



Europäisches Patentamt  
European Patent Office  
Office européen des brevets



(11) **EP 1 459 819 A2**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**22.09.2004 Patentblatt 2004/39**

(51) Int Cl.7: **B21D 39/03**

(21) Anmeldenummer: **04003232.8**

(22) Anmeldetag: **13.02.2004**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR  
HU IE IT LI LU MC NL PT RO SE SI SK TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**AL LT LV MK**

(30) Priorität: **20.03.2003 DE 10312458**

(71) Anmelder: **Fraunhofer-Gesellschaft zur  
Förderung der angewandten Forschung e.V.  
80636 München (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Becker, Rainer, Dr.  
66399 Mandelbachtal (DE)**  
• **Disqué, Michael, Dr.  
66125 Saarbrücken (DE)**  
• **Schneider, Eckhardt, Dr.  
66292 Riegelsberg (DE)**

(74) Vertreter: **Rösler, Uwe, Dipl.-Phys.  
Rösler Patentanwaltskanzlei  
Landsberger Strasse 480a  
81241 München (DE)**

(54) **Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung des Verpressungsgrades einer formschlüssigen Verbindung zwischen wenigstens zwei Bauteilen**

(57) Beschrieben wird ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Bestimmung des Verpressungsgrades einer formschlüssigen Verbindung zwischen wenigstens zwei Bauteilen, die im Wege eines kaltumformenden Durchsetzfügeverfahrens herstellbar ist, bei dem die zu verbindenden Bauteile zwischen einem Stempel sowie einer, die Raumform der formschlüssigen Verbindung bestimmenden Matrize eingebracht und durch relatives

Absenken des Stempels gegen die Matrize verpresst werden, wobei mittels wenigstens einem Wirbelstromsensor die gesamte formschlüssige Verbindung von einem Wirbelstromfeld durchsetzt wird, und die mittels des Wirbelstromsensors erhaltenen Messsignale zur Bestimmung des Verpressungsgrades der formschlüssigen Verbindung herangezogen werden.

**EP 1 459 819 A2**

## Beschreibung

### Technisches Gebiet

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Bestimmung des Verpresungsgrades einer formschlüssigen Verbindung zwischen wenigstens zwei Bauteilen, die im Wege eines kaltumformenden Durchsetzfügeverfahrens herstellbar ist, bei dem die zu verbindenden Bauteile zwischen einem Stempel sowie einer, die Raumform der formschlüssigen Verbindung bestimmenden Matrize eingebracht und durch relatives Absenken des Stempels gegen die Matrize verpresst werden.

### Stand der Technik

[0002] Aus der DE 199 27 101 A1 ist ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zum Clinchen beschrieben, bei dem zwei flächige Fügeteile im Wege eines kaltumformenden Durchsetzfügevorganges, der auch als Clinchen bezeichnet wird, miteinander fest verbunden werden. Das Durchsetzfügen, das beispielsweise in einem Artikel von Budde L. et al. "Stanznieten und Durchsetzfügen", die Bibliothek der Technik, Bd. 115, Verlag Moderne Industrie, Landsberg/Lech 1995, näher beschrieben ist, zeichnet sich insbesondere dadurch aus, dass eine formschlüssige Verbindung zwischen zwei sich überlappenden, in der Regel flächig ausgebildeten Fügeteilen aus dem zu verbindenden Material selbst gebildet wird.

[0003] Unter Bezugnahme auf Fig. 2 sei die Kaltumformung nachfolgend kurz erläutert. Zwei in der Regel flächig ausgebildete Fügeteile 1, 2, bspw. zwei Flachblechteile, werden mit Hilfe eines Stempels 3 sowie einer diesem gegenüberliegend angeordneten Matrize 4 verpresst, wobei die Fügeteile 1, 2 lokal angenähert zylindrisch verformt werden. Der Stempel 3 weist einen weitgehend konisch ausgebildeten Stempeldorn 31 auf, der beim Eindringen in die flächigen Fügeteile 1, 2 eine Materialverdrängung bewirkt, die neben einem sich ausbildenden Kraftschluss einen Formschlusseffekt zwischen beiden Fügeteilen 1, 2 bewirkt, der zu einer Hinterschneidung zwischen den Fügepartnern führt, wobei der Fügevorgang üblicherweise bis zu einer vorgegebenen Bodendicke durchgeführt wird. Zur qualitativen Beschreibung der im Wege des Durchsetzfügeverfahrens gewonnenen Fügeverbindung dient zum einen der Stempelhub, der sich aus der vertikalen Absenkbewegung ergibt und als "X-Maß" bezeichnet wird, durch das die sich ausbildende Bodendicke der Clinchverbindung bestimmbar ist. Neben dem X-Maß dient zur vollständigen Beschreibung der Clinchverbindung das sogenannte "Fließmaß", das eine Größe für das in die Hinterschneidung abgedrängte Materialvolumen innerhalb des Fugebereiches darstellt.

[0004] Eine Clinchverbindung, wie sie bspw. im rechten Teil der Fig. 2 zu entnehmen ist, ist demzufolge

durch zwei Bereiche charakterisierbar, nämlich den abgesenkten Bodenbereich 5, in dem gemäß Ausführungsbeispiel die beiden parallel verlaufenden Blechschichten, die stempel- und matrizenseitig unterschiedliche Wandstärken besitzen können, in der Summe über eine konstante Bodendicke verfügen, sowie der Bereich der sogenannten Hinterschneidung 6, in dem eine gegenseitige Verzahnung der beiden Bleche 1 und 2 ausgebildet ist. Der Grad bzw. das Ausmaß der räumlichen Hinterschneidung ist letztendlich bestimmend für die Festigkeit der gesamten Clinchverbindung.

