



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 699 10 173 T2 2004.06.17**

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 1 047 849 B1**

(51) Int Cl.7: **E04C 5/07**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **699 10 173.5**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US99/00617**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **99 901 431.9**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 99/036640**

(86) PCT-Anmeldetag: **12.01.1999**

(87) Veröffentlichungstag
der PCT-Anmeldung: **22.07.1999**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **02.11.2000**

(97) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung beim EPA: **06.08.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **17.06.2004**

(30) Unionspriorität:
6970 14.01.1998 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:
**AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,
LI, LU, MC, NL, PT, SE**

(73) Patentinhaber:
SI Corp., Chickamauga, Ga., US

(72) Erfinder:
**BANTHIA, Nemkumar, Burnaby, CA; HINGSON, E.,
Richard, Chattanooga Tennessee 37421, US;
DUBEY, Ashish, Vancouver, CA**

(74) Vertreter:
Uexküll & Stolberg, 22607 Hamburg

(54) Bezeichnung: **FASERN MIT VERBESSERTER SINUSFORM, DAMIT BEWEHRTER BETON UND ENTSPRECHENDES VERFAHREN**

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

Beschreibung

TECHNISCHES GEBIET

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft das Verstärken (Bewehren) von Beton und ähnlichen Produkten durch die Verwendung von Fasern. Synthetische und Stahlfasern haben sich beim Verstärken von Beton als Alternative zu Drahtnetzen bewährt und haben Erfolge beim Hemmen der Schwindungsrisse, der Erhöhung der Schlagfestigkeit, der Verringerung der Durchlässigkeit, des Beitrags zur Rüttelbeständigkeit und des Verkürzens der Bauzeit gezeigt. Insbesondere werden erfindungsgemäß sinusförmige Fasern bereitgestellt, sowie dadurch verstärkte verbesserte Betonmischungen.

TECHNISCHER HINTERGRUND

[0002] Beton ist ein Material, das eine niedrige Zugfestigkeit und geringe Bruchzähigkeit aufweist. Die Leichtigkeit, mit der sich Risse unter Spannung in Beton bilden und weiter ausbreiten können, macht es zwingend erforderlich, dass Beton nicht bis zu dem möglichen Ausmaß auf Spannung belastet wird, und dass, falls dies unvermeidlich ist, eine Art von traditioneller Verstärkung wie Beton-Rippenstahl bereitgestellt wird, um die Zugspannungen aufzunehmen. Der letztere ist im Allgemeinen als Stahlbeton bekannt und wird seit Jahrzehnten verwendet.

[0003] Ein alternatives Verstärkungsverfahren besteht in dem Einbau kurzer, statistisch verteilter Fasern in Beton, so dass Verstärkung durch das Volumen bereitgestellt wird und ein völlig neues Verbundmaterial erhalten wird. Faserverstärkter Beton hat erwiesenermaßen erheblich verbesserte Energieabsorptionsvermögen (oft als Zähigkeit bezeichnet), Schlagfestigkeit und Ermüdungsfestigkeit, und seine größere Reißfestigkeit verleiht ihm auch bessere Dauerhaftigkeit und ästhetische Eigenschaften.

[0004] Die US-A-4 565 840 liefert faserverstärkten Beton, der 1 bis 6 Volumenprozent einer Mischung aus kurzen Stahlfasern umfasst.

[0005] Die Zugabe fibrillierter Kunststofffilamente zu Zementmörtel ist in der US-A-4 414 030 offenbart. Solche fibrillierten Filamente umfassen Bänder mit einer Länge bis zu 50 Millimetern, von denen gesagt wird, dass sie während des Mischens mit den Mörtelkomponenten aufgespalten werden, um so eine statistische Verteilung von separaten Verstärkungskunststofffilamenten über den gesamten Mörtel zu liefern.

[0006] Die Verwendung diskreter Fasern zum Verstärken von Beton ist in der US-A-3 645 961 beschrieben. Das Patent offenbart die Verwendung von Nylon, Polyvinylchlorid und einfachen Polyolefinen in Längen im Bereich zwischen einem Viertel bis drei Zoll (0,6 bis 7,5 cm) unter Bildung von sprengbeständigem Beton.

[0007] Die Verwendung faseriger Materialien, die aus Nylon, Polypropylen, Polyvinylidenchlorid und Polyethylen hergestellt sind, ist in der US-A-3 645 961 beschrieben. Weniger als 3 dieser Fasern in Längen von ¼ bis 3 Zoll (0,6 bis 7,5 cm) können in Beton gemischt werden, um sprengbeständige Bauwerke herzustellen.

[0008] Die Verwendung von fibrillierten Polypropylenfasern von 0,05 bis 2 Gew.-% der gesamten nassen Mischung wasserhärterer anorganischer Materialien wird in der US-A-3 591 395 gezeigt.

[0009] Die US-A-5 456 752 und die US-A-5 628 822, im Besitz des eingetragenen Rechtsnachfolgers, lehren die Verwendung klassierter synthetischer Fasern zum Verstärken von Beton. Die Klassierung liefert eine Vielzahl unterschiedlicher Fasertypen, d. h. Länge, Denier-Werte, Breite, Dicke, Aspektverhältnisse, Querschnitte und Fibrillierungen, in einer kontrollierten Mischung, die sich den Mörtelfaktionen in proportioniertem Beton anpassen kann.

[0010] Es wird gemäß der vorliegenden Erfindung nun verstanden, dass die zur Verstärkung von Beton vorgesehenen Fasern in der Geometrie deformiert sein müssen, damit sie sich richtig an die sie umgebende zementartige Matrix binden. Die meisten Deformationen, die kommerzielle Fasern zeigen, sind jedoch "ad hoc", und es ist wenig darüber bekannt, was eine optimale Deformation genau ausmacht. Ein erster Versuch, Fasern rational zu deformieren, wurde in der US-A-5 443 918 beschrieben, die die Metallfasern, z. B. Stahl, mit einem länglichen, im Wesentlichen geraden Mittelanteil und sinusförmigen Endanteilen zur Zugabe zu und Verstärkung von Material auf Zementbasis offenbart. Die DE-U-90 00 846 erörtert auch die Verwendung von Fasern mit deformierten Enden.

[0011] Die US-A-4 585 487 offenbart filiforme oder schraubenartige Elemente (Fasern) aus Stahldraht mit gleichförmigen Wellen über ihre gesamte Länge zur Verstärkung von Beton.

[0012] Bindungsgleichcharakteristika von Fasern, die unter Verwendung eines Ausreißtests (Banthia et al., "Concrete Reinforced with Deformed Steel Fibers, Part 1: Bond-slip Mechanisms", ACI Materials Journal, Band 91, Nr. 5, September-Oktober 1994) bestimmt wurden, sind ein durchaus anerkannter Weg zur Bewertung des Verhaltens von Fasern in einem Verbund.

[0013] Die Verwendung von polymeren Fasern (insbesondere Polypropylen) ist bislang auf die Steuerung der plastischen Schwindungsrisse in frisch eingebrachten Beton begrenzt gewesen, die aus dem Verlust von Misch- und Blutwasser durch Verdampfen resultiert. Die Volumenfraktion der in diesen Anwendungsbereichen

verwendeten Fasern ist unter Berücksichtigung ihres nicht-strukturellen Zwecks auch niedrig geblieben (ungefähr 0,1%). Die Lasttragekapazität von unverstärktem Beton ohne Faserverstärkung oder von Beton, der eine geringe Menge Polypropylenfaserverstärkung (ungefähr 0,1 Vol.%) trägt, über Matrixrissbildung hinaus ist im Wesentlichen Null. Es hat in letzter Zeit jedoch einige Versuche gegeben, größere Volumenfraktionen (etwa 1%) Polypropylenfaser mit größerem Durchmesser in Beton einzubringen. Diese Fasern haben polymere Materialien in die Kategorie der "strukturellen" Fasern gerückt, deren Zweck nicht so sehr in der Kontrolle der plastischen Schwindungsrissbildung liegt, sondern auch in der Verbesserung der Zähigkeit, der Energieabsorptionsfähigkeit und der Lasttragekapazität des Betons über die erste Matrixrissbildung hinaus.

[0014] Diese neue Generation der "strukturellen" Polypropylenfasern ist jedoch gerade und undeformiert. Infolgedessen entwickeln sie eine schwache Bindung an die umgebende Matrix und sind nicht sehr effizient. Bis heute ist jedoch nicht bekannt, was eine optimale Deformation für ein Material mit niedrigem Modul ausmacht, wie Polypropylen. Eine derartige optimale Deformierung ist das Thema der vorliegenden Erfindung.

OFFENBARUNG DER ERFINDUNG

[0015] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, eine verbesserte Verstärkungsfaser für Beton, insbesondere eine verbesserte Fasergeometrie zur Verstärkung von Verbundmaterialien auf Zementbasis zu liefern, die durch Gießverfahren oder Spritzbetonverfahren hergestellt werden.

[0016] Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung besteht in der Bereitstellung sinusförmig konfigurierter Fasern, die zum Verstärken von Beton und ähnlichen Materialien optimal konfiguriert sind.

[0017] Es ist ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung, Beton und ähnliche Materialien mit verbesserter Reißbeständigkeit, Schlagfestigkeit und Trümmerbeständigkeit zu liefern.

[0018] Ein weiteres Ziel der vorliegenden Erfindung liegt in der Bereitstellung eines verbesserten Verfahrens zum Verstärken von Beton und ähnlichen Materialien.

[0019] Mindestens eines oder mehrere der genannten Ziele zusammen mit deren Vorteilen gegenüber den bekannten Faseradditiven für Betonmischungen, die aus der folgenden Beschreibung deutlich werden, werden erfindungsgemäß wie nachfolgend beschrieben und beansprucht bewirkt.

