von 10 °C oder weniger ein. Die absolute Temperatur des weiteren Wendepunkts in der DMTA-Kurve kann über die Auswahl des teilkristallinen polymeren Füllstoffs beeinflusst werden.

**[0027]** Die Ablösetemperatur, ab welcher die Klebschicht thermomechanisch von dem Substrat oder Substratverbund lösbar ist, wird vorzugsweise so gewählt, dass sie am oder oberhalb des weiteren Wendepunkts

der DMTA-Kurve des Speichermoduls der gehärteten Masse liegt. Weiter bevorzugt liegt die Ablösetemperatur in einem Bereich zwischen der Temperatur am weiteren Wendepunkt und bis zu 50 °C, weiter bevorzugt bis zu 20 °C, über dem Endset des Modulabfalls. Für den Fachmann versteht sich, dass das Wiederablösen der Klebschicht auch bei höheren Temperaturen erfolgen kann. Je näher die Ablösetemperatur am Endset des Modulabfalls liegt, desto energieeffizienter kann aber die Wiedergewinnung der werthaltigen Substrate erfolgen.

**[0028]** In bevorzugten Ausführungsformen liegt die Ablösetemperatur bei höchstens 320 °C, bevorzugt höchstens 280 °C und besonders bevorzugt höchstens 250 °C. Bei höheren Temperaturen besteht die Gefahr, dass die wiederzugewinnenden Bauteile thermisch beschädigt werden können. Ferner bieten derartig hohe Temperaturen kaum energetische Vorteile gegenüber einer Pyrolyse.

**[0029]** Gegenstand der Erfindung ist ferner ein Bauteil mit einer wiederlösbaren Klebschicht, welches durch das oben beschriebene Verfahren erhältlich ist.

#### BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNG

**[0030]** In der Zeichnung zeigt:

- **Fig. 1** eine DMTA-Kurve mit einer Darstellung des Speichermoduls in Abhängigkeit der Temperatur für eine Referenzmasse und zwei erfindungsgemäß verwendete Massen.

#### AUSFÜHRLICHE BESCHREIBUNG BEVORZUGTER AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0031]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand von bevorzugten Ausführungsformen ausführlich und beispielhaft beschrieben, die jedoch nicht in einem einschränkenden Sinn verstanden werden sollen.

**[0032]** „Flüssig“ bedeutet im Sinne der Erfindung, dass bei 23 °C der durch Viskositätsmessung bestimmte Verlustmodul  $G''$  größer als der Speichermodul  $G'$  der betreffenden Komponente ist.

**[0033]** Soweit der unbestimmte Artikel „ein“ oder „eine“ verwendet wird, ist damit auch die Pluralform „ein oder mehrere“ umfasst, soweit diese nicht ausdrücklich ausgeschlossen wird.

**[0034]** „Mindestens difunktionell“ bedeutet, dass pro Molekül zwei oder mehr Einheiten der jeweils genannten funktionellen Gruppe enthalten sind. Es wird dabei nicht nach primären, sekundären oder tertiären funktionellen Gruppen unterschieden.

**[0035]** Alle im Folgenden aufgeführten Gewichtsanteile beziehen sich jeweils auf das Gesamtgewicht aller Komponenten, wenn nicht anders angegeben.

**[0036]** Die erfindungsgemäßen Massen können sowohl ein- als auch mehrkomponentig formuliert werden.

#### Komponente (a): Epoxidverbindung

**[0037]** Die Epoxidverbindung (a) ist in ihrer chemischen Struktur nicht weiter eingeschränkt und umfasst mindestens ein di- oder höherfunktionelles aromatisches Epoxid. Die Verwendung aromatischer Epoxidverbindungen führt zu Massen mit hoher Glasübergangstemperatur, die bei thermischer Belastung mechanisch stabil bleiben und eine hohe Medienbeständigkeit aufweisen.

**[0038]** Bevorzugt eingesetzt werden aromatische Glycidylether, Glycidylester, Glycidylamine und Mischungen davon. Ferner können auch aliphatische und cycloaliphatische Epoxidverbindungen oder monofunktionelle Epoxidverbindungen als Reaktivverdünner in Komponente (a) enthalten sein.

**[0039]** Aromatische Glycidylether sind aus der Umsetzung von Epichlorhydrin mit aromatischen Alkoholen und Phenolen erhältlich. Beispiele für solche aromatischen Epoxidverbindungen und deren jeweilige Handelsbezeichnungen sind Bisphenol-A-Epoxidharze (D.E.R. 331, Epikote Resin 828), Bisphenol-F-Epoxidharze (Epikote Resin 862, Epikote Resin 863, YDF-170), Mischungen aus Bisphenol A und F Diglycidylethern (D.E.R. 351, Epikote Resin 166, YDF-161), Phenol-Novolak-Epoxidharze (D.E.N. 424, D.E.N. 437, D.E.N. 440, YDPN-631) und Cresol-Novolak-Epoxidharze (DIC Corporation Epiclon N-670, YDCN-500-5P).

**[0040]** Ferner können Glycidylether auf Basis von aromatischen Phenolen wie 1,6-Naphthalindiol (Araldite MY 0816), Tris(hydroxyphenyl)methan (Tactix 742), unterschiedlichen Bisphenolen, hydroxysubstituierten Biphenylen (z.B. jER YX4000H) oder monofunktionelle Glycidylether z.B. auf Basis von p-tert-Butylphenol (D.E.R. 727) oder Cardanol (Cardolite Lite 513) eingesetzt werden.

**[0041]** Zusätzlich können Diglycidylether auf Basis von aliphatischen Alkoholen verwendet werden, wie Butandiol (Araldite DY-D), Hexandiol (Araldite DY-H), Cyclohexandimethanol (Araldite DY-C), polymeren Diolen (z.B. Polyoxypropylenglycol, Araldite DY-F), Dicyclopentadiendimethanol (Adeka EP 4088S). Weiterhin ist die Verwendung von Reaktionsprodukten aus Epichlorhydrin und Aminen oder Aminophenolen wie z.B. TGAP (Triglycidylether des Aminophenols; Araldite MY 0610) oder TGMDA (Tetraglycidylether des Methylen-dianilins, Araldite MY 721) möglich.

**[0042]** Ferner können auch alle vollständig oder teilweise hydrierten Analoga aromatischer Epoxidverbindungen eingesetzt werden. Bevorzugt sind hydrierte Bisphenol-A- und Bisphenol-F-Epoxidharze (z.B. Eponex Resin 1510).

**[0043]** Weiterhin können Glycidylester auf Basis von aromatischen Verbindungen wie z.B. Therephtalsäure, (ARALDITEO PT 910, Fa. Huntsman), cycloaliphatischen Verbindungen oder aliphatischen Verbindungen (Cardura E10, Fa. Westlake) eingesetzt werden.

**[0044]** Neben den bisher genannten Epoxidverbindungen können auch cycloaliphatische Epoxide in den erfindungsgemäßen Massen eingesetzt werden. Geeignete Beispiele sind 3-Cyclohexenylmethyl-3-cyclohexylcarboxylatdiepoxid, 3,4-Epoxy-cyclohexylalkyl-3',4'-epoxy-cyclohexancarboxylat, 3,4-Epoxy-6-methylcyclohexylmethyl-3',4'-epoxy-6-methylcyclohexancarboxylat, Vinylcyclohexendioxid, Bis(3,4-Epoxy-cyclohexylmethyl)adipat, Dicyclopentadiendioxid, Di-cyclopentadienyl-oxoethylglycidylether, Limonendioxid und 1,2-Epoxy-6-(2,3-epoxypropoxy)hexahydro-4,7-methanindan, sowie Mischungen davon.

**[0045]** Weiterhin können epoxidierte Verbindungen auf Basis von Fetten/Ölen wie z.B. Sovermol 1055, BASF eingesetzt werden.

**[0046]** Auch mit epoxidhaltigen Gruppen substituierte Isocyanurate und andere heterocyclische Verbindungen können in den erfindungsgemäßen Massen als Komponente (a) eingesetzt werden. Beispielhaft sind Triglycidylisocyanurat und Monoallyldiglycidylisocyanurat genannt.

**[0047]** Außerdem können auch mono- und polyfunktionelle Epoxidharze aller genannten Harzgruppen eingesetzt werden, welche neben den Epoxid-Funktionalitäten weitere funktionelle Gruppen enthalten. Beispiele hierfür sind OHfunktionelle, oligomere aromatische Epoxidverbindungen (z.B. Dow D.E.R. 671 oder Kukdo KD-9004).

**[0048]** Es können ebenfalls Additionsprodukte der genannten Epoxidverbindungen mit H-aciden Verbindungen (in niedermolekularer oder in polymerer Form) wie Carbonsäuren, Alkoholen und/oder Thiolen eingesetzt werden. Besonders bevorzugte Beispiele hierfür sind reaktive Flüssigkautschuke, z.B. Additionsprodukte von Epoxidverbindungen mit CTBN Kautschuk (z.B. Albipox 2000) bzw. Dimerfettsäuren (z.B. B-Tough A1).

**[0049]** Ebenfalls im Sinne der Erfindung ist eine Kombination mehrerer epoxidhaltiger Verbindungen, von denen mindestens eine di- oder höherfunktionell ist.

**[0050]** Ferner können neben allen genannten epoxidhaltigen Verbindungen auch Schwefelanaloga als Komponente (a) eingesetzt werden. Die entsprechenden Thiirane sind damit ebenfalls im Sinne der Erfindung. Epoxide bei denen nur ein Teil der Epoxidgruppen durch Thiirane ersetzt wurden können ebenfalls vorteilhaft eingesetzt werden.

**[0051]** Die Komponente (a) liegt in der erfindungsgemäßen Masse, bezogen auf das Gesamtgewicht der Masse, bevorzugt in einem Anteil von 10 bis 80 Gew.-% vor, weiter bevorzugt 20 bis 70 Gew.-%.

**[0052]** Monofunktionelle Epoxidverbindungen können in der Komponente (a) in einem Anteil von bis zu 30 % enthalten sein, bezogen auf das Gewicht der Komponente (a).

## Komponente (b): Härter für die Epoxidverbindung

**[0053]** Die erfindungsgemäßen Massen enthalten mindestens einen Härter (b) für die Epoxidhärtung. Die Komponente (b) ist in ihrer chemischen Struktur nicht weiter eingeschränkt und umfasst bevorzugt einen Härter auf Stickstoffbasis, weiter bevorzugt einen Härter aus der Gruppe der primären, sekundären und tertiären Amine, Cyanamide, Imidazole, Hydrazide und/oder Epoxy-Addukten der genannten Verbindungen. Bevorzugt liegt der Härter in den Massen in fester Form vor.