[0005] Um eine Aussage über die Qualität und die damit verbundene Belast- und Haltbarkeit einer derartigen Clinchverbindung anstellen zu können, wird üblicherweise die Wandstärke im Bodenbereich, d.h. die Bodendicke der Clinchverbindung nach deren Herstellung bestimmt. Geht man davon aus, dass der Volumenanteil, der im Rahmen des Clinchprozesses aus dem Bodenbereich in den Bereich der Hinterschneidung verdrängt wird, mit der Bodendicke korreliert ist, so kann auf das Fließmaß indirekt auf der Grundlage des X-Maßes geschlossen werden.

[0006] Zur Bestimmung der Bodendicke wird üblicherweise der von dem Stempel zurückgelegte Weg (X-Maß) während des Absenkvorganges manuell oder automatisiert gemessen und bei Erreichen eines vorgegebenen Stempelhubes eine damit erreichbare Bodendicke bestimmt. In Abhängigkeit der durch die Stempel- und Matrizenform vorgegebene Raumform der Clinchverbindung sowie der Materialwahl der miteinander zu verfügenden Flächenteile werden vorab Eichwerte bestimmt, anhand derer tatsächlich gemessene Bodendicken mit X-Maß-Werten korreliert sind. Zudem ist es bekannt, durch Online-Erfassen der während des Fügeprozesses investierten Presskraft, mit der der Stempel gegen die Matrize gepresst wird, Orts-Presskraft-Diagramme zu ermitteln, anhand derer die erzielte Fügekraft abgeleitet werden kann, die als weiterer Prozessparameter eine Aussage über die Qualität der Clinchverbindung ermöglicht.

[0007] Eine weitere, alternative verfeinerte Messmethode zur Bestimmung der Qualität einer Clinchverbindung basiert auf der Bestimmung der individuellen Dicken der Fügeteile mittels des zerstörungsfreien Ultraschallprüfverfahrens. Ein derartiges, auf dem Impuls-Echo-Prinzip beruhendes Ultraschallverfahren ermöglicht eine differenzierte und voneinander unabhängige Überwachung und Vermessung der stempel- und matrizenseitigen Wandstärken der verfügbaren Fügeteile innerhalb des Bodenbereiches, wodurch dezidiertere Aussagen über die Qualität der Fügezone und das individuelle Materialverdrängungsverhalten der einzelnen Fügeteile möglich wird.

[0008] Aus der DE 198 29 999 C1 ist ein Verfahren sowie ein Messgerät zur Detektierung der ordnungsgemäßen Einstecktiefe in eine Rohrpressverbindung unter Verwendung eines Wirbelstromgerätes beschrieben.

[0009] Aus der US 4,677,379 geht eine zerstörungs-

freie Prüftechnik für die Rissuntersuchung an Nietverbindungen hervor, bei der ebenfalls eine Wirbelstrommessung Anwendung findet. Zur Auswertung der Wirbelstromsignale werden die komplexen Wechselstrom-Impedanzwerte herangezogen.

### Darstellung der Erfindung

**[0010]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Bestimmung des Verpressungsgrades einer formschlüssigen Verbindung zwischen wenigstens zwei Bauteilen, die im Wege eines kaltumformenden Durchsetzfügeverfahrens herstellbar ist, bei dem die zu verbindenden Bauteile zwischen einem Stempel sowie einer die Raumform der formschlüssigen Verbindung bestimmenden Matrize eingebracht und durch relatives Absenken des Stempels gegen die Matrize verpresst werden, derart weiterzubilden, dass mit möglichst einfachen und kostengünstigen Mitteln eine Qualitätsbestimmung des gesamten Fügebereiches der Clinchverbindung möglich wird. Insbesondere soll es möglich sein, eine Online-Kontrolle des gesamten Verformvorganges während des Fügeprozesses durchzuführen, so dass der Clinchvorgang als solcher überwacht und geregelt erfolgen kann, um letztlich die Ausschussquote von nicht zu verwendenden Clinchfugeverbindungen erheblich zu reduzieren. Mit Hilfe der neuartigen Messtechnik, die vorzugsweise berührungslos erfolgen soll, soll eine möglichst gesamt-heitliche Erfassung des Fügebereiches möglich sein.

**[0011]** Die Lösung der der Erfindung zugrundeliegenden Aufgabe ist im Anspruch 1 angegeben. Gegenstand des Anspruches 10 ist eine Vorrichtung zur Bestimmung des Verpressungsgrades. Den Erfindungsgedanken vorteilhaft weiterbildende Merkmale sind den Unteransprüchen sowie der weiteren Beschreibung, insbesondere in Bezugnahme auf die Ausführungsbeispiele, zu entnehmen.

**[0012]** Das erfindungsgemäße Verfahren gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1 zur Bestimmung des Verpressungsgrades einer formschlüssigen Verbindung zwischen wenigstens zwei Bauteilen, die im Wege eines kaltumformenden Durchsetzfügeverfahrens herstellbar ist und der Qualitätskontrolle der Clinchverbindung dient, basiert grundsätzlich auf der zerstörungsfreien Wirbelstromprüfung. Hierbei wird mittels wenigstens einem Wirbelstromsensor der gesamte Bereich der formschlüssigen Verbindung von einem Wirbelstromfeld durchsetzt. Im wesentlichen kommt es darauf an, dass das von dem Wirbelstromsensor erzeugte und nachweisbare Wirbelstromfeld die formschlüssige Verbindung sowohl im Bodenbereich als auch in den Bereichen ihrer Hinterschneidungen durchsetzt. Die auf diese Weise mit Hilfe des Wirbelstromsensors erhobenen Messsignale werden zur Bestimmung des Verpressungsgrades der formschlüssigen Verbindung herangezogen, der zugleich auch der Qualitätskontrolle der Clinchverbindung dient.