[0020] Es wird daher erfindungsgemäß ein Faseradditiv für die Zugabe zu Beton geliefert, das eine Vielzahl von thermoplastischen Fasern umfasst, das dadurch gekennzeichnet ist, dass die Fasern eine sinusförmige Profilgeometrie entlang ihrer gesamten Länge aufweisen, wobei das Profil durch die Gleichung

$$Y = \alpha_0 \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

definiert ist, in der x und y die kartesischen Koordinaten für irgendeine gegebene Position auf einer Faser sind, wobei die x-Achse entlang der Länge der Faser verläuft und die y-Achse senkrecht dazu angeordnet ist, die Amplitude α_0 $0,1d_f$ bis $2d_f$ beträgt und die Periode λ $2d_f$ bis $15d_f$ bei Fasern mit einem Durchmesser d_f von 0,5 bis 1 mm Länge beträgt; wobei die Spitzenausreißbelastung σ_{Peak} und die spezifische Ausreißenergie Ψ_{Peak} die bei einer maximalen Verschiebung von 7,5 mm absorbiert wird, bei Einbettung in Beton für diese Fasern beide linear mit einem Deformationsfaktor steigen, der durch die Gleichung

$$D = a_0^\alpha \lambda^\beta$$

definiert ist, in der $\alpha = 0,8$ ist und $\beta = -1$ ist, so dass die Spitzenausreißbelastung durch die Gleichung

$$\sigma_{peak} = \frac{4P_{peak}}{\pi d_f^2} = k_1 a_0^\alpha \lambda^\beta + C$$

definiert ist, in der P_{Peak} die maximale Ausreißlast ist, und die spezifische Ausreißenergie durch die Gleichung

$$\Psi_{peak} = \frac{4E_{peak}}{\pi d_f^2} = k_2 a_0^\alpha \lambda^\beta + C_1$$

definiert ist, in der E_{Peak} die maximale Ausreißenergie ist, die bei einem Ausreißtest zu einer maximalen Verschiebung von 7,5 mm absorbiert wird; wobei die Faseradditive eine optimale Deformierbarkeit aufweisen, die durch die Gleichung

$$D_{optimum} \approx (0,5 \text{ bis } 1) D_{critical}$$

definiert ist, in der $D_{critical}$ die Deformierbarkeit ist, bei der die ultimative Zugfestigkeit (UTS) der Faser gleich

$k_1 D_{\text{critical}} + C$ ist, wobei Lasten in N gemessen werden, Energie in N·mm gemessen wird, Belastung in MPa gemessen wird, Längenabmessungen in mm gemessen werden und die Werte von k_1 , k_2 , C und C_1 auf Basis der ultimativen Zugfestigkeit der Faser und durch Aufzeichnung der Deformation gegen die Ausreißbelastung bestimmt werden, um den Wert D_{critical} zu erhalten.

[0021] Die vorliegende Erfindung liefert auch verstärkten Beton mit verbesserter Reißfestigkeit, der Beton und 0,25 bis 5 Vol.% Verstärkungsfasern umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass die Fasern eine sinusförmige Profilgeometrie entlang ihrer gesamten Länge aufweisen, wobei das Profil durch die Gleichung

$$Y = \alpha_0 \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

definiert ist, in der x und y die kartesischen Koordinaten für irgendeine gegebene Position auf einer Faser sind, wobei die x -Achse entlang der Länge der Faser verläuft und die y -Achse senkrecht dazu angeordnet ist, die Amplitude α_0 $0,1d_f$ bis $2d_f$ beträgt und die Periode λ $2d_f$ bis $15d_f$ bei Fasern mit einem Durchmesser d_f und $0,5$ bis 1 mm Länge beträgt;

wobei die Spitzenausreißbelastung σ_{Peak} und die spezifische Ausreißenergie Ψ_{Peak} die bei einer maximalen Verschiebung von $7,5$ mm absorbiert wird, bei Einbettung in Beton für diese Fasern beide linear mit einem Deformationsfaktor steigen, der durch die Gleichung

$$D = a_0^\alpha \lambda^\beta$$

definiert ist, in der $\alpha = 0,8$ ist und $\beta = -1$ ist, so dass die Spitzenausreißbelastung durch die Gleichung

$$\sigma_{\text{Peak}} = \frac{4P_{\text{Peak}}}{\pi d_f^2} = k_1 a_0^\alpha \lambda^\beta + C$$

definiert ist, in der P_{Peak} die maximale Ausreißlast ist, und die spezifische Ausreißenergie durch die Gleichung

$$\Psi_{\text{Peak}} = \frac{4E_{\text{Peak}}}{\pi d_f^2} = k_2 a_0^\alpha \lambda^\beta + C_1$$

definiert ist, in der E_{Peak} die maximale Ausreißenergie ist, die bei einem Ausreißtest zu einer maximalen Verschiebung von $7,5$ mm absorbiert wird; wobei die Faseradditive eine optimale Deformierbarkeit aufweisen, die durch die Gleichung

$$D_{\text{Optimum}} \approx (0,5 \text{ bis } 1) D_{\text{critical}}$$

definiert ist, in der D_{critical} die Deformierbarkeit ist, bei der die ultimative Zugfestigkeit (UTS) der Faser gleich $k_1 D_{\text{critical}} + C$ ist, wobei Lasten in N gemessen werden, Energie in N·mm gemessen wird, Belastung in MPa gemessen wird, Längenabmessungen in mm gemessen werden und die Werte von k_1 , k_2 , C und C_1 auf Basis der ultimativen Zugfestigkeit der Faser und durch Aufzeichnung der Deformation gegen die Ausreißbelastung bestimmt werden, um den Wert D_{critical} zu erhalten.

[0022] Die vorliegende Erfindung liefert ferner ein Verfahren zur Verbesserung des Bindungsgleitverhaltens von Fasern in Beton, bei dem einer gewählten Menge Beton $0,25$ bis 5 Volumenprozent Fasern zugesetzt werden, dadurch gekennzeichnet, dass die Fasern eine sinusförmige Profilgeometrie entlang ihrer gesamten Länge aufweisen, wobei das Profil durch die Gleichung

$$Y = \alpha_0 \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

definiert ist, in der x und y die kartesischen Koordinaten für irgendeine gegebene Position auf einer Faser sind, wobei die x -Achse entlang der Länge der Faser verläuft und die y -Achse senkrecht dazu angeordnet ist, die Amplitude α_0 $0,1d_f$ bis $2d_f$ beträgt und die Periode λ $2d_f$ bis $15d_f$ bei Fasern mit einem Durchmesser d_f von $0,5$ bis 1 mm Länge beträgt; wobei die Spitzenausreißbelastung σ_{Peak} und die spezifische Ausreißenergie Ψ_{Peak} die bei einer maximalen Verschiebung von $7,5$ mm absorbiert wird, bei Einbettung in Beton für diese Fasern beide linear mit einem Deformationsfaktor steigen, der durch die Gleichung

$$D = a_0^\alpha \lambda^\beta$$

definiert ist, in der $\alpha = 0,8$ ist und $\beta = -1$ ist, so dass die Spitzenausreißbelastung durch die Gleichung

$$\sigma_{peak} = \frac{4P_{peak}}{\pi d_f^2} = k_1 a_0^\alpha \lambda^\beta + C$$

definiert ist, in der P_{peak} die maximale Ausreißlast ist, und die spezifische Ausreißenergie durch die Gleichung

$$\psi_{peak} = \frac{4E_{peak}}{\pi d_f^2} = k_2 a_0^\alpha \lambda^\beta + C_1$$

definiert ist, in der E_{peak} die maximale Ausreißenergie ist, die bei einem Ausreißtest zu einer maximalen Verschiebung von 7,5 mm absorbiert wird;

wobei die Faseradditive eine optimale Deformierbarkeit aufweisen, die durch die Gleichung

$$D_{optimum} \approx (0,5 \text{ bis } 1)D_{critical}$$

definiert ist, in der $D_{critical}$ die Deformierbarkeit ist, bei der die ultimative Zugfestigkeit (UTS) der Faser gleich $k_1 D_{critical} + C$ ist, wobei Lasten in N gemessen werden, Energie in N·mm gemessen wird, Belastung in MPa gemessen wird, Längenabmessungen in mm gemessen werden und die Werte von k_1 , k_2 , C und C_1 auf Basis der ultimativen Zugfestigkeit der Faser und durch Aufzeichnung der Deformation gegen die Ausreißbelastung bestimmt werden, um den Wert $D_{critical}$ zu erhalten; und die Komponenten in ausreichendem Maße gemischt werden, um diese Fasern gleichförmig über diesen Beton zu verteilen, wodurch die Energieabsorptionfähigkeit von Beton im Vergleich zu Beton verbessert wird, der durch Fasern mit einer Geometrie verstärkt ist, die von dieser Geometrie verschieden ist.

KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

[0023] **Fig. 1** ist eine vergrößerte perspektivische Ansicht einer sinusförmig konfigurierten erfindungsgemäßen Faser;

[0024] **Fig. 2** ist eine Draufsicht der sinusförmig konfigurierten Fasern von **Fig. 1**;

[0025] **Fig. 3** ist eine Seitenansicht der sinusförmig konfigurierten Fasern von **Fig. 1**;

[0026] **Fig. 4** ist ein Schnitt, der im Wesentlichen entlang der Linien 4-4 von **Fig. 3** erfolgt ist;

[0027] **Fig. 5** ist eine perspektivische Ansicht einer Teilplatte aus Beton, die einen Querschnitt wiedergibt, der den Zuschlag und die erfindungsgemäßen Fasern darin zeigt;

[0028] **Fig. 6** ist eine mathematische Kurve, die die sich wiederholenden Sinusformen einer erfindungsgemäßen Faser zeigt, die die Amplitude und Periode jeder Sinusform wiedergeben;

[0029] **Fig. 7** ist eine Seitenansicht, die Betonprobestücke zeigt, die in zwei Teilen gegossen wurden, wobei die erfindungsgemäßen Faser darin zu Testzwecken eingebettet ist;

[0030] **Fig. 8** ist eine graphische Darstellung, die die Ausreißbelastung für eine erfindungsgemäße Faser in Beton, aufgetragen gegen den Deformierungsfaktor, zeigt;

[0031] **Fig. 9** ist eine graphische Darstellung, die die Ausreißenergie für eine erfindungsgemäße Faser in Beton, aufgetragen gegen den Deformierungsfaktor, zeigt;

[0032] **Fig. 10** ist eine graphische Darstellung, die einen Vergleich der Ausreißcharakteristika einer erfindungsgemäßen Faser im Vergleich zu einer ad-hoc gekräuselten Faser und einer geraden Faser zeigt.

