(19) Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 014 246 A1** 2005.06.23

(12) # Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 014 246.7**
(22) Anmeldetag: **24.03.2004**
(43) Offenlegungstag: **23.06.2005**

(51) Int Cl.[7]: **G01M 5/00**

(66) Innere Priorität:
103 54 614.6 21.11.2003

(71) Anmelder:
Schwesinger, Frank, Dipl.-Ing., 99423 Weimar, DE

(74) Vertreter:
Liedtke, K., Dr.-Ing., Pat.-Anw., 99096 Erfurt

(72) Erfinder:
Schwesinger, Frank, Dipl.-Ing., 99423 Weimar, DE;
Schwesinger, Peter, Prof. Dr.-Ing.habil., 99423 Weimar, DE

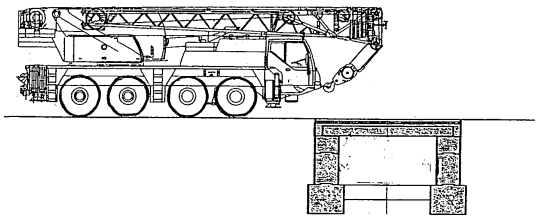
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht zu ziehende Druckschriften:
DE 101 10 606 A1
DE 199 83 753 T1
DD 1 15 207
SCHWESINGER,Peter,VOCKRODT,Hans-Jörg: Experimentelle Tragfähigkeits- analyse einer historischen Bogenbrücke in Erfurt. In: Ernst & Sohn, Bautechnik, 79,2002,6,S.355-367;;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Anordnung zur Ermittlung belastungsabhängiger Tragwerksverformungen**

(57) Zusammenfassung: Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die experimentelle Bewertung der Tragfähigkeit sowie die Durchführung herkömmlicher Probebelastungen hinsichtlich der Messung der Verformungen zu vereinfachen.
Erfindungsgemäß gelingt die Lösung der Aufgabe dadurch, dass die Belastung des Tragwerks mithilfe für den Straßenverkehr zugelassener mehrachsiger Fahrzeuge stufenweise aufgebracht wird, indem das Tragwerk durch die Fahrzeugachsen belastet und anschließend wieder entlastet wird, wobei die dadurch erzeugten Zeit-/Last-Verformungs-Funktionen einschließlich der gesuchten Verformungs-Istwerte mittels Sensoren registriert werden, und dass die Messbasis aus einem System aus Stützenelementen und/oder Biegeträgerelementen besteht, welches mit Vorrichtungen zur Verbindung einzelner Elemente und/oder zur Sensorbefestigung versehen ist.
Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung belastungsabhängiger Tragwerksverformungen, wobei definierte Belastungen mit Fahrzeugen in das zu untersuchende Tragwerk eingetragen werden und die als Folge am Tragwerk entstehenden Verformungen ermittelt werden, sowie eine Vorrichtung zur Messung der Verformungen von Tragwerksteilen.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung belastungsabhängiger Tragwerksverformungen, insbesondere an Brücken, wobei definierte Belastungen mit Fahrzeugen bekannter Massen in das zu untersuchende Tragwerk eingetragen werden und die als Folge am Tragwerk entstehenden Verformungen ermittelt werden sowie eine Vorrichtung zur Messung der Verformungen von Tragwerksteilen.

[0002] Die Erfindung ist geeignet zur schrittweisen Belastung von Tragwerken und Messung der zugeordneten belastungsabhängigen Verformungen an diesen Tragwerken, insbesondere Brücken unterschiedlicher Bauweise und Konstruktion mit kleineren bis mittleren Spannweiten der Einzelfelder sowie vergleichbarer Hochbauten, wobei diese Verformungen in der Regel durch kurzzeitig wirkende äußere, nach Angriffsort und Größe bekannte Belastungen verursacht werden.

[0003] Die zuverlässige Messung der belastungsabhängigen Verformungen ist zum Beispiel zwingend notwendig im Zusammenhang mit Probebelastungen zwecks Bestimmung der wirklichen Belastungs-Verformungs-Funktion des untersuchten Tragwerks mit dem Ziel einer Bewertung der aktuell vorhandenen Tragfähigkeit oder der Identifikation charakteristischer Klassifizierungsmerkmale, mit deren gesichertem Nachweis Rückschlüsse auf bestimmte Konstruktionsmerkmale und damit verbundene spezifische Tragreserven gezogen werden können.

Stand der Technik

[0004] Im Stand der Technik ist es bekannt, dass zur Erzeugung definierter Belastungen durch Eintragung von Kräften in das zu untersuchende Tragwerk, als deren Reaktion die zu messenden Verformungen entstehen, Fahrzeuge bekannter Masse einzusetzen. Ein derartiges Verfahren ist beschrieben in Vockrodt, H.-J.; Schwesinger, P.: Experimentelle Tragfähigkeitsanalyse einer historischen Bogenbrücke in Erfurt, Bautechnik 79 (2002) 6, S. 355–367.

[0005] Ferner sind auch spezielle Belastungseinrichtungen in Bolle, G.; Bucher, Chr.; Huth, O.; Schwesinger, P.: Experimentelle Tragsicherheitsbewertung der Brücke über die Ilm in Darnstedt, Schriftenreihe des FB Bauingenieurwesen der HS Bremen, Heft 11, S. 109...122, (1998) beschrieben. Diese Belastungseinrichtungen bestehen aus mehreren, an die zu belastende Konstruktion durch Zugstangen angekoppelte Belastungsrahmen, die an den Lasteinleitungspunkten auf dem Tragwerk gelagert sind. An den Rahmenenden sind Zugstangen und Rahmen mit zwischengeschalteten hydraulischen Pressen kraftschlüssig miteinander verbunden. Die erzeugten Kräfte werden einerseits über die Zugstangen an den Tragwerksenden verankert, andererseits wirken sie in gleicher Größe, aber entgegen gesetzter Richtung in den Lasteinleitungspunkten als äußere Belastung auf das Tragwerk. Bei dieser Anordnung wirken die Kräfte im so genannten Kräftekreislauf h. h. andere Kontruktionsteile, wie z. B. die Gründung, bleiben dabei unbelastet.

