

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 1690/2004 (51) Int. Cl.<sup>8</sup>: G01N 3/08 (2006.01)  
(22) Anmeldetag: 2004-10-11  
(43) Veröffentlicht am: 2006-06-15

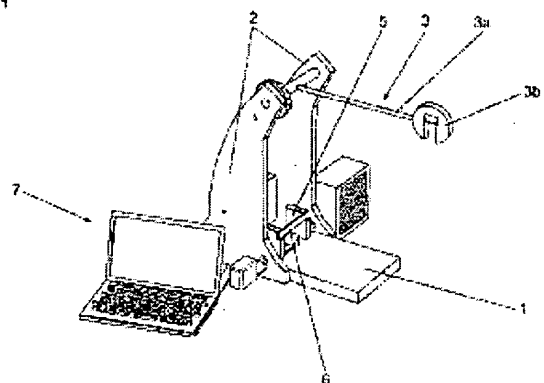
(73) Patentanmelder:  
HAFELLNER REINHARD DIPL.ING.  
A-8720 ST. MARGARETHEN (AT)  
MLEKUSCH BERND DR.  
A-9300 ST. VEIT/GLAN (AT)

(54) **VERFAHREN UND VORRICHTUNG ZUR ERMITTLUNG MECHANISCHER EIGENSCHAFTEN EINES MATERIALS**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung mechanischer Eigenschaften eines Materials, insbesondere von Metallen, Kunststoffen, Verbundwerkstoffen oder dergleichen, durch dynamische Belastung eines Probekörpers (6) aus diesem Material und unter Messung und Aufzeichnung von die Belastung charakterisierenden Werten und Weiterverarbeitung der Werte als Daten in mindestens einem Rechner (7).

Um Materialeigenschaften anhand von realitäts- und somit seriennah erstellten Probekörpern (6) in kurzer Zeit, je nach Komplexität des Materials in wenigen Minuten bis Stunden, exakt ermitteln zu können, wird auf Basis von im Rechner (7) gespeicherten Ausgangsdaten über den Probekörper (6) und / oder sein Material, unter Anwendung eines während oder unmittelbar nach der Belastung automatisch ablaufenden, Simulationen durchführenden, iterativen Rechenverfahrens rechnerisch eine schrittweise Annäherung an die gemessenen Werte bzw. Daten durchgeführt.

Fig. 1



Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Vorrichtung zur Ermittlung mechanischer Eigenschaften eines Materials, insbesondere von Metallen, Kunststoffen, Verbundwerkstoffen oder dergleichen, durch dynamische Belastung eines Probekörpers aus diesem Material und unter Messung und Aufzeichnung von die Belastung charakterisierenden Werten und Weiterverarbeitung dieser Werte als Daten in mindestens einem Rechner.

Zur rechnerischen Simulation von dynamischen Vorgängen in Bauteilen aus bestimmten Materialien ist es erforderlich, das Materialverhalten, beispielsweise das Spannungs-/Dehnungsverhalten, dessen Abhängigkeit von der Temperatur und von der Belastungsgeschwindigkeit etc., genau zu kennen. Es ist bekannt, Probekörper aus den betreffenden Materialien in Prüfmaschinen zu belasten, um das Materialverhalten zu ermitteln. Im Einsatz befindliche Prüfmaschinen für die Ermittlung von dynamischen Materialeigenschaften sind meist aufwändig und teuer, da ein erheblicher maschineller Aufwand erforderlich ist, um konstante hohe Geschwindigkeiten und hohe Kräfte wirken zu lassen. Zudem sind die mit den derzeitigen Methoden ermittelten Materialdaten aus unterschiedlichen Gründen weit von der Realität entfernt. Die wesentlichen Gründe für die Abweichungen der ermittelten Daten von den realen Materialkennwerten sind die Art der Belastung derzeitiger Prüfkörper sowie deren Herstellung.

