

(19)



(11)

EP 3 093 107 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
16.11.2016 Patentblatt 2016/46

(51) Int Cl.:
B25B 23/14 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **16169427.8**

(22) Anmeldetag: **12.05.2016**

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
MA MD

(71) Anmelder: **DEPRAG Schulz GmbH u. Co.**
92224 Amberg (DE)

(72) Erfinder:
• **PFEIFFER, Rolf**
92224 Amberg (DE)
• **ROSENKRANZ, Carsten**
92284 Poppenricht (DE)

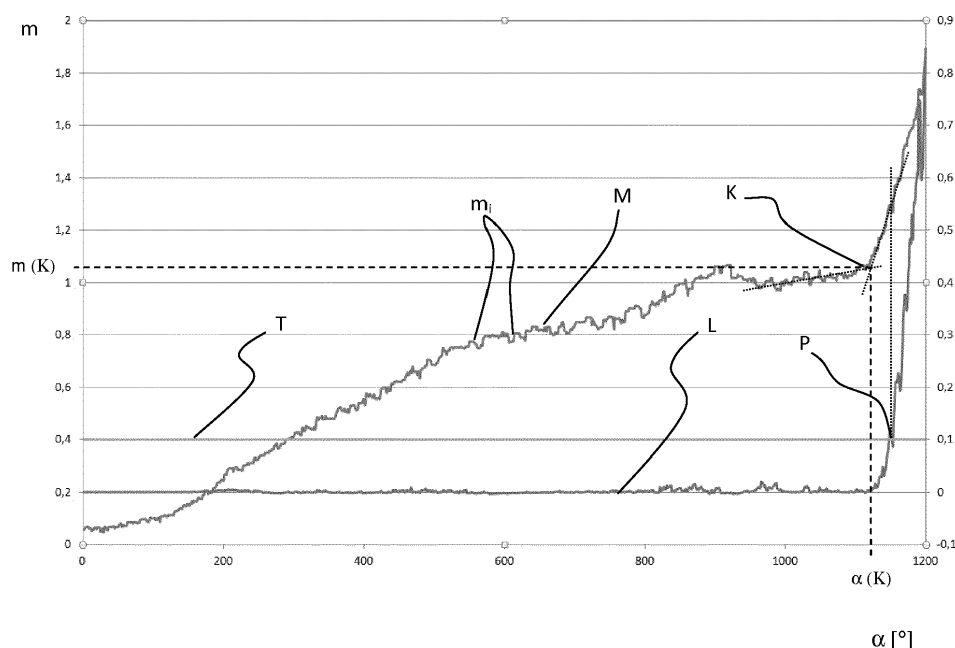
(30) Priorität: **12.05.2015 DE 102015208735**

(74) Vertreter: **FDST Patentanwälte**
Nordostpark 16
90411 Nürnberg (DE)

(54) **SCHRAUBEINHEIT SOWIE VERFAHREN ZUM EINSCHRAUBEN EINER SCHRAUBE IN EIN WERKSTÜCK**

(57) Die Schraubeinheit (6) dient zum prozesssicheren Einschrauben insbesondere von selbstformenden Schrauben (2) in ein Werkstück (4). Zur zuverlässigen Erkennung einer Kopfauflage (K) wird ein Drehmomentverlauf (M) überwacht. Für den Drehmomentverlauf (M) während des Einschraubens bis zur Kopfauflage (K) wird eine Trendlinie (L) sowie eine Toleranzlinie (T) festgelegt und es wird auf das Erreichen der Kopfauflage (K) er-

kannt, wenn die Trendlinie oder der erfasste Drehmomentverlauf (M) die Toleranzlinie (T) an einem Schnittpunkt (P) schneidet. Durch diese Bestimmung der Kopfauflage (K) ist eine universelle Bestimmung unabhängig von der jeweiligen Schraubpaarung und unabhängig von der jeweiligen Materialwahl des Werkstücks (4) insbesondere ohne aufwändige Parametrierung ermöglicht.