[0006] Bei den in Schwesinger, P.; Thor, B.: Verfahrens- und bauwerksbezogene Erfahrungen aus den Thüringer BELFA-Pilotobjekten Thalbürgel und Kleinmölsen. Fachtagung Bauwerksdiagnose "Praktische Anwendungen Zerstörungsfreier Prüfungen" der DGZfP, Leipzig 25.–26.10.2001; DGZfP-Berichtsband 76 CD sowie in DE 199 25 269 C1 beschriebenen Verfahren werden speziell entwickelte Belastungsfahrzeuge verwendet.

[0007] Die dort beschriebenen Lösungen gestatten die hydraulische Krafterzeugung in frei wählbaren Belastungsstufen, wobei das Tragwerk unmittelbar vor Belastungsbeginn ohne Lasteinwirkung bleibt. Allerdings entstehen hier vergleichsweise hohe Kosten, die einer breiteren Anwendung dieser Methode bisher im Wege stehen.

[0008] Es ist weiter bekannt, dass zur Messung derartiger Verformungen (beispielsweise vertikale oder horizontale Verschiebungen) sowie begleitender Einflüsse (z. B. Temperatur) elektrische Messverfahren zum Einsatz kommen, mit deren Hilfe die Beträge unterschiedlicher Messgrößen in vielen, im Sinne des zu verfolgenden Ziels geeigneten Stellen des zu beobachtenden Tragwerks gleichzeitig oder seriell bestimmt werden können. Diese Art von Verformungsmessungen erfordert unter anderem in jedem Fall eine standsichere, durch die äußere Einwirkungen (Kälte, Temperatur) weitgehend unbeeinflusste (neutrale) Bezugs- und Messbasis, an der Sensoren oder Messfühler befestigt werden können. Zwecks Vermeidung von Messfehlern sollen möglichst alle Störgrößen, wie mechanische Interaktionen zwischen Messbasis und Tragwerk bzw. den einzutragenden Kräften und durch diese verursachte mechanischen Wirkungen zuverlässig unterbunden werden. Neben der bereits erwähnten mechanischen und thermischen Unempfindlichkeit beziehen sich weitere relevante Anforderungen auf die zu überbrückende Spannweite (möglichst bis etwa 15 m oder größer) und auf eine geringe Masse der Elemente, so dass vor allem auch unter oft schwierigen Einsatzbedingungen einfache Handmontage anwendbar bleibt. Allerdings sind die genannten Anforderungen nur schwer miteinander vereinbar, so dass bekannt gewordene Lösungen hinsichtlich des eingesetzten Materials (meist Stahl, Aluminium oder Holz) sowie bezüglich ihrer konstruktiven Gestaltung (z. B. vollwandige oder aufgelöste Träger, Fachwerk- oder Bogenkonstruktionen, Rohrgerüsttürme) nicht befriedigen, zumal auch hier Transport, Montage und Vorhaltung

u. U. ebenfalls hohe Aufwendungen verursachen.

[0009] Es ist weiterhin bekannt, dass zur Bewertung der Tragfähigkeit von nach Bauweise, Material, Geometrie und Alter ähnlicher bzw. vergleichbarer Tragwerke oder Tragwerksteile (z. B. auch in größerer Anzahl ausgeführte typisierte Konstruktionslösungen) nur eine relativ kleine Stichprobe der zu bewertenden Grundgesamtheit unter Anwendung der oben beschriebenen Untersuchungsmethoden experimentell belastet wird und die gefundenen Ergebnisse mit Hilfe statistischer Methoden und unter Einführung zusätzlicher Sicherheitsbeiwerte auf alle in Betracht kommenden Einzeltragwerke übertragen werden.

[0010] In DE 101 10 606 A1 wird ein Verfahren zur kontrollierten Nutzungsdauerverlängerung von Tragwerken, insbesondere von Brücken, beschrieben.

Aufgabenstellung

[0011] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, die experimentelle Bewertung der Tragfähigkeit sowie die Durchführung herkömmlicher Probebelastungen hinsichtlich der Messung der Verformungen so weit zu vereinfachen, dass der objektive Charakter der damit zu gewinnenden Informationen erhalten bleibt und gleichzeitig die entstehenden Kosten verringert werden.

[0012] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß mit einem Verfahren, welches die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale aufweist, und mit einer Vorrichtung, welche die im Anspruch 10 angegebenen Merkmale aufweist, gelöst.

[0013] Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0014] Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht beispielsweise die Anwendung der Methode der experimentellen Tragsicherheitsbewertung im weiteren Sinne, aber auch die Durchführung herkömmlicher Probebelastungen hinsichtlich der Messung der Verformungen, partiell zu vereinfachen, so dass im zuerst genannten Fall der objektive Charakter der damit zu gewinnenden Informationen erhalten bleibt und gleichzeitig insbesondere bei der Untersuchung von Brücken kleinerer Spannweiten, deren Anteil am Gesamt-Brückenbestand ca. 70% beträgt, unabhängig von der angewendeten Belastungsmethode die entstehenden Kosten verringert werden können.