Die Ermittlung der Materialeigenschaften erfolgt gemäß dem Stand der Technik insbesondere durch die Auswertung von Zugversuchen, meist anhand von zylindrischen Probekörpern oder flachen Schulterstäben. Diese Probekörper werden aufgrund der benötigten Abmessungen im Allgemeinen durch ein Verfahren hergestellt, das sich vom Prozess zur serienmäßigen Herstellung stark unterscheidet. Ein Beispiel dafür stellt die Herstellung von zylindrischen Probekörpern aus Kunststoff dar, die durch mechanische spanabhebende Bearbeitung von zuvor gepressten dickwandigen Platten erzeugt werden. Molekülorientierung, mögliche Faser- oder Partikelorientierung und Morphologie des Kunststoffes weichen dabei stark von später im Einsatz befindlichen Bauteilen ab, die aus diesem Material, beispielsweise im Spritzgussverfahren, gefertigt werden. Bei Metallbauteilen ist ebenfalls der Herstellprozess für deren Eigenschaften von großer Bedeutung, da durch Strömungs- und Verformungsverhältnisse oder Abkühlbedingungen die Gefügestrukturen und Kristallgrößen im Werkstoff und somit Festigkeiten und Dehnvermögen stark beeinflusst werden. Die Unterschiede zwischen den Eigenschaften aufgrund der Herstellbedingungen können mehrere 100% betragen.

Der dynamische Zugversuch stellt keine adäquate Belastung eines Probekörpers dar, da die am Häufigsten auftretende Belastungsart auf den meisten Gebieten der Technik eine Biegebelastung ist. Im Biegeversuch werden die Zonen, die den Oberflächen näher liegen, deutlich stärker belastet, was sich in den gemessenen Daten widerspiegelt. Unterschiede in den Eigenschaften von Probekörpern und tatsächlichen Bauteilen sind auch zwischen oberflächennahen Bereichen im Probekörper bzw. Bauteil und Bereichen im Inneren des Probekörpers (Kernschicht) bzw. Bauteiles zu finden. Randzonen besitzen meist eine ausgeprägtere Orientierung von Molekülen, Füllstoffen oder kristallinen Zonen und auch feinkörnigere Strukturen. Auch die Unterschiede in den mechanischen Eigenschaften zwischen Oberflächenschicht und Kernschicht können über 100 % betragen. Aus diesem Grund ist der Biegeversuch für die meisten technischen Lastfälle zu bevorzugen. Die in einem dynamischen Zugversuch feststellbaren Eigenschaften lassen daher keine ausreichend genauen Aussagen über das Spannungs/Dehnungsverhalten zu.

Bekannt ist es auch, Probekörper dynamisch auf Biegung zu beanspruchen. Dabei wird der meist streifenförmige Probekörper, welcher auch aus einem realitätsnahen Herstellungsverfahren stammen kann, zwar einer realitätsnäheren Belastungsart als eine dynamische Belastung auf Zug ausgesetzt, diese Belastungsart hat jedoch den Nachteil einer schwierigen Auswertung, sodass auch hier die Ermittlung der tatsächlichen Materialeigenschaften auf einfachem Weg nicht möglich ist.

Die EP 0 901 016 A2 befasst sich mit einem Verfahren und einer Einrichtung zur Bestimmung

von Eigenschaften von Stahl, insbesondere zur Bestimmung zumindest einer der Größen Streckgrenze, Dehngrenze, Zugfestigkeit, Bruchdehnung, Härte, Duktil-Spröd-Übergangstemperatur und der Gefügebestandteile mittels zumindest einen neuronalen Netzes, welches mit bekannten Daten trainiert wird. Die US 2004/0103713 A1 betrifft ein Pendelschlagwerk, welches zum Crashtesten von Fahrzeugkomponenten vorgesehen ist. In einem Rechner werden die im jeweiligen Crashtest wirkenden Beschleunigungen und Verzögerungen aufgezeichnet und die Daten weiter verarbeitet.

