

(12)

## Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 50643/2014  
(22) Anmeldetag: 15.09.2014  
(45) Veröffentlicht am: 15.03.2016

(51) Int. Cl.: **B21D 5/02** (2006.01)  
**G01B 11/26** (2006.01)  
**G01B 11/25** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:  
US 5488470 A  
US 5531087 A  
WO 2005077559 A1  
EP 0470263 A1  
WO 0203026 A1  
DE 69904962 T2  
DE 4493589 T1  
WO 03076099 A1  
DE 202010006391 U1

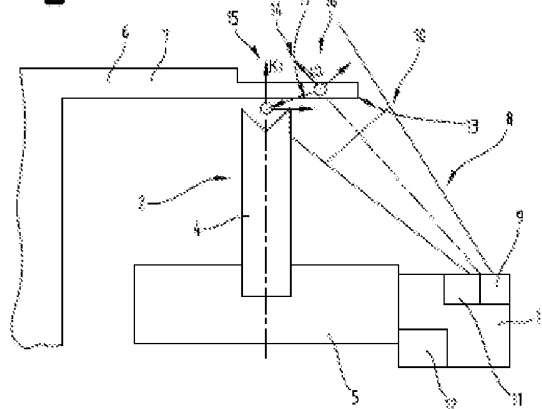
(73) Patentinhaber:  
TRUMPF MASCHINEN AUSTRIA GMBH & CO.  
KG.  
4061 PASCHING (AT)

(74) Vertreter:  
Anwälte Burger & Partner Rechtsanwalt GmbH  
4580 Windischgarsten (AT)

### (54) Kalibrierverfahren für eine Biegemaschine

(57) Die Erfindung betrifft Kalibrierverfahren für eine Biegemaschine mit einer Biegewinkel-Messvorrichtung (1), wobei der Biegemaschine ein maschinenfestes erstes Koordinatensystem (15) zugeordnet ist, und wobei während der Durchführung einer Biegeumformung, von der Biegewinkel-Messvorrichtung eine Bestimmung des aktuellen Ist-Biegewinkels erfolgt. In einem Kalibriervorgang wird von der Beleuchtungsvorrichtung (9) ein Lichtmuster (10) auf ein Referenzmerkmal (6) der Biegemaschine oder der Biegewerkzeuganordnung (2) abgegeben und von der Bilderfassungsvorrichtung (11) das Abbild des Lichtmusters (10) am Referenzmerkmal (6) erfasst. Vom Auswertemodul (12) wird aus dem erfassten Abbild ein Referenzpunkt (13) des Referenzmerkmals (6) ermittelt, welcher Referenzpunkt (13) im ersten Koordinatensystem (15) festgelegt ist. Ferner wird vom Auswertemodul (12) aus den Koordinaten des Referenzpunkts (13) im ersten Koordinatensystem und einem, der Biegewinkel-Messvorrichtung (1) fest zugeordneten zweiten Koordinatensystem, eine Transformationsmatrix (17) ermittelt, welcher an eine Maschinensteuerung der Biegemaschine übermittelt wird und von dieser im Biegemodell der Biegeumformung berücksichtigt wird.

**Fig.1**



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Kalibrierverfahren für eine Biegemaschine mit einer Biegewinkel-Messvorrichtung, insbesondere einer kontaktlos wirkenden Biegewinkel-Messvorrichtung.

**[0002]** Beim Biegen von Blechteilen, insbesondere beim Freibiegen und Schwenkbiegen, aber auch beim Prägebiegen, kann es aufgrund von Schwankungen der Materialparameter dazu kommen, dass der geforderte Biegewinkel nicht eingehalten wird. Gemäß einem mathematischen Modell der Biegeumformung kann aus den Materialparametern, im Wesentlichen der Härte des Materials und der Blechdicke, sowie Kenntnis der Biegewerkzeuganordnung, die Biegekraft bzw. der Verschwenkwinkel berechnet werden, der mit diesen der Soll-Materialparameter zum gewünschten Biegewinkel führt. Da es real jedoch immer wieder zu geringfügigen Schwankungen dieser Materialparameter kommen wird, würde bei Beibehaltung der ermittelten Biegeparameter, ein abweichender Biegewinkel gebogen.

**[0003]** Daher ist es von Vorteil, wenn während des laufenden Biegevorganges der aktuell erreichte Biegewinkel ermittelt werden kann, um bei Erreichen des gewünschten Biegewinkels, den Biegevorgang zu beenden.

**[0004]** Dazu ist beispielsweise aus der EP 1 102 032 B1 ein Verfahren bekannt, bei dem mittels eines optischen Beleuchtungs- und Erfassungssystems Abstandspunkte zwischen dem Messsystem und der sich aufbiegenden Blechoberfläche ermittelt werden. Aus diesem Abstandsprofil wird der aktuell gebildete Biegewinkel ermittelt.

**[0005]** Der Nachteil dieses bekannten Verfahrens liegt nun darin, dass die Abstände zwischen dem Messinstrument und der Blechoberfläche im Bezug zum Koordinatensystem des Messinstruments bestimmt werden. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich das Koordinatensystem des Messinstruments und das Koordinatensystem der Biegemaschine in fester Relation zueinander befinden. Insbesondere wird davon ausgegangen, dass sich die ursprüngliche, bei Inbetriebnahme der Biegemaschine hergestellte Koordinatenzuordnung zwischen der Biegemaschine und dem Messinstrument nicht geändert hat. Um den Winkel des sich aufbiegenden Bleches bestimmen zu können, wird die Biegewinkel-Messvorrichtung im Arbeitsbereich der Biegemaschine und insbesondere im Schwenkbereich des sich aufbiegenden Bleches angeordnet sein müssen. In diesem Bereich besteht für die Biegewinkel-Messvorrichtung auch beim bestimmungsgemäßen Einsatz stets die Gefahr, dass sich die ursprünglich festgelegte Zuordnung des Koordinatensystems der Biegemaschine und des Koordinatensystems der Biegewinkel-Messvorrichtung ändert. Beispielsweise kann beim Einlegen des Bleches in die Werkzeuganordnung dieses an der Biegewinkel-Messvorrichtung anstoßen und somit die festgelegte Zuordnung ändern, ohne dass dies augenscheinlich sofort in Erscheinung tritt. Auch kann es durch Erschütterungen vorkommen, dass sich die gegenüber der Biegemaschine kleine und leichte Biegewinkel-Messvorrichtung in ihrer Ausrichtung gegenüber der Biegemaschine ändert. Eine Änderung der Relativposition zwischen Biegewinkel-Messvorrichtung und Biegemaschine führt jedoch unmittelbar auch zur Bildung fehlerhafter Biegewinkel und, obwohl von der Biegewinkel-Messvorrichtung ein vermeintlich korrekter Biegewinkel ermittelt wird.

