



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2004 018 683 B3** 2005.09.08

(12)

## Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2004 018 683.9**

(22) Anmeldetag: **17.04.2004**

(43) Offenlegungstag: –

(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **08.09.2005**

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: **G01N 29/12**  
**G01M 7/02**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**DaimlerChrysler AG, 70567 Stuttgart, DE**

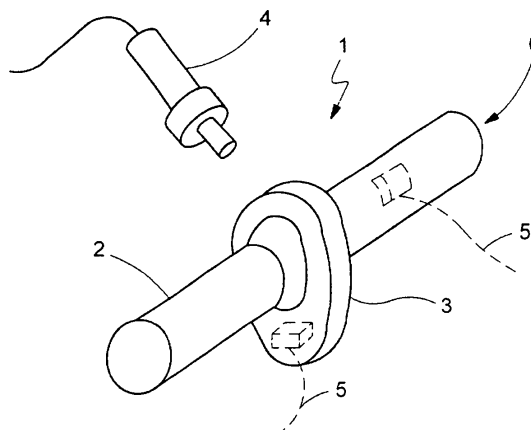
(72) Erfinder:  
**Garzke, Martin, Dr., 99734 Nordhausen, DE;**  
**Hansen, Detlef, 22761 Hamburg, DE; Heger,**  
**Stephan, 21256 Handeloh, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht  
gezogene Druckschriften:

**DE 198 60 471 C2**  
**DE 39 43 133 C2**  
**DE 101 37 364 A1**  
**FR 26 66 656**  
**GB 12 50 596**  
**US 45 34 219**  
**EP 06 67 526 A1**  
**EP 3 06 110 A2**  
**EP 07 44 017 B1**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Qualitätsprüfung eines Werkstücks**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Qualitätsprüfung eines Werkstücks (1), bei welchem das Werkstück (1) zu einer Schwingung angeregt, wenigstens ein Parameter der Schwingung gemessen und das Werkstück (1) für gut befunden wird, wenn der Parameter innerhalb eines vorgegebenen Rahmens liegt. Erfindungswesentlich ist dabei, dass das Verfahren zur Qualitätsprüfung einer Verbindung, insbesondere eines Presssitzes, zwischen zwei Bauteilen (2, 3) des Werkstücks (1) und/oder zur Qualitätsprüfung zumindest eines Bauteils (2 oder 3) des aus zumindest zwei Bauteilen (2, 3) zusammengebauten Werkstücks (1) verwendet wird.



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Qualitätsprüfung eines Werkstücks sowie eine Verwendung dieses Verfahrens beim Herstellen einer Wellen-Naben-Verbindung.

**[0002]** Eine stets steigende Forderung nach höherer Qualität und Zuverlässigkeit von Produkten sowie ein zunehmender Konkurrenzdruck, zwingt viele Hersteller von Komponenten und Endprodukten zur Integration von immer aufwändigeren Prüfverfahren in der Fertigungsendkontrolle. Da insbesondere Produktionsfehler bei stark beanspruchten und somit kritischen Komponenten zu Teil- oder Komplettausfällen des Produkts führen können, wird angestrebt, vor Auslieferung jedes Produkt (100%-Prüfung) einer Kontrolle zu unterziehen, um so eine Nullfehlerrate zu erreichen. Qualitätsbeanstandungen der Endverbraucher sollen hierdurch vermieden werden.

**[0003]** Eine akustische Güteprüfung stellt dabei ein mögliches und gleichzeitig vielseitiges Verfahren zur Beurteilung von Werkstücken dar, mit der Fehler detektiert werden können, die mit anderen Verfahren nicht zu erkennen sind. Beispielsweise anhand des Schwingungsverhaltens von Objekten ist eine Beurteilung des Zustands und damit eine Einteilung der Produkte in unterschiedliche Güteklassen möglich. Bei der Integration eines Prüfsystems in die Serienfertigung sind über die reine Funktionalität hinaus besondere Anforderungen zu erfüllen, deren Einhaltung von speziellen Produktionsbedingungen, wie beispielsweise einer Taktfrequenz, abhängen.