Gegenstand der US 5 905 204 A ist eine spezielle Prüfkörpergeometrie, sodass bestimmte Spannungs- und Dehnungsgradienten im Material unter Belastung erzeugt werden können, beispielsweise unter Verwendung einer Standard-Spannungstestmaschine. In der US 6 119 527 A geht es um ein iteratives Verfahren zur Bestimmung charakteristischer Parameter einer optischen Faser, welche einseitig fixiert wird und statisch solange gebogen bzw. verformt wird bis sie bricht.

Der Erfindung liegt somit die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren und ein Vorrichtung zur Verfügung zu stellen, welche es ermöglichen, Materialeigenschaften anhand von realitäts- und somit seriennah erstellten Probekörpern in kurzer Zeit, je nach Komplexität des Materials, in wenigen Minuten bis Stunden, exakt ermitteln zu können.

Was das Verfahren betrifft wird die gestellte Aufgabe erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass auf Basis von im Rechner gespeicherten Ausgangsdaten über den Probekörper und / oder sein Material unter Anwendung eines während oder unmittelbar nach der Belastung automatisch ablaufenden, Simulationen durchführenden, iterativen Rechenverfahrens rechnerisch eine schrittweise Annäherung an die gemessenen Werte bzw. Daten durchgeführt wird.

Die Simulation bildet dabei den komplex ablaufenden Belastungsversuch durch entsprechende Rechenmodelle virtuell ab.

Eine erfindungsgemäß ausgeführte Vorrichtung ist gekennzeichnet, durch eine Einrichtung zum Positionieren, insbesondere zum losen Auflegen, zum Einspannen oder sonstigen Fixieren des Probekörpers, eine Einrichtung zur Belastung des Probekörpers auf Biegung, vorzugsweise bis zum Bruch, mittels einer in Bewegung gesetzten Masse, messtechnische Einrichtungen zur Ermittlung von am Probekörper auftretenden Beschleunigungs-, Kraft- oder Wegdaten, insbesondere in Abhängigkeit von der Zeit, ein im Rechner auflaufendes Programm, welches auf Basis von gespeicherten, insbesondere den Probekörper und / oder sein Material betreffende Ausgangsdaten automatisch in einem iterativ Simulationen durchführenden Rechenverfahren eine schrittweise Annäherung der rechnerisch ermittelten Daten an die realen Messwerte durchführt.

Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Vorrichtung ermöglichen die Ermittlung von Materialeigenschaften auch an Prüfkörpern mit schwierig feststellbarem physikalischem Verhalten, wie beispielsweise bei einer dynamischen Schwingung durch den Aufprall von Masse, und gegebenenfalls schwieriger Geometrie aus unterschiedlichen Materialien. Die Probekörper können dabei realitätsnah bzw. seriennah hergestellt sein. Die rechnerisch ermittelten Daten sind dabei insbesondere solche, die das Spannungs/Dehnungsverhalten als Kurvenverlauf für eine bestimmte Belastungsgeschwindigkeit bzw. Temperatur etc. wiedergeben. Für manche Materialien, beispielsweise Polyamid, ist auch die durch das Material aufgenommene Feuchte für die Eigenschaften von großer Bedeutung. Die Spannungs/Dehnungskurve spiegelt die mechanische Charakteristik des Materials wider und Kennwerte, wie der E-Modul, die Festigkeit oder die Bruchdehnung, sind aus diesem Kurvenverlauf ablesbar.

Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung werden bzw. sind als Ausgangsdaten den Probekörper und / oder sein Material kennzeichnende oder beschreibende Daten, wie

Abmessungen, Gewicht, Dichte etc., im Rechner abgespeichert. Dadurch wird eine schnelle und exakte rechnerische Ermittlung des Spannungs/Dehnungsverlaufes unterstützt.

5 In diesem Zusammenhang ist es günstig, wenn der geschätzte E-Modul des Materials des Probekörpers als Ausgangswert abgespeichert wird und derart ebenfalls den Berechnungen zugrunde gelegt werden kann.

10 Daten aus bereits durchgeführten Berechnungen oder Versuchen, die unabhängig vom betreffenden Belastungsversuch bereits abgespeichert sind, können ebenfalls als Ausgangsdaten herangezogen werden und Vorteilhafterweise den Ablauf der rechnerischen Simulation verkürzen.