**[0013]** Durch die gezielte Anwendung der an sich bekannten Wirbelstrommesstechnik auf den speziellen technischen Fall der Qualitätsüberprüfung von Fügeverbindungen, die im Wege des kaltumformenden Durchsetzfügeverfahrens herstellbar sind, sind eine Reihe von Vorteilen gegenüber den bisher bekannten Überprüfungsverfahren zu nennen: Der Einsatz von an sich bekannten Wirbelstromsensoren ist aufgrund ihres einfachen technischen Aufbaus kostengünstig realisierbar. Die zumeist klein und leicht bauenden Wirbelstromsensoren arbeiten im Gegensatz zu der bisher eingesetzten Ultraschallprüftechnik ohne jegliche Kontaktmittel oder zusätzliche Kontaktschichten, so dass ihre Integration in die den Fügevorgang der jeweiligen Fügepartner bewerkstellenden Fügwerkzeuge, wie beispielsweise Stempel oder Matrize, ohne weitere große technische Veränderungsmaßnahmen realisierbar ist. Hierdurch ist es erstmals möglich, den Verformungsvorgang in situ, d.h. während der Herstellung der Clinchverbindung zu überwachen und bereits während des Fügevorganges Regelgrößen zu generieren, die den Verformungsvorgang zu beeinflussen vermögen.

**[0014]** Schließlich vermag die Wirbelstromprüftechnik Materialverwerfungen zwischen den wenigstens beiden, miteinander zu verfügenden Fügepartner mit einer hohen Messauflösung zu registrieren, wodurch bereits kleinste Abweichungen von einem als Ideal vorausgesetzten Fügeverlaufes feststellbar sind. Dies erfolgt überdies mit einer sehr hohen Messgeschwindigkeit, die letztlich Voraussetzung für eine Prozess-Integrierbarkeit während des Fügevorganges ist. Selbstverständlich ist es jedoch auch möglich, bereits fertiggestellte Clinchverbindungen mit Hilfe wenigstens einem Wirbelstromsensor zur nachträglichen Qualitätsprüfung zu untersuchen. Die Qualitätsüberprüfung kann sowohl manuell, durch bloßes Annähern eines Wirbelstromsensors an die zu untersuchende Fügestelle realisiert werden, oder auch automatisiert mit Hilfe geeigneter Manipulatoren durchgeführt werden.

**[0015]** Grundsätzlich handelt es sich bei dem Wirbelstromverfahren um eine zerstörungsfreie Werkstoffprüfung, das auf den Prinzipien der elektromagnetischen Induktion beruht. Der Wechselstromsensor weist im wesentlichen eine von einem Wechselstrom durchflossene Spulenanordnung auf, die, sofern sie nahe genug an die zu untersuchende Clinchverbindung positioniert ist, innerhalb des elektrisch leitfähigen Werkstoffes der Clinchverbindung, der nicht notwendigerweise ferromagnetisch sein muss, oberflächennahe Wirbelströme induziert, deren Magnetfeld auf die Spule des Wirbelstromsensors zurückwirkt. Dem System, bestehend aus Spule und der zu untersuchenden Clinchverbindung, kann eine komplexe Impedanz zugeordnet werden, die beispielsweise zur Darstellung auf einem Monitor zur visuellen Auswertung gebracht werden kann. Ausgehend von einer als fehlerfrei und ideal anzunehmenden Clinchverbindung ist mit Hilfe der Wirbelstrommesstechnik jeweils ein Referenzwert in der komplexen Im-

pedanzebene bestimmbar, der als fest vorgegebener Arbeitspunkt dient. Werden nachfolgend von der als ideal vorgegebene Clinchverbindung abweichende Clinchverbindungen vermessen, so schlägt sich dies in einer Auslenkung des Arbeitspunktes in der Impedanzebene wieder, die als Fehlernachweis bzw. Qualitätskontrolle dient.

**[0016]** In einer besonders vorteilhaften Verfahrensvariante wird der wenigstens eine Wirbelstromsensor im Wege eines Mehrfrequenzverfahrens bei mehreren unterschiedlichen Wechselstromfrequenzen betrieben. Durch geeignete Wahl der unterschiedlichen Wechselstromfrequenzen ist es möglich, den Informationsgehalt der Messsignale deutlich zu erhöhen und durch Anwendung optimierter Verknüpfungsalgorithmen die Messzuverlässigkeit und Messgenauigkeit deutlich zu verbessern.

**[0017]** Insbesondere bei der Überprüfung von aus ferromagnetischen Materialien bestehenden Clinchverbindungen, beispielsweise aus ferritischem Stahl, eignet sich der Einsatz eines Wirbelstromsensors zusammen mit einer Vorrichtung zur lokalen Vormagnetisierung des Materials an der Fügestelle der Clinchverbindung besonders gut. Hierzu eignen sich beispielsweise kleine Permanentmagnete, die mit einer vorgegebenen Polarisierung um die Spule des Wirbelstromsensors herum angeordnet sind. So vermag die Vormagnetisierung das zu untersuchende Material der Fügepartner magnetisch transparenter erscheinen zu lassen, wobei die durch den Skineffekt beschreibbare Eindringtiefe der Wirbelströme innerhalb der zu untersuchenden Fügepartner gesteigert werden kann.

**[0018]** Zur prozessintegrierten Erfassung und letztlich Überwachung des Verformungsvorganges sieht eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Bestimmung des Verpressungsgrades einer formschlüssigen Verbindung zwischen wenigstens zwei Bauteilen, die im Wege eines kaltumformenden Durchsetzfügeverfahrens herstellbar sind, bestehend im wesentlichen aus einem Stempel und einer Matrize, wenigstens einen Wirbelstromsensor vor, der im Stempel und/oder in der Matrize integriert ist. Hierbei ist der Wirbelstromsensor derart ausgebildet und angeordnet, dass das durch den Wirbelstromsensor erzeugbare Wirbelstromfeld die gesamte formschlüssige Verbindung durchsetzt, wobei zugleich eine Ansteuer- und eine Messsignalauswertereinheit mit dem Wirbelstromsensor verbunden sind.