**[0004]** Eine akustische Güteprüfung erfolgt anhand dynamischer Eigenschaften, die von der Form und dem Material abhängig sind. Identische Strukturen bzw. Objekte besitzen hierbei gleiche Eigenschaften, wogegen Abweichungen bezüglich der Form oder Struktur des Materials Änderungen der dynamischen Eigenschaften bewirken. Werden die Strukturen schalltechnisch angeregt, breiten sich im Material Schwingungen aus, die als Körperschall bezeichnet werden. Dabei sind in den Festkörpern unterschiedliche Schwingungstypen möglich, die an Kanten, Grenzflächen und Materialinhomogenitäten ineinander übergehen. Das schwingende Gebilde regt an seiner Oberfläche wiederum Luftschall an, der sich als reine Longitudinal-Welle ausbreitet. Die Analyse der Werkstücke kann somit anhand von Luft- und/oder Körperschallsignalen erfolgen. Im Gegensatz zu Luftschallsignalen sind dabei die Körperschallsignale weniger anfällig gegenüber Störeinflüssen aus der Produktionsumgebung.

**Stand der Technik**

**[0005]** Aus der DE 198 60 471 C2 ist ein Verfahren zur Qualitätsprüfung eines Werkstücks bekannt, bei

welchem das Werkstück zu einer Schwingung angeregt, wenigstens ein Parameter der Schwingung gemessen und das Werkstück für gut befunden wird, wenn der Parameter innerhalb eines vorgegebenen Rahmens liegt. Hierbei wird jeweils die Abklingzeit der Schwingung und/oder Spektralkomponenten der Schwingung als Parameter verwendet und das Werkstück für gut befunden, wenn die Abklingzeit in einem vorgegebenen Intervall liegt. Dieses Intervall wird vorab anhand von als fehlerfrei bekannten Werkstücken experimentell festgelegt.

**[0006]** Aus der US 4,534,219 ist ein akustisches Verfahren zur Detektion von Rissen innerhalb metallischer Bauteile bekannt. Hierbei wird das zu prüfende Bauteil akustisch angeregt, wobei die Anregung innerhalb eines vordefinierten Zeitfensters sowie eines vordefinierten Frequenzausschnitts erfolgt. Anschließend misst ein Mikrofon die Schallenergie der durch das zu prüfende Werkstück laufenden Schallwellen und vergleicht diese mit Referenzdaten.

**[0007]** Aus der DE 39 43 133 C2 ist eine Vorrichtung zur akustischen Prüfung von monolithischen Katalysator- oder Rußfilterkörpern bekannt. Die Vorrichtung weist eine Aufnahme für den zu prüfenden monolithischen Katalysator- oder Rußfilterkörper auf, sowie einen Schwingungserreger, mindestens einen Schalldruck-Aufnehmer und eine damit verbundene Auswerteeinheit. Zusätzlich weist die Vorrichtung einen beweglichen Anschlagkörper umfassende Anschlagvorrichtung auf. Beim Einsatz der Vorrichtung wird das Aufschlageräusch des Anschlagkörpers bei der Schalldruck-Analyse nicht berücksichtigt. Auf diese Weise wird eine Verfälschung der Messung der abgestrahlten Frequenzen durch das beim Aufschlag des Anschlagkörpers auf den Monolithen entstehende Geräusch vermieden.

**[0008]** Aus der EP 0 744 017 B1 sind ein nicht invasives Verfahren sowie eine Vorrichtung zur Feststellung der Resonanzbedingungen von Bauelementen einer rotierenden Maschine mit gleichzeitiger Vorhersage von Bauelementenfehlern bekannt. Das nicht invasive Verfahren misst dabei Vibrationsresonanzinformationen der sich drehenden Maschinenwellen und daran befestigter Bauelemente und wertet diese aus.