**[0054]** Kommerzielle Beispiele für geeignete feste Aminhärter, die primäre, sekundäre und/oder tertiäre Amingruppen enthalten, sind Ancamine 2014 AS (Evonik), Ancamine 2337S (Evonik), Ajicure PN-23J (Ajinomoto), Aradur 9506 (Huntsman), FUJICURE FXR-1121 (Sanho), FUJICURE FXR-1020 (Sanho), Hardener XB 3123 (Huntsman), Versalink 740M (Evonik), Lonzacure M-CDEA, Primacure M-DEA, Aradur 9664-1 (Huntsman) und Aradur 9719-1 (Huntsman). Die genannten Härter umfassen jeweils bevorzugt mindestens zwei zur Epoxidhärtung geeignete stickstoffhaltige Gruppen pro Molekül.

**[0055]** Kommerzielle Beispiele für geeignete Härter aus der Gruppe der Cyanamide sind Dyhard100 SF von Alzchem, DICYANEX 1200 von Evonik und EPIKURE Curing Agent P-104 von Westlake.

**[0056]** Kommerzielle Beispiele für geeignete feste Imidazolhärter sind Adeka Hardener EH-5011S, Adeka Hardener EH-5046S, Technicure LC-80 (ACCI Specialty Materials) und Curezol 2P4MZ (Shikoku).

**[0057]** Kommerzielle Beispiele für geeignete Hydrazide sind Technicure ADH-J (ACCI Specialty Materials), Technicure IDH-J (ACCI Specialty Materials), Ajicure UDH-J (Ajinomoto) und Ajicure VDH-J (Ajinomoto).

**[0058]** Durch die Kombination verschiedener Härter (b) lässt sich bereits ohne Zusatz der Komponente (c) eine Beschleunigung der Epoxidhärtung erreichen. Kommerzielle Beispiele stickstoffhaltiger Verbindungen, die insbesondere in Kombination mit einem weiteren Härter (b) eine beschleunigende Wirkung auf die Härtung haben, sind Ancamine 2014 AS (Evonik), Ancamine 2337S (Evonik), Ajicure PN-23J (Ajinomoto), Aradur 9506 (Huntsman), FUJICURE FXR-1121 (Sanho), FUJICURE FXR-1020 (Sanho), Hardener XB 3123 (Huntsman), Adeka Hardener EH-5011S, Adeka Hardener EH-5046S und Technicure LC-80 (ACCI Specialty Materials).

**[0059]** Im Falle zwei- oder mehrkomponentiger Massen sind insbesondere flüssige Amine aus der Gruppe, der aliphatischen oder cycloaliphatischen Amine, Polyetheramine, Polyamide, Mannich-Basen oder deren Reaktionsprodukten mit Epoxidharzen sowie Kombinationen davon, zur Verwendung als Komponente (b) geeignet. Diese weisen eine höhere Reaktivität bereits bei Raumtemperatur auf und können die Komponente (a) nach dem Mischen ohne weitere Wärmezufuhr härten. Spezifische Beispiele geeigneter Amine können der DE 10 2018 121 067 A1 entnommen werden.

**[0060]** Die voranstehenden Aufzählungen sind als beispielhaft und nicht abschließend zu sehen. Mischungen der genannten Härter (b) sind ebenfalls im Sinne der Erfindung.

**[0061]** Als Härter (b) für die Epoxidhärtung können ferner auch Anhydride und Thiole eingesetzt werden.

**[0062]** Spezifische Beispiele für Anhydride, die in den vorliegenden Massen als Härter für Epoxide eingesetzt werden können, umfassen die Anhydride zweiprotoniger Säuren, wie zum Beispiel Phthalsäureanhydrid (PSA), Bernsteinsäureanhydrid, Octenylbernsteinsäureanhydrid (OSA), Pentadodecenybernsteinsäureanhydrid und andere Alkenylbernsteinsäureanhydride, Maleinsäureanhydrid (MA), Itaconsäureanhydrid (ISA), Tetrahydrophthalsäureanhydrid (THPA), Hexahydrophthalsäureanhydrid (HHPA), Methyltetrahydrophthalsäureanhydrid (MTHPA), Methylhexahydrophthalsäureanhydrid (MHHPA), Nadinsäureanhydrid, 3,6 Endomethylentetrahydrophthalsäureanhydrid, Methylendomethylentetrahydrophthalsäureanhydrid (METH, NMA), Tetrabromphthalsäureanhydrid und Trimellitsäureanhydrid, sowie die Anhydride aromatischer vierprotoniger Säuren, wie zum Beispiel Biphenyltetracarbonsäuredianhydride, Naphthalintetracarbonsäuredianhydride, Diphenylethertetracarbonsäuredianhydride, Butantetracarbonsäuredianhydride, Cyclopentantetracarbonsäuredianhydride, Pyromellitsäureanhydride und Benzophenontetracarbonsäuredianhydride. Diese Verbindungen können allein oder in Kombinationen von zwei oder mehreren davon verwendet werden.

**[0063]** Unter diesen Anhydriden kommen bevorzugt bei Raumtemperatur flüssige Verbindungen wie Methylhexahydrophthalsäureanhydrid (MHHPA), Methyltetrahydrophthalsäureanhydrid (MTH PA), Methylendome-

thylentetrahydrophthalsäureanhydrid (METH, NMA) und dessen Hydrierungsprodukt als Härter (b) zum Einsatz.

**[0064]** Die bevorzugten Anhydride zur Verwendung als Härter (b) sind beispielsweise unter folgenden Handelsnamen kommerziell erhältlich: MHPA beispielsweise unter den Handelsnamen HN-5500 (Hitachi Chemical Co., Ltd.) und MHPA (Dixie Chemical Company, Inc.), METH unter den Handelsnamen NMA (Dixie Chemical Company, Inc.), METH/ES (Polynt S.p.A.) und MHAC (Hitachi Chemical Co., Ltd.).

**[0065]** Bei Verwendung eines Härters (b) für Epoxide auf Basis von Thiolen umfasst dieser mindestens eine Verbindung mit mindestens zwei Thiolgruppen (-SH) im Molekül. Die Thiole sind in ihrer chemischen Struktur nicht weiter eingeschränkt und umfassen bevorzugt aromatische und aliphatische Thiole sowie Kombinationen davon.

**[0066]** Bevorzugt ist das mindestens difunktionelle Thiol aus der aus esterbasierten Thiolen, Polyethern mit reaktiven Thiolgruppen, Polythioethern, Polythioetheracetalen, Polythioetherthioacetalen, Polysulfiden, thiolterminierten Urethanen, Thiolderivaten von Isocyanuraten und Glycoluril sowie Kombinationen davon bestehenden Gruppe ausgewählt.

**[0067]** Beispiele für kommerziell erhältliche esterbasierte Thiole auf Basis der 2-Mercaptoessigsäure umfassen Trimethylolpropantrimercaptoacetat, Pentaerythritoltetramercaptoacetat und Glycoldimercaptoacetat, die unter den Markennamen Thiocure™ TMPMA, PETMA und GDMA von der Firma Bruno Bock verfügbar sind.

**[0068]** Weitere Beispiele für kommerziell erhältliche esterbasierte Thiole umfassen Trimethylolpropan-tris(3-mercaptopropionat), Pentaerythritol-tetrakis(3-mercaptopbutyrat), Glykol-di(3-mercaptopropionat) und Tris[2-(3-mercaptopropionyloxy)ethyl]isocyanurat, die unter den Markennamen Thiocure TMPMP, PETMP, GDMP und TEMPIC von der Firma Bruno Bock verfügbar sind.

**[0069]** Beispiele für kommerziell verfügbare Thioether umfassen DMDO (1,8-Dimercapto-3,6-dioxaocetan), erhältlich von der Firma Arkema S.A., DMDS (Dimercaptodiethylsulfid) und DMPT (2,3-Di((2-mercaptoethyl)thio)-1-propanthiol), beide erhältlich von der Firma Bruno Bock.

**[0070]** Mit Bezug auf eine erhöhte Beständigkeit der ausgehärteten Massen gegenüber Temperatur und Feuchte ist der Einsatz esterfreier Thiole besonders bevorzugt. Beispiele für esterfreie Thiole können der JP 2012 153 794 A entnommen werden.

**[0071]** Besonders bevorzugt ist eine Verwendung von Tris(3-mercaptopropyl)isocyanurat (TMPI) als trifunktionelles esterfreies Thiol.

**[0072]** Esterfreie Thiole auf Basis einer Glycolurilverbindung sind aus der EP 3 075 736 A1 bekannt. Auch diese können als Härter (b) verwendet werden, allein oder im Gemisch mit anderen mindestens difunktionellen Thiolen.

**[0073]** Höherfunktionelle Thiole, die beispielsweise durch oxidative Dimerisierungsprozesse von mindestens difunktionellen Thiolen erhältlich sind, können ebenfalls eingesetzt werden.

**[0074]** Die voranstehende Aufzählung ist als beispielhaft und nicht abschließend zu sehen.

**[0075]** Der Anteil des Härters (b) beträgt in der erfindungsgemäßen Masse bevorzugt 1 bis 50 Gew.-%, weiter bevorzugt 2 bis 30 Gew.-%.

#### Komponente (c): Beschleuniger

**[0076]** In den erfindungsgemäßen Massen kann wahlweise mindestens ein Beschleuniger (c) für die Epoxidhärtung eingesetzt werden. Dieser ist beispielsweise ausgewählt aus der Gruppe der Harnstoffderivate, Amine und Imidazole.

**[0077]** Beispiele geeigneter Beschleuniger auf Basis von Harnstoffen und deren Derivaten sind Urone. Kommerzielle Beispiele umfassen Dyhard UR 500 (Alzchem), Dyhard UR 300 (Alzchem), EPICURE Catalyst 116 (Westlake), Technicure MDU-11M (ACCI Specialty Materials), Technicure IPDU-8 (ACCI Specialty Materials),

Technicure MDU-11M (ACCI Specialty Materials), Dyhard UR 800 (Alzchem), URAcc 57 (Alzchem), UR 700 (Alzchem), UR 500 (Alzchem), EPICURE Catalyst 116 (Westlake).

**[0078]** Beispiele geeigneter Beschleuniger auf Basis von Aminen sind Ancamine 2014 AS (Evonik), Ancamine 2337S (Evonik), Ajicure PN-23J (Ajinomoto), Aradur 9506 (Huntsman), FUJICURE FXR-1121 (Sanho), FUJICURE FXR-1020 (Sanho).