**[0019]** Durch eine räumlich möglichst nahe Anordnung des Wirbelstromsensors relativ zur Stempel- und/oder Matrizenoberfläche, wobei die Spulenanordnung des Wirbelstromsensors zu Zwecken eines mechanischen Schutzes mit wenigstens einer mechanisch robusten Schutzschicht überdeckt ist, die vorteilhafterweise zugleich die Stempel- und/oder Matrizenoberfläche darstellt, wird ein unmittelbares Eindringen der Wirbelstromfelder in die zu verformenden Fügepartner gewährleistet. In einer besonders bevorzugten Ausführungsform besteht die, den Wirbelstromsensor über-

deckende Schutzschicht, aus einem elektrisch leitenden Edelstahl, durch den die Wirbelstromfelder nahezu ungehindert hindurchtreten können.

## 5 Kurze Beschreibung der Erfindung

**[0020]** Die Erfindung wird nachstehend ohne Beschränkung des allgemeinen Erfindungsgedankens anhand von Ausführungsbeispielen unter Bezugnahme auf die Zeichnungen exemplarisch beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1a, b Messsituationen zur Erfassung des Verformungszustandes einer Clinchverbindung mit Hilfe eines Wirbelstromsensors,

Fig. 2 sequentielle Prinzipdarstellung zur Herstellung einer Clinchverbindung gemäß Stand der Technik,

Fig. 3 schematisierte Darstellung einer Stempel-Matrizen-Anordnung mit Wirbelstromsensor-Überwachung, sowie

Fig. 4 Messprotokoll für die Vermessung einer Clinchverbindung bei drei unterschiedlichen Messfrequenzen.

## 30 Wege zur Ausführung der Erfindung, gewerbliche Verwendbarkeit

**[0021]** In den Fig. 1 a und b sind jeweils in schematisierter Darstellung Messkonfigurationen zur Qualitätsbestimmung einer Fügeverbindung zwischen zwei flächig ausgebildeten Bauteilen 1 und 2 gezeigt, die im Wege eines kaltumformenden Durchsetzfügevorganges hergestellt worden sind. Die zu verfügbaren Bauteile bestehen aus elektrisch leitfähigem Material wie bspw. Verbindungen aus Aluminium oder anderen Materialien bspw. Stahl.

**[0022]** Im Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1a ist ein Wirbelstromsensor 7 unmittelbar unterhalb der Clinchverbindung zwischen den beiden Flächenbauteilen 1 und 2 angeordnet. Der Wirbelstromsensor 7, der im einfachsten Fall aus einer Spulenanordnung besteht, die mit Wechselstrom geeigneter Frequenz bestromt wird, erzeugt ein magnetisches Wechselfeld, dessen magnetische Feldlinien 8 den gesamten Bereich der Clinchverbindung durchdringen. Die Clinchverbindung setzt sich insbesondere aus dem Bodenbereich 5, in dem die durch den Pressstempel deformierten Flächenbereiche der Flächenteile 1 und 2 eine weitgehend konstante Bodendicke besitzen, sowie den Bereichen der Hinterschnidungen 6 zusammen.

**[0023]** Der besondere Vorteil, der mit dem Einsatz von Wirbelstromsensoren verbunden ist, betrifft die Tatsache, dass die durch die Wechselströme innerhalb des Wirbelstromsensors hervorgerufenen magnetischen

Wechselfelder 8 weitgehend kontaktfrei durch die Flächenbauteile 1 und 2, insbesondere im Bereich der Fügeverbindung hindurchtreten und in diesen Bereichen Wirbelströme innerhalb der Bauteile 1 und 2 induzieren. Der von den Wirbelströmen erfüllte Materialanteil in den Flächenbauteilen 1 und 2 wird als Wechselwirkungsvolumen bezeichnet und bestimmt sich nach der Größe des Wirbelstromsensors 7 sowie der Frequenz des die Wirbelströme anregenden Magnetwechselfeldes 8. Die Ausbildung der innerhalb des Fügebereiches induzierten Wirbelströme hinsichtlich ihrer Amplitude und Phase wird einerseits von dem Materialvolumen im Wechselwirkungsbereich aber insbesondere durch die Art und Stärke der sich im Wege der Verpressung ausbildenden Materialverformungen stark beeinflusst. Als Messsignal für die Registrierung der Wirbelströme dient die Wechselstrom-Impedanz des Wirbelstromsensors 7, die als Abbild der sich ausbildenden Wirbelströme angesehen werden kann.

**[0024]** So erfasst die Anordnung des Wirbelstromsensors 7 gemäß Fig. 1a sowohl den Bodenbereich 5 als auch die Bereiche der Hinterschneidungen an der Fügestelle 6. Daraus ergibt sich der Hauptvorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens gegenüber den bisher bekannten Überprüfungsverfahren, zumal das von dem Wirbelstromsensor 7 abgegebene Messsignal die Informationen gesamtheitlich über die Bodendicke sowie auch über die Bereiche der Hinterschneidungen 6 enthält. Für die Auswertung der Messsignale steht demzufolge eine direkte Information nicht nur für das X-Maß, sondern auch über die Bereiche der Hinterschneidung, das Fließmaß betreffen, zur Verfügung. Somit ist es nicht mehr nötig, auf der Grundlage der gemessenen Bodendicke lediglich auf den letztendlich festigkeitsbestimmenden Verformungsgrad (Fließmaß) im Bereich der Hinterschneidungen 6 zu schließen.

**[0025]** Aus diesem Grunde zeichnet sich das erfindungsgemäße Verfahren letztendlich durch eine höhere Messsicherheit und Messgenauigkeit aus, wobei zusätzlich eine differenziertere Beurteilung der Fügequalität im gesamten Volumen der Clinchverbindung möglich wird.

**[0026]** Fig. 1 b zeigt eine Messsituation, in der der Wirbelstromsensor 7 auf der Oberseite der Clinchverbindung angeordnet ist. Auch in diesem Fall durchdringen die magnetischen Wechselfelder 8 den Bereich der Clinchverbindung vollständig. Diese Messanordnung ist insbesondere in Fällen zu wählen, in denen die Rückseite der Clinchverbindung nicht zugänglich ist.