15 Bei einer bevorzugten Ausführungsform des erfindungsgemäßen Verfahrens wird aus den bei der Belastung des Probekörpers gemessenen und an den Rechner übermittelten Werte vom Rechner eine Beschleunigung/Zeitkurve erstellt. Die für die Erstellung der Beschleunigung/Zeitkurve benötigten Messwerte lassen sich während der Belastung des Probekörpers gut ermitteln.

20 Dabei wird im Rechenverfahren das Verhalten des Probekörpers unter der durchgeführten Belastung durch Teilung des Probekörpers in Teilbereiche numerisch simuliert. Auf diese Weise lässt sich in einem iterativen Rechenverfahren eine besonders exakte Annäherung an die gemessenen Werte erzielen. Gut geeignet sind numerische Simulationen auf Basis der Methode der finiten Elemente, auf Basis der Methode der finiten Differenzen oder unter Verwendung von neuronalen Netzen.

25 Bei einer bevorzugten Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens wird der Probekörper auf Biegung bis zum Bruch belastet, was eine besonders realitätsnahe Belastungsart ist.

30 Für manche Überprüfungen ist es von Vorteil, wenn der Probekörper auf Zug- und / oder Druck belastet wird.

35 Die Einrichtung zur Belastung des Probekörpers ist vorzugsweise ein Pendelschlagwerk oder ein Fallturm. Diese Einrichtungen gestatten eine Belastung des Probekörpers auf Biegung bis zum Bruch und können auf relativ einfache Weise mit den zur Ermittlung der Messwerte erforderlichen Einrichtungen, wie Beschleunigungsaufnehmer, Kraftsensoren, Dehnmessstreifen und dergleichen, versehen werden.

40 Der Belastungsvorgang kann zusätzlich von einer Kamera aufgezeichnet werden, um Vergleiche mit einer etwaig vom Rechner simulierten Darstellung des Bruchvorganges durchzuführen.

45 Bei einem Pendelschlagwerk besteht die Pendelstange, die ja hohen dynamischen Belastungen unterliegt, bevorzugt aus einem Kohlefaserverbundmaterial oder enthält ein derartiges Material. Dieses Material stellt geringe Störungen durch Eigenschwingungen sicher, was für eine genaue und störungsarme Auswertung der Messdaten aus dem Belastungsversuch von großer Bedeutung ist.

Weitere Merkmale, Vorteile und Einzelheiten der Erfindung werden nun anhand der Zeichnung, die ein Ausführungsbeispiel darstellt, näher beschrieben. Dabei zeigen

50 Fig. 1 ein Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Vorrichtung mit einer Prüfeinrichtung und einem Rechner und

Fig. 2 ein Diagramm, in welchem Experiment und Simulation gegenüber gestellt sind.

55 Fig. 1 zeigt schematisch eine Ausführung einer Prüfvorrichtung als Pendelschlagwerk. Das dargestellte Pendelschlagwerk weist eine Basisplatte 1 und zwei Halterungen 2 zur Aufnahme