**[0079]** Beispiele geeigneter Beschleuniger auf Basis von Imidazolen sind Adeka Hardener EH-5011S, Adeka Hardener EH-5046S, Technicure LC-80 (ACCI Specialty Materials), Curezol 2P4MZ (Shikoku).

**[0080]** Die hier angeführten Beschleuniger (c) sind explizit als zusätzlich beschleunigend wirkende Verbindungen zu verstehen, welche durch die Komponente (b) und deren Kombinationen nicht umfasst sind. Die Verwendung mehrerer Beschleuniger ist ebenfalls im Sinne der Erfindung.

**[0081]** Der Beschleuniger (c) liegt in den erfindungsgemäßen Massen bevorzugt in einem Anteil von 0 bis 5 Gew.-% vor, bevorzugt 1 bis 3 Gew.-%, bezogen auf das Gesamtgewicht der Masse.

Komponente (d): polymerer Füllstoff

**[0082]** Die erfindungsgemäßen Massen enthalten mindestens einen organischen Polymerfüllstoff (d). Dieser ist aus der Gruppe der Polyamide ausgewählt und weist einen Schmelzpunkt von mindestens 120 °C auf. Der polymere Füllstoff liegt in der Masse als mindestens teilkristalliner Feststoff in einem Anteil von 15 Gew.-% oder mehr vor, bezogen auf das Gesamtgewicht der Masse. Ein niedrigerer Anteil des teilkristallinen polymeren Füllstoffs führt zu Massen mit einer unzureichenden Wiederablösbarkeit der gehärteten Masse bei der vorbestimmten Ablösetemperatur. Klebschichten aus diesen Massen lassen sich nur mit höherem Kraftaufwand von den jeweiligen Substraten ablösen.

**[0083]** Bevorzugt ist der organische Füllstoff ausgewählt aus der Gruppe von Polyamid 6, Polyamid 6.6, Polyamid 11, Polyamid 12 sowie Copolymeren davon.

**[0084]** Der Schmelzpunkt des Füllstoffes (d) ist bevorzugt größer als 120 °C, und beträgt bevorzugt mindestens 140 °C, weiter bevorzugt mindestens 160 °C. Bevorzugt liegt der Schmelzpunkt der Komponente (d) unterhalb 300 °C, weiter bevorzugt unterhalb 250 °C. Als Schmelzpunkt wird die in der DSC-Analyse des polymeren Füllstoffs bzw. der den Füllstoff enthaltenden gehärteten Masse bei einer Aufheizrate von 10 K/min ermittelte Peaktemperatur angesehen.

**[0085]** Weiter bevorzugt beträgt die durch Laserlichtbeugung bestimmbare mittlere Partikelgröße D50 des polymeren Füllstoffes (d) weniger als 100 µm, weiter bevorzugt weniger als 50 µm.

**[0086]** Kommerziell verfügbare Beispiele des polymeren Füllstoffs umfassen die Rilsan Typen D20, D30, D40, D50, D60, D80, Orgasol 2001, Orgasol 2002, Orgasol 1002 und Orgasol 3501, erhältlich von der Firma Arkema, sowie Ultrasint PA6 und Ultrasint PA11 der Firma BASF. Kommerzielle Granulate, wie beispielsweise Ertalon 6 PLA und Ertalon 66 SA von Mitsubishi Chemical Advanced Materials oder Zytel 7335F NC010 von DuPont, lassen sich durch z.B. mechanisches Vermahlen in die geeignete Partikelgrößenverteilung überführen.

**[0087]** Die Auswahl der Komponente (d) erfolgt jeweils im Kontext der beabsichtigten Anwendung der gehärteten Masse. Der Schmelzpunkt des Füllstoffes (d) wird dabei bevorzugt so gewählt, dass dieser mindestens 5 °C, vorzugsweise mindestens 10 °C, oberhalb der durchschnittlichen Temperatur liegt, der die gehärtete Masse in ihrer Anwendung dauerhaft ausgesetzt ist. Im Sinne einer energieeffizienten Wiederablösung ist eine außerdem eine geringe Temperaturdifferenz zwischen dem Onset des Modulabfalls in der DMTA-Kurve des Speichermoduls und der unterhalb davon liegenden Anwendungstemperatur der Masse bevorzugt. Handelt es sich um Anwendungen bei denen häufiger Temperaturspitzen auftreten können, ist aus Gründen der Ausfallsicherheit eine höhere Temperaturdifferenz bevorzugt.

**[0088]** Der Polymerfüllstoff (d), welcher in den erfindungsgemäßen Massen zum Einsatz kommt, besitzt eine Schmelzenthalpie von mindestens 40 J/g auf, bevorzugt 50 J/g. Die Schmelzenthalpie zeigt den Kristallisationsgrad des eingesetzten Füllstoffs (d) an.

**[0089]** Der Anteil des mindestens teilkristallinen polymeren Füllstoffes (d) beträgt in der erfindungsgemäßen Masse mindestens 15 Gew.-%, bevorzugt mindestens 20 Gew.-% oder 25 Gew.-%, jedoch höchstens 50 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Masse. Ein höherer Anteil des mindestens teilkristallinen polymeren Füllstoffs kann dazu führen, dass die flüssigen härtbaren Massen eine für die Verarbeitung unvorteilhaft hohe Viskosität, sowie die gehärteten Massen eine unzureichende Temperaturfestigkeit oder Medienbeständigkeit aufweisen.

#### Komponente (e): radikalisch härtbare Verbindung

**[0090]** Die Massen enthalten wahlweise eine durch radikalische Polymerisation härtbare Verbindung (e), die mindestens ein (Meth)Acrylat umfasst. Der Begriff „(Meth)Acrylat“ im Sinne der Erfindung umfasst sowohl Acrylate als auch die analogen Methacrylate. Die Verwendung der Komponente (e) erlaubt eine schnelle Fixierung der Masse, insbesondere durch Bestrahlung mit aktinischer Strahlung.

**[0091]** Die (Meth)Acrylate der Komponente (e) sind strukturell nicht weiter eingeschränkt und umfassen beispielsweise lineare, verzweigte, aliphatische, aromatische und heterozyklische (Meth)Acrylate sowie Kombinationen davon.

**[0092]** (Meth)Acrylate im Sinne der Erfindung sind ferner monomere, oligomere oder polymere Verbindungen, solange diese mindestens eine radikalisch vernetzbare (Meth)Acrylatgruppe enthalten.

**[0093]** Bevorzugt sind (Meth)Acrylate, deren Homopolymer eine Glasübergangstemperatur von größer 100 °C besitzt, wobei diese jedoch gleichzeitig unterhalb der Ablösetemperatur der ausgehärteten erfindungsgemäßen Masse liegt.

**[0094]** Bevorzugt enthalten die Massen mindestens ein di- oder höherfunktionelles (Meth)Acrylat.

**[0095]** Beispiele für di- oder höherfunktionelle (Meth)Acrylate sind Hexandioldi(meth)acrylat, Di(trimethylolpropan)tetraacrylat, 4-Butandioldi(meth)acrylat, Tripropylenglycoldi(meth)acrylat, Triethylenglycoldi(meth)acrylat, Polyethylenglycoldi(meth)acrylate, 1,10-Decandioldi(meth)acrylat, Tricyclodecandimethanoldi(meth)acrylat, Cyclohexandimethyldi(meth)acrylat, Nonandioldi(meth)acrylat, Trimethylolpropantri(meth)acrylat, tris-(2-hydroxyethyl)isocyanuratri(meth)acrylat, Pentaerythritolhexa(meth)acrylat, Dipentaerythritolhexa(meth)acrylat, BPA-diepoxypropandi(meth)acrylat und ethoxyliertes Bisphenol-A-di(meth)acrylat.

**[0096]** Die genannten (Meth)Acrylate sind beispielsweise kommerziell erhältlich von den Firmen Arkema Sartomer, BASF, IGM Resins, Sigma Aldrich oder TCI.

**[0097]** Neben di- oder höherfunktionellen (Meth)Acrylaten können auch monofunktionelle aliphatische, cycloaliphatische oder aromatische (Meth)Acrylate eingesetzt werden.

**[0098]** Beispiele für geeignete monofunktionelle (Meth)Acrylate sind Isobornyl(meth)acrylat, cyclisches Trimethylolpropan-formyl-(meth)acrylat, Dicyclopentenyl(meth)acrylat, Dicyclopentenyloxyethyl(meth)acrylat, Dicyclopentanyl(meth)acrylat, 4-tert-Butylcyclohexyl(meth)acrylat, 3,3,5-Trimethylcyclohexyl(meth)acrylat, tert-Butylcyclohexanolmethacrylat und Octahydro-4,7-methano-1 H-indenylmethyl(meth)acrylat.

**[0099]** Bevorzugt sind (Meth)Acrylate mit einem geringen Lösungsvermögen in Bezug auf den Härter (b). Dies ermöglicht eine vorteilhafte Latenz der Massen bei Raumtemperatur.

**[0100]** Ferner können auch Hybridverbindungen zum Einsatz kommen, die neben einer strahlungshärtbaren Gruppe zusätzlich eine additionsvernetzbare Gruppe enthalten. Beispiele die neben einer (Meth)Acrylatgruppe eine Epoxidgruppe aufweisen sind sogenannte Epoxyacrylate wie beispielsweise das Solmer SE 1605 erhältlich von der Firma Soltech Ltd, Cyclomer M100 erhältlich von der Firma Daicel, RCX 14-786 von der Firma Rahn AG und 4-Hydroxybutylacrylat-Glycidylether erhältlich von der Firma Mitsubishi Chemical Europe GmbH.

**[0101]** Die vorstehende Aufzählung geeigneter Substanzklassen ist beispielhaft und nicht in einem einschränkenden Sinne zu verstehen.

**[0102]** Die Komponente (e) liegt in den erfindungsgemäßen Massen in einem Anteil von 0 bis 40 Gew.-% vor, bevorzugt 1 bis 30 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Masse.

**[0103]** Der Anteil von di- oder höherfunktionellen (Meth)Acrylaten an der Komponente (e) beträgt bevorzugt mindestens 50%, weiter bevorzugt mindestens 60%.

Komponente (f): Initiator für die radikalische Polymerisation

**[0104]** Zur Härtung der Komponente (e) umfassen die erfindungsgemäßen Massen wahlweise mindestens einen Initiator (f) für die radikalische Polymerisation. Photoinitiatoren (f1) ermöglichen in Kombination mit der Komponente (e) eine Fixierung der Masse durch Bestrahlung mit aktinischer Strahlung. Thermische Initiatoren für die radikalische Polymerisation (f2) erlauben eine thermische Härtung der Verbindung (e). In lichtfixierbaren Formulierungen können Initiatoren (f2) zusätzlich zu den Photoinitiatoren (f1) für die vollständige Aushärtung von nicht mit aktinischer Strahlung erreichbaren Bereichen der härtbaren Masse vorteilhaft eingesetzt werden.