**[0027]** Die in den Fig. 1 a und 1 b dargestellten Messsituationen dienen der Veranschaulichung einer nachträglichen Qualitätskontrolle von bereits bestehenden Clinchverbindungen. Sollen Clinchverbindungen bereits während ihrer Herstellung hinsichtlich ihrer Qualität überprüft werden, so eignet sich eine Stempel-Matrizen-Anordnung gemäß dem Ausführungsbeispiel in Fig. 3, das der bereits in der Beschreibungseinleitung beschriebenen Stempel-Matrizen-Anordnung unter Be-

zugnahme auf Fig. 2 entspricht, jedoch zusätzlich durch jeweils einen Wirbelstromsensor 7 in der dargestellten Weise ergänzt ist, der entweder gemäß linker Bilddarstellung in der Matrize 4 oder gemäß mittlerer Bilddarstellung innerhalb des Stempeldorns 31 integriert ist. Auch ist es möglich beide Varianten miteinander zu kombinieren. Mit Hilfe der in Fig. 3 angegebenen Stempel-Matrizen-Anordnung ist es möglich, den Verformungsvorgang innerhalb der flächigen Bauteile 1 und 2 während der Herstellung der Clinchverbindung zu überwachen und gegebenenfalls Regelgrößen abzuleiten, um eine direkte Einflussnahme auf den Fügeprozess zu erhalten. So eignet sich hierfür ein Soll-/Ist-Wertvergleich zwischen den aktuell gemessenen Impedanzwerten und entsprechend vorliegenden Referenzwerten, um Regelgrößen, bspw. zur Veränderung der investierten Presskraft oder des Stempelhubes, zu erhalten.

**[0028]** Zur Auswertung der mittels des Wirbelstromsensors erhaltenen Messsignale, die eine gesamtheitliche Information über den gesamten Fügebereich umfassen, ist es erforderlich, die Signalanteile, die aus dem Bodenbereich 5 von jenen Signalanteilen zu separieren, die aus den Bereichen der Hinterschneidungen 6 stammen, und beide Signalanteile zahlenmäßig als "X-Maß" und als "Fließ-Maß" zu beziffern. Dies ist möglich unter Verwendung eines Mehrfrequenz-Prüfverfahrens, bei dem der Wirbelstromsensor mit mehreren unterschiedlichen Messfrequenzen, vorzugsweise zeitlich voneinander getrennt, betrieben wird. Die Messfrequenzen werden in Abhängigkeit der Materialart sowie Form der Clinchverbindung ausgewählt. Zur Messsignalauswertung dienen insbesondere Signalverarbeitungs-Algorithmen mit entsprechender Zielsetzung, insbesondere geeignet hierfür ist die Regressionsanalyse oder die Verwendung neuronaler Netzwerke.

**[0029]** Zur Beurteilung der Qualität jeweils vermessener Clinchverbindungen dienen Werte für das jeweilige X-Maß und das Fließ-Maß, die anhand geeigneter Kalibrierteile ermittelt werden. In Fig. 4 sind Messergebnisse in einem Diagramm dargestellt, längs dessen Abszisse die Anzahl durchgeführter Messungen und längs dessen Ordinate das X-Maß aufgetragen ist. Der jeweils erste Messwert, der mit einem Kreis umgeben ist, stellt den Kalibrierwert dar, mit die weiteren gemessenen X-Maßwerte verglichen werden. In dem in Fig. 4 dargestellten Diagramm sind jeweils Messreihen an drei unterschiedlichen Clinchverbindungen mit jeweils unterschiedlichen X-Maßwerten 0,5, 0,6 und 0,7 durchgeführt und dargestellt. Je größer die Abweichungen von dem vorgegebenen Kalibrierwert sind, um so mehr weicht die Qualität der jeweiligen Clinchverbindung von einer Ideal-Clinchverbindung ab (siehe hierzu insbesondere die drei Messwertausreisser zum X-Maßwert 0,5 sowie der Einzelpunkt zu 0,6).

**Bezugszeichenliste****[0030]**

|      |                               |    |
|------|-------------------------------|----|
| 1, 2 | Flächiges Bauteil             | 5  |
| 3    | Stempel                       |    |
| 31   | Stempeldorn                   | 10 |
| 4    | Matrize                       |    |
| 5    | Bodenbereich                  |    |
| 6    | Fügebereich, Hinterschneidung | 15 |
| 7    | Wirbelstromsensor             |    |
| 8    | Magnetische Wechselfeldlinien | 20 |

**Patentansprüche**

1. Verfahren zur Bestimmung des Verpressungsgrades einer formschlüssigen Verbindung zwischen wenigstens zwei Bauteilen, die im Wege eines kalturnformenden Durchsetzfügeverfahrens herstellbar ist, bei dem die zu verbindenden Bauteile zwischen einem Stempel sowie einer, die Raumform der formschlüssigen Verbindung bestimmenden Matrize eingebracht und durch relatives Absenken des Stempels gegen die Matrize verpresst werden, wobei mittels wenigstens einem Wirbelstromsensor die gesamte formschlüssige Verbindung von einem Wirbelstromfeld durchsetzt wird, und die mittels des Wirbelstromsensors erhaltenen Messsignale zur Bestimmung des Verpressungsgrades der formschlüssigen Verbindung herangezogen werden. 25
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Raumform der formschlüssigen Verbindung wenigstens durch zwei Bereiche charakterisiert wird, nämlich einem weitgehend dem Stempelquerschnitt entsprechend komprimierten ersten Raumbereich, dem sogenannten Bodenbereich, dessen Verpressungsgrad durch den von dem Stempel während der Verpressung zurückgelegten Weg, das sogenannte X-Maß charakterisiert wird, und einem den ersten Raumbereich umschließenden zweiten Raumbereich, die sogenannte Fügezone, in der das Material jeweils beider Bauteile seitlich zur Stempelbewegung gezwungen wird zu fließen und deren Verpressungsgrad durch das seitlich abgedrängte Materialvolumen, das sogenannten Fließmaß charakterisiert wird, dass das Wirbelstromfeld den ersten und zweiten Raumbereich durchsetzt, und 40