der drehbaren Lagerung eines eine Pendelstange 3a und eine Pendelmasse 3b aufweisenden Pendels 3 auf. Zwischen den beiden Halterungen 2 sind zwei Auflagen 5 zum Positionieren eines Prüfkörpers 6 vorgesehen. Die beiden Auflagen 5 sind bei der dargestellten Ausführungsform für einen Prüfkörper 6 in Form einer Stange oder einer länglichen Platte vorgesehen und gestatten ein loses Auflegen und ein Abstützen des Prüfkörpers 6 beim Auftreffen der Pendelmasse 3b. Der Probekörper kann auch eingespannt oder auf sonstige Weise fixiert werden. Zur Prüfvorrichtung gehören ferner Beschleunigungssensoren, die beispielsweise auf der Pendelmasse sowie gegebenenfalls im Bereich der Auflagen (Widerlager) oder der Grundplatte angeordnet sind, zumindest ein elektrischer Weg- oder Winkelgeber im Bereich der drehbaren Lagerung zur Ermittlung der Pendelstartposition sowie des Pendelwinkels zu verschiedenen Zeitpunkten beim Ablauf der Prüfung, vorzugsweise auch Piezo-Kraftsensoren und / oder Dehnmessstreifen, welche beispielsweise auf den Auflagen 5 oder auf der Pendelmasse 3b im Bereich der Kraftübertragung auf den Prüfkörper angeordnet sind und den Kraftverlauf über die Zeit ermittelt. Die Pendelstange 3a, die dynamischen Belastungen unterliegt, wird bevorzugt aus einem Kohlefaserverbundmaterial hergestellt oder enthält ein derartiges Material aus Gründen einer geringeren Masse und der hohen Steifigkeit und zur Verringerung von Störungen durch Eigenschwingungen. Die Verringerung von Eigenschwingungen der Vorrichtung während des Versuches ist für eine genaue und schnelle Auswertung von großer Bedeutung.

Ein Rechner 7, welcher über ein Programm Daten der Versuchsdurchführung bearbeitet und rechnerisch zumindest eine Simulation pro Prüfung durchführt, ist ein weiterer Bestandteil der erfindungsgemäßen Vorrichtung. Anstelle eines Rechners können zur Reduktion der Rechenzeit mehrere Rechner in Form eines Clusters vorgesehen sein. Vor der Versuchsdurchführung werden den Probekörper und gegebenenfalls sein Material betreffende Daten eingegeben, zu welchen die Dimensionen des Probekörpers, Gewicht, Dichte, gegebenenfalls die Prüfbedingungen (Luftfeuchtigkeit, Temperatur), aber auch Daten über das Pendelschlagwerk, wie Pendelmasse, Pendellänge, Auflagelänge des Probekörpers im Pendelschlagwerk etc., gehören. Gegebenenfalls können auch ein geschätzter E-Modul sowie die erwartete Bruchdehnung eingegeben werden, wobei vorgesehen ist, dass aus sämtlichen Werten die benötigte Energie für die Belastung bis zum Bruch durch das Programm errechnet wird. Anhand der Energie errechnet der Rechner die für das voraussichtliche Durchschlagen des Probekörpers erforderliche Pendelhöhe bzw. die zu wählende Pendelmasse 3b.

Beim Durchschlagen des Probekörpers durch die Pendelmasse 3b werden an den Rechner die zur Erstellung des in Fig. 2 gezeigten Beschleunigungs-Zeit-Diagrammes 12 erforderlichen Messwerte übermittelt. Nun wird automatisch eine rechnerische Simulation gestartet, wobei ausgehend von Ausgangsdaten in Form einer Spannungs-Dehnungskurve der Belastungsvorgang durch eine Simulation virtuell berechnet wird und schrittweise durch Änderung dieser Ausgangsdaten eine Annäherung der Ergebnisse der Simulation an die realen Messwerte erreicht werden soll. Die rechnerische Simulation erfolgt derart, dass der Probekörper in eine Vielzahl von Teile zerlegt wird, um die physikalischen Abläufe auf numerischem Weg zu ermitteln. Die zu Grunde gelegte numerische Methode ist bevorzugt die Methode der finiten Elemente, es eignen sich aber auch andere Methoden, beispielsweise die Methode der finiten Differenzen oder eine Anwendung von neuronalen Netzen. Zu den Ausgangsdaten, die herangezogen werden, gehören die eingegebenen, den Probekörper betreffenden Daten und / oder die eingegebenen geschätzten Daten (Werte, wie E-Modul) und / oder andere Daten (Werte), die bereits im Rechner zu vergleichbaren vorherigen Berechnungen vorhanden sind. Die Ausgangsdaten bzw. Ausgangswerte werden im Rahmen der Simulation so lange variiert, bis die rechnerischen Ergebnisse der Simulation den realen Messdaten des durchgeführten Versuches ausreichend nahe liegen bzw. fast eine Übereinstimmung vorliegt. Das Ergebnis ist ein errechneter Spannungs-/Dehnungsverlauf (Kurve, Tabelle, Werte), der die mechanischen Eigenschaften des seriennah hergestellten Probekörpers unter der realitätsnah durchgeführten Biegebelastung sehr genau wiedergibt. Diese Daten sind die Basis für die Weiterentwicklung oder vergleichende Bewertung von Materialien bzw. dienen wiederum als Eingangsparameter für Simulationen von komplexen Bauteilen. Ein Beispiel dafür ist die Berechnung eines Kopfaufpralles auf ein