BEVORZUGTE AUSFÜHRUNGSFORM ZUR DURCHFÜHRUNG DER ERFINDUNG

[0033] Die Durchführung der vorliegenden Erfindung zeigt, dass Beton ein Compound ist, das im Querschnitt groben Zuschlag zeigt, der von verschiedenen Mörtelfaktionen umgeben ist. Diese Mörtelfaktionen sind aus Zementpaste und feinem Zuschlag zusammengesetzt. Die Zementpaste ist es, die während des Hydratisierungsverfahrens schwindet. Diese Volumenänderung führt zur Bildung von Schwindungsrissen. Es ist nur Restfestigkeit zu erkennen und kann gemessen werden, nachdem irgendwelche äußeren Kräfte Beton zum Reißen gebracht haben. Diese Risse unterbrechen die Kontinuität der Pastenbereiche in statistischer Weise. Die vorliegende Erfindung erkennt, dass die Restfestigkeit nach dem Reißen optimiert wird, wenn alle gegenüber Reißen anfälligen Bereiche verstärkt werden. Mikrorisse werden durch die Anwesenheit optimal konfigurierter Faserverstärkung am Energiegewinn und Vereinigen zu Makrorissen gehindert. Infolgedessen sind die Charakteristika des gehärteten Betons durch größere Schlagfestigkeit, Abrieb- und Trümmerfestigkeit und geringere Durchlässigkeit verbessert.

[0034] Die vorliegende Erfindung betrifft dann eine spezielle Konfiguration synthetischer Verstärkungsfasern, die zum Verstärken von Beton und ähnlicher Materialien verwendet werden kann und darin leicht dispergierbar ist. Speziell sollen die synthetischen Fasern darin eine spezielle sinusförmige Konfiguration liefern, die zur Ver-

wendung zum Verstärken von Beton optimal konfiguriert worden sind. Die vorliegende Erfindung liefert eine spezielle Konfiguration von Fasern, die rascher und gründlicher in alle Typen von Betonmischungen gemischt werden können, einschließlich, aber nicht beschränkt auf Fertigprodukte, Mörtel, Verguss, Spritzbeton, Ortbeton, Stuck und dergleichen, die alle im Allgemeinen härtbare, zementartige Materialien umfassen. Die Begriffe Beton, Betonmaterialien oder Betonmischungen sollen hier mit dem Wissen verwendet werden, dass alle Typen der Betonprodukte wie oben aufgeführt eingeschlossen sind.

[0035] Zur Durchführung der vorliegenden Erfindung brauchbare Fasern umfassen synthetische Materialien, nämlich Thermoplaste einschließlich Polyolefinen, wie Polyethylen und Polypropylen, Polyestern, Polyvinylchlorid, Polyvinylidenchlorid, Polyamiden einschließlich aromatischen Polyamiden, wie Kevlar®, Polyacrylverbindungen und Mischungen derselben. Die thermoplastischen Fasern können 100% Homopolymer sein, sie können Copolymere und Polymergemische umfassen. Zudem können sie funktionalisiert, gefüllt, beschichtet einschließlich metallischer Beschichtungen oder anderweitig modifiziert sein. Im Allgemeinen kann im Wesentlichen jede thermoplastische Zusammensetzung eingesetzt werden, die zur Bildung von Monofilamenten verwendet werden kann, solange sie sinusförmig konfiguriert und Beton zugesetzt werden kann. Eine Faser kann durch ihren Polymernamen, z. B. Polypropylen, bezeichnet werden, wenn sie mindestens vorwiegend Polypropylen ist, sie muss nicht 100% Polypropylen umfassen. Die Auswahl des thermoplastischen Polymers stellt daher anders gesagt keine Einschränkung der vorliegenden Erfindung dar. Praktische Überlegungen für die Auswahl der Faser schließen Kriechbeständigkeit, starke Polyestereigenschaften und Dispergierbarkeit der Faser in der Betonmischung ein, obwohl das Fehlen von einer dieser Eigenschaften ein spezielles Polymer nicht ausschließen soll. In der Regel sind thermoplastische Fasern mit spezifischen Gewichten im Bereich von etwa 0,80 bis 1,96 geeignet.

[0036] Polypropylenfasern sind besonders bevorzugt, und werden hier als Beispiele verwendet, um die Durchführung der vorliegenden Erfindung zu zeigen. Die Figuren beziehen sich auf diese Fasern als Beispiele. In **Fig. 1** ist die sinusförmige Konfiguration einer Faser, allgemein durch die Ziffer **10** bezeichnet, in erheblich vergrößertem Maßstab gezeigt. Die Faser ist in ihrer Länge von Ende **11** zu dem anderen Ende **12** im Wesentlichen gerade, wie in **Fig. 2** gezeigt ist, und hat eine sinusförmige Konfiguration, wie in **Fig. 3** zu sehen ist. Überrigens ist die in den **Fig. 1** bis **3** gezeigte sinusförmige Konfiguration für eine bevorzugte Faserlänge von etwa drei Zentimetern skaliert worden. Der Querschnitt der Faser **10** ist hier als oval gezeigt, wie in **Fig. 4** gezeigt ist, andere Querschnitte wie rund, rechteckig, quadratisch und dergleichen liegen jedoch ebenfalls innerhalb des Umfangs der vorliegenden Erfindung. Im Unterschied zu vorhandenen Fasern mit einer ähnlichen Konfiguration ist die sinusförmige Konfiguration der Fasern **10** in **Fig. 6** abgebildet. Wie zu sehen ist, hat die Faser **10** eine Profilamplitude α_0 oberhalb und unterhalb einer Achse X sowie eine Periode λ , die eine vollständige Sinuskurve wiedergibt. Mit dem Wissen, dass **Fig. 6** nicht notwendigerweise maßstabgetreu ist, ist erkennbar, dass das Profil der Faser in gleicher Weise variiert, wenn die Werte für α_0 und λ sowie der Durchmesser der Faser variiert werden.

[0037] Die Faser hat eine gekräuselte (wiederholt sinusförmige) Geometrie. Die Geometrie wird mathematisch durch eine Gleichung des Typs

$$Y = \alpha_0 \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right) \quad \text{Gleichung 1}$$

wiedergegeben, in der α_0 die Profilamplitude der sinusförmigen Kurve wiedergibt, und λ die Periode ist, mit der sich die Sinuskurve wiederholt, wie in **Fig. 1** abgebildet ist.

[0038] Der Wert der Faser als Additiv zum Verstärken von Beton liegt in der erhöhten Kraft und Energie, die aufgewendet werden, um die gebundene Faser aus dem Beton zu ziehen, was wiederum durch die ultimative Zugfestigkeit (UTS) der Faser begrenzt wird. Die Ausreißbelastung sollte daher ausreichend hoch sein, so dass sie unmittelbar unterhalb der UTS liegt, bei der die Faser versagt und der Trennung zwischen zuvor kontinuierlichen Betonbereichen nicht länger Widerstand entgegensetzen kann.

[0039] In einem Ausreißtest, der zur Bewertung des Bindungsleitverhaltens einer gegebenen Faser durchgeführt wird, die in Zement gebunden ist, ist die Spitzenausreißbelastung definiert durch die Gleichung

$$\sigma_{peak} = \frac{4P_{peak}}{\pi d_f^2}$$

$$\text{Gleichung 2}$$

in der P_{peak} die maximale Ausreißbelastung ist, die in dem Ausreißtest erreicht wurde, und d_f der Faserdurchmesser ist. In ähnlicher Weise ist die spezifische Ausreißenergie, die zu einer maximalen Verschiebung von 7,5 mm absorbiert wird, durch die Gleichung

$$\psi_{peak} = \frac{4E_{peak}}{\pi d_f^2}$$

Gleichung 3

definiert, in der E_{peak} die maximale Ausreißenergie ist, die bei einem Ausreißtest zu einer maximalen Verschiebung von 7,5 mm absorbiert wird, und d_f der Faserdurchmesser ist.

[0040] Demzufolge nehmen die Spitzenausreißbelastung σ_{peak} und die spezifische Ausreißenergie ψ_{peak} die bis zu einer maximalen Verschiebung von 7,5 mm absorbiert werden, beide linear mit einem Deformationsfaktor zu, der durch die Gleichung

$$D = a_0 \lambda^\beta$$

Gleichung 4

definiert ist, in der $\alpha = 0,8$ ist und $\beta = -1$ ist, so dass die Spitzenausreißbelastung durch die Gleichung

$$\sigma_{peak} = \frac{4P_{peak}}{\pi d_f^2} = k_1 a_0^\alpha \lambda^\beta + C$$

Gleichung 5

definiert ist, und die spezifische Ausreißenergie durch die Gleichung

$$\psi_{peak} = \frac{4E_{peak}}{\pi d_f^2} = k_2 a_0^\alpha \lambda^\beta + C_1$$

Gleichung 6

definiert ist.

[0041] Es ist lediglich qualitativ bekannt gewesen, dass bei einem gegebenen Bereich von Faserdurchmessern die unabhängigen Variablen wie Faseramplitude und Faserperiode beide das Ausreißverhalten beeinflussen, das durch die abhängigen objektiven Funktionen P_{peak} und E_{peak} definiert ist. Bislang ist jedoch nicht bekannt gewesen, dass eine Funktion, nämlich der Deformationsfaktor D (Gleichung 4), Amplitude und Periode kombiniert und linear mit beiden objektiven Funktionen P_{peak} und E_{peak} verknüpft ist, so dass beide von ihnen gleichzeitig maximiert werden können.