**[0009]** Aus der EP 0 667 526 A1 ist ein Verfahren zur zerstörungsfreien Prüfung von Eisenbahnrädern bekannt, das mittels Ultraschall Risse im Bereich einer Radumfangsfläche detektiert.

**[0010]** Aus der DE 101 37 364 A1 ist es bekannt, Bauteildeviationen aus Spektralverschiebungen mit CAE-Methoden zu quantifizieren, wobei die zu überprüfenden Bauteile zu akustischen Schwingungen angeregt werden. Auf diese Weise können die Bauteile z. B. auf Vorhandensein eines Risses hin über-

prüft werden. Dabei wird ein aufgenommenes Referenz-Spektrum mit einem Basis-Referenz-Spektrum verglichen.

**[0011]** Aus der GB 1 250 596 ist es bekannt, zur zerstörungsfreien Prüfung von Proben, diese zu Schwingungen anzuregen und dabei eine Abklingzeit des Körperschalls zu beobachten.

**[0012]** Aus der EP 0 306 110 A2 ist es bekannt, ein Werkstück mit Hilfe eines Anschlaghammers zu Schwingungen anzuregen.

**[0013]** Bei der FR 2 666 656 A1 wird ein Laser-Vibrometer dazu verwendet, Schwingungen eines Werkstücks zu messen.

#### Aufgabenstellung

**[0014]** Die vorliegende Erfindung beschäftigt sich mit dem Problem, für ein Verfahren der eingangs erwähnten Art einen neuen Verwendungsbereich zu erschließen und dadurch eine Fehlerrate in diesem Bereich zu reduzieren.

**[0015]** Dieses Problem wird erfindungsgemäß durch die Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausführungsformen sind Gegenstand der abhängigen Ansprüche.

**[0016]** Die Erfindung beruht auf dem allgemeinen Gedanken, ein an sich bekanntes akustisches Verfahren zur Qualitätsprüfung einer Verbindung, insbesondere eines Presssitzes zwischen zwei Bauteilen des Werkstücks, und/oder zur separaten Qualitätsprüfung zumindest eines Bauteils des aus zumindest zwei Bauteilen zusammengebauten Werkstücks zu verwenden. Bei dem Verfahren wird das Werkstück zu einer Schwingung angeregt, wenigstens ein Parameter der Schwingung gemessen und das Werkstück für gut befunden, wenn der Parameter innerhalb eines vorgegebenen Rahmens liegt.

**[0017]** Mechanische Strukturen, sowohl zusammengesetzte als auch einteilige, besitzen charakteristische akustische Eigenschaften die von der Form und dem Werkstoff abhängig sind. Bei einteiligen Werkstücken werden diese Eigenschaften bereits dazu genutzt, eine Gut-Schlecht-Beurteilung durchzuführen. Ausgegangen wird dabei davon, dass identische Objekte nahezu identische akustische Eigenschaften besitzen, wogegen Abweichungen hinsichtlich der Form oder Strukturänderungen des Werkstücks Änderungen der akustischen Eigenschaften bewirken. Dementsprechend besitzt auch ein aus zwei Bauteilen zusammengebautes Werkstück, beispielsweise eine Wellen-Naben-Verbindung mit einem Rohr und einem Nockenring, in einwandfreiem Zustand charakteristische akustische Eigenschaften. Entspricht die Verbindung der beiden Bauteile, bei-

spielsweise der Presssitz, nicht den geforderten Anforderungen, ist er beispielsweise zu lose oder zu fest, so weichen die akustischen Eigenschaften des zusammengebauten Werkstücks von den charakteristischen akustischen Eigenschaften des einwandfreien Werkstücks ab. Gleichzeitig ist durch die Übertragung des Verfahrens auf den genannten Bereich die Möglichkeit eröffnet, zunächst fehlerfreie Werkstücke, die erst beim Verbindungsvorgang beschädigt werden, am zusammengebauten Werkstück zu detektieren. Beispielsweise lassen sich somit Risse in einem ursprünglich einwandfreien Nockenring feststellen, die beim Herstellen des Presssitzes mit dem Rohr aufgetreten sind.