**[0006]** Die Aufgabe der Erfindung liegt nun darin, ein Verfahren zur Bestimmung des Biegewinkels während des Biegevorgangs, dahingehend zu verbessern, dass stets eine korrekte Ermittlung des aktuellen Biegewinkels gewährleistet ist.

**[0007]** Die Aufgabe der Erfindung wird gelöst durch ein Kalibrierverfahren für eine Biegemaschine mit einer Biegewinkel-Messvorrichtung, wobei der Biegemaschine ein maschinenfestes erstes Koordinatensystem zugeordnet ist und die Biegemaschine ferner eine Biegewerkzeuganordnung aufweist. Während der Durchführung einer Biegeumformung wird von einer Beleuchtungsvorrichtung der Biegewinkel-Messvorrichtung ein Lichtmuster auf eine Oberfläche eines in der Biegewerkzeuganordnung eingelegten Blechteils abgegeben. Ferner wird von einer Bilderfassungsvorrichtung der Biegewinkel-Messvorrichtung das Abbild des Lichtmusters auf der Blechoberfläche erfasst und von einem Auswertemodul das erfasste Abbild des Lichtmusters

analysiert und daraus ein aktueller Biegewinkel ermittelt. Bei Übereinstimmung des aktuellen Biegewinkels mit einem, nach einem mathematischen Biegemodell ermittelten Soll-Biegewinkel, wird die Biegeumformung gestoppt. In einem Kalibriervorgang wird von der Beleuchtungsvorrichtung ein Lichtmuster auf ein Referenzmerkmal der Biegemaschine oder der Biegewerkzeuganordnung abgegeben und von der Bilderfassungsvorrichtung das Abbild des Lichtmusters am Referenzmerkmal erfasst. Vom Auswertemodul wird aus dem erfassten Abbild ein Referenzpunkt des Referenzmerkmals ermittelt, welcher Referenzpunkt im ersten Koordinatensystem festgelegt ist. Ferner wird vom Auswertemodul aus den Koordinaten des Referenzpunkts im ersten Koordinatensystem und einem, der Biegewinkel-Messvorrichtung fest zugeordneten zweiten Koordinatensystem, eine Transformationsmatrix ermittelt, welche Transformationsmatrix an eine Maschinensteuerung der Biegemaschine übermittelt wird und von dieser im Modell der Biegeumformung berücksichtigt wird.

**[0008]** Der Vorteil dieser Ausführung liegt darin, dass mit einer Vorrichtung sowohl eine Überwachung des sich während der Biegung einstellenden Biegewinkels, als auch eine Kalibrierung des Messsystems durchgeführt werden kann.

**[0009]** Beim Einbau einer vorab kalibrierten optischen Biegewinkel-Messvorrichtung in eine Biegemaschine können Toleranzen auftreten, die im Betrieb zu einer Verfälschung des ermittelten Biegewinkels führen können. Daher ist eine Referenzierung der Biegewinkel-Messvorrichtung in Einbaulage vorteilhaft, um diese auftretenden Ungenauigkeiten kompensieren zu können. Für eine exakte Referenzierung ist ein bekanntes und im ersten Koordinatensystem der Biegemaschine eindeutig definiertes Referenzmerkmal erforderlich.

**[0010]** Gemäß dem gegenständlichen Verfahren wird nach Einbau des vorab kalibrierten Winkelmesssystems in die Biegemaschine, eine Referenzierung durchgeführt. Dazu wird zwischen einem Referenzpunkt im ersten Koordinatensystem der Biegemaschine und dem zweiten Koordinatensystem der Biegewinkel-Messvorrichtung, eine Transformationsmatrix ermittelt. Diese Transformationsmatrix definiert den Bezug zwischen erstem und zweitem Koordinatensystem und wird im mathematischen Modell der Biegung berücksichtigt. Somit fließt diese Korrektur bei allen folgenden Biegeumformungen in die ermittelten Biegeparameter ein.

**[0011]** Im ersten Koordinatensystem sind die wesentlichen Abmessungen und Abstände der Biegemaschine festgelegt, insbesondere ist festgelegt, wo sich die Biegelinie befindet.

**[0012]** Die grundlegende Funktionsweise einer Biegemaschine wird hierin als bekannt angesehen. Insbesondere ist bekannt, dass eine Maschinensteuerung über Antriebsmittel eine Bewegung des Pressenbalkens bzw. der Schwenkbacke bewirkt und so die Biegeumformung durchführt. Inkludiert ist hier auch die Ansteuerung von Klemm- und/oder Haltevorrichtungen, die das umzuformende Blech vor bzw. während der Durchführung der Biegeumformung in definierter Relation zur Biegewerkzeuganordnung halten. Insbesondere wird unter Ansteuerung durch die Maschinensteuerung verstanden, dass diese mittels elektrischer, pneumatischer und/oder hydraulischer Mittel bzw. Wandler, die Biegewerkzeuganordnung mit den ermittelten Biegeparametern auf das umzuformende Blechteil einwirken lässt. Das gegenständliche Verfahren ist für Biegemaschinen zum Freibiegen, Prägebiegen - allgemein zum Pressbiegen - und auch Schwenkbiegen verwendbar. Gegebenenfalls werden im weiteren Begrifflichkeiten des Freibiegens verwendet, die jedoch auf die gleichfalls vorhandenen Elemente einer Schwenkbiegemaschine umzulegen sind.

**[0013]** Ferner kann das Auswertemodul in der Maschinensteuerung oder in der Biegewinkel-Messvorrichtung integriert sein, oder als eigenständiges Modul existieren. Jedenfalls besteht eine Verbindung zur Maschinensteuerung, um die ermittelte Transformationsmatrix an die Maschinensteuerung übermitteln zu können bzw. können die Messwerte mit der ermittelten Transformation auch im Auswertemodul umgerechnet und dann an die Maschinensteuerung übertragen werden.