dass die Messsignale jeweils die Information über das X-Maß und das Fließmaß enthalten, die im Wege einer Messsignalauswertung als Messergebnisse separiert werden und den Verpressungsgrad der Fügeverbindung repräsentieren.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wirbelstrommessung während der Herstellung der formschlüssigen Verbindung durchgeführt wird, und dass die gewonnenen Messsignale als online-Regelgrößen für die kraftbeaufschlagte Stempelabsenkung eingesetzt werden. 10
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wirbelstromsensor im Wege eines Mehrfrequenzverfahrens bei mehreren unterschiedlichen Wechselstromfrequenzen betrieben wird. 15
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Wechselstromfrequenz in Abhängigkeit der elektrischen Leitfähigkeit der Bauteile im Bereich der formschlüssigen Verbindung ausgewählt wird. 20
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** das von dem Wirbelstromsensor herrührende Wirbelstromfeld von einem quasistatischen die Bauteile im Bereich der formschlüssigen Verbindung vormagnetisierenden Magnetfeld überlagert wird. 25
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die mittels des Wirbelstromsensors erhaltenen Messsignale als komplexe Wechselstrom-Impedanzwerte vorliegen, mit Amplitude und Phase bzw. Real- und Imaginärteil, und dass die Wechselstrom-Impedanzwerte unter Zugrundelegung eines Signalverarbeitungs-Algorithmus wenigstens einer vorgegebenen Zielgröße zugeordnet werden. 30
8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Signalverarbeitungs-Algorithmus eine Regressionsanalyse oder eine neuronale Vernetzung verwendet wird. 35
9. Verfahren nach Anspruch 5 oder 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Zuordnung der Wechselstrom-Impedanzwerte mit einer bestimmten Zielgröße durch Referenzierung mit nach bekannten X-Maß und Fließmaß kalibrierten Messwerten erfolgt. 40
10. Vorrichtung zur Bestimmung des Verpressungsgrades einer formschlüssigen Verbindung zwischen 45

wenigstens zwei Bauteilen, die im Wege eines kaltumformenden Durchsetzfügeverfahrens herstellbar ist, bei dem die zu verbindenden Bauteile zwischen einem Stempel sowie einer, die Raumform der formschlüssigen Verbindung bestimmenden Matrize eingebracht und durch relatives Absenken des Stempels gegen die Matrize verpressbar ist, wobei wenigstens ein Wirbelstromsensor im Stempel und/oder in der Matrize integriert ist, der Wirbelstromsensor derart ausgebildet und angeordnet ist, dass das durch den Wirbelstromsensor erzeugbare Wirbelstromfeld die gesamte formschlüssige Verbindung durchsetzt, und eine Ansteuer- und eine Messsignalauswerteeinheit mit dem Wirbelstromsensor verbunden sind.

11. Vorrichtung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Wirbelstromsensor nahe an der den zu verfügenden Bauteilen zugewandten Stempel- und/oder Matrizenoberfläche angeordnet ist oder diese selbst begrenzt.