[0042] Während Gleichungen 5 und 6 für jedes Material und jede durch Gleichung 1 definierte gekräuselte Geometrie gelten, wurden für den speziellen Fall der Polypropylenfasern mit einer UTS von 450 MPa die folgenden Konstanten in dem allgemeinen Durchmesserbereich von 0,5 bis 1 mm erhalten: $k_1 = 2300$; $k_2 = 12300$; $C = 27,5$ und $C_1 = 186$, wobei Lasten in N gemessen werden, Energie in N·mm und alle Längenabmessungen in mm gemessen werden. Zudem liefern die Konstanten k_1 und k_2 die Neigung der Kurven, die gezeichnet werden können und Ausreißbelastung beziehungsweise Ausreißenergie für eine sinusförmig konfigurierte erfindungsgemäße Faser, die in Beton eingebettet ist, aufgetragen gegen den Deformierbarkeitsfaktor dieser Faser wiedergeben, während die Konstanten C und C_1 die Ausreißbelastung beziehungsweise Ausreißenergie für eine in Beton eingebettete undeformierte oder gerade Faser wiedergeben, aufgetragen gegen den Deformierbarkeitsfaktor, wobei beide hier nachfolgend detaillierter erörtert werden.

[0043] Die Konstanten C und C_1 sind vom Konzept her jeweils die Werte für Spitzenbelastung und die spezifische Energie für die gerade undeformierte Faser ($D = 0$). Ein linearer Anstieg der Belastung mit einer Zunahme von D zeigt, dass nach Erreichen eines bestimmten Wertes für D ($D_{critical}$) eine Faser während des Ausreißens Beanspruchungen erfährt, die sich der ultimativen Zugfestigkeit nähern, und an diesem Punkt würde Reißen der Faser anstelle von Ausreißen einer Faser erfolgen, wobei letzteres vom Energieabsorptionsstandpunkt her ein bevorzugter Versagensmodus wäre. Falls dies geschieht, würden die Werte für die spezifische Energieabsorption wesentlich sinken. Der Wert oder die Deformierbarkeit $D_{critical}$ ist jene Deformierbarkeit D , bei der

$$UTS = k_1 D_{critical} + C$$

Gleichung 7

[0044] Für die Durchführung der vorliegenden Erfindung sollte die Faser eine optimale Deformierbarkeit $D_{optimum}$ haben, die etwa 0,5 bis zu etwa 1 $D_{critical}$ ist. Das heißt,

$$D_{\text{optimum}} \approx (0,5 \text{ bis } 1)D_{\text{critical}}$$

Gleichung 8.

[0045] Wenn man weiß, dass D_{critical} der Deformierbarkeitswert bei Faserversagen ist, ist D_{optimum} vorzugsweise ein Wert unmittelbar unter D_{critical} , da die Effizienz der Fasern **10** als Sekundärverstärkung für Beton zunimmt, wenn sich D_{optimum} D_{critical} nähert.

[0046] Für andere brauchbare thermoplastische Polymermaterialien, wie Polyolefine, PVC, Polyvinylidenchlorid, Polyamide, Polyacryle und dergleichen, können die Werte für die genannten Konstanten leicht mit minimalem experimentellen Aufwand ermittelt werden. Bei jeder anderen thermoplastischen Faser würde man die Fasern im Allgemeinen in Ausreißtests in der nachfolgend beschriebenen Weise testen und mindestens zwei Deformierbarkeitsfaktoren gegen Faserbeanspruchung auftragen, aus denen dann die optimale Geometrie extrapoliert werden könnte, um die Werte für die Konstanten k_i und C zu erhalten. Wenn die Konstanten bekannt sind, können D_{critical} und D_{optimum} gemäß Gleichungen 7 und 8 ermittelt werden.

[0047] In der experimentellen Bewertung wurden Fasern mit verschiedenen Durchmessern, Amplituden und Perioden getestet und die direkte Korrelation zwischen der Deformierbarkeit D und der Spitzenausreißbelastung σ_{peak} sowie die direkte Korrelation zwischen der Deformierbarkeit D und der spezifischen Ausreißenergie Ψ_{peak} bestätigt, die bei einer maximalen Verschiebung von 7,5 mm absorbiert wurde (gegeben durch Gleichungen 5 beziehungsweise 6) (siehe **Fig. 8** und **9**, die nachfolgend erörtert werden).

[0048] Wie bereits gesagt können die Fasern **10** polymer sein. Bevorzugte Längen für die Fasern liegen im Bereich von etwa 10 bis etwa 60 mm. In ähnlicher Weise liegen die Durchmesser der Fasern im Bereich von etwa 0,5 bis etwa 1 mm. Bevorzugte Bereiche werden nachfolgend mit Bereichen für Periode und Amplitude angegeben.

[0049] Die Zugabe der sinusförmig konfigurierten erfindungsgemäßen Fasern zu Betonmischungen und ähnlichen Materialien ist im Allgemeinen höher als für konventionelle Schwindungskontrollfasern und erfordert lediglich, dass die Menge während des Mischens und vor dem Gießen oder Verwenden eingebracht wird. Es kann hier auf **Fig. 5** verwiesen werden, die die statistische Verteilung der Fasern **10** in Beton schematisch abbildet, wodurch ein neues verstärktes Betonprodukt **15** geliefert wird, das auch Zuschlag **16** enthält. Es ist im Allgemeinen erwünscht, die erfindungsgemäßen sinusförmig konfigurierten Fasern mit der Rate von etwa 0,25 bis etwa 5 Volumenprozent zuzufügen, was in Abhängigkeit von der Dichte des Fasermaterials etwa 0,225 bis 4,5 kg Polypropylen pro m^3 Beton bedeutet. In ähnlicher Weise schließt das erfindungsgemäße Verfahren zur Verbesserung der Reißbeständigkeit von Beton und Betonmaterialien die Zugabe der sinusförmig konfigurierten Fasern wie hier beschrieben zu dem Beton und nachfolgendes Vermischen der Komponenten in ausreichendem Maße ein, um die Fasern in dem Betonmaterial gründlich zu dispergieren.

[0050] Um die Wirksamkeit der sinusförmig konfigurierten erfindungsgemäßen Fasern als Sekundärverstärkung für Beton zu zeigen, wurden Tests durchgeführt, die die Zugabe von Polypropylenfasern und anschließende Messung der Spitzenausreißbelastung und spezifischen Ausreißenergie beinhalteten.

[0051] Das Testen wurde durchgeführt, um Beton, der sinusförmig konfigurierte synthetische Fasern **10**, z. B. Polypropylen, enthielt, mit Beton zu vergleichen, der nicht konfigurierte Fasern und ad-hoc oder bestehende konfigurierte Fasern enthielt. Es wurden, wie auf dem Betonsektor allgemein üblich, unter Verwendung von ASTM-Standards und -Verfahren Proben hergestellt und getestet. Hinsichtlich einer vollständigen Beschreibung des Tests soll auf Banthia et al., "Concrete Reinforced with Deformed Steel Fibers, Part 1: Bond-Slip Mechanism" (bereits zitiert) verwiesen werden, auf deren Inhalt hier Bezug genommen wird. Die Mischungsanteile sind in Tabelle I angegeben. Die Eigenschaften des Betons im frischen Zustand sowie nach 28 Tagen Härten sind in Tabelle II wiedergegeben.

Tabelle I
Mischanteile

Bestandteil	kg/m^3
Zement	400
Wasser	200
Sand	1000
Zuschlag	800
Luftporen bildende Zumischung	0,1 ml/kg Zement

Tabelle II
Betoneigenschaften

Frisch		
Setzmaß	Luftgehalt	VB-Zeit
160 mm	4,50 %	2,3 Sekunden
Gehärtet		
	Druckfestigkeit (MPa)	Bruchmodul (MPa)
	37	4,8

[0052] Die Ausreißtests wurden mit Probestücken wie in **Fig. 7** gezeigt unter Verwendung einer auf dem Boden befestigten 150 kN Testmaschine durchgeführt, hergestellt von Instron Corporation, Canton, Mass., USA. Die Probestücke wurden in zwei Teilen oder Blöcken gegossen, 20 und 21. Jeder hatte einen Ankerring **22**, der an einem Ende eingebettet wurde, wenn die Blöcke gegossen wurden, wodurch ein Ring bereitgestellt wurde, denn das Instrument greifen konnte. Der untere Block **20** mit der darin eingebetteten, zu testenden, Faser wurde zuerst gegossen und 24 Stunden härten gelassen. Die erfindungsgemäße Faser **10** ist abgebildet, es wurde jedoch das gleiche Verfahren zum Testen von Fasern des Standes der Technik verwendet. Nach dem Härten wurde ein Kunststoffrenner **23** oben auf den ersten Block **20** gelegt und Beton gegossen, um den oberen Block **21** zu bilden, und das Bauteil wurde bis zu Test für einen Zeitraum von 28 Tagen gehärtet. In der 150 kN Testmaschine wurden Ausreißtests durchgeführt. Es wurde Last angelegt, indem der untere Ring **22** in Block **20** gehalten wurde und der obere Ring **22** in Block **21** mit Backen gezogen wurde, die schematisch in 24 abgebildet sind, um so die Blöcke **20** und **21** mit einer Traversenbewegungsgeschwindigkeit mit 0,5 mm/Min zu trennen, und die Kurven von ausgeübter Belastung gegen Fasergleiten wurden aufgezeichnet. Fasergleitvorgänge wurden mit zwei LVDT-Messwertwandlern (einem groben mit einer Gesamtbewegung von 25 mm und dem anderen feinen mit einer Gesamtbewegung von 1 mm) gemessen. Die Last- und Gleitdaten wurden digital unter Verwendung eines 16 Bit-Erfassungssystems aufgezeichnet, dass mit einer Frequenz von 10 Hertz arbeitete. Der feine LVDT erleichterte genaue Messungen in dem anfänglichen elastischen Abschnitt der Last-Gleit-Kurve, wo die erwarteten Gleitvorgänge nur einen kleinen Bruchteil eines Millimeters betragen.