**[0014]** Nach einer Weiterbildung ist vorgesehen, dass das Referenzmerkmal durch eine Anschlagvorrichtung gebildet ist, welche beim Kalibriervorgang von der Maschinensteuerung in

den Erfassungsbereich der Biegewinkel-Messvorrichtung bewegt wird. Beim Biegen wird das umzuformende Blechteil in die Werkzeuganordnung der Biegemaschine eingelegt und von der Maschinensteuerung eine Anschlagvorrichtung, insbesondere ein Hinteranschlag, gemäß der durchzuführenden Biegeumformung positioniert. Der Bediener legt dann das Blechteil an die Anschlagvorrichtung an und löst die Biegeumformung aus. Da die Anschlagvorrichtung bei der Inbetriebnahme der Biegemaschine bzw. in regelmäßigen Intervallen im ersten Koordinatensystem der Biegemaschine festgelegt wird, ist bei jeder Positionierung der Anschlagvorrichtung durch die Maschinensteuerung, die Position des Referenzmerkmals im ersten Koordinatensystem bekannt.

**[0015]** Alternativ ist nach einer Weiterbildung vorgesehen, dass das Referenzmerkmal durch ein Ober- und/oder Unterwerkzeug der Biegewerkzeuganordnung gebildet ist, welches beim Kalibriervorgang von der Maschinensteuerung in den Erfassungsbereich der Biegewinkel-Messvorrichtung bewegt wird. Da auch die Position des Ober- bzw. Unterwerkzeugs im ersten Koordinatensystem festgelegt ist, bspw. durch definierte Abmessungen der Werkzeuge, ist wiederum an jeder Verfahrensposition das Werkzeug im ersten Koordinatensystem festgelegt.

**[0016]** Da wie zuvor die Anschlagvorrichtung, auch die Werkzeuge der Biegewerkzeuganordnung sehr markante strukturelle Merkmale aufweisen, insbesondere Kanten, und diese Merkmale durch die geometrische Bauform der Werkzeuganordnung festgelegt sind, ist darüber auch der Referenzpunkt des Referenzmerkmals eindeutig im ersten Koordinatensystem festgelegt.

**[0017]** Eine Weiterbildung besteht auch darin, dass als Lichtmuster eine Helligkeitsverteilung mit einem hohen lokalen Kontrast abgegeben wird. Um die Position des Referenzmerkmals eindeutig und insbesondere sehr genau erfassen zu können, ist es bei einer optischen Erfassungsvorrichtung von Vorteil, wenn sich das zu erfassende bzw. zu findende Merkmal deutlich von der Umgebung abhebt.

**[0018]** Durch die Längserstreckung der Werkzeuganordnung wird bei einer Biegemaschine auch die Biegelinie festgelegt, entlang der ein Blechteil gebogen werden kann. Aufgrund von Justageungenauigkeiten und/oder durch Dejustage während des Betriebs, kann es vorkommen, dass sich längs dieser Erstreckung der Abstand zwischen der Biegewinkel-Messvorrichtung und der Biegemaschine ändert. Daher ist nach einer Weiterbildung vorgesehen, dass die Biegewinkel-Messvorrichtung parallel zu einer Längserstreckung der Werkzeuganordnung bewegt wird und längs dieser Längserstreckung eine Mehrzahl von Transformationsmatrizen ermittelt wird. Somit kann längs der Biegelinie ein Gitter von Transformationsmatrizen ermittelt werden, welche in das Biegemodell einfließen und eine korrekte Biegung ermöglichen.

**[0019]** Da es durch die mechanischen Belastungen beim Biegevorgang vorkommen kann, dass sich die geometrische Zuordnung zwischen erstem und zweitem Koordinatensystem ändert, ist nach einer Weiterbildung vorgesehen, dass die Bestimmung der Transformationsmatrix periodisch vor einem Biegevorgang durchgeführt wird. Somit lässt sich bspw. festlegen, dass nach einer Anzahl von Biegevorgängen die Kalibrierung erneut durchgeführt wird. Dies ist insbesondere automatisierbar, so dass der Bediener keine zusätzliche Handlung setzen muss.

**[0020]** Die Biegewinkel-Messvorrichtung ist bevorzugt in Richtung des Bleches ausgerichtet und ist somit ggf. für die Erfassung des Referenzmerkmals nicht optimal ausgerichtet. Daher ist nach einer Weiterbildung vorgesehen, dass die Biegewinkel-Messvorrichtung beim Kalibriervorgang verschwenkt wird, bevorzugt um eine zur Längserstreckung der Werkzeuganordnung parallele Achse. Somit ist in beiden Erfassungspositionen eine optimale Positionierung der Beleuchtungs- und der Bilderfassungsvorrichtung gewährleistet. Diese Verschwenkung erfolgt bevorzugt mittels eines Antriebsmittels, welches von der Maschinensteuerung angesteuert wird.

**[0021]** Eine Weiterbildung besteht darin, dass vom Auswertemodul mittels der Biegewinkel-Messvorrichtung ein Lichtschnittverfahren durchgeführt wird. Ein solches Verfahren ist besonders gut geeignet, Kanten zu finden. Da bei einer Biegemaschine aufgrund der konstruktiven bzw. einsatzgemäßen Gegebenheiten, insbesondere im Bereich der Biegewerkzeuganordnung,

der Biegelinie bzw. des eingelegten Blechteil, eine Mehrzahl von Kanten vorhanden sind, ist das anspruchsgemäße Verfahren vorteilhaft.

**[0022]** Da für die Erfassung des Biegewinkels des sich aufbiegenden Bleches ggf. ein anderes Lichtmuster vorteilhaft ist, als für die Durchführung der Kalibration, ist gemäß einer Weiterbildung vorgesehen, dass das Lichtmuster von der Beleuchtungsvorrichtung für die Biegeumformung und für den Kalibriervorgang selektiv gewählt wird. Auch ist es somit möglich, dass Lichtmuster auf die spezifische Oberflächenstruktur des zu erfassenden Bleches bzw. Referenzmerkmals anzupassen.