**[0018]** Das erfindungsgemäße Verfahren ermöglicht somit die Qualitätsprüfung von zusammengesetzten Werkstücken bzw. von einzelnen Bauteilen des verbundenen Werkstücks und bietet dadurch den großen Vorteil, einen Qualitätsstandard auch für zusammengebaute Werkstücke zu erhöhen. Als weitere Vorteile der Verwendung des akustischen Verfahrens zur Qualitätsprüfung einer Verbindung und/oder zumindest eines Bauteils des aus zumindest zwei Bauteilen zusammengesetzten Werkstücks sind eine hohe Taktrate, welche über der Fertigungskapazität der Verbindung bzw. der Bauteile liegt, eine hohe Zuverlässigkeit und Störsicherheit sowie eine schnelle und leichte Adaptierbarkeit auf unterschiedliche Verbindungen bzw. Bauteile zu nennen.

**[0019]** Entsprechend einer vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Lösung wird mit dem Verfahren das Vorhandensein eines Risses und/oder einer Rissenneigung des mit dem Rohr verpressten Nockenrings geprüft. Risse stellen akustische Störzonen dar, welche mit dem Verfahren leicht detektierbar sind. Gleichzeitig können aber auch Rissenneigungen detektiert werden, da Rissenneigungen Strukturveränderungen bzw. Strukturschwächungen innerhalb des Werkstücks darstellen und hierdurch eine Veränderung des Körperschallsignals bewirken. Insbesondere die Detektion von Rissenneigungen ist von großer Bedeutung und großem Vorteil, da diese mit anderen Verfahren, beispielsweise optischen Verfahren, nicht zu detektieren sind und erst nach einer gewissen Einsatzzeit, beispielsweise einer bestimmten Laufleistung, zu Schäden führen. Das Detektieren von Rissenneigungen und das Aussondern derartiger Verbindungen bzw. Bauteile hat somit großen Einfluss auf die Langlebigkeit des hergestellten Produkts.

**[0020]** Zweckmäßig wird zur Schwingungsanregung des Werkstücks ein automatischer Anschlaghammer verwendet, wogegen zur Schwingungsmessung am Werkstück ein Einpunkt-Laservibrometer verwendet wird. Die Anregung mit einem automatischen bzw. zumindest teilautomatischen Schwingungsanreger ist dabei unabhängig von einer Prüf-

person und somit weitgehend frei von personenbezogenen Störfaktoren. Der Einsatz eines Einpunkt-Laservibrometers hingegen ermöglicht die berührungslose Messung von Oberflächenschwingungen, wodurch eine aufwändige Kontaktierung zur zuverlässigen Signaleinkopplung bzw. Auswertung entfallen kann. Diese Technik eignet sich besonders für automatisierte Fertigungsstraßen mit hohen Stückzahlen und kurzen Taktzeiten. Vorzugsweise liegen die Taktzeiten der Qualitätsprüfung unter der Taktzeit der Fertigungsstraße, wodurch eine Hundertprozentprüfung bzw. eine Nullfehlerrate verwirklicht werden kann. Von besonderem Vorteil ist des Weiteren, dass die Erfassung der Oberflächenschwingungen durch einen Laservibrometer im Gegensatz zu Luftschallmessungen frei von Störungen durch Umgebungsgereusche ist, welche besonders im Fertigungsumfeld erhebliche Einwirkungen auf das Messergebnis haben können. Da die Kosten für Schallmesskabinen entfallen, wird der Einsatz industrietauglicher Laservibrometer wirtschaftlich.