**FIG 4**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Schraubeinheit sowie ein Verfahren zum Einschrauben von Schrauben in ein Werkstück, wobei die Schraubeinheit eine Steuereinheit umfasst, die zur Erkennung einer Kopfauflage eines Schraubenkopfes auf dem Werkstück ausgebildet ist und hierzu ein Überwachungsmodul aufweist, welches zur Erfassung von aktuellen Drehmomentwerten sowie zur Überwachung eines Drehmomentverlaufs während eines jeweiligen Einschraubvorgangs ausgebildet ist.

[0002] Bei automatisierten Einschraubvorgängen mit Hilfe von motorisch angetriebenen Schraubeinheiten, auch kurz als Schrauber bezeichnet, wird der Schraubvorgang häufig in Abhängigkeit einer Kenngröße gesteuert und überwacht. Hierdurch soll eine zuverlässige Schraubverbindung gewährleistet werden. Insbesondere bei automatisierten Schraubvorgängen, beispielsweise in einer Fertigungsstraße mit hohen Taktraten, kommt es hierbei entscheidend auf eine zuverlässige Steuerung des Schraubvorgangs mit hoher Fehlersicherheit an.

[0003] Der Schraubvorgang lässt sich allgemein in eine erste Phase des Einschraubens der Schraube bis zur sogenannten Kopfauflage und einer anschließenden zweiten Phase, bei der die Schraube festgezogen wird, unterteilen. Nach Erreichen der Kopfauflage, wenn also die Schraube mit ihrem Schraubenkopf auf einer Werkstückoberseite zum Anliegen kommt, verändert sich die Drehmomentcharakteristik üblicherweise markant und es erfolgt häufig auch ein Umstellen des Schrauberantriebs von einem ersten Modus in einen zweiten Festzieh-Modus. Insbesondere beim Festziehen der Schraube steigt das Drehmoment an. Bei automatischen Schraubvorgängen kommt es dabei darauf an, den Schraubvorgang beispielsweise bei einem definierten Abschaltdrehmoment zu beenden. Aus der EP 0 559 937 A1 wird zur Bestimmung eines Abschaltdrehmoments ein Verfahren beschrieben, bei dem das Erkennen eines linearen Anstiegs während des Festziehens der Schraube innerhalb eines vorgegebenen Toleranzschlauches zur Bestimmung eines Abschaltdrehmoments herangezogen wird.

[0004] Dabei ist das Erkennen der Kopfauflage bzw. das Erkennen des bei Kopfauflage vorliegenden Drehmoments häufig ein entscheidendes Kriterium für das nachfolgende Anziehen der Schraube, welches beispielsweise winkelgesteuert erfolgt.

[0005] Das sichere Erkennen der Kopfauflage stellt insbesondere dann ein Problem dar, wenn die Schraubeinheit für eine Vielzahl von unterschiedlichen Anwendungsfällen eingesetzt wird, bei denen also unterschiedlichste Drehmomentverläufe während des Einschraubvorgangs auftreten können. Üblicherweise wird zur Erkennung der Kopfauflage das Drehmoment im Hinblick auf eine charakteristische Änderung überwacht, d.h. es wird der Gradient des Drehmomentverlaufs betrachtet. Ein steiler Anstieg des Drehmoments wird dann häufig als Erreichen der Kopfauflage identifiziert.

[0006] Die Bestimmung der Kopfauflage mit einem

derartigen Konzept ist jedoch insbesondere bei sogenannten selbstformenden Schrauben nur mit Aufwand umzusetzen. Unter selbstformenden Schrauben werden allgemein derartige Schrauben verstanden, die beim Einschrauben in das Werkstück das Gewinde im Werkstück formen. Dies kann spanlos oder auch spanend, wie beispielsweise bei den sogenannten selbstschneidenden Schrauben erfolgen. Bei derartigen selbstformenden Schrauben treten naturgemäß beim Einschraubvorgang während der ersten Phase bis zum Erreichen der Kopfauflage deutlich höhere und insbesondere auch fluktuierende Drehmomente auf als beispielsweise beim Einschrauben einer Schraube in ein vorgefertigtes Gewinde. Hinzu kommt, dass die erforderlichen Drehmomente auch stark vom jeweiligen Anwendungsfall, insbesondere von der Materialwahl des Werkstücks aber auch von der geometrisch-konstruktiven Ausgestaltung der Schraubverbindung abhängen.