**[0023]** Die Aufgabe der Erfindung wird auch durch eine Biegemaschine mit einer Biegewinkel-Messvorrichtung gelöst, welche Biegewinkel-Messvorrichtung eine Beleuchtungs- und eine Bilderfassungsvorrichtung aufweist. Ferner weist die Biegemaschine eine Biegewerkzeuganordnung auf, welche in einem Arbeitsschritt die Biegeumformung an dem, in die Biegewerkzeuganordnung eingelegten Blech durchführt. Der Biegemaschine ist ein maschinenfestes erstes Koordinatensystem zugeordnet, ferner weist die Biegemaschine ein Referenzmerkmal mit einem Referenzpunkt auf, welcher Referenzpunkt koordinatenfest bezüglich des ersten Koordinatensystems ist. Der Biegewinkel-Messvorrichtung ist ein zweites Koordinatensystem zugeordnet ist, wobei nach Durchführung des gegenständlichen Kalibrierverfahrens, zwischen dem Referenzpunkt und dem zweiten Koordinatensystem eine Transformationsmatrix besteht.

**[0024]** Bei einer Biegemaschine gibt es vor bzw. während der Durchführung der Biegeumformung eine Mehrzahl sich gegeneinander bewegendender Maschinenkomponenten, unabhängig ob es sich um eine Biegepresse oder eine Schwenkbiegemaschine handelt. Durch konstruktive Mittel ist jedoch gewährleistet, dass die Position der einzelnen Komponenten zueinander und insbesondere zum ruhenden Maschinenrahmen, jederzeit und insbesondere auch während einer Bewegung eindeutig bekannt ist. Insbesondere die Position der Komponenten der Biegemaschine im ersten Koordinatensystem, welches der Biegemaschine zugeordnet ist, festgelegt. Somit kann die Maschinensteuerung einen Biegevorgang reproduzierbar durchführen.

**[0025]** Ein Hinteranschlag sowie das Ober- oder Unterwerkzeug finden beim bestimmungsgemäßen Einsatz einer Biegemaschine Verwendung, insbesondere sind diese Komponenten maßgeblich für die Ausbildung einer korrekten Biegeumformung. Daher sind die geometrischen Abmessungen diese Komponenten sehr exakt, ferner sind spezifische Merkmale dieser Komponenten exakt im ersten Koordinatensystem festgelegt. Beispielsweise muss die Arbeitskante eines Biegestempels exakt im ersten Koordinatensystem bekannt sein, da es sonst zu Fehlbiegungen kommen würde. Zusätzlich kann auch ein spezielles Kalibrierwerkzeug vorgesehen sein, welches in der Biegemaschine angeordnet werden kann und ebenfalls durch seine konstruktiven bzw. geometrischen Details, eindeutig im ersten Koordinatensystem festgelegt ist.

**[0026]** Nach einer Weiterbildung ist nun vorgesehen, dass das Referenzmerkmal durch eines aus der Gruppe Hinteranschlag, Ober- oder Unterwerkzeug, Kalibrierwerkzeug gebildet ist. Bei dieser Ausbildung wird der Referenzpunkt durch eine ausgezeichnete Kante gebildet.

**[0027]** Es kann jedoch auch vorgesehen sein, dass das Referenzmerkmal durch eines aus der Gruppe Hinteranschlag und Unterwerkzeug, Unterwerkzeug und Blechteil, und Ober- und Unterwerkzeug gebildet ist. Mit dieser Ausbildung wird eine Steigerung der Erfassungssicherheit und damit der Genauigkeit erreicht, da jeweils ein Referenzpunkt von zwei Referenzmerkmalen ermittelt wird.

**[0028]** Unter dem Begriff Referenzpunkt ist insbesondere nicht nur die geometrische Ausbildung eines Punktes zu verstehen, sondern allgemein jener charakteristische Punkt eines Referenzmerkmals, der zur Bestimmung desselben im ersten Koordinatensystem herangezogen wird. Somit kann ein Referenzpunkt auch durch eine Kante, bspw. des Hinteranschlags, gebildet sein.

**[0029]** Zur Steigerung der Erfassungssicherheit ist nach einer Weiterbildung vorgesehen, dass am Referenzmerkmal ein reflektierender Bereich vorhanden ist, in welchem der Referenzpunkt angeordnet ist. Da eine Biegemaschine bzw. die Referenzmerkmale überwiegend aus Metall

sind, weisen diese aufgrund der Oberflächenbeschaffenheit unter Umständen kritische optische Eigenschaften auf. Beispielsweise kann es zu einer örtlich stark schwankenden Rückstreuung kommen, sodass die Analyse des erfassten projizierten Lichtmusters schwierig und somit ungenau wird. Mit der anspruchsgemäßen Ausbildung wird erreicht, dass ein Bereich mit eindeutig definierten Reflexionseigenschaften vorhanden ist und somit die Auslesegenauigkeit verbessert wird. Der reflektierende Bereich kann nicht abschließend bspw. durch eine farbliche Hinterlegung, oder eine Spiegelfläche gebildet sein.

**[0030]** Ebenfalls zur Steigerung der Erfassungssicherheit kann vorgesehen sein, dass das von der Beleuchtungsvorrichtung auf das Referenzmerkmal abgegebene Lichtmuster, zumindest eine scharf abgegrenzte Lichtlinie aufweist. Beispielsweise kann von einem Laser eine Linie, mehrere parallele Linien oder ein Gitter projiziert werden. Somit wird im beleuchteten Abschnitt des Referenzmerkmals ein sehr hoher Kontrast erreicht.

**[0031]** Da sich für den Referenzpunkt am Referenzmerkmal bevorzugt solche Strukturen eignen, welche eine sprunghafte Änderung des Oberflächengradienten aufweisen, ist gemäß einer Weiterbildung vorgesehen, dass am Referenzmerkmal eine in Richtung der Biegewinkel-Messvorrichtung ausgerichtete Kante angeordnet ist.

**[0032]** Eine Weiterbildung besteht auch darin, dass das Referenzmerkmal bzw. der Referenzpunkt als Retroreflektor ausgebildet ist. Ein solcher Retroreflektor kann bspw. durch ein Reflexionsprisma oder einen Tripelspiegel gebildet sein und hat den Vorteil, dass jeder eintreffende Lichtstrahl, im Wesentlichen in dieselbe Richtung zurück reflektiert wird. Somit lässt sich das Referenzmerkmal oder der Referenzpunkt sehr genau bestimmen.