**[0021]** Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der erfindungsgemäßen Lösung erfolgt zur Gut-Schlecht-Unterscheidung des Werkstücks ein Abgleich mit in einer Datenbank hinterlegten Referenzwerten. In der Datenbank sind eine Vielzahl von charakteristischen Referenzwerten hinterlegt, mit welchen ein einfacher Gut-Schlecht-Abgleich erfolgen kann. Durch die Vielzahl der hinterlegten Referenzwerte wird gleichzeitig ein Beurteilungsfenster geschaffen, wodurch sich eine Sortiersicherheit steigern lässt. Generell ist dabei denkbar, dass in der Datenbank unterschiedliche Referenzwerte für unterschiedliche Werkstücke hinterlegt sind und/oder dass die Datenbank während des Prüfungsvorgangs kontinuierlich mit neuen Messdaten bestückt wird und dadurch hinsichtlich ihrer Unterscheidungsfähigkeit hinzulernt.

**[0022]** Weitere wichtige Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen, aus der Zeichnung und aus der zugehörigen Figurenbeschreibung anhand der Zeichnung.

**[0023]** Es versteht sich, dass die vorstehend genannten und die nachstehend noch zu erläuternden Merkmale nicht nur in der jeweils angegebenen Kombination, sondern auch in anderen Kombinationen oder in Alleinstellung verwendbar sind, ohne den Rahmen der vorliegenden Erfindung zu verlassen.

#### Ausführungsbeispiel

**[0024]** Ein bevorzugtes Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

**[0025]** Die einzige [Fig. 1](#) zeigt exemplarisch eine Wellen-Naben-Verbindung, an welcher das erfin-

dungsgemäße Verfahren zur Qualitätsprüfung durchgeführt werden kann.

**[0026]** Entsprechend [Fig. 1](#) weist ein Werkstück **1**, beispielsweise eine Wellen-Naben-Verbindung **6**, ein Rohr **2** sowie einen mit dem Rohr **2** verpressten Nockenring **3** auf. Der Nockenring **3** ist fest mit dem Rohr **2** verbunden. Die Verbindung zwischen dem Rohr **2** und dem Nockenring **3** kann beispielsweise durch ein lokales Innenhochdruckumformen des Rohrs **2** im Bereich des Nockenrings **3** bewirkt werden. Im Unterschied zu herkömmlichen Innenhochdruckumformverfahren, bei welchen eine Materialdehnung von bis zu 10% auftreten kann, beträgt die Dehnung des Rohrs **2** durch das lokale Innenhochdruckumformen im Bereich des Nockenrings **3** nur ca. 1%.

**[0027]** Der in [Fig. 1](#) dargestellte Ausschnitt einer Nockenwelle mit dem Nockenring **3** steuert beispielsweise bei modernen Dieselmotoren die Verdichtung des Kraftstoffs in Hochdruckeinspritzpumpen. Risse in einem oder mehreren Nockenringen **3** können dabei zu einem Ausfall der Einspritzpumpe und damit zu einem Totalausfall des Fahrzeugs führen. Um die Auslieferung von Einspritzpumpen mit fehlerhaften Nockenringen **3** zu vermeiden, wurden diese bisher einer Sichtprüfung unterzogen, welche von einer Prüfperson durchgeführt wurde. Dieses Verfahren der subjektiven Prüfung stellt hohe Anforderungen an Konzentrationsfähigkeit der Prüfperson, wobei das Ergebnis darüber hinaus stark von den individuellen Beurteilungsfähigkeiten des Prüfers abhängig ist. Mit der Sichtprüfung können jedoch lediglich Fehler an der Oberfläche erkannt werden. Einschlüsse oder Risse im Inneren des Materials sind nicht detektierbar. Ebenfalls nicht detektierbar ist durch eine reine Sichtprüfung die Güte der Verbindung zwischen dem Rohr **2** und dem Nockenring **3**.