25

30

35

40

45

50

55

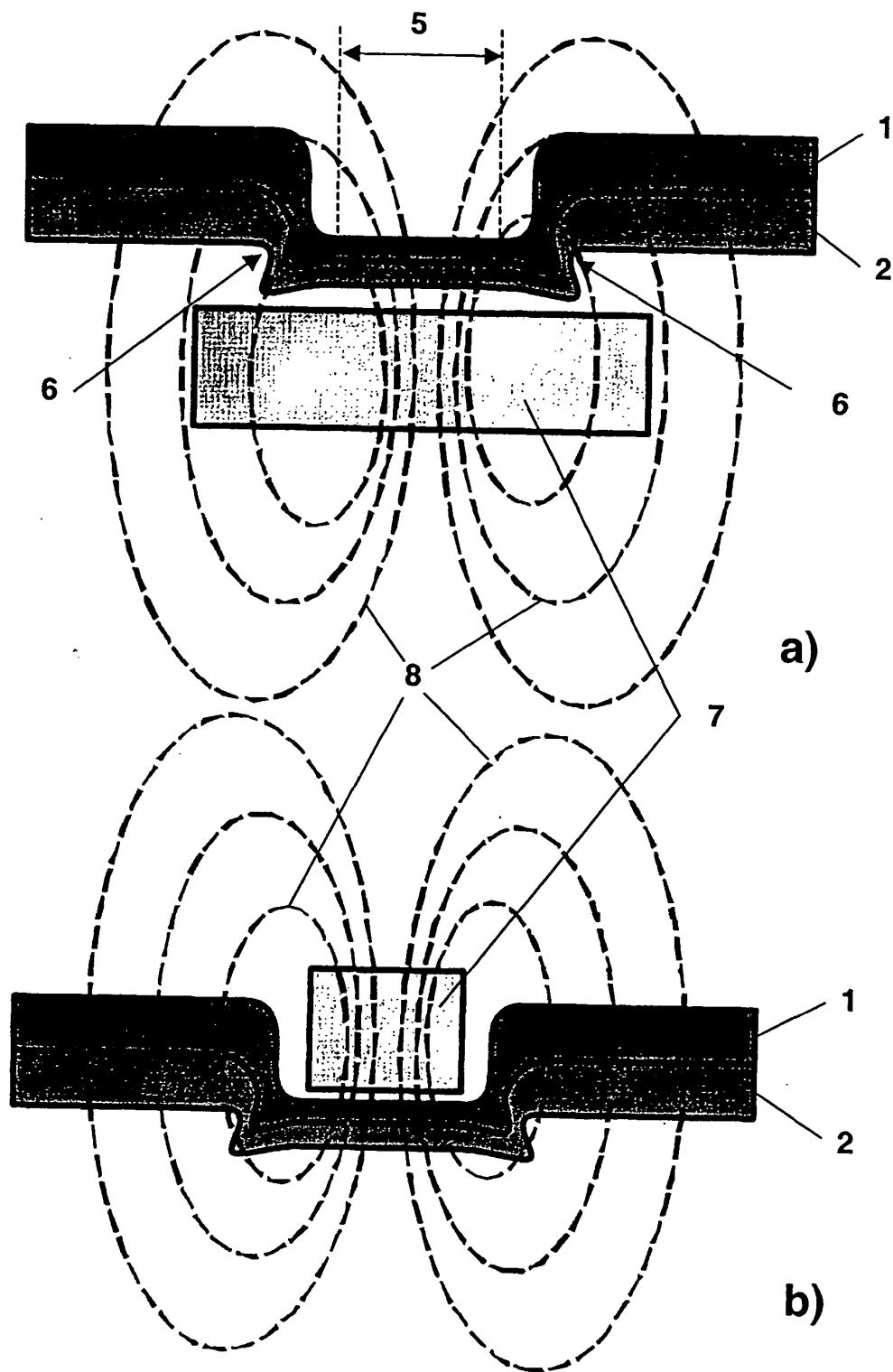


Fig. 1



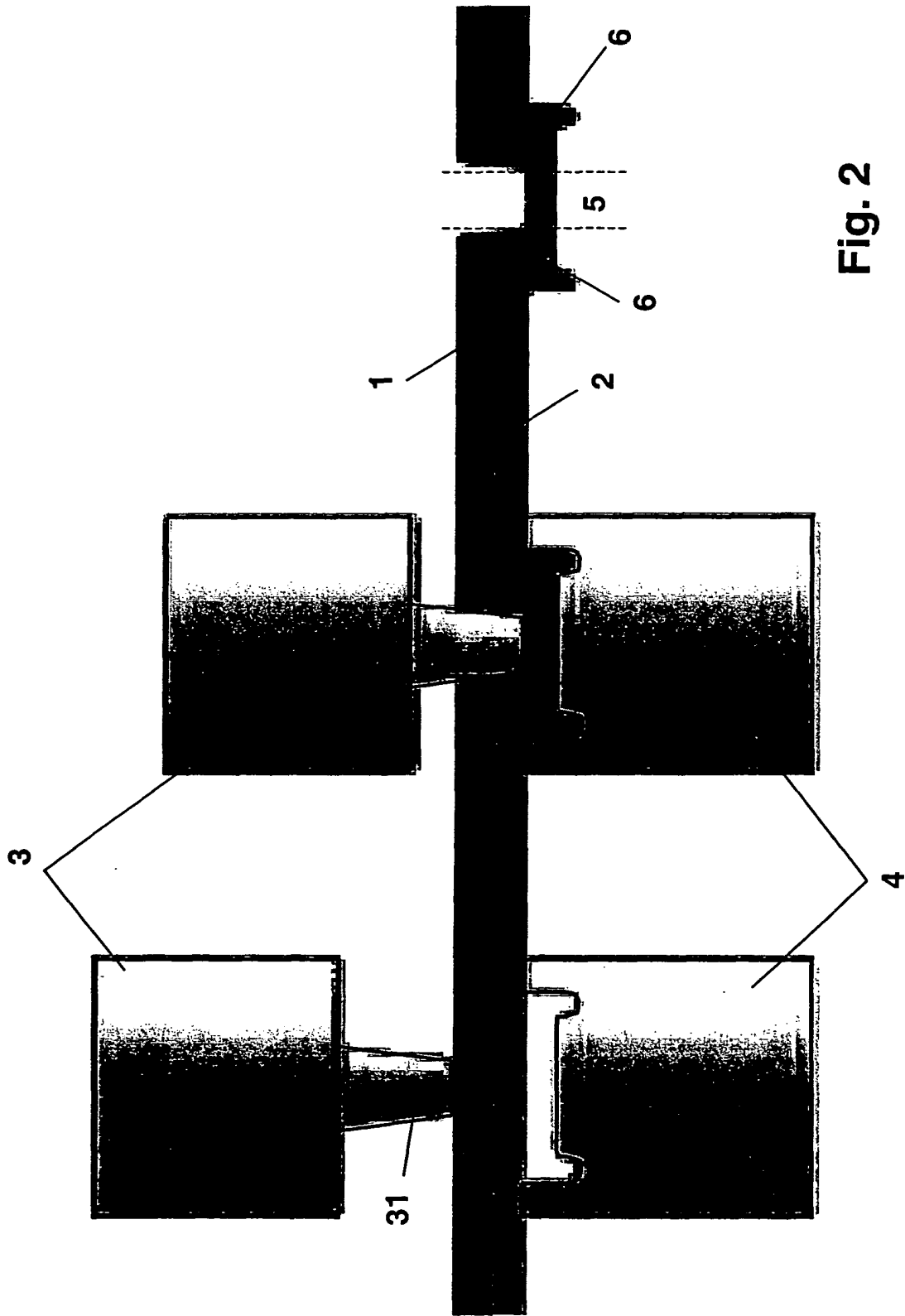