[0053] In Bezug auf **Fig. 8** wurden maximale Faserausreißbelastung, gemessen in MPa, gegen den in Gleichung 4 zuvor definierten Deformierbarkeitsfaktor für eine Polypropylenfaser mit einer UTS von 450 MPa aufgetragen. Es ist erkennbar, dass die Beanspruchung für eine Kurve nahezu linear, Linie **30**, ansteigt, die zwischen echten Datenpunkten von einem Deformierbarkeitsfaktor von 0 bis zu der UTS, Linie **32**, gezeichnet ist, und dass nahe einer maximalen Deformierbarkeit von 0,15 die Ausreißbeanspruchung etwa 400 MPa beträgt, ein erheblicher Anstieg gegenüber einer geraden Faser. Wichtiger ist, dass die maximale Deformierbarkeit $D_{critical}$ bei einem Punkt unmittelbar hinter 0,18 an der x-Achse erreicht wird, wo die Linie **30** sich mit der UTS der Faser, Linie **32**, schneidet. Demnach ist bei dieser Faser der Bereich von etwa (0,5 bis 1) $D_{critical}$ für die Werte von $D_{optimum}$ gleich einem Deformierbarkeitsfaktor von etwa 0,09 bis etwa 0,18 (**Fig. 8**).

[0054] In **Fig. 9** ist die spezifische Faserausreißenergie, gemessen in N/mm, gegen den zuvor in Gleichung 4 definierten Deformierbarkeitsfaktor aufgetragen worden. Es ist zu sehen, dass die Energie im Allgemeinen linear, Linie **35**, für eine zwischen echten Datenpunkten gezogene Kurve von einem Deformierbarkeitsfaktor von 0 bis zu einer maximalen Deformierbarkeit von 0,15 zunimmt, was eine Ausreißenergie von etwa 2000 N/mm liefert, wiederum ein erheblicher Anstieg gegenüber einer geraden Faser.

[0055] Basierend auf dieser Erkenntnis ergibt sich das Kriterium, dass für ein optimales Faserverhalten die Faser bis zu einem Deformierbarkeitsfaktor $D_{optimum}$ deformiert werden soll, so dass sie eine durchschnittliche Spitzenausreißlast unmittelbar unterhalb ihrer Spitzenausreißkapazität bei Bruch entwickelt, die durch den Deformierbarkeitsfaktor $D_{critical}$ bestimmt wird. Das Patent deckt demnach die folgenden allgemeinen Bereiche der Faserdeformationscharakteristika ab:

Durchmesser (d_f):	0,5 bis 1 mm
Amplitude (α_0):	0,1 d_f bis 2 d_f
Periode (λ)	2 d_f bis 15 d_f

[0056] Spezieller sind die Bereiche:

Durchmesser (d_f):	0,6 bis 0,8 mm
Amplitude (α_0):	0,5 d_f bis 1 d_f
Periode (λ)	4 d_f bis 7 d_f

[0057] Besonders speziell betragen die Werte:

Durchmesser (d_f):	0,76 mm
Amplitude (α_0):	0,52 mm
Periode (λ):	3,9 mm.

[0058] Obwohl der Durchmesser, die Amplitude oder Periode vorhandener gekräuselter Faser in einen der allgemeinen Bereiche für Faserdeformationscharakteristika wie zuvor in Bezug auf Durchmesser, Amplitude beziehungsweise Periode beschrieben fallen kann, entspricht keine der vorhandenen Faserkonfigurationen vor der vorliegenden Erfindung den Bedingungen des optimalen Deformierbarkeitsfaktors D_{optimum} , der zuvor erörtert wurde. Demnach ist für einen gegebenen Faserndurchmesser (d_f) von 0,76 mm die Amplitude (α_0) 0,52 mm und die Periode (λ) 3,9 mm. In anderen Worten gibt es für jeden anderen gewählten Faserdurchmesser innerhalb des allgemeinen Bereichs von 0,5 bis 1 mm eine spezielle Amplitude und Periode, die dem optimalen Deformierbarkeitsfaktor D_{optimum} entsprechen, ebenso wie es für jede gewählte Amplitude innerhalb des allgemeinen Bereichs von 0,1 (d_f) bis 2 (d_f) einen spezifischen Faserdurchmesser und eine spezifische Periode gibt, die dem optimalen Deformierbarkeitsfaktor D_{optimum} entsprechen, und wie es für jede gewählte Periode innerhalb des allgemeinen Bereichs von 2 (d_f) bis 15 (d_f) einen spezifischen Faserdurchmesser und eine spezifische Amplitude gibt, die dem optimalen Deformierbarkeitsfaktor D_{optimum} entsprechen.

[0059] Eine Bindungsgleitkurve **40** für die Fasern **10** mit den obigen Charakteristika ist in **Fig. 10** wiedergegeben. Es wird auch ein Vergleich mit einer geraden, undeformierten Faser gegeben, die als Kurve **42** aufgetragen ist. Für weiteren Vergleich ist das Verhalten einer ad-hoc gekräuselten Faser als Kurve **44** aufgetragen worden. Solche Fasern sind im Allgemeinen sinusförmig konfiguriert, jedoch nicht mit den optimalen Durchmesser-, optimalen Amplituden- und optimalen Periodenbereichen für die Fasern **10**, die erforderlich sind, um dem optimalen Deformierbarkeitsfaktor zu entsprechen. Daher liegt die optimale Deformierbarkeit D_{optimum} für die ad-hoc-Fasern unter $0,5 D_{\text{critical}}$ und betrug in der Tat nur $(0,029) D_{\text{critical}}$. Es ist auch zu sehen, dass infolge der vorgeschlagenen Deformationen ein erheblicher Anstieg der Spitzenlasttragekapazität sowie der Energieabsorptionskapazität (Fläche unter der Kurve) erfolgte.

[0060] Wie aus den Betrachtungen der Daten in den **Fig. 8 bis 10** hervorgeht, liefert die Verwendung sinusförmig konfigurierter Fasern, die die in den Gleichungen 6 und 6 definierte Spitzenausreibeanspruchung und spezifische Ausreißenergie entwickeln, bessere Eigenschaften als die Verwendung von geraden Fasern und ad-hoc gekräuselten Fasern des Standes der Technik.

[0061] Zum Design einer erfindungsgemäßen Faser mit einer optimalen Deformierbarkeit können zwei Durchmesser, Amplituden und Perioden innerhalb des erfindungsgemäßen Bereichs gewählt werden und unter Verwendung von diesen Gleichung 4 nach D aufgelöst werden, wobei die Werte für α und β bekannt sind. Als nächstes wird jede Faser mit einem spezifischen Satz von Durchmesser-, Amplituden- und Periodenwerten in Betonblöcke gegossen und Ausreißtests unterzogen, um Werte für Ausreibeanspruchung und Ausreißenergie zu ermitteln. Diese Daten liefern zwei Punkte für die Auftragung. Wenn die Ausreibeanspruchung aufgetragen wird, wird eine Linie ähnlich Linie **30** in **Fig. 8** erhalten, und am Schnittpunkt der Linie mit der y-Achse ($D = 0$) kann der Wert für die erste Konstante C ermittelt werden, während k_1 die Neigung der neuen Linie **30** ist. Wenn die Ausreißenergie aufgezeichnet wird, wird in ähnlicher Weise eine Linie ähnlich Linie **35** in **Fig. 9** erhalten, und am Schnittpunkt der Linie mit der y-Achse ($D = 0$) kann der Wert für die zweite Konstante C_1 ermittelt werden, während k_2 die Neigung der neuen Linie **35** ist. Mit diesen Werten sind alle vier der Konstanten k_1 , k_2 , C und C_1 bekannt, und mit k_1 und C können D_{critical} und D_{optimum} ermittelt werden. Bei Kenntnis der letzteren Werte kann der Bereich der Werte für D_{optimum} gemäß Gleichung 8 bestimmt werden.

[0062] Die Bestimmung, ob eine spezielle Faser mit einer sinusförmigen Konfiguration die optimale Deformierbarkeit D_{optimum} zur erfindungsgemäßen Verwendung liefert, ist eine relativ direkte Vorgehensweise. Zuerst können der Durchmesser, die Amplitude und Periode der Faser gemessen werden, die mindestens in die breiten allgemeinen Bereiche der Faserdeformationscharakteristika wie hier angegeben fallen sollen, wenn nicht in einen der bevorzugteren offenbarten Bereiche. Die ultimative Zugfestigkeit der Faser sollte auch bestimmt werden. Diese Faser sollte dann Ausreißtests unterzogen werden, um Werte für Ausreibeanspruchung und Ausreißenergie zu bestimmen. Die Ergebnisse können als Datenpunkte auf zwei separaten Graphen ähnlich **Fig. 8** und **9** für Ausreibeanspruchung beziehungsweise Ausreißenergie aufgetragen werden. Als nächstes sollte die Faser begradigt werden, d. h. die sinusförmige Konfiguration sollte entfernt werden. Es sei daran erinnert, dass die Konstanten C und C_1 jene Werte für gerade Fasern sind (Null Deformierbarkeit).

[0063] Wenn diese Faser dann Ausreißtests unterzogen wird, um Werte für Ausreibeanspruchung und Ausreißenergie zu ermitteln, werden zwei weitere Datenpunkte erhalten, die ähnlich wie bei **Fig. 8** und **9** jeweils auf der y-Achse liegen, durch die Linien (**30**) und (**35**) gezogen werden können. In Bezug auf die neu erzeugte graphische Darstellung, die Ausreibeanspruchung gegen Deformierbarkeit zeigt, sollte schließlich ähnlich wie in **Fig. 8** die ultimative Zugfestigkeit zugefügt werden, um so den Wert für D_{critical} zu bestimmen, aus dem D_{optimum} bestimmt werden kann. Falls der echte Wert der Ausreibeanspruchung in den Wert von D_{optimum} fällt, liefert die Faser optimale Deformierbarkeit.