**[0028]** Die Erfindung nutzt ein Verfahren zur Qualitätsprüfung, bei welchem das Werkstück **1** zu einer Schwingung angeregt, wenigstens ein Parameter der Schwingung gemessen und das Werkstück **1** für gut befunden wird, wenn der Parameter innerhalb eines vorgegebenen Rahmens liegt. Dabei wird das Verfahren erfindungsgemäß zur Qualitätsprüfung der Verbindung, insbesondere des Presssitzes, zwischen zwei Bauteilen des Werkstücks **1**, hier zwischen dem Rohr **2** und dem Nockenring **3**, und/oder zur Qualitätsprüfung zumindest eines Bauteils **2** oder **3** des aus zumindest zwei Bauteilen **2**, **3** zusammengebauten Werkstücks **1** verwendet.

**[0029]** Das Verfahren nutzt dabei charakteristische akustische Eigenschaften von mechanischen Strukturen, welche von einer Form und dem jeweils eingesetzten Werkstoff abhängig sind. Identische Strukturen besitzen dabei gleiche Eigenschaften, wogegen Abweichungen hinsichtlich der Form oder Strukturän-

derungen des Werkstoffs Änderungen der akustischen Eigenschaften bewirken. Wird das Werkstück **1** akustisch angeregt, breiten sich im Material Schwingungen aus, die als Körperschall bezeichnet werden. Dabei sind in Festkörpern generell unterschiedliche Schwingungstypen möglich, die an Kanten, Grenzflächen und Materialinhomogenitäten ineinander übergehen. Das schwingende Gebilde regt an seiner Oberfläche Luftschall an, der sich als reine Longitudinal-Welle ausbreitet. Die Analyse des Werkstücks **1** bzw. die Beurteilung desselben, kann somit anhand von Luft- oder Körperschallsignalen erfolgen. Im Gegensatz zu Luftschallsignalen sind dabei die Körperschallsignale weniger anfällig gegenüber Störeinflüssen aus der Produktionsumgebung.

**[0030]** Zur Schwingungsanregung des Werkstücks **1** wird ein Signalgeber **4**, beispielsweise ein Piezo-Signalgeber oder ein automatischer Anschlaghammer verwendet. Demgegenüber wird zur Schwingungsmessung des Werkstücks **1** ein geeigneter Signalempfänger **5**, beispielsweise ein Piezo-Signalempfänger oder ein Einpunkt-Laservibrometer verwendet. Besonders die Anregung mittels eines automatischen Anschlaghammers und die Schwingungsmessung mittels des Laservibrometers eignen sich besonders für automatisierte Fertigungsstraßen mit hohen Stückzahlen und kurzen Taktzeiten. Diese Technik ist im Gegensatz zur Luftschallmessung frei von Störungen durch Umgebungsgeräusche, die besonders im Fertigungsumfeld erheblich Einwirkungen auf das Messergebnis haben können. Da darüber hinaus Aufwendungen für Schallmesskabinen entfallen, ist ein Einsatz industrietauglicher Laservibrometer wirtschaftlich.

**[0031]** Der bei der Schwingungsmessung gemessene Schwingungsparameter kann beispielsweise eine Körperschallgeschwindigkeit und/oder eine Abklingzeit bzw. ein Dämpfungsgrad des Körperschalls sein. Im Gegensatz zu einer Beurteilung anhand von Resonanzfrequenzen, bei welcher eine zuverlässige Unterscheidung von Nockenringen **3** mit und ohne Riss nicht möglich ist, stellen die Dämpfungsgrade bezüglich des geforderten Fehlerkriteriums eindeutige Merkmale dar und eignen sich dadurch besonders zur Gut-Schlecht-Unterscheidung der Verbindung zwischen den beiden Bauteilen **2, 3** bzw. zur Qualitätsprüfung zumindest eines Bauteils **2, 3** des Werkstücks **1**.