[0015] Insbesondere wird der Zeit- und Kostenaufwand bei der Vorbereitung und Durchführung einer experimentellen Tragsicherheitsbewertung (oder einer herkömmlichen Probebelastung) erstens dadurch verringert, dass eine Messbasis mit zweckentsprechenden Eigenschaften, insbesondere geringe Eigenmasse, raumsparende Konstruktion, leichte Handmontage, hohe Festigkeit, geringe mechanische und thermische Verformbarkeit, als Teil einer Baukastenlösung zur Anwendung kommt.

[0016] Zweitens wird zur stufenweisen Be- und Entlastung einer Fahrspur eines Tragwerks auf der Grundlage von Ergebnissen vorher durchgeführter Vergleichs- und Nachrechnungen (Verformungs-Sollwerte) ein geeignetes mehrachsiges, für den normalen Straßenverkehr zugelassenes Fahrzeug (z. B. ein vierachsiger Kranwagen geeigneter Abmessungen und Gesamtmasse) genutzt, von dessen Verfügbarkeit in der Nähe des Bauwerksstandortes ausgegangen werden kann. Der Belastungsversuch endet mit dem Erreichen der Versuchsziellast, sofern nicht zuvor die Einhaltung anderer Kriterien die Beendigung des Belastungsvorganges erfordern.

[0017] Drittens gestatten die mit den beiden erstgenannten, erfindungsgemäß gelösten Teilaufgaben erschließbaren Kostenminderungen in geeigneten Fällen (durch die nun überschüssigen finanziellen Mittel) die Vergrößerung einer Stichprobe für den Schluss auf eine Grundgesamtheit von nach Bauweise, Material, Geometrie und Alter ähnlichen bzw. vergleichbaren Tragwerken oder Tragwerksteilen, deren Tragfähigkeit durch Übertragung der Ergebnisse einer experimentell untersuchten Strichprobe dieser Grundgesamtheit unter Inkaufnahme eines sonst nicht zu berücksichtigenden, mit subjektiv bestimmten Anteilen behafteten Sicherheitsbeiwertes zu bewerten wäre.

[0018] Umgekehrt erlaubt die Kenntnis der statistisch gesicherten, mit Hilfe geeigneter Messtechnik unter spezifischen Randbedingungen (Temperatur, statische oder dynamische Messungen bei verschiedenen Fahrgeschwindigkeiten) online registrierten Zeit-/Last-Verformungs-Funktionen eines Tragwerks viertens die Kalibrierung seines kurzeitigen Last-Verformungsverhaltens. Die Verfügbarkeit dieser damit bekannten Kalibrierdaten erlaubt die Kontrolle der eingesetzten Messtechnik hinsichtlich ihrer zeitabhängigen Stabilität und Zuverlässigkeit, daneben gestattet sie Rückschlüsse auf eine sich ggf. in größeren Zeiträumen verändernde Gebrauchstauglichkeit hinsichtlich der Tragfähigkeit der Konstruktion (z. B. als Folge unerkannter Schädigungsprozesse) und schließlich die Auswertung von unter Verkehrsbelastung z. B. dynamisch gemessenen und registrierten Zeit-Verformungs-Funktionen hinsichtlich der Masse (Last) des die Verformungen auslösenden Fahrzeuges.

Ausführungsbeispiel

[0019] Die Erfindung wird im Folgenden anhand eines Ausführungsbeispieles näher erläutert.

[0020] In den zugehörigen Zeichnungen zeigen:

[0021] Fig. 1 bis Fig. 4 den Einsatz eines Belastungsfahrzeuges in vier verschiedenen Laststellungen (Belastungsstufen),

[0022] Fig. 5 bis Fig. 7 die Laststellungen und Verformungsmessstellen MS 1 bis 3 am zu belastenden Tragwerk.

[0023] Fig. 8 bis Fig. 10 die Messgrößen-Weg/Zeit-Funktionen für die Messstellen MS 1 bis 3,

[0024] Fig. 11 ein Stützelement und

[0025] Fig. 12 ein aus CFK-Rohren und Füllelementen zusammengesetztes Trägerelement.

[0026] Wie aus den Fig. 1 bis Fig. 4 ersichtlich ist, befindet sich das Belastungsfahrzeug zunächst in Laststellung LS 0 außerhalb des messbereit instrumentierten Bauwerks. Als Belastungsfahrzeug wird im dargestellten Beispiel ein vierachsiger Kranwagen geeigneter Geometriedaten und achsweise bekannter Masse verwendet. Die im Rahmen spezieller Voruntersuchungen nach Größe und Lage ermittelten, während des Versuchs zu realisierenden weiteren drei Laststellungen sind am zu belastenden Tragwerk markiert und können mittels einer mit dem Belastungsfahrzeug gekoppelten Positions-Messeinrichtung (z. B. Inkremental-Geber) kontrolliert angefahren und zusammen mit den am Bauwerk angebrachten Sensoren MS 1 bis MS 3 (Fig. 5 bis Fig. 7) registriert werden.