Armaturenbrett bei einem Verkehrsunfall. Das Bauteil (Armaturenbrett) wird auf Biegung belastet und kann mit Hilfe der Erfindung sehr genau optimiert werden, sodass Schaden an Personen bei Unfällen möglichst gering gehalten werden können.

- 5 Die Kurve 11 in Fig. 2 zeigt eine Berechnung, die bereits eine gute Übereinstimmung zu der aus dem Versuch stammenden Kurve 12 aufweist. Das rechnerische Ergebnis ist im Idealfall ein weitgehend realer Spannungs-/Dehnungsverlauf des Materials des Probekörpers.

10 Die Erfindung ermöglicht daher die rechnerische Ermittlung von Materialeigenschaften bei dynamisch biegebelasteten Probekörpern. Die Probekörper können beliebigen Bauteilen, beispielsweise auch seriennah hergestellten Bauteilen oder sogar dem Serienbauteil selbst, entnommen werden, wodurch auch eine realitätsnahe Prüfung ermöglicht ist.

15 Ein bevorzugtes Einsatzgebiet der Erfindung ist auch die rechnerische Ermittlung mechanischer Materialeigenschaften für die Qualitätssicherung (Materialeingangsprüfung, Bauteilprüfung).

20 Die Erfindung ist daher in vielen Bereichen der Forschung und Entwicklung einsetzbar, beispielsweise bei Automobilherstellern und deren Zulieferbetrieben, Materialherstellern und Materialentwicklern, in der Elektronikindustrie und in Maschinenbauunternehmen.

25 Das Material der Prüfkörper kann Metall, Kunststoff oder ein Verbundwerkstoff, gegebenenfalls mit Fasern oder Füllstoffen verstärkt, sein. Wie anhand des Ausführungsbeispiels beschrieben erfolgt die Belastung des Probekörpers bevorzugt durch Biegung beim Durchschlagen des Probekörpers. Ein Pendelschlagwerk ist daher auch die bevorzugte Belastungsvorrichtung für den Probekörper. Das Pendel kann durch seine Schwerkraft auf dem Probekörper aufprallen, es kann aber auch eine Antriebskraft auf die Pendelmasse ausgeübt werden.

30 Eine alternative Ausführungsmöglichkeit einer Belastungsvorrichtung für den Probekörper ist ein Fallturm. Die den Probekörper belastende Masse kann dabei auf einer linearen vertikalen Achse geführt und durch Schwerkraft beschleunigt auf den Probekörper auftreffen. Es sind jedoch auch auf andere, auf hydraulische, pneumatische oder sonstiger mechanischer Weise angetriebene Belastungsvorrichtungen für den Prüfkörper denkbar.

35 Die durch das Programm durchgeführte und automatisiert ablaufende numerische iterative Berechnung der Materialkennwerte wird in der erforderlichen Anzahl von Schritten durchgeführt, um die vorgegebene (erwünschte) Genauigkeit zu erreichen.