[0007] Für einen jeweiligen Anwendungsfall muss gegenwärtig die Schraubeinheit für eine zuverlässige Kopfauflage-Erkennung aufwändig parametrisiert werden, also auf den jeweiligen Anwendungsfall eingelernt werden. Dies ist zum einen mit einem nicht unerheblichen Zeitaufwand verbunden. Zum anderen setzt dies auch ein besonderes Know how voraus. Sofern das Bedienpersonal nicht über ausreichendes Know how verfügt, kann dies zu Fehlverschraubungen führen.

[0008] Ausgehend hiervon liegt der Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein prozesssicheres automatisiertes Einschrauben von Schrauben in ein Werkstück, insbesondere von selbstformenden Schrauben in ein Werkstück zu gewährleisten.

[0009] Die Aufgabe wird erfindungsgemäß gelöst durch eine Schraubeinheit mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 15. Bevorzugte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen enthalten. Die im Hinblick auf die Schraubeinheit angeführten Vorteile und bevorzugten Ausgestaltungen sind sinngemäß auch auf das Verfahren zu übertragen.

[0010] Die Schraubeinheit dient allgemein zum automatisierten Einschrauben von Schrauben in ein Werkstück und weist hierzu eine Steuereinheit auf, die zur Erkennung einer Kopfauflage eines Schraubenkopfes auf dem Werkstück ausgebildet ist. Die Steuereinheit weist hierzu ein Überwachungsmodul auf, welches zur Erfassung von aktuellen Drehmomentwerten sowie zur Überwachung eines Drehmomentverlaufs, also des zeitlichen Verlaufs der Drehmomentwerte, während eines jeweiligen Einschraubvorgangs ausgebildet ist. Grundsätzlich wird hierbei der Drehmomentverlauf in Abhängigkeit eines Drehwinkels erfasst, mit dem die Schraube eingedreht wird. Sofern vorliegend von Erfassung des Drehwinkels gesprochen wird, so sind hierunter auch mit dem Drehwinkel korrelierte Parameter, wie z.B. Drehgeschwindigkeit und / oder Zeit zu verstehen.

[0011] Sofern vorliegend von "Drehmomentwerten" oder "Drehmomentverlauf" gesprochen wird, so werden

hierunter zwar vorzugsweise die tatsächlichen absoluten Drehmomentwerte und der tatsächliche absolute Drehmomentverlauf verstanden.

[0012] Grundsätzlich werden jedoch unter "Drehmomentwerten" auch weitere Parameter verstanden, die in Korrelation zu den Drehmomentwerten stehen. Dies sind beispielsweise Motorparameter eines insbesondere elektrischen Antriebsmotors, die mit dem tatsächlich ausgeübten Drehmoment korreliert sind, und zwar insbesondere derart, dass sich aus diesen weiteren Parametern der Drehmomentverlauf ermitteln lässt, beispielsweise mit Hilfe eines mathematischen Modells. Bei einem derartigen Parameter kann es sich auch beispielsweise um einen Motorstrom eines Elektromotors handeln.

[0013] Um nunmehr eine Kopfauflage bei einem jeweiligen Einschraubvorgang zuverlässig zu identifizieren ist das Überwachungsmodul derart ausgebildet, dass es während des Einschraubens bis zur Kopfauflage für den Drehmomentverlauf eine Trendlinie ableitet sowie eine Toleranzlinie vorgibt. Weiterhin ist das Überwachungsmodul derart ausgebildet, dass es das Erreichen der Kopfauflage identifiziert, wenn die Trendlinie (L) oder der Drehmomentverlauf die Toleranzlinie an einem Schnittpunkt schneidet. Ausgehend von der derart identifizierten Kopfauflage veranlasst dann das Überwachungsmodul, dass die Schraube definiert festgezogen wird.

[0014] Allgemein wird die Trendlinie aus vorhergehenden Drehmomentwerten abgeleitet und kontinuierlich angepasst, sodass also der aktuelle Verlauf kontinuierlich berücksichtigt wird, um die Trendlinie zu ermitteln.