**[0105]** Als radikalische Photoinitiatoren (f1) können die üblichen, im Handel erhältlichen Verbindungen eingesetzt werden, wie beispielsweise  $\alpha$ -Hydroxyketone, Benzophenon,  $\alpha,\alpha'$ -Diethoxyacetophenon, 2-Benzyl-2-(dimethylamino)-4'-morpholinobutyrophenon, 4-Isopropylphenyl-2-hydroxy-2-propylketon, 4,4-Bis(diethylamino)benzophenon, 2-Ethylhexyl-4-(dimethylamino)benzoat, Ethyl-4-(dimethylamino)benzoat, 2-Butoxyethyl-4-(dimethylamino)benzoate, 1-Hydroxycyclohexylphenylketon, Isoamyl-p-dimethylaminobenzoat, Methyl-4-dimethylaminobenzoat, Methyl-o-benzoylbenzoat, Benzoin, Benzoinethylether, Benzoinisopropylether, Benzoinisobutylether, 2-Hydroxy-2-methyl-1-phenylpropan-1-on, 2-Isopropylthioxanthon, Dibenzosuberone, Ethyl-(3-benzoyl-2,4,6-trimethylbenzoyl)(phenyl)phosphinat, Methylbenzoylformat, Oximester, 2,4,6-Tri-methylbenzoyldiphenylphosphinoxid, Ethyl-(2,4,6-trimethylbenzoyl)-phenyl-phosphinat und Bisacylphosphinoxid.

**[0106]** Der radikalische Photoinitiator (f1) ist vorzugsweise durch Bestrahlung mit aktinischer Strahlung einer Wellenlänge von 200 bis 600 nm aktivierbar, besonders bevorzugt von 320 bis 480 nm. Bei Bedarf kann der radikalische Photoinitiator mit einem geeigneten Sensibilisierungsmittel kombiniert werden.

**[0107]** Als kommerziell verfügbare Photoinitiatoren können beispielsweise die IRGACURE™-Typen von BASF SE eingesetzt werden, so beispielsweise die Typen IRGACURE 184, IRGACURE 500, IRGACURE 1179, IRGACURE 2959, IRGACURE 745, IRGACURE 651, IRGACURE 369, IRGACURE 907, IRGACURE 1300, IRGACURE 819, IRGACURE 819DW, IRGACURE 2022, IRGACURE 2100, IRGACURE 784, IRGACURE 250, IRGACURE TPO, IRGACURE TPO-L. Ferner sind die DAROCUR™-Typen von BASF SE verwendbar, so beispielsweise die Typen DAROCUR MBF, DAROCUR 1173, DAROCUR TPO und DAROCUR 4265.

**[0108]** Die vorstehende Aufzählung geeigneter Substanzklassen ist beispielhaft und nicht in einem einschränkenden Sinne zu verstehen.

**[0109]** Kombinationen von mehreren Photoinitiatoren sind ebenfalls erfindungsgemäß.

**[0110]** Der radikalische Photoinitiator (f1) liegt in den erfindungsgemäßen Massen bevorzugt in einem Anteil von 0 bis 5 Gew.-% vor, weiter bevorzugt 0,1 bis 3 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Masse.

**[0111]** Beispiele für geeignete thermische Initiatoren für die radikalische Polymerisation (f2) sind Peroxoverbindungen wie Peroxo(di)ester, Hydroperoxide, (Di)Alkylperoxide, Ketonperoxide, Perketale, Persäuren, Peroxidcarbonate, Peroxomonocarbonate und Benzpinakol.

**[0112]** Beispiele für geeignete Peroxoester umfassen Cumol-peroxyneodecanoat, 1,1,3,3-Tetramethylbutylperoxyneodecanoat, tert-Amylperoxyneodecanoat, tert-Butylperoxyneodecanoat, 1,1,3,3-Tetramethylbutylperoxy-pivalat, tert-Amylperoxy-pivalat, tert-Butylperoxy-pivalat, Didecanoyl-peroxid, Dilauroyl-peroxid, 2,5-Dimethyl-2,5-di(2-ethylhexanoylperoxy)-hexan, 1,1,3,3-Tetramethylbutylperoxy-2-ethylhexanoat, tert-Amylperoxy-2-ethylhexanoat, Dibenzoyl-peroxid, tert-Butylperoxy-2-ethylhexanoat, tert-Butylperoxyisobutyrate, tert-Butylperoxy-3,5,5-trimethylhexanoat, tert-Butylperoxyacetat und tert-Butylperoxybenzoat.

**[0113]** Beispiele für geeignete Hydroperoxide umfassen Di-isopropylbenzol-monohydroperoxid, p-Menthanhydroperoxid, Cumolhydroperoxid, 1,1,3,3-Tetramethylbutylhydroperoxid, tert-Butylhydroperoxid und tert-Amylhydroperoxid.

**[0114]** Beispiele für geeignete Alkylperoxide umfassen Diisobutyryl-peroxid, Di-(3,5,5-trimethylhexanoyl)-peroxid, 1,1-Di-(tert-butylperoxy)-3,3,5-trimethylcyclohexan, 1,1-Di-(tert-butylperoxy)-cyclohexan, 2,2-Di-(tert-butylperoxy)-butan, Di-tert-amylperoxid, Dicumyl-peroxid, Di-(2-tert-butyl-peroxyisopropyl)-benzen, 2,5-Dimethyl-2,5-di-(tert-butylperoxy)-hexan, tert-Butylcumyl-peroxid, 2,5-Dimethyl-2,5-di(tert-butylperoxy)-hexin und Di-tert-butyl-peroxid.

**[0115]** Beispiele für Peroxodicarbonate umfassen Di-(4-tert-butyl-cyclohexyl)-peroxodicarbonat, Di-(2-ethylhexyl)-peroxodicarbonat, Di-n-butylperoxodicarbonat, Dicytyl-peroxodicarbonat, Dimyristil-peroxodicarbonat und Mischungen davon.

**[0116]** Beispiele für geeignete Peroxomonocarbonate umfassen tert-Amyl-peroxy-2-ethylhexylcarbonat, tert-Butyl-peroxyisopropylcarbonat und tert-Butyl-peroxy-2-ethylhexylcarbonat.

**[0117]** Die Peroxoverbindung (f2) liegt in den erfindungsgemäßen Massen bevorzugt in einem Anteil von 0 bis 10 Gew.-% vor, weiter bevorzugt 0,1 bis 5 Gew.-%, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Masse.

**[0118]** Der thermische Initiator (f2) kann zusätzlich zu oder anstelle des radikalischen Photoinitiator (f1) enthalten sein.

#### Komponente (g): Zusatzstoffe

**[0119]** Neben den Komponenten (a) bis (f) können die erfindungsgemäßen Massen weitere Zusatzstoffe (g) enthalten. Bevorzugte Zusatzstoffe (g) sind Zähigkeitsmodifikatoren wie Core-Shell-Partikel (Kaneka KaneAce™-Serie, Dow Paraloid™ EXL-Serie, Wacker Genioperl®) oder Block-Copolymere, reaktive Elastifizierungsmittel (beispielsweise geblockte Isocyanat-Präpolymere gemäß US 5 278 257 A), Farbstoffe, Pigmente, Fluoreszenzmittel, Thixotropiermittel, Verdicker, Stabilisatoren, Antioxidantien, Weichmacher, Füllstoffe, Flammenschutzmittel, Korrosionsinhibitoren, inerte Verdünnungsmittel, Katalysatoren, Verlaufs- und Benetzungsadditive und Haftvermittler, sowie Kombinationen davon.

**[0120]** Neben dem polymeren Füllstoff (d) können insbesondere weitere organische oder anorganische Füllstoffe, die nicht durch die Komponente (d) erfasst sind, als Zusatzstoff (g1) enthalten sein. Diese erlauben beispielsweise die Einstellung der mechanischen, enthalpischen, thermischen, rheologischen und elektrischen Eigenschaften der Massen und können vorteilhaft eingesetzt werden, um die Beständigkeit der gehärteten Masse gegenüber Temperatur-, Feuchte- und Medieneinflüssen zu erhöhen.

**[0121]** Geeignete Füllstoffe (g1) sind beispielsweise Verbindungen aus Gruppe der Oxide, Nitride, Boride, Carbide, Sulfide und Silicide von Metallen und Halbmetallen, einschließlich gemischte Verbindungen mehrerer Metalle und/oder Halbmetalle, Kohlenstoffmodifikationen wie Diamant, Graphit und Kohlenstoffnanoröhren, Silicate und Borate von Metallen und Halbmetallen, alle Arten von Gläsern, Metalle und Halbmetalle in elementarer Form, in Form von Legierungen oder intermetallischen Phasen und Partikel aus polymeren Materialien, wie beispielsweise Silikon und PTFE.

**[0122]** Um den Wärmeeintrag zum Wiederlösen der Massen insbesondere bei der Bestrahlung mit IR-Strahlern zu beschleunigen, können ferner IR-absorbierende Farbstoffe, wie sie in der EP 3 943 534 A1 beschrieben werden, als Zusatzstoff (g2) vorteilhaft eingesetzt werden. Diese ermöglichen nicht nur einen effizienteren Eintrag von Wärmeenergie in die Klebeschicht, sondern gleichzeitig auch ein schnelleres Erwärmen und damit auch Wiederablösen der gehärteten Masse.

**[0123]** Die weiteren Zusatzstoffe (g) liegen in den erfindungsgemäßen Massen in einem Anteil von 0 bis 50, bevorzugt 1 - 30 Gew.-% vor, bezogen auf das Gesamtgewicht der Masse.

#### Formulierung der erfindungsgemäßen Massen:

**[0124]** Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform besteht die erfindungsgemäße Masse aus den folgenden Komponenten:

- a) Mindestens einer Epoxidverbindung, die mindestens eine di- oder höherfunktionelle aromatische Epoxidverbindung umfasst;
- b) Mindestens einem fester Härter auf Stickstoffbasis, ausgewählt aus der Gruppe der Amine, Hydrazide, Cyanamide oder Imidazole;

- c) wahlweise einem Beschleuniger für die Epoxidhärtung;
- d) 15 - 50 Gew.-% eines organischen Füllstoffes, ausgewählt aus der Gruppe der Polyamide;
- g) wahlweise weiteren Zusatzstoffen.