[0027] Anschließend fährt das Belastungsfahrzeug in Fahrspur 1 langsam auf das Bauwerk, so dass es in der in Fig. 2 dargestellten Laststellung LS 1 zum Stillstand kommt. Während dieses Belastungsvorganges werden die Beträge der zu beobachtenden Messgrößen online ausgelesen und in Form von Messgrößen-Zeit-Funktionen für jede Messstelle registriert. Der Vorgang ist beendet, wenn das Belastungsfahrzeug seine Ausgangsposition Laststellung LS 0 wieder erreicht hat. Nach Bewertung der Messdaten und Freigabe der nächsten Laststufe nimmt das Belastungsfahrzeug die in Fig. 3 gezeigte Position für die Laststellung LS 2 ein und fährt nach Abschluss der anschließenden Messphase erneut in Laststellung LS 0 zurück. Schließlich wird der Vorgang nach Freigabe für die gleiche Fahrspur in analoger Weise ein drittes Mal durchgeführt, wobei die in Fig. 4 dargestellte Position der Laststellung LS 3 eingenommen wird. Durch Wiederholung der Belastungsfolgen Laststellung LS 1 bis Laststellung LS 3 mit Durchführung der entsprechenden Messungen wird der gesamte beschriebene Vorgang in gleicher Weise für Fahrspur 2 ausgeführt. Im Fall einer gewünschten gleichzeitigen Belastung beider Fahrspuren (Haupt- und Nebenspur) nimmt das erste Belastungsfahrzeug erneut die Position der Laststellung LS 3 in Fahrspur 1 ein und verbleibt bei fortlaufender Messung in dieser Position. Anschließend fährt ein zweites Belastungsfahrzeug (ggf. mit veränderter Gesamtmasse) messtechnisch kontrolliert schrittweise die entsprechenden Laststellungen LS in Fahrspur 2 an.

[0028] In den Fig. 5 bis Fig. 7 sind die Positionen der vier Laststellungen LS 0 bis LS 3 sowie der Verformungsmessstellen MS 1 bis MS 3 dargestellt.

[0029] Die Fig. 8 bis Fig. 10 zeigen Beispiele für die während der Belastungsvorgänge ermittelten Beträge der zu beobachtenden Messgrößen, die online ausgelesen und in Form von Messgrößen-Zeit-Funktionen für jede Messstelle aufgezeichnet wurden. Dabei entspricht Fig. 8 der Belastung in Laststellung 1, Fig. 9 der Belastung in Laststellung 2 und Fig. 10 der Belastung in Laststellung 3.

[0030] Die Fig. 11 und Fig. 12 erläutern eine Ausführungsform für eine als Baukasten ausgeführte Messbasis. Der Baukasten besteht aus zwei Grundelementen, nämlich Stützelementen **1** und Trägerelementen **2**, die mit Verbindungselementen verbunden sind. Die Verbindungselemente dienen z. B. zur Ankopplung von Sensoren **3** und zur Verbindung der Grundelemente untereinander oder mit dem Auflager. Die Sensoren **3** sind an einzelnen Grundelementen oder am Rahmen befestigt, der durch Verbinden der Stützelemente **1** und Trägerelemente **2** gebildet wird.

[0031] Das in Fig. 11 dargestellte Stützelement besteht aus einem handelsüblichen Nivellierstativ, an dem teleskopierbare Rohre **1.1** aus CFK angeordnet sind.

[0032] In Fig. 12 ist eine Ausführungsform für ein aus CFK-Rohren und Füllelementen zusammengesetztes Trägerelement mit dreieckigem Querschnitt dargestellt. Das Trägerelement ist mit einer längsverschiebbaren Auflagerelement **2.1** versehen, auf dem beispielsweise auch Sensoren befestigt werden können

Bezugszeichenliste

LS 0	Ausgangsstellung der Belastung
LS 1	erste Laststellung
LS 2	zweite Laststellung
LS 3	dritte Laststellung
MS 1	erste Messstelle
MS 2	zweite Messstelle
MS 3	dritte Messstelle
1	Stützelement
1.1	teleskopierbares Rohr
2	Trägerelement
2.1	verschiebliches Auflagerelement
3	Sensor

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung belastungsabhängiger Tragwerksverformungen, insbesondere an Brücken, wobei definierte Belastungen mit Fahrzeugen bekannter Massen und Geometrieparameter in das zu untersuchende Tragwerk eingetragen werden und die am Tragwerk entstehenden Verformungen ermittelt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Belastung für einen oder mehrere Teilbereiche des Tragwerks seriell oder gleichzeitig mit Hilfe eines oder mehrerer für den normalen Straßenverkehr zugelassener mehrachsiger Fahrzeuge mit achs- oder achsgruppenweise bekannten Kraftwirkungen und Abmessungen stufenweise aufgebracht wird, indem der erste Teilbereich des Tragwerks in einer ersten Stufe durch die erste Fahrzeugachse kurzzeitig belastet und anschließend wieder entlastet wird, wobei die dadurch erzeugten reaktionsbedingten spezifischen Zeit-/Last-Verformungs-Funktionen einschließlich der gesuchten Verformungs-Istwerte mit Hilfe von Sensoren (**3**) der elektrischen Messtechnik registriert werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mit den ermittelten Zeit-/Last-Verformungs-Funktionen das Last-Verformungsverhalten des Tragwerks kalibriert wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Kalibrierung zur Kontrolle der Zuverlässigkeit der eingesetzten Messtechnik und/oder zur Identifikation beginnender Veränderungsprozesse im Last-Verformungsverhalten des Tragwerks und/oder zur Bestimmung der Masse eines Verformungen auslösenden Fahrzeuges verwendet wird.

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren an Brücken kleinerer Spannweiten aus Stahlbeton oder Spannbeton angewendet wird, deren Fahrspuren seriell oder gleichzeitig belastet werden.

5. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Belastung mit einem mehrachsigen Kranwagen bekannter Abmessungen und achsweise bekannter Masse vorgenommen wird.

6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass im Fall einer positiven Bewertung der so gemessenen Istwerte nach geeigneten spezifischen Kriterien oder Ergebnissen begleitender Beobachtung von Schallemissionen und Vergleich mit im Rahmen von Voruntersuchungen für die jeweilige Laststellung bereitgestellten rechnerischen Sollwerten oder anderen vorgegebenen Grenzwerten ein nächster Schritt ausgeführt wird, mit dem bei analogem Ablauf nunmehr zwei belastungswirksame Fahrzeugachsen in veränderter Laststellung auf das Tragwerk wirken.

7. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass nach stufenweise kontrollierter Belastungssteigerung bis zum Erreichen der Versuchsziellast einer ersten Fahrspur des Tragwerkes und nachfolgender Entlastung die zweite Fahrspur in analoger Weise probebelastet wird.

8. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der so kontrollierte Belastungsvorgang dann beendet wird, wenn die Versuchsziellast für alle zu untersuchenden Teilbereiche seriell und danach bei Erfordernis auch bei gleichzeitiger Wirkung erreicht werden konnte oder andere vorgegebene Grenzwerte und/oder versuchsbegleitend ermittelte Beobachtungsergebnisse dies erfordern.

9. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine experimentell untersuchte Stichprobe einer Grundgesamtheit von nach Bauweise, Material, Geometrie und Alter ähnlichen bzw. vergleichbaren Tragwerken oder Tragwerksteilen, deren Tragfähigkeit durch Übertragung der Ergebnisse dieser Stichprobe auf die Grundgesamtheit unter Zuhilfenahme von Sicherheitsbeiwerten bewertet wird, vergrößert wird.

10. Anordnung zur Messung der Verformungen von Tragwerksteilen mit einer standsicheren Messbasis, an der Sensoren (**3**) oder Messfühler befestigt sind, insbesondere zur Durchführung einer Probebelastung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Messbasis aus einem aus Stützenelementen (**1**) und/oder Biegeträgerelementen (**2**) zusammengesetzten System besteht, welches rohrförmige oder aus Rohrquerschnitten zusammengesetzte Bauelemente aus carbonfaserverstärkten Verbundwerkstoffen enthält und mit Kopplungs- und Anschlussvorrichtungen zur Verbindung einzelner Elemente und/oder zur Sensorbefestigung versehen ist.

11. Anordnung nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Bauelemente teleskopierbar sind.

12. Anordnung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass die Bauelemente aus CFK bestehen.

13. Anordnung nach einem der Ansprüche 10 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die spezifischen Festigkeits- und Verformungs-eigenschaften einzelner Systemelemente auf die jeweils vorherrschende Beanspruchungsart mit dem Ziel der Verformungs- und Masseminimierung abgestimmt sind.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