[0064] Die Faser kann außerdem etwas gedehnt werden, was die Periode und Amplitude verändert, und die-

se Werte können mit dem gegebenen Durchmesser wiederum unter Verwendung von Gleichung 4 zur Auflösung nach D verwendet werden. Die gedehnte Faser kann selbst Ausreißtests unterzogen werden, um so einen weiteren Datenpunkt zu liefern, der gegen den Deformierbarkeitsfaktor aufgetragen wird, wobei der Datenpunkt auch auf der neu erzeugten Linie (30) oder mindestens innerhalb des experimentellen Fehlers derselben liegen sollte.

Patentansprüche

1. Faseradditive für die Zugabe zu Beton, die eine Vielzahl von thermoplastischen Fasern umfassen, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Fasern eine sinusförmige Profilgeometrie entlang ihrer gesamten Länge aufweisen, wobei das Profil durch die Gleichung

$$Y = \alpha_0 \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

definiert ist, in der x und y die kartesischen Koordinaten für irgendeine gegebene Position auf einer Faser sind, wobei die x -Achse entlang der Länge der Faser verläuft und die y -Achse senkrecht dazu angeordnet ist, die Amplitude α_0 $0,1d_f$ bis $2d_f$ beträgt und die Periode λ $2d_f$ bis $15d_f$ bei Fasern mit einem Durchmesser d_f von $0,5$ bis 1 mm Länge beträgt;

wobei die Spitzenausreißbelastung σ_{Peak} und die spezifische Ausreißenergie Ψ_{Peak} die bei einer maximalen Verschiebung von $7,5$ mm absorbiert wird, bei Einbettung in Beton für diese Fasern beide linear mit einem Deformationsfaktor steigen, der durch die Gleichung

$$D = a_0^\alpha \lambda^\beta$$

definiert ist, in der $\alpha = 0,8$ ist und $\beta = -1$ ist, so dass die Spitzenausreißbelastung durch die Gleichung

$$\sigma_{peak} = \frac{4P_{peak}}{\pi d_f^2} = k_1 a_0^\alpha \lambda^\beta + C$$

definiert ist, in der P_{Peak} die maximale Ausreißlast ist, und die spezifische Ausreißenergie durch die Gleichung

$$\Psi_{peak} = \frac{4E_{peak}}{\pi d_f^2} = k_2 a_0^\alpha \lambda^\beta + C_1$$

definiert ist, in der E_{Peak} die maximale Ausreißenergie ist, die bei einem Ausreißtest zu einer maximalen Verschiebung von $7,5$ mm absorbiert wird;

wobei die Faseradditive eine optimale Deformierbarkeit aufweisen, die durch die Gleichung

$$D_{optimum} \approx (0,5 \text{ bis } 1)D_{critical}$$

definiert ist, in der $D_{critical}$ die Deformierbarkeit ist, bei der die ultimative Zugfestigkeit (UTS) der Faser gleich $k_1 D_{critical} + C$ ist, wobei Lasten in N gemessen werden, Energie in N-mm gemessen wird, Belastung in MPa gemessen wird, Längenabmessungen in mm gemessen werden und die Werte von k_1 , k_2 , C und C_1 auf Basis der ultimativen Zugfestigkeit der Faser und durch Aufzeichnung der Deformation gegen die Ausreißbelastung bestimmt werden, um den Wert $D_{critical}$ zu erhalten.

2. Faseradditive nach Anspruch 1, bei denen die Vielzahl von Fasern ausgewählt sind aus der Gruppe bestehend aus Polyolefinen, Polyestern, Polyvinylchlorid, Polyvinylidenchlorid, Polyamiden, Polyacrylen und Mischungen derselben. finen, Polyestern, Polyvinylchlorid, Polyvinylidenchlorid, Polyamiden, Polyacrylen und Mischungen derselben.

3. Faseradditive nach Anspruch 1, bei denen die Vielzahl von Fasern Polypropylen mit einer ultimativen Zugfestigkeit von 450 MPa sind, wobei $k_1 = 2300$ ist, $K_2 = 123000$ ist, $C = 27,5$ ist und $C_1 = 186$ ist.

4. Faseradditive nach Anspruch 1, bei denen die Vielzahl von Fasern einen Durchmesser von $0,6$ bis $0,8$ mm aufweisen, eine Amplitude von $0,5 d_f$ bis $1 d_f$ aufweisen und eine Periode von $4 d_f$ bis $7 d_f$ aufweisen.

5. Faseradditive nach Anspruch 1, bei denen die Vielzahl von Fasern einen Durchmesser von $0,76$ mm aufweisen, eine Amplitude von $0,52$ mm aufweisen und eine Periode von $3,9$ mm aufweisen.

6. Verstärkter Beton mit verbesserter Reißbeständigkeit, der Beton und 0,25 bis 5 Vol% von Verstärkungsfasern umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass die Fasern eine sinusförmige Profilgeometrie entlang ihrer gesamten Länge aufweisen, wobei das Profil durch die Gleichung

$$Y = \alpha_0 \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

definiert ist, in der x und y die kartesischen Koordinaten für irgendeine gegebene Position auf einer Faser sind, wobei die x-Achse entlang der Länge der Faser verläuft und die y-Achse senkrecht dazu angeordnet ist, die Amplitude α_0 $0,1d_f$ bis $2d_f$ beträgt und die Periode λ $2d_f$ bis $15d_f$ bei Fasern mit einem Durchmesser d_f und 0,5 bis 1 mm Länge beträgt;

wobei die Spitzenausreißbelastung σ_{peak} und die spezifische Ausreißenergie ψ_{peak} , die bei einer maximalen Verschiebung von 7,5 mm absorbiert wird, bei Einbettung in Beton für diese Fasern beide linear mit einem Deformationsfaktor steigen, der durch die Gleichung

$$D = a_0^\alpha \lambda^\beta$$

definiert ist, in der $\alpha = 0,8$ ist und $\beta = -1$ ist, so dass die Spitzenausreißbelastung durch die Gleichung

$$\sigma_{peak} = \frac{4P_{peak}}{\pi d_f^2} = k_1 a_0^\alpha \lambda^\beta + C$$

definiert ist, in der P_{peak} die maximale Ausreißlast ist, und die spezifische Ausreißenergie durch die Gleichung

$$\psi_{peak} = \frac{4E_{peak}}{\pi d_f^2} = k_2 a_0^\alpha \lambda^\beta + C_1$$

definiert ist, in der E_{peak} die maximale Ausreißenergie ist, die bei einem Ausreißtest zu einer maximalen Verschiebung von 7,5 mm absorbiert wird;

wobei die Faseradditive eine optimale Deformierbarkeit aufweisen, die durch die Gleichung

$$D_{optimum} \approx (0,5 \text{ bis } 1) D_{critical}$$

definiert ist, in der $D_{critical}$ die Deformierbarkeit ist, bei der die ultimative Zugfestigkeit (UTS) der Faser gleich $k_1 D_{critical} + C$ ist, wobei Lasten in N gemessen werden, Energie in N-mm gemessen wird, Belastung in MPa gemessen wird, Längenabmessungen in mm gemessen werden und die Werte von k_1 , k_2 , C und C_1 auf Basis der ultimativen Zugfestigkeit der Faser und durch Aufzeichnung der Deformation gegen die Ausreißbelastung bestimmt werden, um den Wert $D_{critical}$ zu erhalten.

7. Verstärkter Beton nach Anspruch 6, bei dem die Vielzahl von Fasern ausgewählt sind aus der Gruppe bestehend aus Polyolefinen, Polyester, Polyvinylchlorid, Polyvinyliden-chlorid, Polyamiden, Polyacrylen und Mischungen derselben.

8. Verstärkter Beton nach Anspruch 7, bei dem die Vielzahl von Fasern Polypropylen umfassen, dass eine ultimative Zugfestigkeit von 450 MPa aufweist, wobei $k_1 = 2300$ ist, $k_2 = 12300$ ist, C = 27,5 ist und $C_1 = 186$ ist.

9. Verstärkter Beton nach Anspruch 6, bei dem die Vielzahl von Fasern einen Durchmesser von 0,6 bis 0,8 mm aufweisen, eine Amplitude von $0,5 d_f$ bis $1 d_f$ aufweisen und eine Periode von $4 d_f$ bis $7 d_f$ aufweisen.

10. Verstärkter Beton nach Anspruch 6, bei dem die Vielzahl von Fasern einen Durchmesser von 0,76 mm aufweisen, eine Amplitude von 0,52 mm aufweisen und eine Periode von 3,9 mm aufweisen.