**[0125]** Gemäß einer zweiten bevorzugten Ausführungsform besteht die erfindungsgemäße Masse aus den folgenden Komponenten, jeweils bezogen auf das Gesamtgewicht der Komponenten a) bis g):

- a) Mindestens einer Epoxidverbindung, die mindestens eine di- oder höherfunktionelle aromatische Epoxidverbindung umfasst;
- b) Mindestens einem festen Härter auf Stickstoffbasis, ausgewählt aus der Gruppe der Amine, Hydrazide, Cyanamide oder Imidazole;
- c) wahlweise einem Beschleuniger für die Epoxidhärtung;
- d) 15 - 50 Gew.-% eines organischen Füllstoffes, ausgewählt aus der Gruppe der Polyamide,
- e) 1 - 30 Gew.-% einer durch radikalische Polymerisation härtbaren Verbindung, die mindestens ein (Meth)Acrylat umfasst;
- f) mindestens eines Initiators für die radikalische Polymerisation, ausgewählt aus der Gruppe der Photoinitiatoren und/oder thermischen Initiatoren, und;
- g) wahlweise weiteren Zusatzstoffen.

**[0126]** Die Massen der zweiten Ausführungsform sind für den Fall, dass diese mindestens einen Photoinitiator für die radikalische Polymerisation enthalten, zusätzlich durch Bestrahlung fixierbar. Sie eignen sich daher, um die flüssige Masse bereits vor der Warmhärtung in einen formstabilen Zustand zu überführen, in dem kein Verfließen mehr stattfinden kann. Dadurch wird die Handhabung der Masse in weiteren Prozessschritten erleichtert. Anstatt oder zusätzlich zu dem Einsatz eines Photoinitiators können auch thermische Initiatoren als Komponente (f) verwendet werden. Durch diese können auch radikalisch härtbare Bestandteile in Schattenzonen durch Erwärmen vollständig gehärtet werden.

#### Härtung der erfindungsgemäßen Massen

**[0127]** Bei Temperaturen von 100 bis 160 °C lassen sich die Massen innerhalb von 4 h, bevorzugt innerhalb von 2 h vollständig aushärten.

**[0128]** Temperaturabgestufte Härtingsprofile sind ebenfalls im Sinne der Erfindung.

**[0129]** Das Erwärmen der Masse zur Härtung kann beispielsweise in Konvektionsöfen, durch Thermoden, IR Strahler, Laser, Mikrowellen oder Induktion erfolgen.

**[0130]** Werden die erfindungsgemäßen Massen zwei- oder mehrkomponentig formuliert, so kann die Härtung bereits bei Raumtemperatur über einen Zeitraum von bis zu 7 Tagen, bevorzugt bis zu 5 Tagen erfolgen.

**[0131]** Die Aushärtungstemperatur der erfindungsgemäßen Massen wird bevorzugt so gewählt, dass diese unterhalb des Schmelzpunktes der Komponente (d) liegt. Dadurch kann ein Aufschmelzen des teilkristallinen polymeren Füllstoffes (d) schon während der Aushärtung vermieden werden.

**[0132]** Die durch DSC-Messung bestimmte Schmelzenthalpie der gehärteten Masse beträgt vorzugsweise mindestens 10 J/g, weiter bevorzugt mindestens 20 J/g.

#### Verwendung der erfindungsgemäßen Massen

**[0133]** Die erfindungsgemäßen Massen eignen sich zur Erzeugung wiederlösbarer Verklebungen, Beschichtungen und Vergüsse. Insbesondere sind die Massen für Bauteile geeignet, die im Laufe ihres normalen Betriebes hohen mechanischen und thermischen Belastungen, sowohl dauerhaft als auch periodisch, ausgesetzt sind. Die gehärteten Massen zeichnen sich dadurch aus, dass sie eine hohe Festigkeit und Beständigkeit aufweisen, gleichzeitig jedoch bei erhöhter Temperatur wiederlösbar sind. Bauteile, die unter Verwendung der Masse gefügt wurden, können durch Erwärmen auf eine vordefinierte Temperatur mit nur geringem

Krafteintrag wieder gelöst werden. Bevorzugt liegt die Ablösetemperatur am oder oberhalb des weiteren Wendepunkts in der DMTA-Kurve des Speichermoduls der gehärteten Masse.

**[0134]** So können die Massen beispielsweise zur Fertigung von Elektromotoren (E-Motoren) eingesetzt werden. Im Speziellen können Magnete in E-Motoren unter Verwendung der Massen verklebt werden. Insbesondere bei leistungsstarken E-Motoren enthalten die Magnete Metalle der Seltenen Erden, deren Wiedergewinnung regelmäßig von hohem wirtschaftlichem Interesse ist. Gleichzeitig sind die Massen über die Lebensdauer eines E-Motors hohen Temperaturen und je nach Anwendungsfall teilweise auch Belastungen durch Medien wie Stäube, Öle, Fette, Kühlmittel, Schmierstoffen oder Lösungsmitteln ausgesetzt. Die Massen der vorliegenden Erfindung halten diesen Belastungen auch über eine lange Betriebszeit stand.

**[0135]** Weitere Anwendungen, in denen sich die erfindungsgemäßen Massen vorteilhaft einsetzen lassen, umfassen strukturelle Verklebungen in Automotive-Anwendungen im Bereich des Antriebsstranges, aber auch beispielsweise Füge- oder Vergussanwendungen in der Chipindustrie.

**[0136]** Grundsätzlich eignen sich die Massen stets für Anwendungen, in denen sehr hochpreisige Bauteile zum Einsatz kommen, deren Entsorgung einen großen wirtschaftlichen Verlust darstellt.

**[0137]** Soll eine Ablösung der gehärteten Masse von einem Bauteil oder aus einem Substratverbund erfolgen, so werden vorteilhaft Ablösetemperaturen gewählt, die am oder oberhalb der Temperatur am weiteren Wendepunkt in der DMTA-Kurve des Speichermoduls der gehärteten Masse liegen.

**[0138]** Bevorzugt liegt die Ablösetemperatur in einem Bereich zwischen der Temperatur am weiteren Wendepunkt und bis zu 50 °C, weiter bevorzugt bis zu 20 °C, über dem Endset des Modulabfalls. In bevorzugten Ausführungsformen liegt die Ablösetemperatur bei höchstens 320 °C, bevorzugt höchstens 280 °C und besonders bevorzugt höchstens 250 °C. Bei höheren Temperaturen besteht die Gefahr, dass die zu trennenden Bauteile thermisch beschädigt werden können.

**[0139]** Die für das Erreichen der Ablösetemperatur nötige Wärme kann beispielsweise über einen Ofen, Induktion, Laser, Mikrowellen, Thermoden oder Infrarotstrahler eingetragen werden.

**[0140]** Die Dauer des Wärmeeintrags variiert dabei in Abhängigkeit der Methode der Wärmeerzeugung, der Größe und Beschaffenheit der Bauteile, der Menge der zu lösenden Masse und der Zugänglichkeit der Klebeschicht für Wärme.

**[0141]** Insbesondere bei großen Bauteilen, die aus metallischen Materialien aufgebaut sind, kann der Wärmeeintrag schnell und effizient durch induktive Wechselfelder erfolgen.

**[0142]** Oberhalb der Temperatur am weiteren Wendepunkt in der DMTA-Kurve des Speichermoduls lassen sich die Fügeverbindungen aus der gehärteten Masse durch geringe mechanische Kräfte lösen und die Bauteile voneinander trennen. Eine geringe verbleibende Restfestigkeit der gehärteten Masse, auch bei einer Erwärmung auf Temperaturen oberhalb der Ablösetemperatur, stellt dabei sicher, dass vor allem große Bauteile sich nicht unkontrolliert voneinander lösen.

**[0143]** Damit der nötige Krafteintrag in die Bauteile gering bleiben kann, wäre ein möglichst niedriger Speichermodul der gehärteten Massen von Vorteil. Dies steht jedoch den Anforderungen an eine feste und dauerhafte Verklebung auch unter hohen thermischen und mechanischen Belastungen entgegen. Um beide Anforderungen erfüllen zu können, weisen die gehärteten Massen in der DMTA-Kurve bevorzugt einen Abfall des Speichermoduls zwischen Onset und Endset des den weiteren Wendepunkt umfassenden Temperaturbereichs, oberhalb der Glasübergangstemperatur, von mindestens 30 %, weiter bevorzugt mindestens 45 %, auf.

**[0144]** Ein geringerer Abfall des Speichermoduls kann auch durch eine temperaturbedingte Erweichung der gehärteten Masse eintreten. Dieser Abfall verläuft jedoch im Wesentlichen stetig über einen weiten Temperaturbereich und stellt keinen Wendepunkt im Sinne der Erfindung dar. Eine effiziente thermomechanische Wiederablösbarkeit ist in ausreichendem Maß nur unter Verwendung des polymeren Füllstoffes (d) gegeben.

**[0145]** Unterhalb der Temperatur am weiteren Wendepunkt zeigen die unter Verwendung der erfindungsgemäßen Massen hergestellten Fügeverbindungen eine hohe Festigkeit, insbesondere Zugscherfestigkeit, und eine hohe Beständigkeit gegenüber mechanischen, thermischen und chemischen Belastungen. Erst mit

Überschreiten der Temperatur am weiteren Wendepunkt und/oder Erreichen der Ablösetemperatur tritt ein nahezu sprunghafter Festigkeitsabfall auf.

Füge- oder Beschichtungsverfahren unter Verwendung der erfindungsgemäßen Massen

**[0146]** Ein Verfahren zur Herstellung eines Bauteils unter Verwendung einer härtbaren Masse gemäß der Erfindung umfasst bevorzugt folgende Schritte:

- a) Dosieren der Masse auf ein erstes Substrat;
- b) Wahlweise Zuführen eines zweiten Substrats unter Bildung eines Substratverbundes, wobei das zweite Substrat mit der Masse in Kontakt gebracht wird;
- c) Wahlweise Bestrahlen der Masse mit aktinischer Strahlung zum Erreichen einer Fixierfestigkeit, welche für eine Weiterverarbeitung des ersten Substrats oder des Substratverbundes ausreichend ist; und
- d) Erwärmen der wahlweise bestrahlten Masse auf dem Substrat oder in dem Substratverbund auf eine vorbestimmte Aushärtungstemperatur bis zur Aushärtung, unter Bildung des Bauteils mit dem Substrat und einer ausgehärteten, mit dem Substrat und wahlweise dem weiteren Substrat verbundenen Klebeschicht, wobei die Klebeschicht durch Erwärmen auf eine vorbestimmte Ablösetemperatur thermomechanisch von dem Substrat lösbar ist.