**[0032]** Generell erfolgt zur Gut-Schlecht-Unterscheidung des Werkstücks **1** ein Abgleich mit in einer Datenbank hinterlegten Referenzwerten. Die Referenzwerte wurden dabei experimentell ermittelt, wobei auch denkbar ist, dass die Referenzdatenbank während der Prüfprozesse kontinuierlich mit neuen Messdaten gespeist und erweitert wird.

**[0033]** Prinzipiell erlaubt das Verfahren eine Prü-

fung des Vorhandseins eines Risses und/oder einer Rissneigung des mit dem Rohr **2** verpressten Nockenrings **3**. Da insbesondere die Rissneigung nicht durch eine visuelle Prüfung detektierbar ist, im unerkannten Falle jedoch zu einem späteren Zeitpunkt zu einem Riss und somit zu einem Schaden führt, ist es von großer Bedeutung, derartige Rissneigungen vorab zu entdecken und entsprechende Werkstücke **1** auszusondern. Rissneigungen können sich dabei beispielsweise als Materialinhomogenitäten darstellen, an welchen sich die akustischen Eigenschaften des Werkstücks **1** ändern.

**[0034]** Im folgenden soll kurz ein möglicher Ablauf des Verfahrens dargestellt werden:

Zunächst wird das Werkstück **1** in eine spezielle Aufnahme einer hier nicht gezeigten Vorrichtung gelegt und dort positioniert. Anschließend kann das Werkstück **1** pneumatisch aus der Aufnahme gehoben und dämpfungsarm auf einen mit Gumminoppen bestückten Träger gelagert werden. Danach wird die Anregung mit einem automatischen Anschlaghammer ausgelöst. Die Messung der Oberflächenschwingung erfolgt vorzugsweise berührungslos mit einem Einpunkt-Laservibrometer, wodurch eine aufwändige Kontaktierung zur Signaleinkopplung entfallen kann. Die Auswertung der Messdaten erfolgt hiernach mit einem Prüfsystem, beispielsweise mit einem Quick-Checksysteem der PNA Polytec Noise Analysis GmbH. Dieses System bietet die Möglichkeit, neben der konventionellen Schwingungsmesstechnik die Vorteile der Laservibrometrie erfolgreich einzusetzen. Neben hoher Präzision und Verfügbarkeit ist mit dieser Komponente auch eine Skalierbarkeit des Systems gegeben.

**[0035]** Generell wird zunächst für jede Signalanregung ein Maximum bestimmt und damit der Zeitpunkt der Erregung als Referenzzeitpunkt festgelegt. Aus den logarithmierten Maxima der Signale wird mittels linearer Regression der Schnittpunkt mit einer Koordinatenabszisse als Maß für die Dämpfung berechnet. Die Zuordnung von Werkstück **1** unbekannter Güte zu einer der beiden Klassen „Gut“ oder „Schlecht“ findet anhand von Grenzwerten statt, die aus einer größeren Stichprobe von Werkstücken **1** mit und ohne Riss bzw. einwandfreiem und nicht einwandfreiem Presssitz durch das Prüfsystem automatisch ermittelt werden. Anhand der Ausklingzeiten aller Werkstücke **1** der Stichprobe werden zwei Grenzwerte derart bestimmt, dass alle Ausklingzeiten von Nockenringen **3** bzw. Werkstücken **1** der Lernstichprobe mit Riss und/oder schlechtem Presssitz kleiner sind als der erste Grenzwert und die Ausklingzeiten von Werkstücken **1** bzw. Nockenringen **3** ohne Riss bzw. einwandfreiem Presssitz größer als der zweite Grenzwert. Ausklingzeiten die zwischen den beiden Grenzwerten liegen werden Werkstücken **1** bzw. Nockenringen **3** mit internen Rissen zugeordnet. Das Verfahren ermöglicht dabei eine Prüfung von derzeit

bis zu 200 Werkstücken **1** pro Stunde, was die Fertigungskapazität weit übertrifft.