[0015] Von wesentlicher Bedeutung ist, dass ein Schnittpunkt des Verlaufs der Trendlinie oder des Drehmoments mit der Toleranzlinie ermittelt und dadurch die Kopfauflage identifiziert wird. Dies beruht auf der Überlegung, dass beim Erreichen der Kopfauflage eine charakteristische Veränderung des Drehmomentverlaufs eintritt, die sich in der Trendlinie oder direkt im Drehmomentverlauf niederschlägt. Durch das Festlegen einer Toleranzlinie werden natürliche Schwankungen beim Drehmomentverlauf nicht fälschlicherweise als Erreichen der Kopfauflage identifiziert.

[0016] In bevorzugter Ausgestaltung wird der Schnittpunkt zwischen der Trendlinie und der Toleranzlinie für die Ermittlung der Kopfauflage herangezogen. Insbesondere wird für die Ermittlung der Trendlinie dabei eine Änderung der Steigung des Drehmomentverlaufs berücksichtigt. Dies beruht auf der Überlegung, dass sich bei Erreichen der Drehmomentauflage die Steigung des Verlaufs des Drehmoments, sich deutlich und markant ändert und dies daher als ein besonders sicheres Indiz für das Erreichen der Kopfauflage unter Vermeidung von Fehlergebnissen ausgewertet werden kann. Für die Ermittlung der Trendlinie wird daher allgemein zuerst die Steigung des Drehmomentverlaufes bestimmt und zusätzlich die Änderung dieser Steigung betrachtet, d. h. für die Trendlinie wird kontinuierlich während des Schraubvorgangs ein vom Drehwinkel abhängiger Wert

als momentaner Trendlinien-Wert ermittelt, in den jeweils die aktuell ermittelte Änderung der Steigung des Drehmomentverlaufs (bezogen auf die Steigung bei einem vorhergehenden Drehwinkelbereich) eingeht. Die Trendlinie wird daher während des Einschraubvorgangs sukzessive und kontinuierlich durch die einzelnen ermittelten Trendlinie-Werte und in Abhängigkeit des Drehwinkels aufgebaut.

[0017] Die Berücksichtigung der Änderung der Steigung führt insgesamt dazu, dass die Trendlinie bei Erreichen der Kopfauflage eine besonders starke Reaktion zeigt, welche dann zuverlässig und sicher zur Identifizierung der Kopfauflage führt.

[0018] Zur Ermittlung der Änderung der Steigung wird dabei insbesondere auf mathematische Funktionen oder Operationen zurückgegriffen.

[0019] In bevorzugter Ausgestaltung werden dabei eine erste Steigung des Drehmomentverlaufs innerhalb eines ersten Bereichs des Drehwinkels sowie eine momentane Steigung des Drehmomentverlaufs innerhalb eines momentanen Bereichs des Drehwinkels ermittelt. Der momentane Bereich des Drehwinkels ist ein Winkelbereich von beispielsweise mehreren Grad, insbesondere bis zum aktuellen Drehwinkel beim Einschraubvorgang. Aus der so ermittelten ersten Steigung und der momentanen Steigung wird die Änderung abgeleitet, aus der dann der momentane Trendlinien-Wert bestimmt wird. Die beiden Bereiche erstrecken sich dabei vorzugsweise über einen gleichen Winkelbereich.

[0020] In zweckdienlicher Weise wird weiterhin für die Bestimmung des jeweiligen momentanen Werts der Trendlinie die erste (frühere) Steigung sowie die momentane Steigung in Relation zueinander gesetzt und zwar vorzugsweise durch Quotientenbildung oder durch Subtraktion.

[0021] Durch diese Maßnahme wird der besondere Vorteil erreicht, dass die Trendlinie während des normalen Einschraubvorgangs bis zum Erreichen der Kopfauflage einen mehr oder weniger konstanten Verlauf zeigt, da üblicherweise während des Einschraubvorgangs das Drehmoment typischerweise kontinuierlich ansteigt, d. h. die Steigung des Drehmomentverlaufs ist konstant. Bei einer Quotientenbildung führt dies zu einem konstanten Wert. Bei einer Subtraktion führt dies typischerweise zu einer Null-Linie. Erst bei Erreichen der Kopfauflage nimmt die Steigung des Drehmoments deutlich zu, was sich in einem besonders steilen Anstieg der Trendlinie niederschlägt, sodass der Schnittpunkt mit der Toleranzlinie eindeutig das Erreichen der Kopfauflage identifiziert.