**[0033]** Von Vorteil ist ferner eine Weiterbildung, nach der die Beleuchtungsvorrichtung eine Vorrichtung zur Abgabe eines selektiven Lichtmusters aufweist. Somit kann für die Durchführung der Biegeumformung und für die Kalibrierung ein optimales Lichtmuster gewählt werden. Auch kann das Lichtmuster an die spezifischen Oberflächeneigenschaften der zu beleuchtenden Oberfläche angepasst werden.

**[0034]** Zum besseren Verständnis der Erfindung wird diese anhand der nachfolgenden Figuren näher erläutert.

**[0035]** Es zeigen jeweils in stark vereinfachter, schematischer Darstellung:

**[0036]** Fig. 1 Eine mögliche Ausführung des gegenständlichen Kalibrierverfahrens unter Verwendung einer Anschlagvorrichtung;

**[0037]** Fig. 2 Eine weitere mögliche Ausführung des gegenständlichen Kalibrierverfahrens unter Verwendung der Biegewerkzeuganordnung;

**[0038]** Fig. 3 Eine weitere mögliche Ausführung des gegenständlichen Kalibrierverfahrens unter Verwendung des in die Biegewerkzeuganordnung eingelegten Bleches.

**[0039]** In den Fig. 1-3 ist die Situation für eine Biegepresse zum Freibiegen und/oder Prägebiegen dargestellt, wobei die Biegewerkzeuganordnung 2 zumindest ein Oberwerkzeug 3 und ein Unterwerkzeug 4 aufweist. Aus Vereinfachungsgründen ist in den Fig. 1 und 3 lediglich das Unterwerkzeug 4 dargestellt. Die Biegewerkzeuganordnung 2 ist am Maschinengestell 5 angeordnet, welches, ebenfalls wieder aus Vereinfachungsgründen, in den Fig. 1-3 stark schematisiert dargestellt wird. Insbesondere sind sämtliche, zur Durchführung der Biegeumformung erforderliche Maschinenkomponenten der Biegemaschine, aus Vereinfachungsgründen nicht dargestellt.

**[0040]** Fig. 1 zeigt eine mögliche Ausführung einer Biegemaschine mit einer Biegewinkel-Messvorrichtung 1, wobei die Biegemaschine eine Biegewerkzeuganordnung 2 aufweist. Das Referenzmerkmal 6 ist in dieser Ausführungsvariante durch eine Anschlagvorrichtung 7, insbesondere einen Hinteranschlag gebildet wird. Zur Durchführung des Kalibrierverfahrens ist die Anschlagvorrichtung 7 von der Maschinensteuerung der Biegemaschine in den Erfassungsbereich 8 der Biegewinkel-Messvorrichtung 1 bewegt worden.

**[0041]** Während der Durchführung der Biegeumformung wird von einer Beleuchtungsvorrichtung 9 ein Lichtmuster auf die zu erfassende Blechoberfläche abgegeben. Die vom Lichtmuster beleuchtete Blechoberfläche wird von einer Bilderfassungsvorrichtung 11 erfasst, wobei ferner ein Auswertemodul 12 aus dem erfassten Abbild einen aktuellen Ist-Biegewinkel ermittelt.

**[0042]** Im Kalibriervorgang wird nun von der Beleuchtungsvorrichtung 9 ebenfalls ein Lichtmuster 10, auf das in den Erfassungsbereich 8 der Biegewinkel-Messvorrichtung 1 bewegten Referenzmerkmals 6 gerichtet und das projizierte Abbild des Lichtmusters 10 von der Bilderfassungsvorrichtung 11 erfasst. Vom Auswertemodul 12 wird daraufhin im erfassten Abbild ein Referenzpunkt 13 des Referenzmerkmals 6 erfasst, wobei sich dieser Referenzpunkt 13 dadurch auszeichnet, dass dieser als eindeutiges Merkmal am Referenzmerkmal 6 zuverlässig detektierbar ist. Im Fall der dargestellten Anschlagvorrichtung 7 kann dies beispielsweise eine Kante eines Anschlagfingers 14 der Anschlagvorrichtung 7 sein. Es sei hier nochmals darauf hingewiesen, dass unter Referenzpunkt nicht nur ein Punkt im mathematischen Sinne zu verstehen ist, sondern dass dadurch ein ausgezeichnetes Merkmal gekennzeichnet ist und es sich somit auch, wie im gegenständlichen Fall, um eine Kante bzw. Linie handeln kann. Bei der Inbetriebnahme der Biegemaschine wird der Biegemaschine ein erstes Koordinatensystem 15 zugeordnet. Somit ist das Referenzmerkmal 6 und insbesondere der Referenzpunkt 13, eindeutig im ersten Koordinatensystem 15 festgelegt. Ebenso ist der Biegewinkel-Messvorrichtung 1 ein zweites Koordinatensystem 16 zugeordnet, wodurch jeder erfasste Punkt im Erfassungsbereich 8 eindeutig im zweiten Koordinatensystem 16 festgelegt ist. Nach dem gegenständlichen Verfahren wird nun zwischen erstem 15 und zweitem 16 Koordinatensystem eine Transformationsmatrix 17 ermittelt.

**[0043]** Durch die festgelegte Zuordnung des Referenzpunktes 13 im ersten Koordinatensystem 15 der Biegemaschine und der ermittelten Transformationsmatrix 17 kann nun in allen nachfolgenden Biegeumformungen der von der Biegewinkelmessvorrichtung 1 erfasste Biegewinkel um die Transformationsmatrix 17 korrigiert werden, sodass Positionsabweichungen der Biegewinkel-Messvorrichtung 1 von der erwarteten bzw. hinterlegten Relativposition im Bezug zur Biegemaschine, korrigiert werden können.

**[0044]** Fig. 1 zeigt eine weitere mögliche Ausführung, bei der nicht nur die Anschlagvorrichtung 7 als Referenzmerkmal 6 dient, sondern wo auch das Unterwerkzeug 4 der Biegewerkzeuganordnung 2 als Referenzmerkmal mit einem Referenzpunkt herangezogen wird. Beispielsweise kann eine Kante der Biegeausnehmung des Unterwerkzeugs 4 zusätzlich als Referenzpunkt herangezogen werden und erhöht somit die Kalibrierengenauigkeit. Die Verwendung des Unterwerkzeugs 4 als Referenzmerkmal hat des Weiteren den Vorteil, dass sich dieses Unterwerkzeug 4 zumeist auch während der Durchführung der Biegeumformung im Erfassungsbereich 8 der Biegewinkel-Messvorrichtung 1 befindet und somit auch während der Durchführung der Biegeumformung eine Prüfung der Kalibration möglich wird.