**[0036]** Eine vom System bereitgestellte Trendanalyse gibt des weiteren Auskunft über die letzten 100 Messungen.

**[0037]** Zusammenfassend lassen sich die wesentlichen Merkmale der erfindungsgemäßen Lösung wie folgt charakterisieren:

Die Erfindung sieht vor, ein Verfahren zur Qualitätsprüfung eines Werkstücks **1**, bei welchem das Werkstück **1** zu einer Schwingung angeregt, wenigstens ein Parameter der Schwingung gemessen und das Werkstück **1** für gut befunden wird, wenn der Parameter innerhalb eines vorgegebenen Rahmens liegt, zur Qualitätsprüfung einer Verbindung, insbesondere eines Presssitzes und/oder zur Qualitätsprüfung zumindest eines Bauteils **2** oder **3** des aus zumindest zwei Bauteilen **2, 3** zusammengebauten Werkstücks **1** zu verwenden.

**[0038]** Hierdurch lassen sich die Vorteile einer akustischen Güteprüfung auf zusammengefügte Werkstücke **1** übertragen, wodurch die Qualität gesteigert werden kann. Durch den Einsatz von automatischen Schwingungsanregern sowie einer Schwingungsmessung mittels Laservibrometer, ist eine Taktzeit bezüglich der Prüfung möglich, welche kleiner ist als eine Taktzeit der zugehörigen Fertigungsstraße. Hierdurch wird eine 100%-Prüfung und damit eine Nullfehlerrate gewährleistet.

### Patentansprüche

1. Verfahren zur Qualitätsprüfung einer Verbindung, insbesondere eines Presssitzes, zwischen zwei Bauteilen (**2, 3**) eines Werkstücks (**1**) und/oder zur Qualitätsprüfung zumindest eines Bauteils (**2, 3**) eines aus zumindest zwei Bauteilen (**2, 3**) zusammengebauten Werkstücks (**1**), bei welchem das Werkstück (**1**) zu einer Schwingung angeregt, wenigstens ein Parameter der Schwingung gemessen und das Werkstück (**1**) für gut befunden wird, wenn der Parameter innerhalb eines vorgegebenen Rahmens liegt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass mit dem Verfahren eine Wellen-Naben-Verbindung (**6**), insbesondere ein Presssitz zwischen einem Rohr (**2**) und einem Nockenring (**3**), geprüft wird.

3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass mit dem Verfahren das Vorhandensein eines Risses und/oder einer Rissneigung des mit dem Rohr (**2**) verpressten Nockenrings (**3**) geprüft wird.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3,

dadurch gekennzeichnet, dass die Verbindung zwischen den beiden Bauteilen (**2, 3**) durch Innenhochdruckumformen des Rohrs (**2**) hergestellt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass ein zu messender Schwingungsparameter eine Körperschallgeschwindigkeit und/oder eine Abklingzeit des Körperschalls ist.

6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass zur Schwingungsanregung des Werkstücks (**1**) ein Piezo-Signalgeber oder ein automatischer Anschlaghammer verwendet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass zur Schwingungsmessung des Werkstücks (**1**) ein Piezo-Signalempfänger oder ein Einpunkt-Laservibrometer verwendet wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass zur Gut-Schlecht-Unterscheidung des Werkstücks (**1**) ein Abgleich mit in einer Datenbank hinterlegten Referenzwerten erfolgt.

9. Verwendung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8 zur Qualitätsprüfung einer Verbindung zwischen einem Rohr (**2**) und wenigstens einem Nockenring (**3**) und/oder des Rohrs (**2**) und/oder des wenigstens einen Nockenrings (**3**) beim Herstellen einer Wellen-Naben-Verbindung (**6**).

Es folgt ein Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