[0022] Zur Ermittlung der jeweiligen Steigung im ersten Bereich bzw. im momentanen Bereich wird dabei über den jeweiligen Winkelbereich gemäß einer ersten Variante eine mathematische Mittelwertbildung vorgenommen. Alternativ zu der mathematischen Mittelwertbildung werden lediglich die Endpunkte dieses Bereichs betrachtet und aus diesen die Steigung bestimmt.

[0023] Der insbesondere feste Winkelbereich für die Bestimmung der ersten bzw. der momentanen Steigung

erstreckt sich dabei vorzugsweise jeweils über mehrere 10 Grad und erstreckt sich beispielsweise auch über eine viertel (90 Grad), halbe (180 Grad), dreiviertel (270 Grad) oder auch vollständige (360 Grad) Umdrehung.

[0024] Die für die Ermittlung der Änderung der Steigung berücksichtigten Bereiche (erster Bereich sowie momentaner Bereich) des Drehwinkels sind weiterhin vorzugsweise voneinander beabstandet und zwar insbesondere um einen festen Drehwinkel. Die beiden Bereiche überlappen sich nicht. Da sich der momentane Bereich kontinuierlich mit dem Einschraubvorgang verschiebt gilt dies auch für den ersten Bereich. Der Abstand zwischen den beiden Bereichen (bezogen jeweils auf den Anfangs- oder Endpunkt des Bereiches) beträgt dabei vorzugsweise mehrere 10 Grad und liegt insbesondere bei 60, 90, 120, 180, oder 360 Grad.

[0025] Vor dem Hintergrund der bis zum Erreichen der Kopfauflage üblicherweise konstanten Trendlinie wird für die Toleranzlinie vorzugsweise ein fester, konstanter Wert vorgegeben. Bei diesem Wert kann es sich um einen parametrisierbaren Wert handeln, d. h. seitens des Bedieners ist dieser Wert für die Toleranzlinie einstellbar. Grundsätzlich kann dieser jedoch unabhängig von dem jeweiligen Anwendungsfall herstellerseitig festgelegt werden, so dass keine anwenderseitige Einstellung mehr erforderlich ist. Durch die hier beschriebene spezielle Maßnahme mit dem charakteristischen Anstieg der Trendlinie lediglich bei Erreichen der Kopfauflage ist der Wert für die Toleranzlinie für eine zuverlässige Bestimmung der Kopfauflage weniger kritisch.

[0026] Insgesamt zeigt sich dadurch auch ein besonderer Vorteil dieses Verfahrens, dass dieses eben keine Parametrisierung verlangt, die vom Anwender vorgegeben werden muss. Bei automatischen Überwachungsfunktionen für automatisierte Einschraubvorgänge ist nämlich häufig erforderlich, dass vom Benutzer Parametrisierungen / Einstellungen beispielsweise zu Fensterbreiten etc. erforderlich sind, um diese z.B. für mathematische Operationen wie Filterfunktionen oder Mittelwertbildungen vorzugeben. Diese Parametrisierungen wirken sich jedoch häufig sehr sensitiv auf die Fehlerquote aus, sodass derartige Parametrisierungen ein gewisses Know-How und Kenntnis über die hinterlegten Berechnungsvorgänge erfordert.

[0027] In zweckdienlicher Weiterbildung wird zur Ermittlung des momentanen Trendlinien-Werts die Änderung der Steigung mit einem Überhöhungsfaktor multipliziert. Zur Ermittlung des momentanen Werts der Trendlinie wird daher die ermittelte Änderung der Steigung mit einem zusätzlichen Faktor multipliziert, sodass die charakteristische Änderung und der charakteristische Anstieg im Verlauf der Trendlinie noch deutlicher hervorgehoben werden. Auch dies dient zur zuverlässigen Vermeidung von Fehlern bei der Erkennung der Kopfauflage.