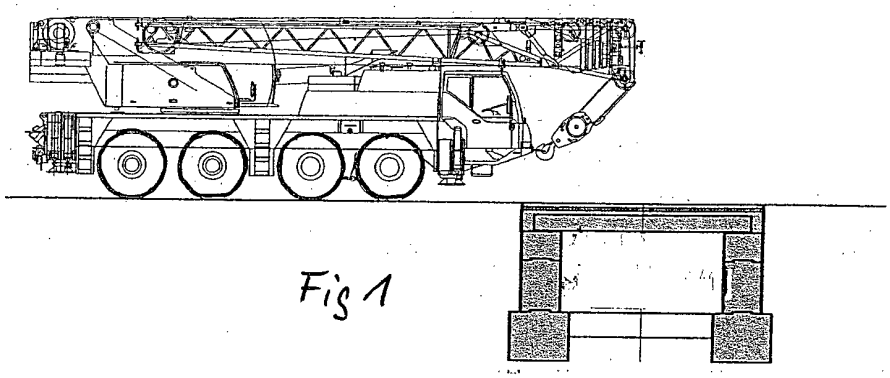


Fig 1

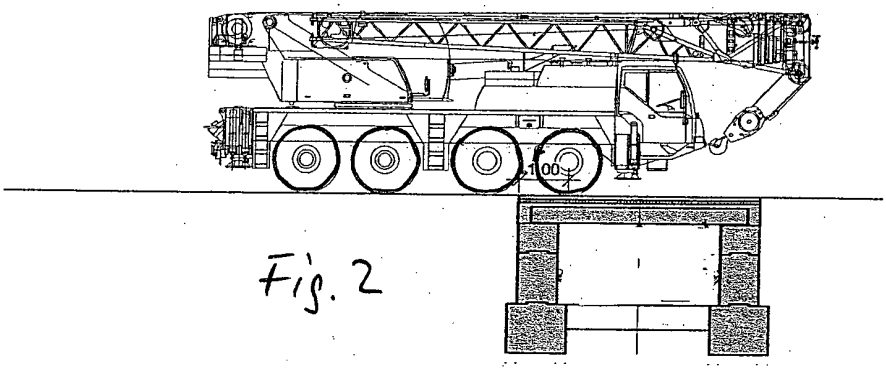


Fig. 2

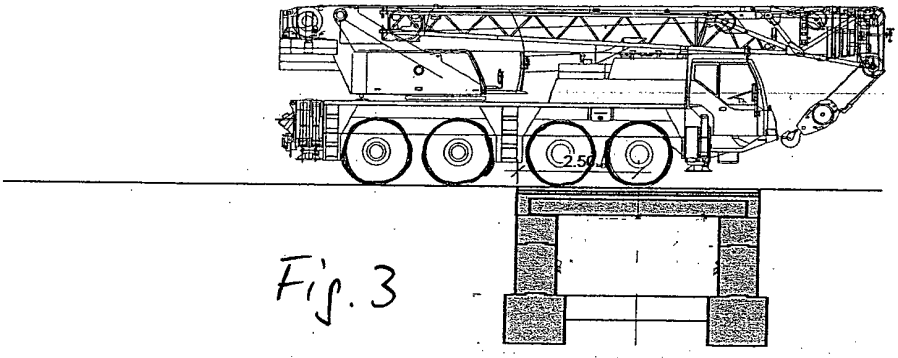


Fig. 3

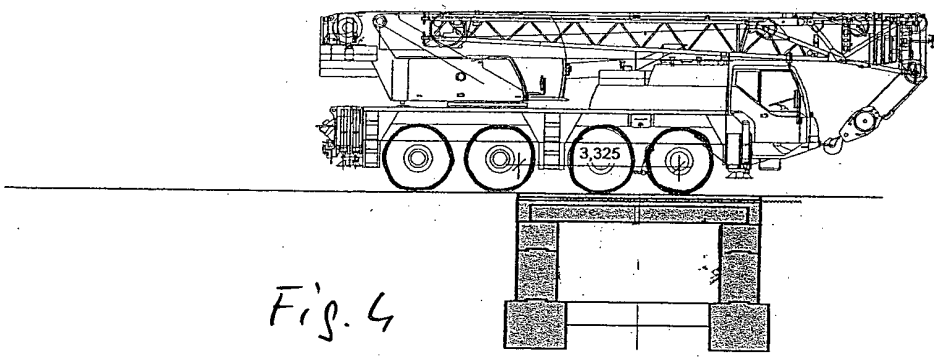


Fig. 4