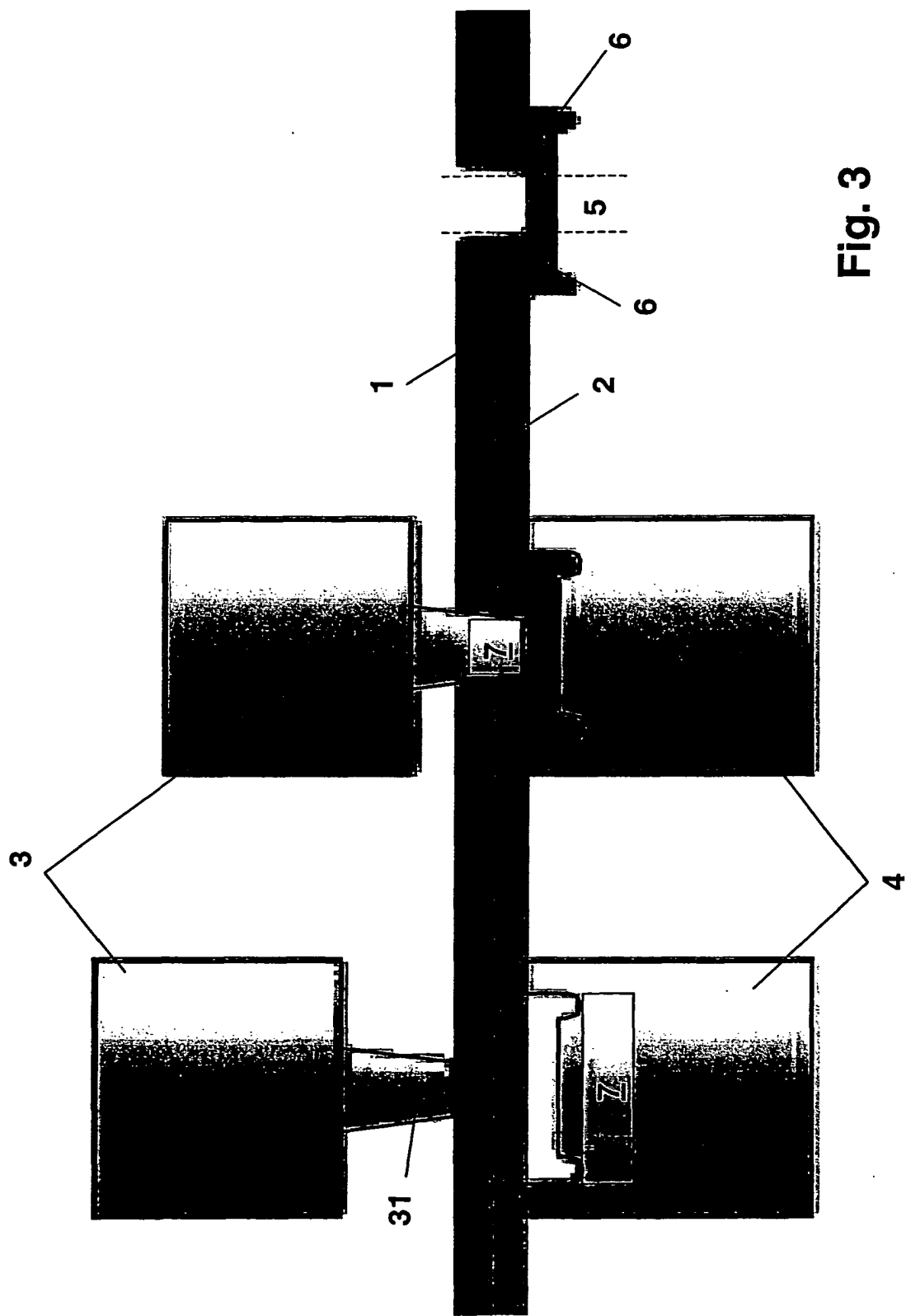
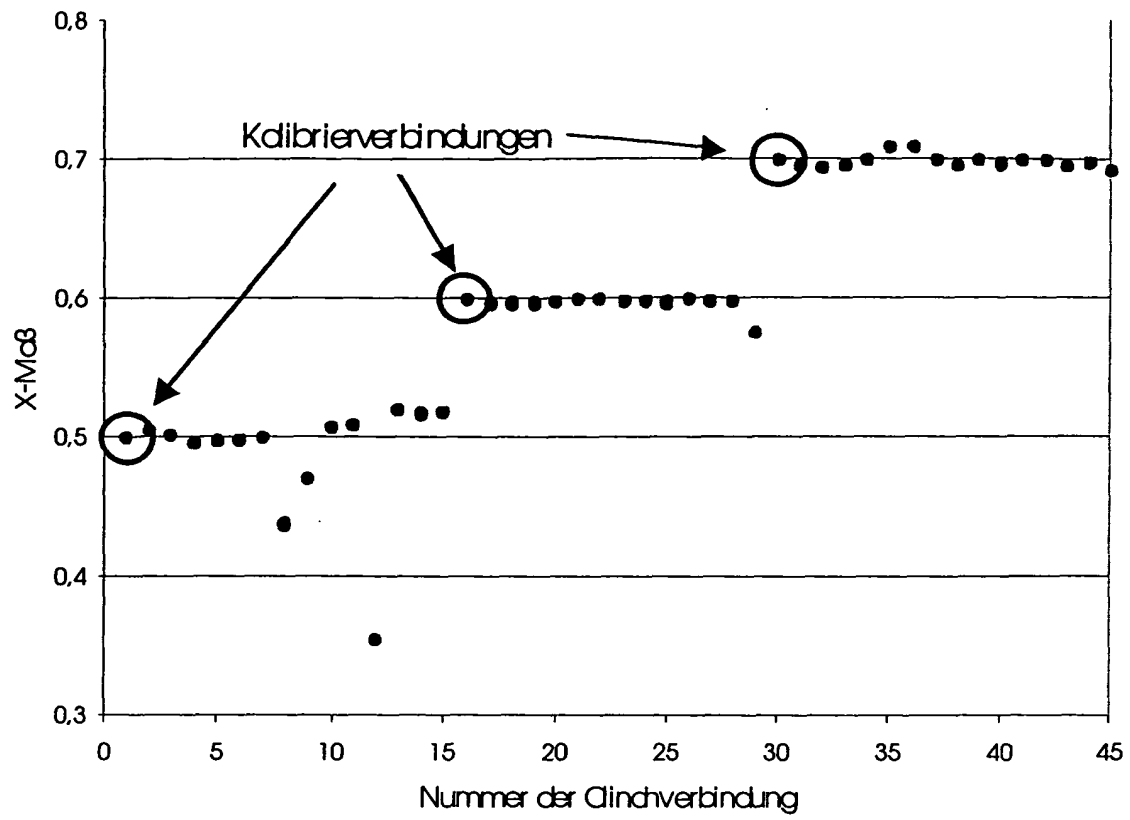


Fig. 2





**Fig. 4**