**[0045]** Fig. 2 zeigt eine weitere mögliche Ausführung, bei der das Ober- 3 und das Unterwerkzeug 4 der Biegewerkzeuganordnung 2 als Referenzmerkmal dienen. Da die Werkzeuge der Biegewerkzeuganordnung 2 zumeist mechanisch sehr genau gearbeitet sind und hinsichtlich ihrer geometrischen Abmessungen genau bekannt sind, ist somit auch der bzw. sind die Referenzpunkte 13 im ersten Koordinatensystem 15 der Biegemaschine genau bekannt. Beispielsweise kann nun von der Biegemaschine das Oberwerkzeug 3 in einem definierten Abstand zum Unterwerkzeug 4 positioniert werden, woraufhin anschließend im Kalibriervorgang von der Biegewinkel-Messvorrichtung 1 der bzw. die beiden Referenzpunkte 13 im zweiten Koordinatensystem 16 der Biegewinkel-Messvorrichtung 1 festgelegt werden. Somit kann wiederum eine Transformationsmatrix 17 ermittelt werden und dieser, während der Durchführung der Biegeumformung, auf den von der Biegewinkel-Messvorrichtung 1 ermittelten Biegewinkel angewendet werden.

**[0046]** Fig. 3 zeigt eine weitere mögliche Ausführung, wie das gegenständliche Kalibrierverfahren an einer Biegemaschine ausgeführt werden kann. In der dargestellten Ausführung wird das Referenzmerkmal 6 beispielsweise durch das Unterwerkzeug 4 und das darin eingelegte umzu-

formende Blechteil 18 gebildet. Insbesondere bildet sich hier genau an der Kante zwischen dem Unterwerkzeug 4 und dem Blechteil 18 ein sehr markanter Referenzpunkt 13 aus, der bei Beleuchtung mit dem Leuchtmuster 10 gut in Erscheinung tritt. Der Bereich des Referenzpunktes 13 ist durch das Blechteil 18 gegenüber dem von oben einfallenden Umgebungslicht abgedeckt, wodurch sich der Referenzpunkt 13 durch einen hohen Kontrast abheben wird.

**[0047]** Nicht dargestellt ist die Situation an einer Schwenkbiegemaschine, da die grundlegenden Merkmale und Anordnungen denen bei einer Biegepresse gleich bzw. sehr ähnlich sind, sodass ein Fachmann die in den Fig. 1-3 dargestellten Ausführungsvarianten auch auf eine Schwenkbiegemaschine umlegen könnte. Das Blech wird bei einer Schwenkbiegemaschine zwischen dem oberen und unteren Niederhaltewerkzeug gehalten und von einem oberen bzw. unteren Biegewangenwerkzeug in die gewünschte Richtung gebogen. Da bei der Erfassung des Biegewinkels während der Durchführung der Biegeumformung von der Biegewinkelmessvorrichtung die durch das obere bzw. untere Biegewangenwerkzeug gebogene Blechoberfläche erfasst wird und daraus der aktuelle Biegewinkel ermittelt wird, kann mit dem gegenständlichen Kalibrierverfahren auch hier ein Referenzpunkt im ersten Koordinatensystem der Schwenkbiegemaschine über eine ermittelte Transformationsmatrix im zweiten Koordinatensystem der Biegewinkel-Messvorrichtung bzw. im Bezug zu diesem zweiten Koordinatensystem, festgelegt werden.

**[0048]** Die Beleuchtungsvorrichtung der Biegewinkelmessvorrichtung richtet während der Durchführung der Biegeumformung ein Lichtmuster auf die Blechoberfläche des umzuformenden Blechteils und während des Kalibriervorgangs ein Lichtmuster auf das Referenzmerkmal. Dabei kann es sich in beiden Fällen um dasselbe Lichtmuster handeln, es ist jedoch auch möglich, dass für den Kalibriervorgang ein anderes, abweichendes Lichtmuster verwendet wird, beispielsweise eine Lichtlinie, welche einen starken lokalen Kontrast aufweist und sich somit bevorzugt zur Detektion von Linien und Kanten eignet.

**[0049]** Abschließend sei festgehalten, dass in den unterschiedlich beschriebenen Ausführungsformen gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen versehen werden, wobei die in der gesamten Beschreibung enthaltenen Offenbarungen sinngemäß auf gleiche Teile mit gleichen Bezugszeichen bzw. gleichen Bauteilbezeichnungen übertragen werden können. Auch sind die in der Beschreibung gewählten Lageangaben, wie z.B. oben, unten, seitlich usw. auf die unmittelbar beschriebene sowie dargestellte Figur bezogen und sind diese Lageangaben bei einer Lageänderung sinngemäß auf die neue Lage zu übertragen.

**[0050]** In den Fig. 2 und 3 sind weitere und gegebenenfalls für sich eigenständige Ausführungsformen des Kalibrierverfahrens gezeigt, wobei wiederum für gleiche Teile gleiche Bezugszeichen bzw. Bauteilbezeichnungen wie in der vorangegangenen Fig. 1 verwendet werden. Um unnötige Wiederholungen zu vermeiden, wird auf die detaillierte Beschreibung in den vorangegangenen Fig. hingewiesen bzw. Bezug genommen.

**[0051]** Der Ordnung halber sei abschließend darauf hingewiesen, dass zum besseren Verständnis des Aufbaus des Kalibrierverfahrens an einer Biegemaschine diese bzw. deren Bestandteile teilweise unmaßstäblich und/oder vergrößert und/oder verkleinert dargestellt wurden.