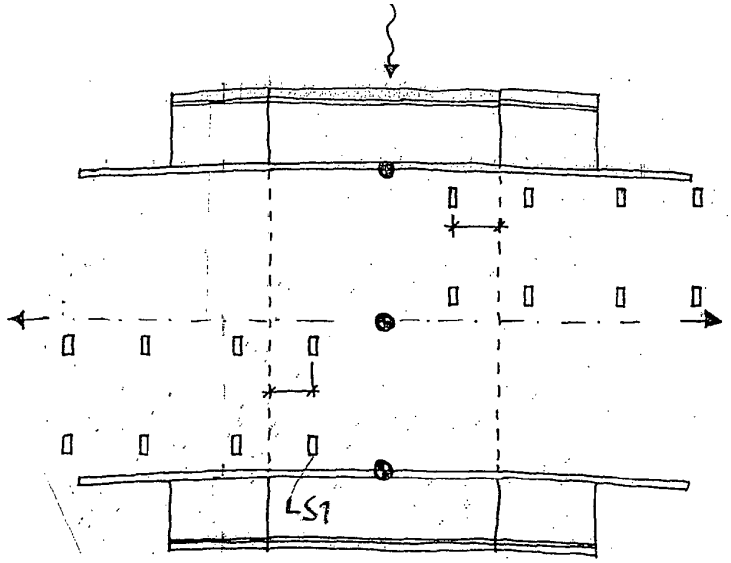


Fig. 5

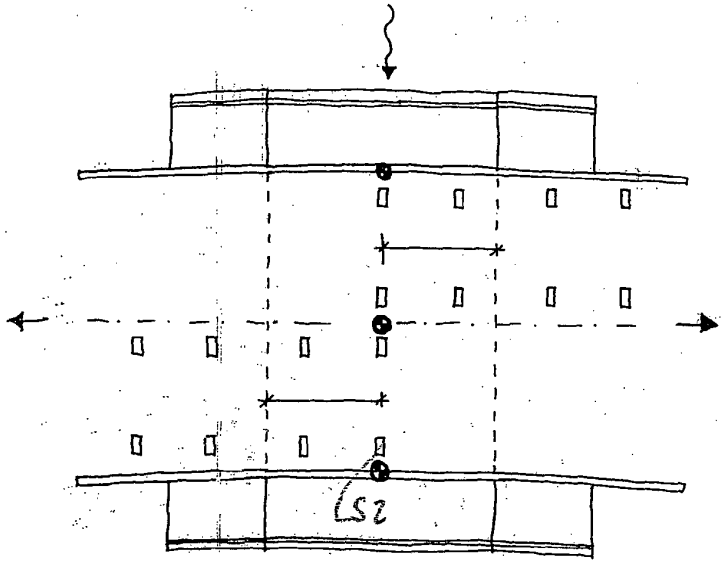


Fig. 6

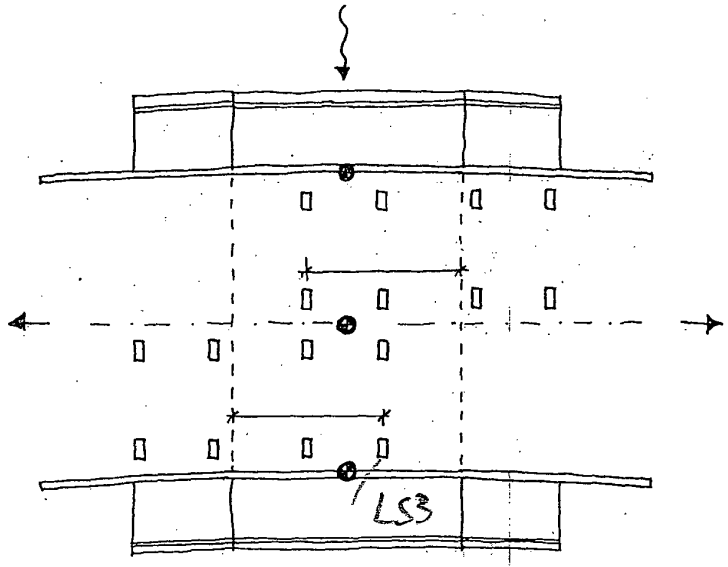


Fig. 7

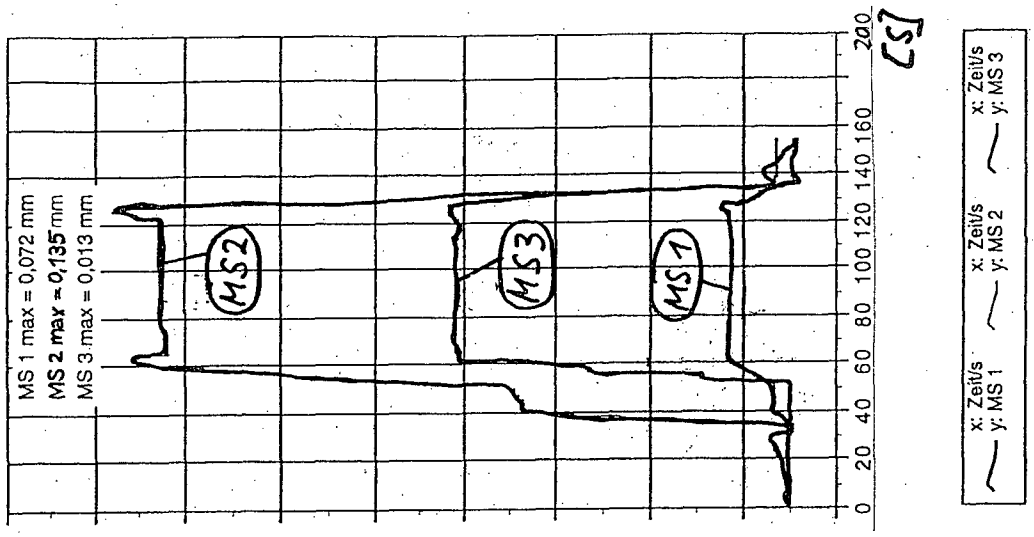


Fig. 8