**[0147]** Um eine ausreichende Dosierfähigkeit zu gewährleisten, sind die Massen bevorzugt flüssig bei Raumtemperatur und weisen typischerweise eine Viskosität zwischen 10 und 700 Pa\*s auf.

**[0148]** Falls es die Anwendung erfordert, kann wahlweise das erste oder zweite Substrat nach dem Fügen in Schritt b) relativ zum jeweils anderen ausgerichtet werden, bevor eine Fixierung durch Bestrahlung der Masse erfolgt.

**[0149]** In einer weiteren bevorzugten Ausführungsform ist die Verwendung der Masse in einem sogenannten B-Stage Verfahren vorgesehen. Hierbei kann das Dosieren der Masse auf das erste Substrat und das Zuführen eines zweiten Substrates zeitlich und räumlich getrennt erfolgen, indem die Masse nach Auftrag auf das erste Substrat mit aktinischer Strahlung fixiert wird. Die Fließfähigkeit wird durch den Fixierschritt soweit eingeschränkt, dass es zu keiner weiteren Veränderung des Dosierbildes auf dem Bauteil kommt. In einem nachgelagerten Schritt kann das Substrat mit einem weiteren gefügt und anschließend durch Erwärmen vollständig gehärtet werden.

**[0150]** Geeignete Massen für ein derartiges Verfahren können durch die zweite bevorzugte Ausführungsform erhalten werden.

#### Eigenschaften der gehärteten Massen

**[0151]** Die ausgehärteten Massen auf der Grundlage von aromatischen Epoxidverbindungen besitzen neben ihrer Wiederablösbarkeit von gefügten, beschichteten oder vergossenen Substraten eine hohe Beständigkeit gegenüber Medien, Temperatur und Feuchtigkeit. Gleichzeitig weisen sie eine hohe Verbundfestigkeit auch unter Temperaturbelastung auf.

**[0152]** Die gehärteten Massen erzielen Zugscherfestigkeiten auf Metallen wie beispielsweise Aluminium oder Stahl, von mindestens 5 MPa bei Raumtemperatur und mindestens 3 MPa bei den in der Anwendung vorkommenden Betriebstemperaturen.

**[0153]** Der E-Modul der gehärteten Massen ist bevorzugt größer als 100 MPa, bevorzugt größer 150 MPa.

**[0154]** Die Glasübergangstemperatur der gehärteten Massen beträgt bevorzugt mindestens 80 °C, bevorzugt mindestens 100 °C, besonders bevorzugt mindestens 120 °C. Eine hohe Glasübergangstemperatur gewährleistet einen geringen Festigkeitsabfall auch bei erhöhten Temperaturen.

**[0155]** Erfindungsgemäß sind die gehärteten Massen bei einer vorbestimmten Ablösetemperatur, bevorzugt am oder oberhalb der Temperatur am weiteren Wendepunkt in der DMTA-Kurve des Speichermoduls, wiederablösbar. Bei dieser Ablösetemperatur beträgt die Zugscherfestigkeit der gehärteten Massen auf Stahl bevorzugt höchstens 2 MPa, weiter bevorzugt höchstens 1 MPa.

**[0156]** Die als Füllstoff (d) eingesetzten mindestens teilkristallinen Polyamide weisen einen relativ engen Schmelzbereich auf. Dadurch tritt auch der Festigkeitsabfall der gehärteten Masse in einem eng begrenzten Temperaturintervall auf, sobald der Onset des Modulabfalls in der DMTA-Kurve des Speichermoduls überschritten wird. Die Ablösetemperatur der Masse kann somit über die Auswahl des Füllstoffs (d) zuverlässig eingestellt und an die jeweilige Anwendung angepasst werden.

**[0157]** Der in Abhängigkeit der Temperatur gemessene Speichermodul der gehärteten Masse besitzt im Kurvenverlauf der Dynamisch-Mechanisch-Thermischen-Analyse (DMTA) mindestens einen weiteren Wendepunkt oberhalb der Glasübergangstemperatur. Dieser Wendepunkt liegt innerhalb eines Temperaturbereichs, in dem ein steiler und ausgeprägter Abfall des Speichermoduls sowie der Festigkeit der gehärteten Masse auftritt.

**[0158]** Zusätzlich zu der bei der Glasübergangstemperatur auftretenden Stufe erzeugt die Zugabe des mindestens teilkristallinen Polyamids somit eine weitere Stufe im Speichermodul der gehärteten Masse. Beim Erwärmen über die Temperatur am weiteren Wendepunkt hinaus wird diese Stufe überschritten und es kommt bei den erfindungsgemäß verwendeten Massen zu einer deutlichen Abnahme des Speichermoduls. Insbesondere liegt der Abfall des Speichermoduls zwischen Onset und Endset des den weiteren Wendepunkt umfassenden Temperaturbereichs bei mindestens 30 %, weiter bevorzugt mindestens 45 %.

**[0159]** In einem vergleichbaren Temperaturbereich reduziert sich auch die Zugscherfestigkeit einer Stahl-Stahl-Verklebung mit den erfindungsgemäß verwendeten Massen, so dass oberhalb der Temperatur am weiteren Wendepunkt ein wesentlich geringerer Kraftaufwand zum Ablösen der Klebschicht erforderlich ist. Gleichzeitig werden durch das mindestens teilkristalline Polyamid als Füllstoff (d) die Glasübergangstemperaturen der gehärteten Massen und die Zugscherfestigkeiten bei Raumtemperatur nicht negativ beeinflusst.

#### Verwendete Messverfahren und Definitionen

##### Bestrahlung

**[0160]** Zur Bestrahlung wurden die erfindungsgemäßen Massen mit einer LED-Lampe DELOLUX 20 / 365 der Firma DELO Industrie Klebstoffe GmbH & Co. KGaA bei einer Wellenlänge von 365 nm mit einer Intensität von  $200 \pm 20$  mW/cm<sup>2</sup> für eine Dauer von 60 s bestrahlt.

##### Aushärtung

**[0161]** „Vernetzung“ oder „Aushärtung“ werden definiert als Polymerisations- oder Additionsreaktion über den Gelpunkt hinaus. Der Gelpunkt ist der Punkt, an dem bei oszillierender Rheologiemessung das Speichermodul  $G'$  gleich dem Verlustmodul  $G''$  wird. Die Aushärtung der Massen erfolgte in einem Umluftofen für 40 min bei 150 °C.

##### Raumtemperatur

**[0162]** Raumtemperatur ist definiert als  $23 \pm 2$  °C.

##### Beurteilung der Lichtfixierung

**[0163]** Zur Beurteilung der Lichtfixierung (fest vs. flüssig) werden die Massen einer optischen Beurteilung unterzogen. Optional erfolgt eine haptische Prüfung unter Zuhilfenahme eines Kunststoffspatels.

##### Viskositätsbestimmung

**[0164]** Die Viskosität wurde mit einem Rheometer Physica MCR302 der Firma Anton Paar mit einem standardisierten Messkegel PP20 bei 23 °C mit einem 500 µm Spalt gemessen und bei einer Scherrate von 10/Sekunde bestimmt.

##### Bestimmung des Schmelzpunkts und der Schmelzenthalpie

**[0165]** Die Bestimmung der Schmelzenthalpie und des Schmelzpunkts erfolgte mittels Differential Scanning Calorimetry (DSC) an einer „DSC2“ der Fa. Mettler Toledo in Anlehnung an DIN EN ISO 11357-3:2018-07. Als Schmelzpunkt wird die Temperatur am Maximum des größten endothermen Peaks des jeweiligen Mess-

laufs definiert. Es wurden Al-Tiegel mit einem Volumen von 40 µl mit gelochtem Deckel verwendet. Die Messungen an den teilkristallinen polymeren Füllstoffen (d) wurden im Bereich von 30 °C bis 280 °C mit einer Heizrate von 10 K/min unter Stickstoff durchgeführt. Abweichend von der Norm wurden Schmelzpunkt und -enthalpie im ersten Heizlauf ermittelt. Zur Messung des Schmelzpunktes und der Schmelzenthalpie der gehärteten Massen wurden diese zunächst 40 min bei 150 °C in einem Umluftofen ausgehärtet. Optional erfolgte vorab eine Bestrahlung. Die Messung erfolgte in einem Al-Tiegel mit einem Volumen von 40 µl mit gelochtem Deckel, unter Luft in einem Temperaturbereich von 0 °C bis 250 °C mit einer Heizrate von 10 K/min.

#### Zugscherfestigkeit bei Raumtemperatur (Aluminiumprüfkörper)

**[0166]** Die Bestimmung der Zugscherfestigkeit bei Raumtemperatur erfolgte in Anlehnung an DIN EN ISO 1465:2009-07. Es wurden Probekörper mit den Maßen 100 mm Länge, 25 mm Breite und 1,6 mm Dicke verwendet und mit einer Überlappung von 12,5 mm und Klebschichtdicke von 0,1 mm verklebt. Die Prüfgeschwindigkeit betrug 10 mm/min. Die Prüfung erfolgte bei Raumtemperatur an einer Universalprüfmaschine „AllroundLine 20kN“ der Firma Zwick Roell. Die Aushärtezeit betrug 40 min bei 150 °C zuzüglich Aufheizzeit. Als Probekörper wurden mit Aluminium plattierte und korundgestrahlte Probekörper aus AlMgCu verwendet.

#### Zugscherfestigkeit bei erhöhten Temperaturen (Stahlprüfkörper)

**[0167]** Die Bestimmung Zugscherfestigkeit bei erhöhter Temperatur (Temperaturfestigkeit) erfolgte in Anlehnung an DIN EN 14869-2:2004-10. Die Länge der Probekörper betrug von der Norm abweichend 50 mm anstelle 57,5 mm für die lange Seite und 30 mm anstelle 51 mm für die kurze Seite. Die Dicke der Probekörper betrug 15 mm anstelle von 12 mm. Die Überlappungslänge der Verklebung betrug 10 mm. Die Klebschichtdicke betrug 0,3 mm. Die Prüfgeschwindigkeit war 10 mm/min bei der jeweils angegebenen Prüftemperatur. Die Prüfung erfolgte bei der angegebenen Temperatur an einer Prüfmaschine von Zwick Roell des Typs „AllRoundLine“. Die Aushärtezeit betrug 40 min bei 160 °C zuzüglich 45 min Aufheizzeit. Die Prüfkörper bestanden aus korundgestrahltem Stahl (S235).