## BEZUGSZEICHENLISTE

- 1 Biegewinkel-Messvorrichtung
- 2 Biegewerkzeuganordnung
- 3 Oberwerkzeug
- 4 Unterwerkzeug
- 5 Maschinengestell
- 6 Referenzmerkmal
- 7 Anschlagvorrichtung
- 8 Erfassungsbereich
- 9 Beleuchtungsvorrichtung
- 10 Lichtmuster
- 11 Bilderfassungsvorrichtung
- 12 Auswertemodul
- 13 Referenzpunkt
- 14 Anschlagfinger
- 15 erstes Koordinatensystem
- 16 zweites Koordinatensystem
- 17 Transformationsmatrix
- 18 Blechteil

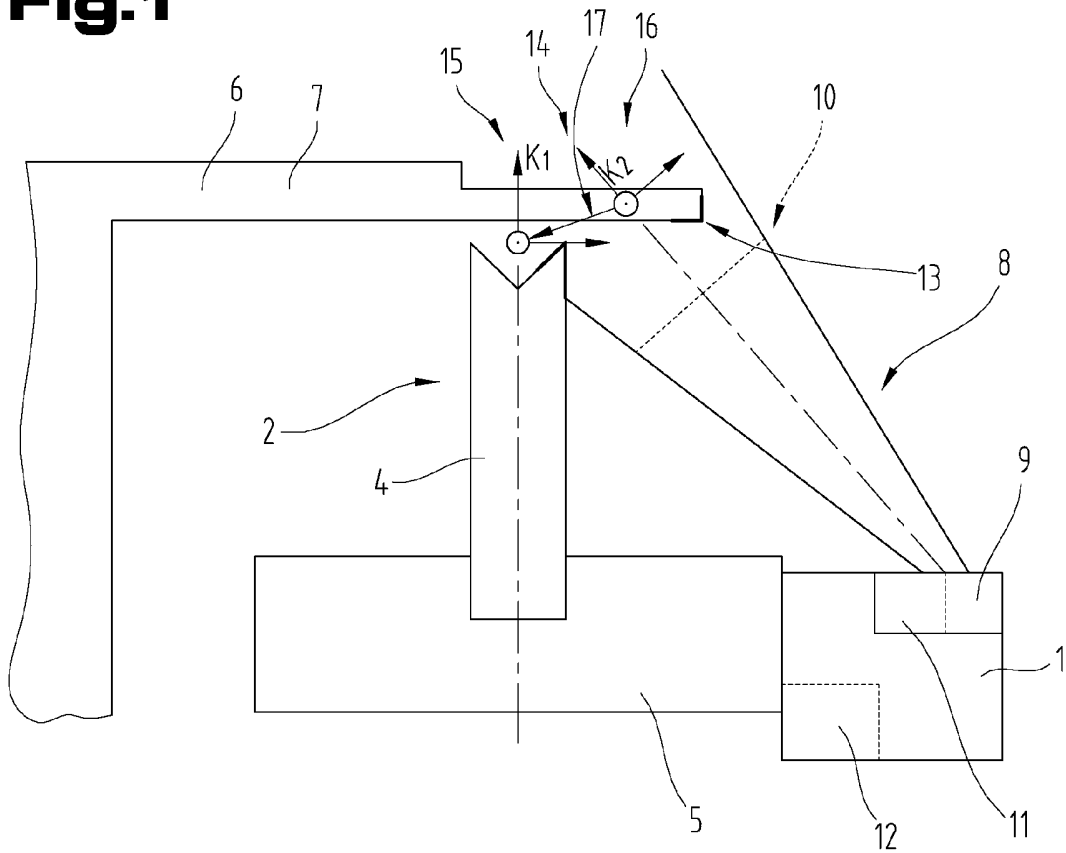
## Patentansprüche

1. Kalibrierverfahren für eine Biegemaschine mit einer Biegewinkel-Messvorrichtung (1), wobei der Biegemaschine ein maschinenfestes erstes Koordinatensystem (15) zugeordnet ist, und die Biegemaschine ferner eine Biegewerkzeuganordnung (2) aufweist, wobei während der Durchführung einer Biegeumformung:
  - von einer Beleuchtungsvorrichtung (9) der Biegewinkel-Messvorrichtung (1) ein Lichtmuster (10) auf eine Oberfläche eines in der Biegewerkzeuganordnung (2) eingelegten Blechteils abgegeben wird;
  - von einer Bilderfassungsvorrichtung (11) der Biegewinkel-Messvorrichtung (1) das Abbild des Lichtmusters (10) auf der Blechoberfläche erfasst wird;
  - und von einem Auswertemodul (12) das erfasste Abbild des Lichtmusters (10) analysiert und daraus ein aktueller Ist-Biegewinkel ermittelt wird;
  - und bei Übereinstimmung des aktuellen Ist-Biegewinkels mit einem, nach einem mathematischen Biegemodell ermittelten Soll-Biegewinkel, die Biegeumformung gestoppt wird;**dadurch gekennzeichnet**, dass in einem Kalibriervorgang:
  - von der Beleuchtungsvorrichtung (9) das Lichtmuster (10) auf ein Referenzmerkmal (6) der Biegemaschine oder der Biegewerkzeuganordnung (2) abgegeben wird;
  - von der Bilderfassungsvorrichtung (11) das Abbild des Lichtmusters (10) am Referenzmerkmal (6) erfasst wird;
  - und vom Auswertemodul (12) aus dem erfassten Abbild ein Referenzpunkt (13) des Referenzmerkmals (6) ermittelt wird, welcher Referenzpunkt (13) im ersten Koordinatensystem (15) festgelegt ist;
  - und vom Auswertemodul (12) aus den Koordinaten des Referenzpunkts (13) im ersten Koordinatensystem und einem, der Biegewinkel-Messvorrichtung (1) fest zugeordneten zweiten Koordinatensystem, eine Transformationsmatrix (17) ermittelt wird;
  - und die Transformationsmatrix (17) an eine Maschinensteuerung der Biegemaschine übermittelt wird und von dieser im Biegemodell der Biegeumformung berücksichtigt wird.
2. Kalibrierverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Referenzmerkmal (6) durch eine Anschlagvorrichtung (7) gebildet ist, welche beim Kalibriervorgang von der Maschinensteuerung in den Erfassungsbereich der Biegewinkel-Messvorrichtung (1) bewegt wird.
3. Kalibrierverfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Referenzmerkmal (6) durch ein Ober- (3) und/oder Unterwerkzeug (4) der Biegewerkzeuganordnung (2) gebildet ist, welches beim Kalibriervorgang von der Maschinensteuerung in den Erfassungsbereich der Biegewinkel-Messvorrichtung (1) bewegt wird.
4. Kalibrierverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Lichtmuster (10) eine Helligkeitsverteilung mit einem hohen lokalen Kontrast abgegeben wird.
5. Kalibrierverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Biegewinkel-Messvorrichtung (1) parallel zu einer Längserstreckung der Werkzeuganordnung bewegt wird und längs dieser Längserstreckung eine Mehrzahl von Transformationsmatrizen (17) ermittelt wird.
6. Kalibrierverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Bestimmung der Transformationsmatrix (17) periodisch vor einem Biegevorgang durchgeführt wird.
7. Kalibrierverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Biegewinkel-Messvorrichtung (1) beim Kalibriervorgang verschwenkt wird, bevorzugt um eine zur Längserstreckung der Werkzeuganordnung parallele Achse.
8. Kalibrierverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass vom Auswertemodul (12) mittels der Biegewinkel-Messvorrichtung (1) ein Lichtschnittverfahren durchgeführt wird.