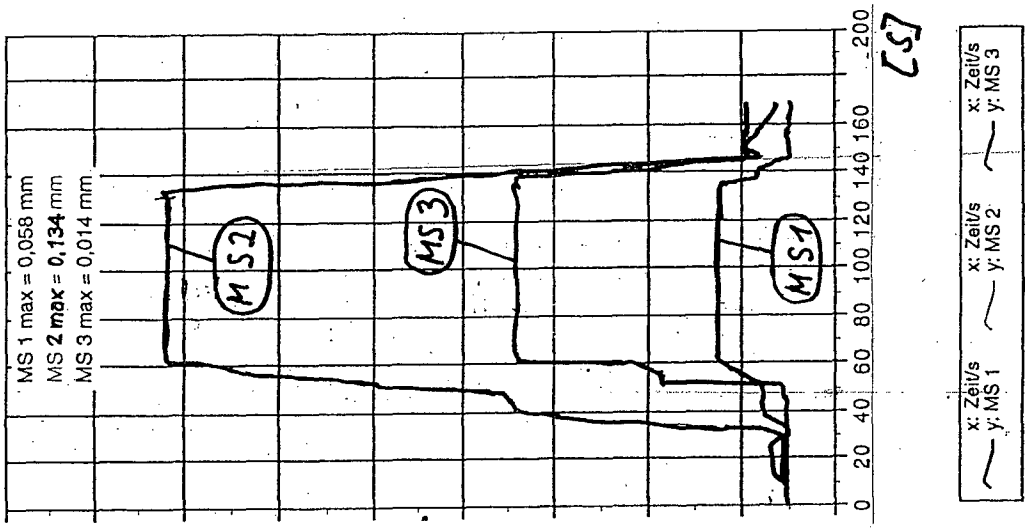


Fig. 9

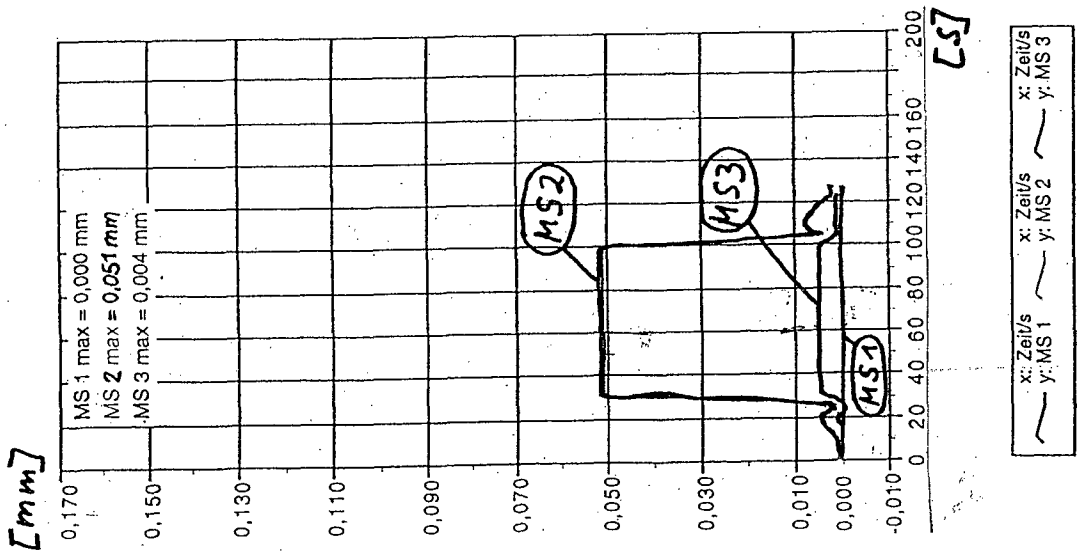
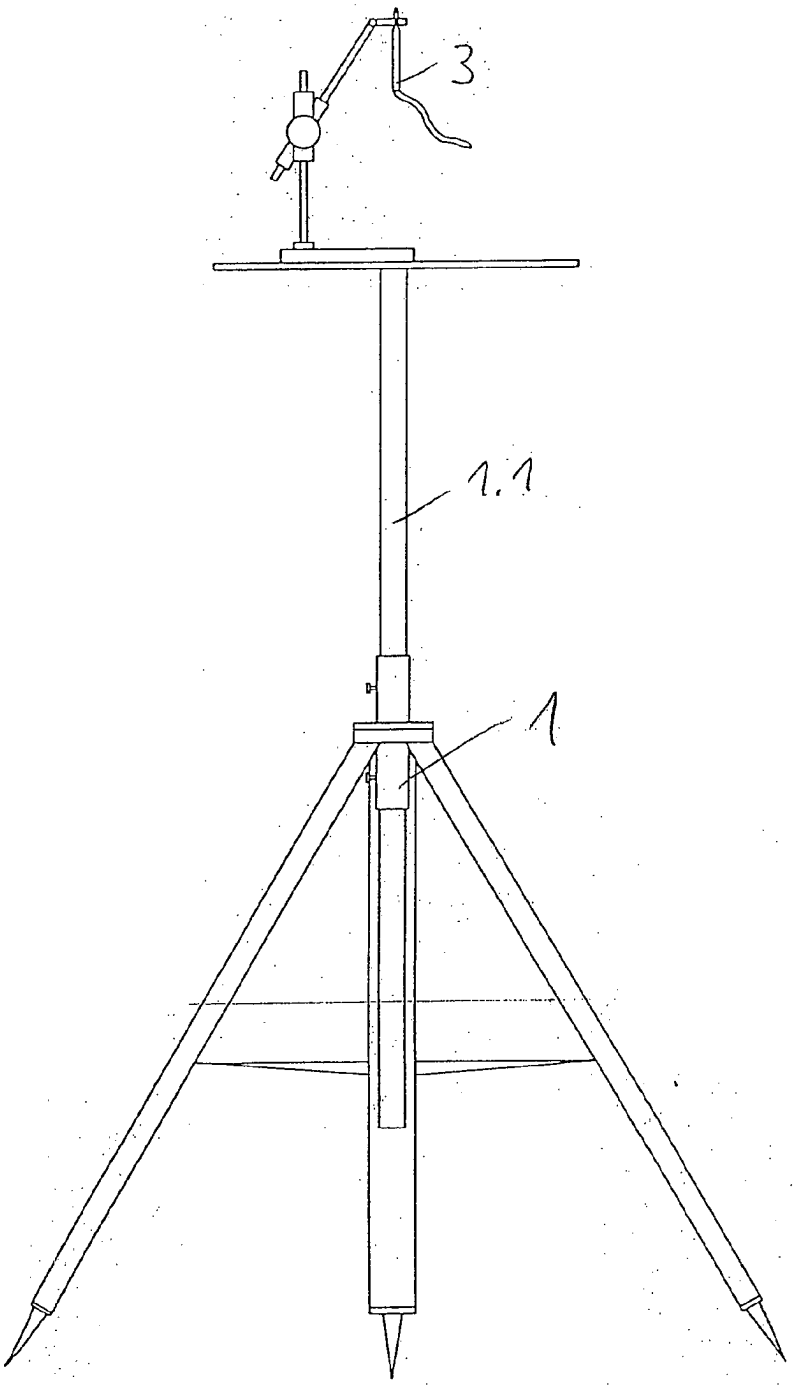


Fig. 10



Figur 11

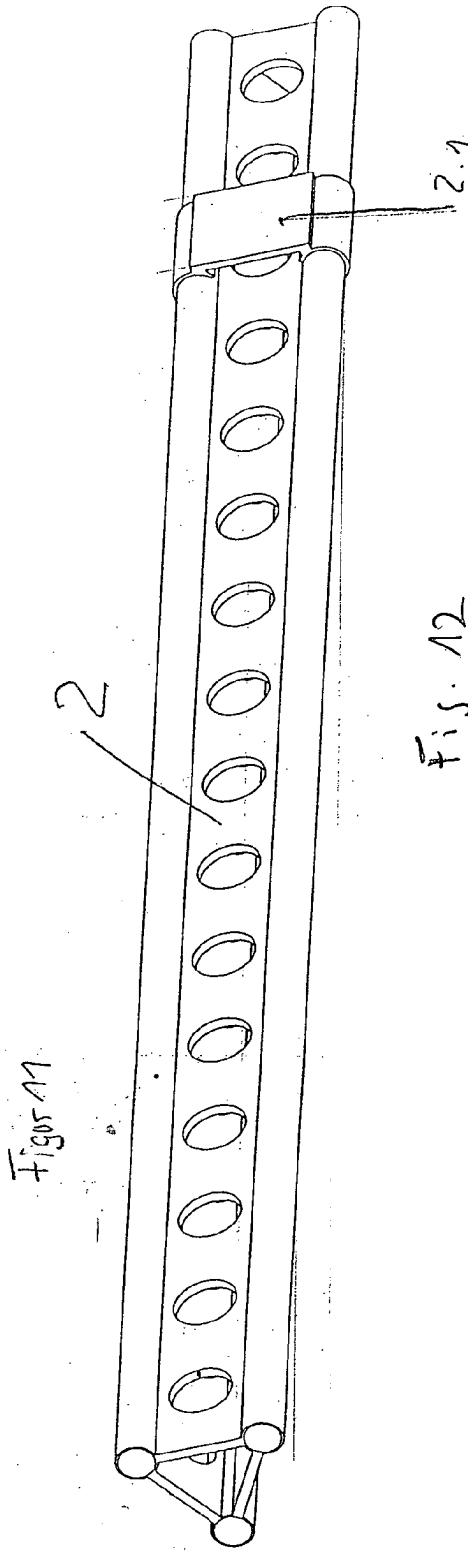


Fig. 12