#### Bestimmung der Glasübergangstemperatur ( $T_G$ ) und des Speichermoduls

**[0168]** Die Bestimmung der dynamisch-mechanischen Eigenschaften der ausgehärteten Massen erfolgte durch Dynamisch Mechanisch Thermische Analyse (DMTA) in Anlehnung an ISO 6721. Die Aushärtung der Probekörper mit den Maßen 40x5x0,5 mm<sup>3</sup> erfolgte für 40 min bei 150 °C in einer geeigneten Kunststoffform. Als Glasübergangstemperatur wird jener Wert definiert, bei dem der Betrag der 1. Ableitung des Speichermoduls ( $E'$ ) maximal wird (Wendepunkt, vgl. ISO 6721-11:2012 Abschnitt 3.1). Der Speichermodul für die jeweiligen Temperaturen wurde nach ISO 6721-4:2008 ermittelt. Die Messung wurde in einem Temperaturbereich von 0 - 300 °C mit einer Heizrate von 1 K/min bei einer Frequenz von 1 Hz mit einer Amplitude von 30 µm durchgeführt. Als Messgerät wurde eine „DMA 242E“ der Fa. Netzsch verwendet.

#### Partikelgrößenverteilung

**[0169]** Die Partikelgrößenverteilung wurde mit einem Partikelgrößen-Analysator S3500 der Firma Microtrac durch Laserlichtbeugung in Anlehnung an die ISO 13320 bestimmt. Die mit der Größe D50 angegebene Verteilung bezieht sich auf den mittleren volumetrischen Teilchendurchmesser.

#### Herstellung der härtbaren Massen

**[0170]** Zur Herstellung der in den folgenden Beispielen verwendeten härtbaren Massen werden zunächst die flüssigen Bestandteile gemischt und anschließend die Füllstoffe und wahlweise weitere Feststoffe mithilfe eines Laborrührwerks, Labordissolvers oder eines Speedmixers (Fa. Hauschild) eingearbeitet, bis eine homogene Masse entsteht. Massen, die Photoinitiatoren enthalten und die sensitiv gegenüber sichtbaren Licht sind, müssen entsprechend unter Licht außerhalb der Anregungswellenlänge der Photoinitiatoren oder Sensibilisatoren hergestellt werden.

**[0171]** In der nachfolgenden Liste sind alle zur Herstellung der härtbaren Massen verwendeten Verbindungen und deren Abkürzungen angegeben:

Komponente (a): Epoxidverbindung

(a1) Epikote Resin 169 (Mischung aus Bisphenol A- und Bisphenol F-Diglycidylethern; erhältlich von der Firma Westlake);

(a2) Kane ACE MX 257 (in Bisphenol A-Diglycidylether dispergierte Kautschukpartikel; erhältlich von der Firma Kaneka)

(a3) Tactix 742 (Triglycidylether von Tris(hydroxyphenyl)methan; erhältlich von der Firma Huntsman)

(a4) Epilox P 13-21 (1,4-Butandiol diglycidylether; erhältlich von der Firma Leuna Harze)

(a5) Epikote Resin 828 LVEL (chlorarmes Bisphenol A Harz; erhältlich von der Firma Westlake);

Komponente (b): Härter auf Stickstoffbasis

(b1) Epikure Curing Agent 921 Super SH (Dicyandiamid; erhältlich von der Firma Westlake)

(b2) Ancamine 2014 FG (Amin-basierter Feststoffhärter; erhältlich von der Firma Evonik)

(b3) Technicure IDH-J (Isophthalsäuredihydrazid; erhältlich von der Firma ACCI Specialty Materials)

(b4) Adeka Hardener EH-5011S (Imidazol-basierter Feststoffhärter; erhältlich von der Firma Adeka)

Komponente c): Beschleuniger

(c1): DYHARD UR 500 (Uron-basierter Beschleuniger, erhältlich von der Firma Alzchem)

Komponente (d): Füllstoffe

(d1): Orgasol 1002 D NAT 1 (Polyamid 6; erhältlich von der Firma Arkema), Schmelzbereich DSC (10 K/min) 205 °C (Onset) über 214 °C (Peak) bis 220 °C (Endset) mit einem Betrag der Enthalpie von 116 J/g

(d2): Rilsan PA11 D30 NAT (Polyamid 11; erhältlich von der Firma Arkema) Schmelzbereich DSC (10 K/min) 180 °C (Onset) über 190 °C (Peak) bis 194 °C (Endset) mit einem Betrag der Enthalpie von 85 J/g

Komponente (e): radikalisch härtbare Verbindung

(e1): Photomer4006 (Trimethylolpropantriacylat; erhältlich von der Firma IGM Resins)

Komponente (f): Initiator für die radikalische Polymerisation

(f1): Genocure TPO-L (Photoinitiator erhältlich von der Firma Rahn AG) Komponente (g): Weitere Additive

(g1): Cab-O-Sil TS-720 (Rheologieadditiv; erhältlich von der Firma Cabot Corporation)

(g2): Ulmer Weiß XMF (mikronisierter Kreide-Füllstoff; erhältlich von der Firma Eduard Merkle GmbH & CO. KG)

(g3): Elvacite 2614 (mikronisiertes Methacrylat-Copolymer; erhältlich von der Firma Mitsubishi Chemical Corporation)

(g4): Dynasylan GLYMO (Haftvermittler; erhältlich von der Firma Evonik)

**[0172]** Die Zusammensetzung der so hergestellten härtbaren Massen und die an diesen Massen gemessenen Eigenschaften sind in den nachfolgenden Tabellen angegeben.

Tabelle 1: Zusammensetzung der härtbaren Massen

Beispiel Komponente	C1	V1	V2	C2	V3	V4	C3	V5	V6	V7
(a1)	39,5	39,5	39,5	39,5	57,5	10,0	41,4	41,4	39,5	41,4
(a2)	10,0	10,0	10,0	10,0		10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
(a3)	7,2	7,2	7,2	7,2		4,8			7,2	
(a4)	2,0	2,0	2,0	2,0					2,0	
(a5)						12,7				
(b1)	4,4	4,4	4,4	4,4	5,0		3,0	3,0	4,4	3,0
(b2)							10,0	10,0		10,0
(b3)						16,0				
(b4)						1,0				
(c1)	1,3	1,3	1,3	1,3	1,5				1,3	
(d1)		20,0	35,0		35,0	30,0		35,0		
(d2)										
(e1)						13,0				
(f1)						1,0				
(g1)	0,6	0,6	0,6	0,6	1,0	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6
(g2)	35,0	15,0					35,0			
(g3)				35,0						
(g4)						0,9				

Tabelle 2: Mechanisch-thermische Eigenschaften der gehärteten Massen

Messung	Messgröße	C1	V1	V2	C2	V3	V4	C3	V5	V6	V7
DMTA, Zug	Tg (erster Wendepunkt E') [°C]	134	127	132	86	121	152	120	117	133	124
	T (Onset Modulabfall) [°C]	n.b.	187	192	n.b.	201	190	n.b.	196	172	172
	T (weiterer Wendepunkt) [°C]	n.b.	190	195	n.b.	204	193	n.b.	199	174	174
	T (Endset Modulabfall) [°C]	n.b.	196	201	n.b.	211	200	n.b.	204	179	180
DSC	E' (23°C) [MPa]	3990	2530	2900	4243	2697	3390	4560	2890	1783	2200
	E' (Onset) [MPa]	n.b.	41	29	n.b.	31	183	n.b.	54	61	79
	E' (Endset) [MPa]	n.b.	21	9	n.b.	6	75	n.b.	17	14	19
	Abfall E' zwischen Onset-Endset [%]	n.b.	49	69	n.b.	81	59	n.b.	69	77	76
Zugscherfestigkeit	Schmelzpunkt [°C]	-	-	212	-	-	-	-	-	187	-
	(gehärtete Masse) Schmelzenthalpie [J/g]	-	-	42	-	-	-	-	-	33	-
Temperaturfestigkeit	(gehärtete Masse) AI/AI @ RT [MPa]	21,4	22,2	20,1	n.b.	n.b.	15,9	18,2	18,8	-	-
	(St/St) [MPa] 180°C	8,03	-	3,7	1,54	-	-	-	-	23,3	25,2
Temperaturfestigkeit nach thermischer Einlagerung	(St/St) [MPa] 220°C	5,67	-	1,17	1,54	-	-	-	-	-	-
	Abnahme [°]	29	-	68	0	-	-	-	-	-	-
Temperaturfestigkeit nach thermischer Einlagerung	180 °C nach 1000h	7,25	-	-	-	-	5,12	-	-	-	-
	220 °C nach 1000h	5,26 27	-	-	-	-	1,4 73	-	-	-	-
	Abnahme [°]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

**[0173]** Die erfindungsgemäßen Beispiele V1 und V2 enthalten ein teilkristallines Polyamid als Füllstoff (d) mit einem Schmelzpunkt von 214 °C, definiert als Peaktemperatur der DSC-Messung. Die Zugabe des teilkristallinen Polymers erzeugt eine weitere Stufe in der DMTA-Kurve des Speichermoduls der Masse, die einen weiteren Wendepunkt oberhalb der Glasübergangstemperatur aufweist. Im Falle der Beispiele V1 und V2 liegt der weitere Wendepunkt bei 190 °C bzw. 195 °C. Beim Erwärmen der Masse über den weiteren Wendepunkt hinaus wird diese Stufe überschritten. Es kommt bei den erfindungsgemäßen Beispielen V1 und V2 im Temperaturbereich zwischen Onset und Endset des Modulabfalls zu einer Abnahme des Speichermoduls um 49 % bzw. 69 %.

**[0174]** Das Vergleichsbeispiel C1 enthält keinen polymeren Füllstoff. Die DMTA-Kurve des Speichermoduls von Vergleichsbeispiel C1 weist oberhalb der Glasübergangstemperatur keinen weiteren Wendepunkt auf. Die Masse C1 ist damit nicht zur Herstellung einer im Sinne der Erfindung thermomechanisch wiederablösbaren Fügeverbindung geeignet.

**[0175]** Im Temperaturbereich zwischen 180 °C und 220 °C reduziert sich die Zugscherfestigkeit in einer Stahl-Stahl-Verklebung mit der erfindungsgemäßen Masse V2 um 68 %, während die Zugscherfestigkeit der Masse von Vergleichsbeispiel C1 nur um 29 % abfällt. V2 weist eine hohe Temperaturfestigkeit bei 180 °C von 3,7 MPa auf, wohingegen bei 220 °C die Temperaturfestigkeit nur noch 1,17 MPa beträgt. Die Temperaturfestigkeit bei 220 °C der Masse von Beispiel V2 liegt somit 4,8-mal niedriger als diejenige von Vergleichsbeispiel C1. Eine Fügeverbindung, die mit der Masse aus Beispiel V2 hergestellt wurde, erfordert damit einen wesentlich geringeren Kraftaufwand beim thermomechanischen Wiederablösen als eine Fügeverbindung aus der Masse von Vergleichsbeispiel C1. Weiterhin werden durch den polymeren Füllstoff (d) die Glasübergangstemperaturen der gehärteten Massen und die Zugscherfestigkeiten bei Raumtemperatur nicht negativ beeinflusst. Die erfindungsgemäßen Massen sind somit beständig gegen thermische und mechanische Belastungen.