11. Verfahren zur Verbesserung des Bindungsgleitverhaltens von Fasern in Beton, bei dem: zu einer ausgewählten Menge Beton 0,25 bis 5 Vol% Fasern zugesetzt werden, dadurch gekennzeichnet, dass die Fasern eine sinusförmige Profilgeometrie entlang ihrer gesamten Länge aufweisen, wobei das Profil durch die Gleichung

$$Y = \alpha_0 \sin\left(\frac{2\pi x}{\lambda}\right)$$

definiert ist, in der x und y die kartesischen Koordinaten für irgendeine gegebene Position auf einer Faser sind, wobei die x -Achse entlang der Länge der Faser verläuft und die y -Achse senkrecht dazu angeordnet ist, die Amplitude a_0 $0,1d_f$ bis $2d_f$ beträgt und die Periode λ $2d_f$ bis $15d_f$ bei Fasern mit einem Durchmesser d_f von $0,5$ bis 1 mm Länge beträgt;

wobei die Spitzenausreißbelastung σ_{Peak} und die spezifische Ausreißenergie Ψ_{Peak} , die bei einer maximalen Verschiebung von $7,5$ mm absorbiert wird, bei Einbettung in Beton für diese Fasern beide linear mit einem Deformationsfaktor steigen, der durch die Gleichung

$$D = a_0^\alpha \lambda^\beta$$

definiert ist, in der $\alpha = 0,8$ ist und $\beta = -1$ ist, so dass die Spitzenausreißbelastung durch die Gleichung

$$\sigma_{peak} = \frac{4P_{peak}}{\pi d_f^2} = k_1 a_0^\alpha \lambda^\beta + C$$

definiert ist, in der P_{Peak} die maximale Ausreißlast ist, und die spezifische Ausreißenergie durch die Gleichung

$$\Psi_{peak} = \frac{4E_{peak}}{\pi d_f^2} = k_2 a_0^\alpha \lambda^\beta + C_1$$

definiert ist, in der E_{Peak} die maximale Ausreißenergie ist, die bei einem Ausreißtest zu einer maximalen Verschiebung von $7,5$ mm absorbiert wird;

wobei die Faseradditive eine optimale Deformierbarkeit aufweisen, die durch die Gleichung

$$D_{optimum} \approx (0,5 \text{ bis } 1) D_{critical}$$

definiert ist, in der $D_{critical}$ die Deformierbarkeit ist, bei der die ultimative Zugfestigkeit (UTS) der Faser gleich $k_1 D_{critical} + C$ ist, wobei Lasten in N gemessen werden, Energie in N-mm gemessen wird, Belastung in MPa gemessen wird, Längenabmessungen in mm gemessen werden und die Werte von k_1 , k_2 , C und C_1 auf Basis der ultimativen Zugfestigkeit der Faser und durch Aufzeichnung der Deformation gegen die Ausreißbelastung bestimmt werden, um den Wert $D_{critical}$ zu erhalten, und

diese Komponenten ausreichend gemischt werden, um diese Fasern gleichförmig über diesen gesamten Beton zu verteilen, wodurch die Energieabsorptionfähigkeit von Beton im Vergleich zu Beton verbessert wird, der durch Fasern mit einer Geometrie verstärkt ist, die von dieser Geometrie verschieden ist.

12. Verfahren nach Anspruch 11, bei dem die Vielzahl von Fasern ausgewählt sind aus der Gruppe bestehend aus Polyolefinen, Polyestern, Polyvinylchlorid, Polyvinylidenchlorid, Polyamiden, Polyacrylen und Mischungen derselben.

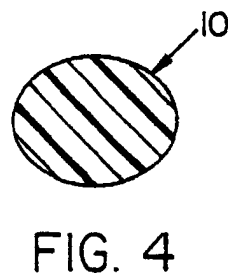
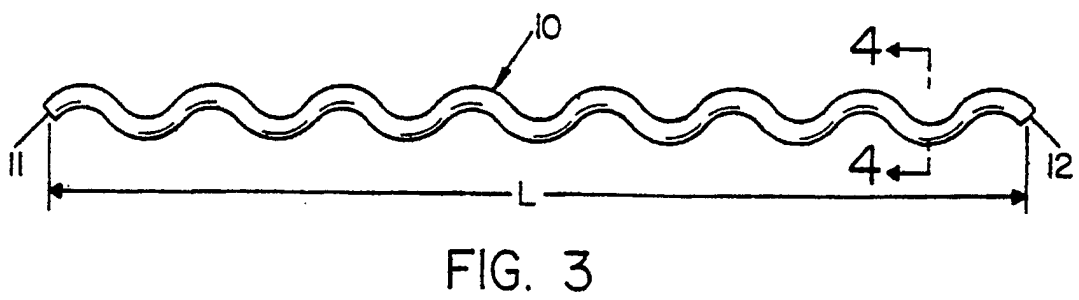
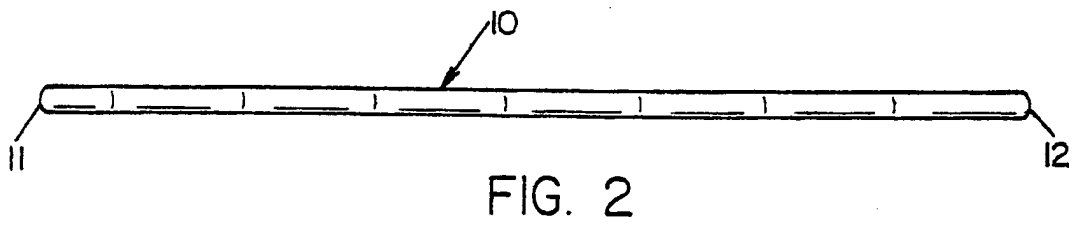
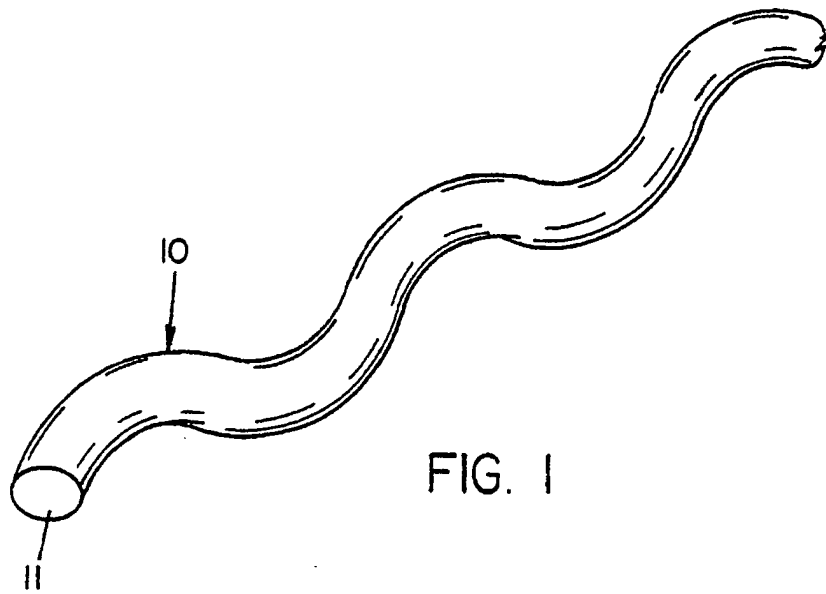
13. Verfahren nach Anspruch 12, bei denen die Vielzahl von Fasern Polypropylen mit einer ultimativen Zugfestigkeit von 450 MPa sind, wobei $k_1 = 2300$ ist, $K_2 = 12300$ ist, $C = 27,5$ ist und $C_1 = 186$ ist.

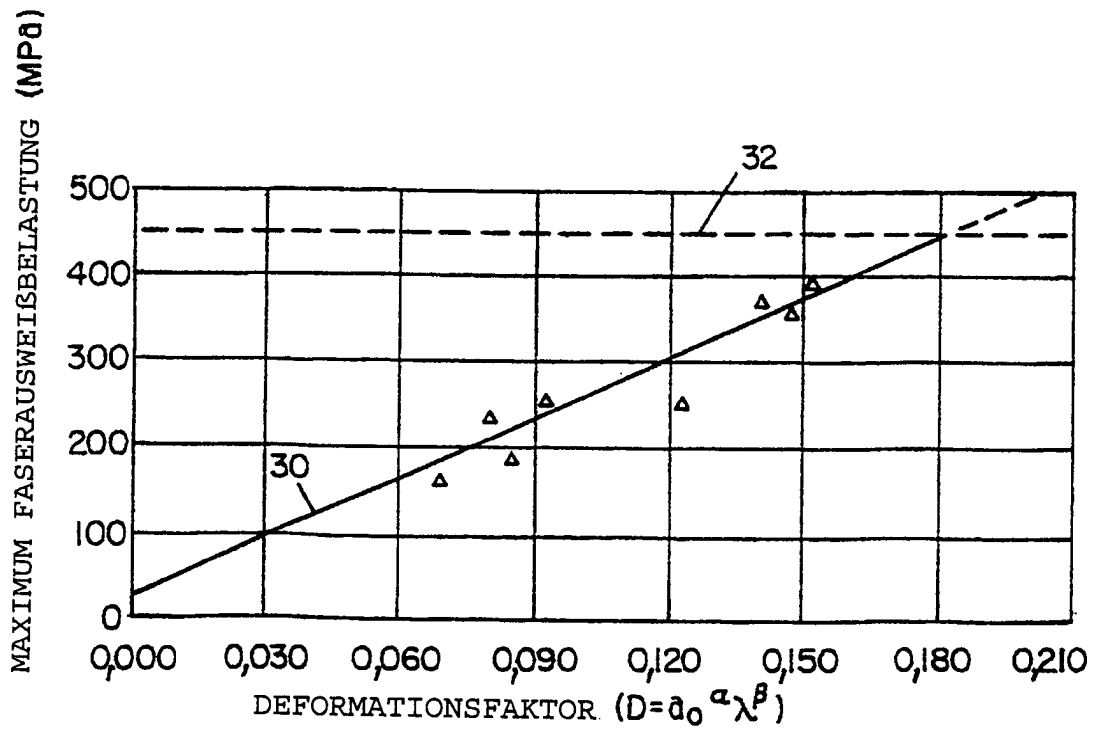
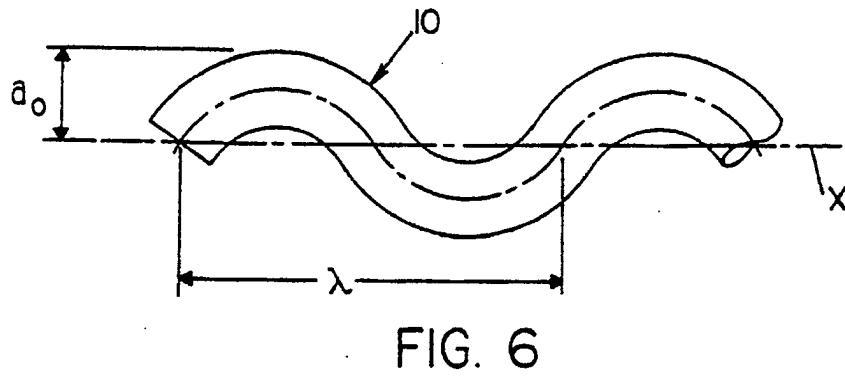
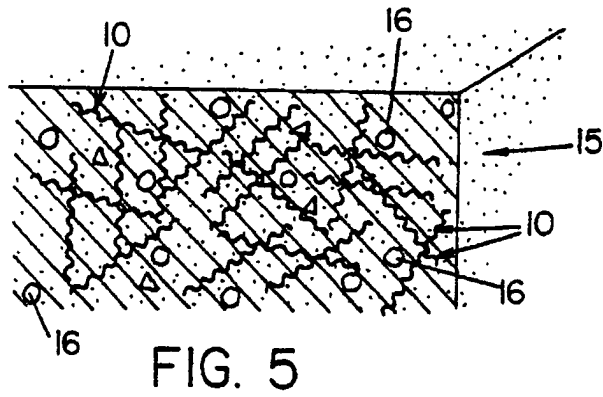
14. Verfahren nach Anspruch 11, bei denen die Vielzahl von Fasern einen Durchmesser von $0,6$ bis $0,8$ mm aufweisen, eine Amplitude von $0,5 d_f$ bis $1 d_f$ aufweisen und eine Periode von $4 d_f$ bis $7 d_f$ aufweisen.