## 40 Patentansprüche:

- 45 1. Verfahren zur Ermittlung mechanischer Eigenschaften eines Materials, insbesondere von Metallen, Kunststoffen, Verbundwerkstoffen oder dergleichen, durch dynamische Belastung eines Probekörpers (6) aus diesem Material und unter Messung und Aufzeichnung von die Belastung charakterisierenden Werten und Weiterverarbeitung der Werte als Daten in mindestens einem Rechner (7),  
*dadurch gekennzeichnet,*  
 dass auf Basis von im Rechner (7) gespeicherten Ausgangsdaten über den Probekörper (6) und / oder sein Material, unter Anwendung eines während oder unmittelbar nach der Belastung automatisch ablaufenden, Simulationen durchführenden, iterativen Rechenverfahrens rechnerisch eine schrittweise Annäherung an die gemessenen Werte bzw. Daten durchgeführt wird.
- 50 2. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet,* dass zu den Ausgangsdaten den Probekörper (6) und / oder sein Material kennzeichnende oder beschreibende Daten, wie Abmessungen, Gewicht, Dichte, gehören.
- 55

3. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass zu den Ausgangsdaten geschätzte Daten, beispielsweise der geschätzte E-Modul des Materials des Probekörpers (6), gehören.
- 5 4. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass zu den Ausgangsdaten im Programm vorhandene Daten aus bereits durchgeführten Berechnungen oder Versuchen gehören, die unabhängig vom betreffenden Belastungsversuch bereits abgespeichert sind.
- 10 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, *dadurch gekennzeichnet*, dass aus den bei der Belastung der Probekörper (6) gemessenen und an den Rechner (7) übermittelten Werte vom Rechner eine Beschleunigungs/Zeitkurve (12) erstellt wird.
- 15 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, *dadurch gekennzeichnet*, dass das Rechenverfahren das Verhalten des Probekörpers (6) unter der durchgeführten Belastung durch Teilung des Körpers (6) in Teilbereiche numerisch simuliert.
- 20 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, *dadurch gekennzeichnet*, dass die numerische Simulation auf Basis der Methode der finiten Elemente durchgeführt wird.
- 25 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, *dadurch gekennzeichnet*, dass die numerische Simulation auf Basis der Methode der finiten Differenzen durchgeführt wird.
- 30 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, *dadurch gekennzeichnet*, dass die numerische Simulation unter Verwendung von neuronalen Netzen durchgeführt wird.
- 35 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Probekörper (6) auf Biegung, vorzugsweise bis zum Bruch, belastet wird.
- 40 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass der Probekörper (6) auf Zug und / oder Druck belastet wird.
- 45 12. Vorrichtung zur Ermittlung mechanischer Eigenschaften eines Materials, insbesondere von Metallen, Kunststoffen, Faserverbundwerkstoffen oder dergleichen, durch dynamische Belastung eines Probekörpers (6) aus diesem Material und unter Messung und Aufzeichnung von die Belastung *gekennzeichnet durch*,  
eine Einrichtung (5) zum Positionieren, insbesondere zum losen Auflegen, zum Einspannen oder sonstigen Fixieren des Probekörpers (6),  
eine Einrichtung zur Belastung des Probekörpers (6) auf Biegung, vorzugsweise bis zum Bruch, mittels einer in Bewegung gesetzten Masse (3),  
messtechnische Einrichtungen zur Ermittlung von am Probekörper (6) auftretenden Beschleunigungs-, Kraft- oder Wegdaten, insbesondere in Abhängigkeit von der Zeit,  
ein im Rechner (7) ablaufendes Programm, welches auf Basis von gespeicherten, insbesondere den Probekörper (6) und / oder sein Material betreffende Ausgangsdaten automatisch in einem iterativ Simulationen durchführenden Rechenverfahren eine schrittweise Annäherung der rechnerisch ermittelten Daten an die realen Messwerte durchführt.
- 50 13. Vorrichtung nach Anspruch 12, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Einrichtung zur Belastung des Probekörpers (6) ein Pendelschlagwerk (1,2,3) ist.
- 55 14. Vorrichtung nach Anspruch 12, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Einrichtung zur Belastung des Probekörpers (6) ein Fallturm ist.
15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 14, *dadurch gekennzeichnet*, dass eine den Belastungsvorgang aufzeichnende Kamera vorgesehen ist.

16. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 15, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Belastungseinrichtung Beschleunigungsaufnehmer, Kraftsensoren, Dehnmessstreifen und dergleichen aufweist.
- 5 17. Verfahren nach einem der Ansprüche 12 bis 15, *dadurch gekennzeichnet*, dass das Pendelschlagwerk (1,2,3) eine Pendelstange (3a) umfasst, die aus einem Kohlefaserverbundmaterial besteht oder ein solches enthält.

10 **Hiezu 2 Blatt Zeichnungen**

15

20

25

30

35

40

45

50

55

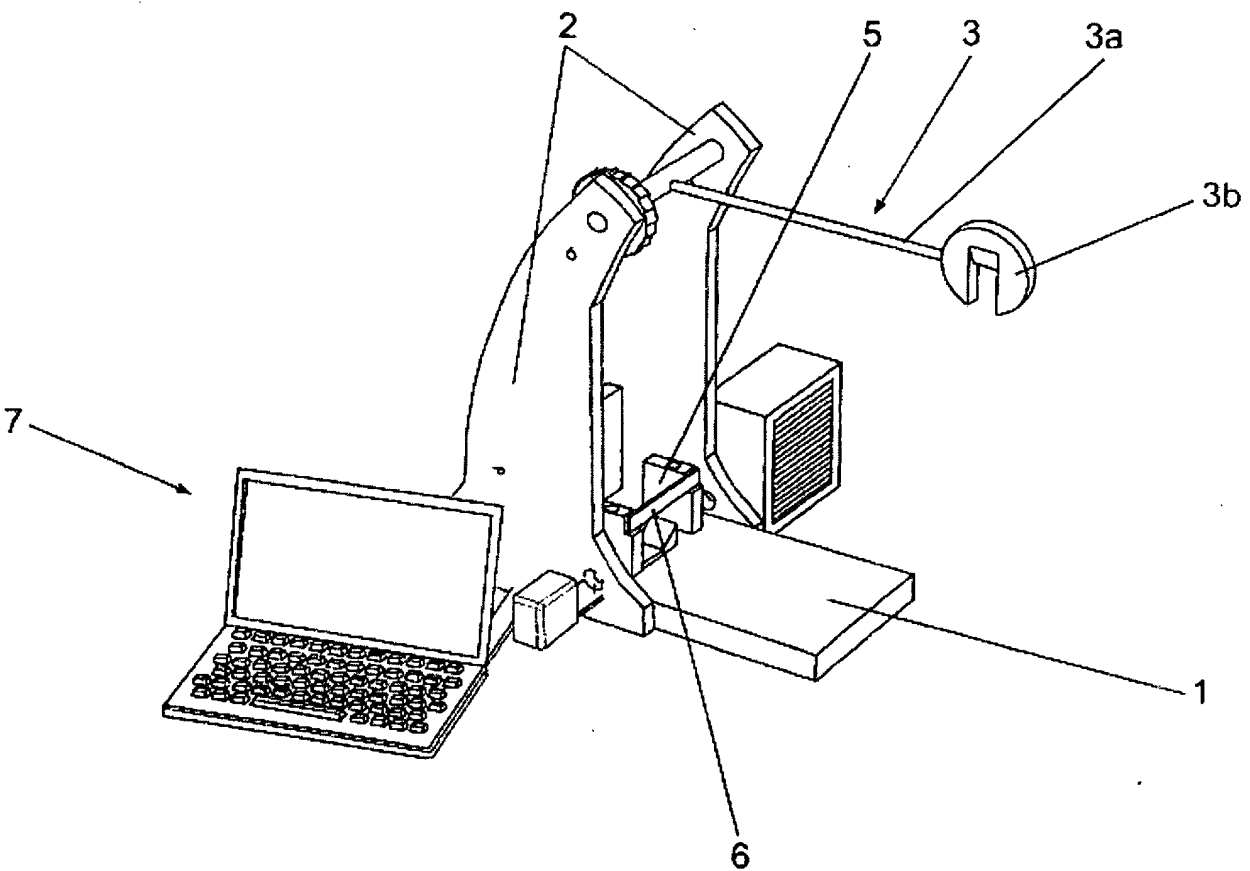


Fig. 1



Fig. 2