**[0176]** Die Masse aus Vergleichsbeispiel C2 enthält ein amorphes Polymer als Füllstoff. Der Einsatz eines amorphen Füllstoffes (g3) anstelle eines teilkristallinen polymeren Füllstoffes (d) erzeugt keinen zusätzlichen Abfall des Speichermoduls. In der DMTA-Messung tritt oberhalb der Glasübergangstemperatur kein weiterer Wendepunkt auf. Ferner unterscheiden sich die Temperaturfestigkeiten bei 180 °C und bei 220 °C nicht. Die Masse C2 ist damit ebenfalls nicht im Sinne der Erfindung thermomechanisch wiederablösbar.

**[0177]** Die Masse von Beispiel V3 weist im Vergleich zu Beispiel V2 eine andere Epoxidharzzusammensetzung auf. Auch die gehärtete Masse von Beispiel V3 zeigt oberhalb der Glasübergangstemperatur einen weiteren Wendepunkt sowie einen Abfall des Speichermoduls um 81 % im Temperaturbereich zwischen Onset und Endset, und ist daher, analog zu den Massen der Beispiele V1 und V2, effizient thermomechanisch wiederablösbar.

**[0178]** Die Masse aus Beispiel V4 ist gemäß der zweiten bevorzugten Ausführungsform dualhärtend. Beispiel V4 enthält zusätzlich (Meth)acrylat als radikalisch härtbare Verbindung (e) sowie einen Photoinitiator für die radikalische Polymerisation (f1). Die Masse kann durch Bestrahlen mit aktinischer Strahlung fixiert und anschließend warm gehärtet werden. Aufgrund der Verwendung eines teilkristallinen polymeren Füllstoffes (d) weist auch das Speichermodul dieser Masse in der DMTA-Kurve einen weiteren Wendepunkt oberhalb der Glasübergangstemperatur der gehärteten Masse auf. Der Abfall des Speichermoduls im Temperaturbereich zwischen Onset und Endset beträgt 59 %. Damit ist auch die Masse von Beispiel V4 thermomechanisch effizient wiederablösbar.

**[0179]** Die Massen der erfindungsgemäßen Beispiele V5 und V7 und von Vergleichsbeispiel C3 enthalten eine Kombination verschiedener Härter für die Epoxidhärtung (b). Durch die Kombination mehrerer Härter lässt sich bereits ohne weitere Zugabe eines Beschleunigers (c) eine schnelle Aushärtung bei niedriger Temperatur erreichen. Die gehärtete Masse aus Beispiel V5 zeigt oberhalb der Glasübergangstemperatur im Temperaturbereich zwischen Onset und Endset einen weiteren Wendepunkt und eine Abnahme des Speichermoduls um 69 %. Damit ist auch die Masse aus Beispiel V5 effizient thermomechanisch wiederablösbar.

**[0180]** Die Massen der erfindungsgemäßen Beispiele V6 und V7 enthalten als polymeren Füllstoff (d2) ein teilkristallines Polyamid, dessen Schmelzpunkt bei 190 °C liegt. Der Abfall des Speichermoduls in der DMTA-Messung tritt in einem Temperaturbereich von 172 - 180 °C auf, wobei der weitere Wendepunkt bei einer Temperatur von 174 °C liegt. Ein effizientes Wiederablösen der gehärteten Masse ist daher bereits bei Temperaturen unterhalb von 190 °C möglich.

**[0181]** Die Masse aus Vergleichsbeispiel C3 zeigt in der DTMA-Messung oberhalb der Glasübergangstemperatur dagegen keinen wesentlichen Abfall des Speichermoduls.

**[0182]** Fig. 1 zeigt die DMTA-Kurve des Speichermoduls der gehärteten Massen der Beispiele V5 und V7. Die Glasübergangstemperatur der Harzmatrix wird als Wendepunkt bei 117 °C bzw. 124 °C angezeigt. Die Kurven weisen jeweils einen weiteren Wendepunkt oberhalb der Glasübergangstemperatur auf. Dieser liegt für Beispiel V5 bei 199 °C und für Beispiel V7 bei 174 °C. Dementsprechend ergibt der Betrag der 1. Ableitung des Speichermoduls jeweils ein Maximum am Glasübergangspunkt und ein Maximum am weiteren Wendepunkt im Bereich des Modulabfalls. Der Speichermodul der Massen V5 und V7 fällt im Temperaturbereich zwischen Onset und Endset um 69 % bzw. 76 %.

**[0183]** Die in Fig. 1 ebenfalls dargestellte DMTA-Kurve des Vergleichsbeispiels C3 weist oberhalb der Glasübergangstemperatur der Harzmatrix von 120 °C keinen weiteren Wendepunkt auf. Es kann lediglich eine geringe Abnahme des Speichermoduls beobachtet werden, die durch ein temperaturbedingtes Erweichen der Masse auftritt. Die Masse ist daher nicht wiederlösbar im Sinne der Erfindung.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- EP 1096517 A2 [0005]
- WO 1998031738 A1 [0006]
- JP 3808819 B2 [0007]
- US 5872158 A [0008]
- US 20070196612 A1 [0009]
- WO 2021033368 A1 [0010]
- EP 2084205 B1 [0011]
- DE 102018121067 A1 [0059]
- JP 2012153794 A [0070]
- EP 3075736 A1 [0072]
- US 5278257 A [0119]
- EP 3943534 A1 [0122]

**Zitierte Nicht-Patentliteratur**

- DIN EN ISO 11357-3:2018-07 [0165]

## Patentansprüche

1. Verwendung einer härtbaren Masse zur Herstellung eines Bauteils mit einer thermomechanisch wiederablösbaren Fügeverbindung, einer Beschichtung oder einem Verguss wobei die Masse die folgenden Komponenten umfasst:

- (a) mindestens eine Epoxidverbindung, die mindestens ein di- oder höherfunktionelles aromatisches Epoxid umfasst;
- (b) mindestens einen Härter, der für die Epoxidhärtung geeignet ist;
- (c) wahlweise einen Beschleuniger für die Epoxidhärtung;
- (d) mindestens einen polymeren Füllstoff in einem Anteil von 15 Gew.-% oder mehr, bezogen auf das Gesamtgewicht der Masse, wobei der polymere Füllstoff aus der Gruppe der Polyamide ausgewählt ist;
- (e) wahlweise eine oder mehrere durch radikalische Polymerisation härtbare Verbindungen;
- (f) wahlweise mindestens einen Initiator für die radikalische Polymerisation; und
- (g) wahlweise weitere Zusatzstoffe, wobei der polymere Füllstoff in der Masse als mindestens teilkristalliner Feststoff vorliegt und der Schmelzpunkt des polymeren Füllstoffs mindestens 120 °C beträgt.

2. Verwendung nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Anteil des polymeren Füllstoffs mindestens 20 Gew.-% beträgt.

3. Verwendung nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass Schmelzpunkt des Füllstoffs im Bereich von 120 bis 300 °C liegt.

4. Verwendung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Füllstoff eine Schmelzenthalpie von mindestens 40 J/g hat.

5. Verwendung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Füllstoff eine Partikelgrößenverteilung mit einem mittleren Partikeldurchmesser D50 von höchstens 100 µm aufweist.

6. Verwendung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die gehärtete Masse oberhalb der Glasübergangstemperatur mindestens einen weiteren Wendepunkt in der DMTA-Kurve des Speichermoduls aufweist.

7. Verwendung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Bauteil ein Magnet, ein Stator und/oder ein Rotor für einen Elektromotor ist.

8. Härtbare Masse zur Herstellung einer thermomechanisch wiederlösbaren Fügeverbindung, einer Beschichtung oder eines Vergusses, wobei die Masse die folgenden Komponenten umfasst:

- (a) mindestens eine Epoxidverbindung, die mindestens ein di- oder höherfunktionelles aromatisches Epoxid umfasst;
- (b) mindestens einen Härter auf Stickstoffbasis, der für die Epoxidhärtung geeignet ist;
- (c) wahlweise einen Beschleuniger für die Epoxidhärtung;
- (d) mindestens einen polymeren Füllstoff in einem Anteil von 20 Gew.-% oder mehr, bezogen auf das Gesamtgewicht der Masse, wobei der polymere Füllstoff aus der Gruppe der Polyamide ausgewählt ist;
- (e) wahlweise eine oder mehrere radikalisch strahlungshärtbare Verbindungen;
- (f) wahlweise mindestens einen Initiator für die radikalische Polymerisation; und
- (g) wahlweise weitere Zusatzstoffe, wobei der polymere Füllstoff in der Masse als mindestens teilkristalliner Feststoff vorliegt, der eine Schmelzenthalpie von 40 J/g oder mehr aufweist, und wobei der Schmelzpunkt des polymeren Füllstoffs mindestens 120 °C beträgt.

9. Verfahren zur Herstellung eines Bauteils unter Verwendung einer härtbaren Masse gemäß einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei das Verfahren die folgenden Schritte umfasst:

Dosieren der Masse auf ein erstes Substrat;

wahlweise Zuführen eines weiteren Substrats unter Bildung eines Substratverbundes, wobei das weitere Substrat mit der Masse in Kontakt gebracht wird;

wahlweise Bestrahlen der Masse mit aktinischer Strahlung, wobei die bestrahlte Masse eine Fixierfestigkeit erreicht, welche für eine Weiterverarbeitung des ersten Substrats oder des Substratverbundes ausreichend ist; und

Erwärmen der wahlweise bestrahlten Masse auf dem Substrat oder in dem Substratverbund auf eine vorbestimmte Aushärtetemperatur bis zur Aushärtung, unter Bildung des Bauteils mit dem Substrat und einer

ausgehärteten, mit dem ersten Substrat und wahlweise dem weiteren Substrat verbundenen Klebeschicht, wobei die Klebeschicht durch Erwärmen auf eine vorbestimmte Ablösetemperatur thermomechanisch von dem Substrat lösbar ist.

10. Bauteil erhältlich durch das vorhergehende Verfahren nach Anspruch 9.

Es folgt eine Seite Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen

Fig. 1