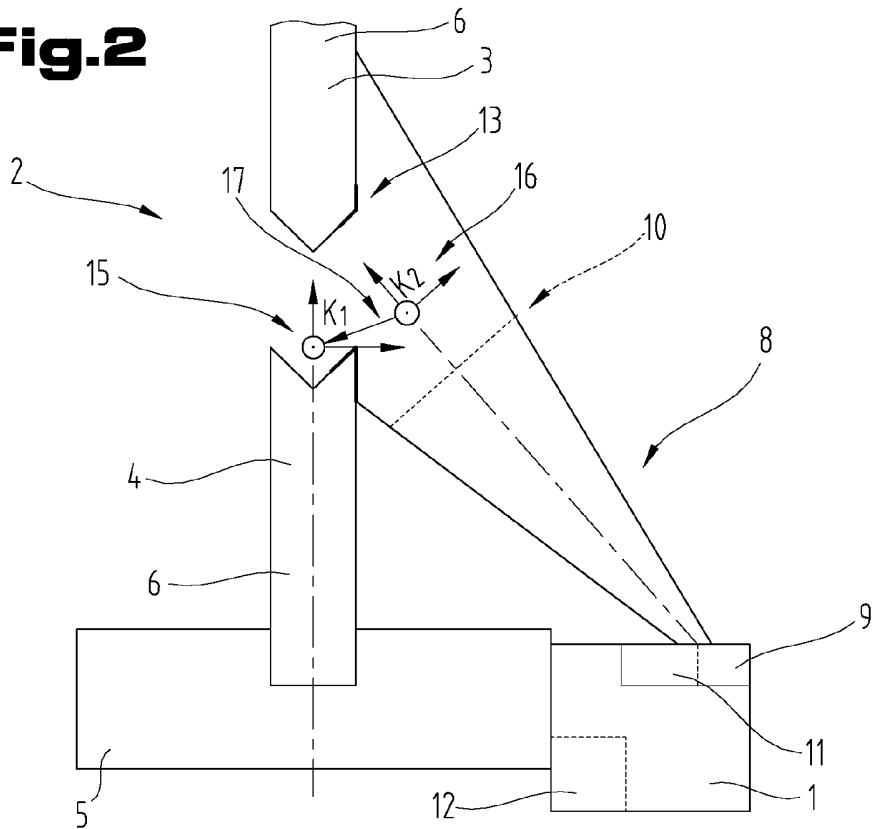
9. Kalibrierverfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Lichtmuster (10) von der Beleuchtungsvorrichtung (9) für die Biegeumformung und für den Kalibriervorgang selektiv gewählt wird.
10. Biegemaschine mit einer Biegewinkel-Messvorrichtung (1), wobei die Biegemaschine eine Biegewerkzeuganordnung (2) aufweist, welche Biegewerkzeuganordnung (2) in einem Arbeitsschritt, die Biegeumformung an dem, in die Biegewerkzeuganordnung (2) eingelegten Blech durchführt, und wobei die Biegewinkel-Messvorrichtung (1) eine Beleuchtungs- und eine Bilderfassungsvorrichtung (11) aufweist, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Biegemaschine ein maschinenfestes erstes Koordinatensystem (15) zugeordnet ist, und dass die Biegemaschine ferner ein Referenzmerkmal (6) mit einem Referenzpunkt (13) aufweist, welcher Referenzpunkt (13) koordinatenfest bezüglich des ersten Koordinatensystems (15) ist, und dass der Biegewinkel-Messvorrichtung (1) ein zweites Koordinatensystem (16) zugeordnet ist, wobei nach Durchführung eines Kalibrierverfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 9, zwischen dem Referenzpunkt (13) und dem zweiten Koordinatensystem eine Transformationsmatrix (17) besteht.
11. Biegemaschine nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Referenzmerkmal (6) durch eines aus der Gruppe Hinteranschlag, Ober- (3) oder Unterwerkzeug (4), Kalibrierwerkzeug gebildet ist.
12. Biegemaschine nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Referenzmerkmal (6) durch eines aus der Gruppe Anschlagvorrichtung (7) und Unterwerkzeug (4), Unterwerkzeug (4) und Blechteil, Ober- (3) und Unterwerkzeug (4) gebildet ist.
13. Biegemaschine nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet**, dass am Referenzmerkmal (6) ein reflektierender Bereich vorhanden ist, in welchem der Referenzpunkt (13) angeordnet ist.
14. Biegemaschine nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei von der Beleuchtungsvorrichtung (9) ein Lichtmuster (10) auf das Referenzmerkmal (6) abgegeben wird, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Lichtmuster (10) zumindest eine scharf abgegrenzte Lichtlinie aufweist.
15. Biegemaschine nach einem der Ansprüche 10 bis 14, **dadurch gekennzeichnet**, dass am Referenzmerkmal (6) eine in Richtung der Biegewinkel-Messvorrichtung (1) ausgerichtete Kante angeordnet ist.
16. Biegemaschine nach einem der Ansprüche 10 bis 15, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Referenzmerkmal (6) bzw. der Referenzpunkt (13) als Retroreflektor ausgebildet ist.
17. Biegemaschine nach einem der Ansprüche 10 bis 16, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Beleuchtungsvorrichtung (9) eine Vorrichtung zur Abgabe eines selektiven Lichtmusters (10) aufweist.

**Hierzu 2 Blatt Zeichnungen**

**Fig.1**



**Fig.2**



**Fig.3**