15. Verfahren nach Anspruch 11, bei denen die Vielzahl von Fasern einen Durchmesser von $0,76$ mm aufweisen, eine Amplitude von $0,25$ mm aufweisen und eine Periode von $3,9$ mm aufweisen.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen





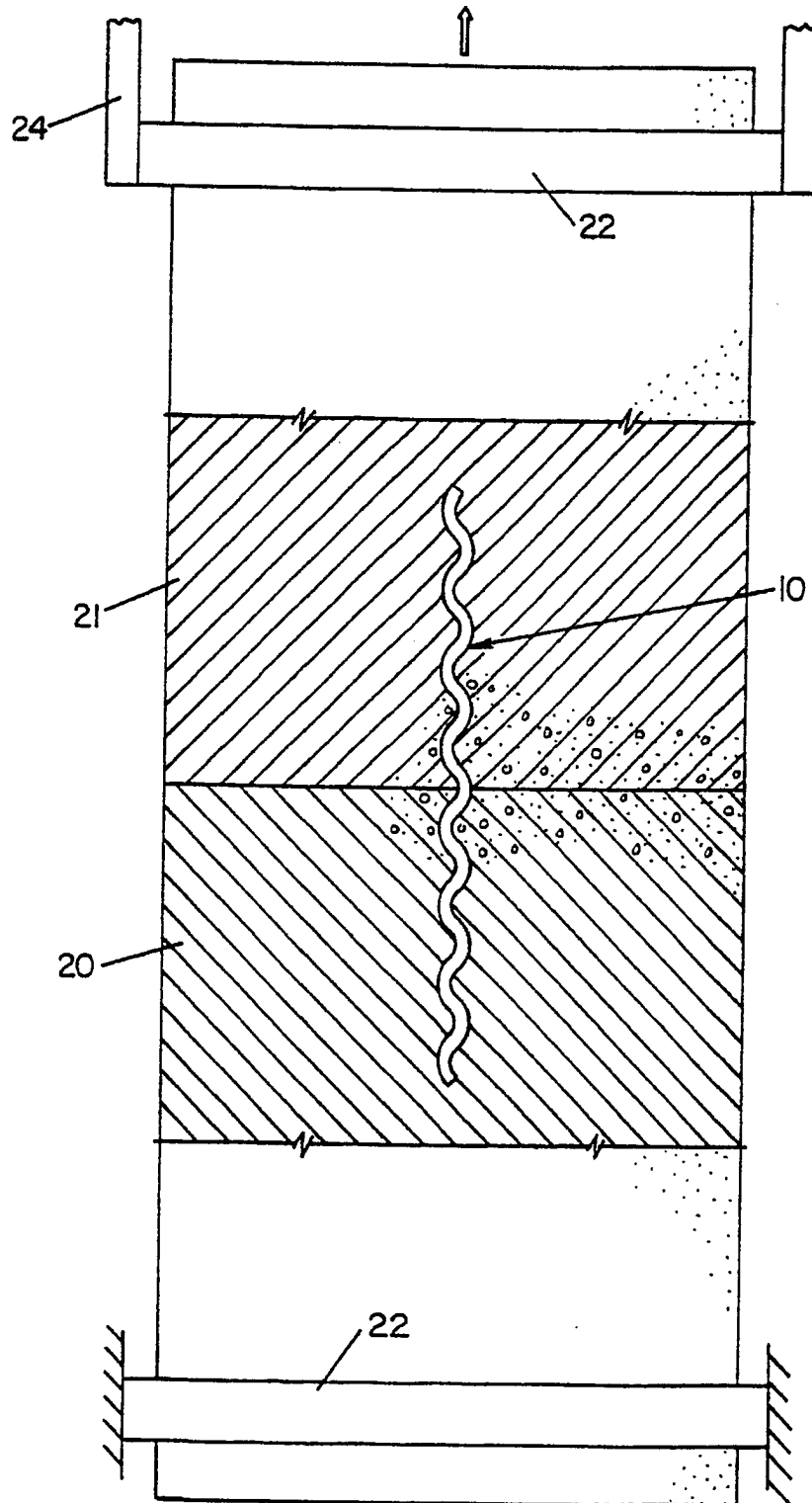


FIG. 7

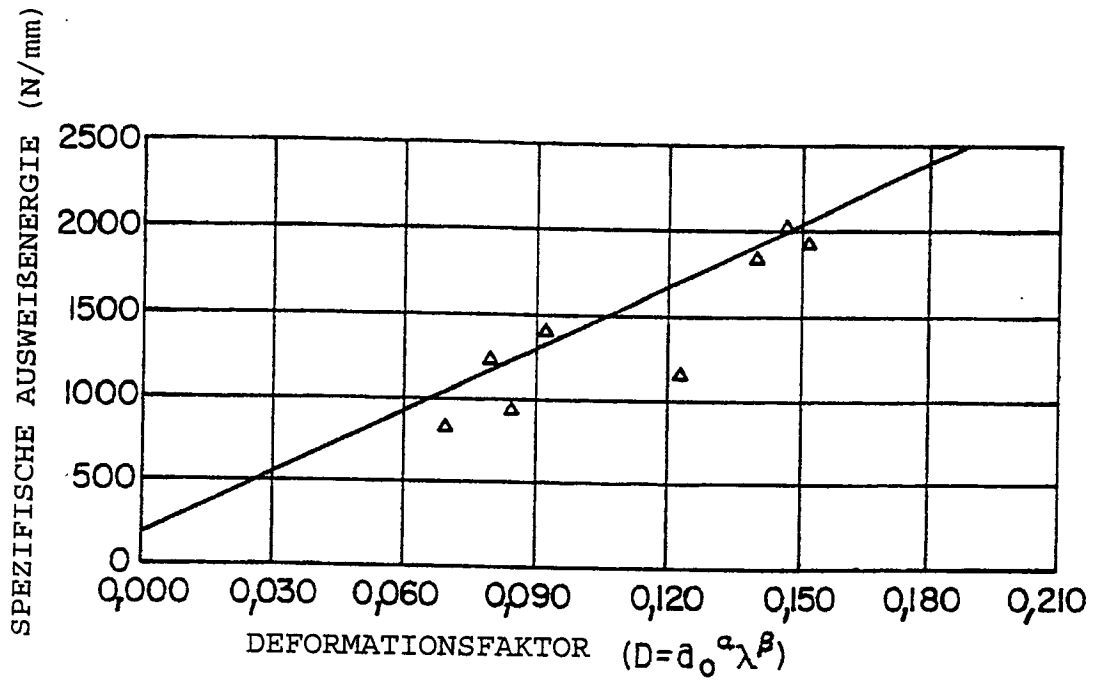


FIG. 9

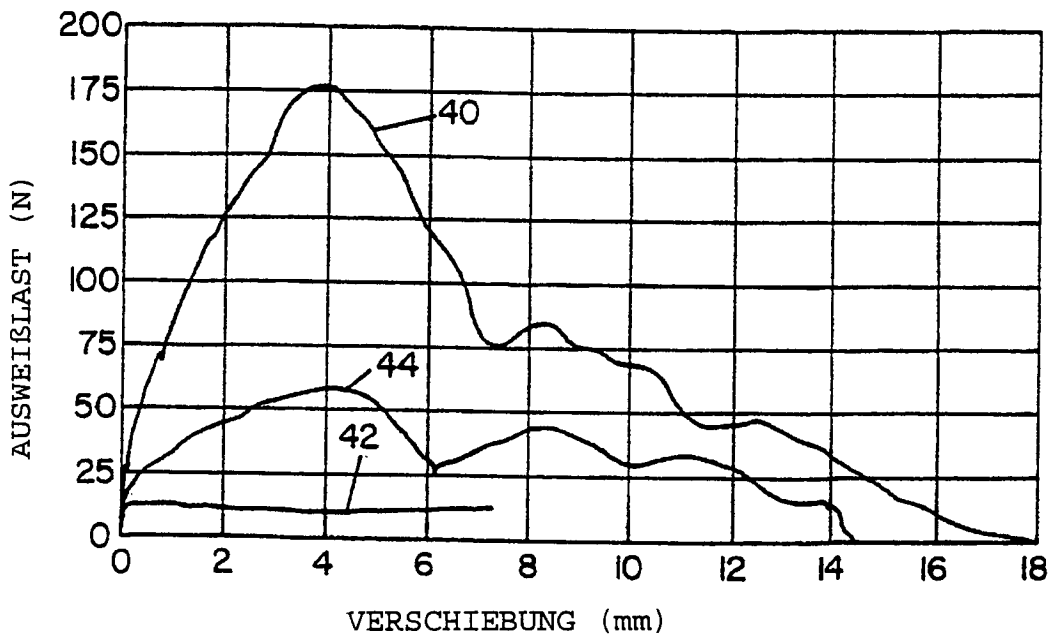


FIG. 10