[0028] Zweckdienlicherweise nimmt dabei der Überhöhungsfaktor mit zunehmendem Drehwinkel zu. Ergänzend oder alternativ wird der momentane Wert des Dreh-

moments und/ oder die Ableitung hiervon verwendet. Insbesondere wird der Überhöhungsfaktor aus einem Produkt mehrerer dieser Größen gebildet, insbesondere aus einem Produkt des momentanen Werts für das Drehmoment sowie dessen Ableitung. Zumindest geht ein solches Produkt in den Überhöhungsfaktor ein. Diese Ausgestaltung beruht allgemein darauf, dass der Drehmomentverlauf kontinuierlich zunimmt und dass das Erreichen der Kopfauflage typischerweise erst nach einigen Umdrehungen der Schraube, also bei einem späteren Drehwinkel erfolgt und dass zudem bei Erreichen der Kopfauflage auch die Steigung stark zunimmt. Durch diese Maßnahme werden daher eventuell auftretende Schwankungen beim normalen Eindrehen der Schraube vor Erreichen der Kopfauflage mit einem geringeren Faktor gewichtet, sodass selbst bei einem ungünstigen Drehmomentverlauf die Trendlinie allenfalls geringfügig ansteigt. Auch dies dient zur Vermeidung von Fehlern bei der Erkennung der Kopfauflage.

[0029] Alternativ zu dieser bevorzugten ersten Methode zur Ermittlung des Schnittpunkts zwischen der Trendlinie (als charakteristisches Maß für eine Änderung der Steigung des Drehmomentverlaufs) und der Toleranzlinie wird gemäß einer zweiten Variante der Schnittpunkt zwischen dem Drehmomentverlauf und der Toleranzlinie ermittelt. Die Trendlinie gibt dabei einen angenommenen Verlauf des Drehmoments wider und die Toleranzlinie ist um einen Toleranzabstand von der Trendlinie beabstandet.

[0030] Bei dieser Ausgestaltung wird daher insbesondere lediglich der absolute Drehmomentverlauf betrachtet und mit einer zu erwartenden Trendlinie für die erste Phase des Schraubvorgangs bis zum Erreichen der Kopfauflage verglichen. Durch die Festlegung eines Toleranzabstands wird quasi ein "Trendkanal" vorgegeben, innerhalb dessen der tatsächliche Drehmomentverlauf schwanken darf, ohne dass das Erreichen einer Kopfauflage identifiziert wird. Es wird lediglich überprüft, wann der tatsächliche Momentanwert für das Drehmoment den Trendkanal verlässt. Von besonderem Vorteil hierbei ist, dass für die Erkennung der Kopfauflage keine Gradientenbildung für das Drehmoment erforderlich und auch nicht vorgesehen ist. Kurzzeitige sprunghafte Änderungen im Drehmoment, beispielsweise bedingt durch Materialinhomogenitäten, die beim selbstformenden Einschrauben bereits vor der Kopfauflage zu einem kurzfristigen Drehmomentanstieg führen, führen daher nicht zu einem falschen Erkennen einer Kopfauflage, wie dies bei der reinen Auswertung des Gradienten des Drehmomentverlaufs erfolgen würde.

[0031] Im einfachsten Fall handelt es sich bei der Trendlinie um eine Gerade mit einer festgelegten Steigung und die Toleranzlinie verläuft um einen fest definierten Toleranzabstand parallel hierzu. Für unterschiedliche Anwendungsfälle sind hierzu beispielsweise unterschiedliche Trendlinien, die sich im Hinblick auf ihren Anfangswert und/oder ihrer Steigung unterscheiden, sowie ergänzend oder alternativ auch unterschiedliche Tole-

ranzabstände hinterlegt.

[0032] Zur Durchführung dieser Überwachung ist das Überwachungsmodul geeignet ausgebildet. Insbesondere handelt es sich hierbei um einen implementierten Algorithmus, welcher als Eingangswert ein zum aktuellen Drehmomentwert korreliertes Eingangssignal erfasst und auswertet. Der Algorithmus ist daher im Überwachungsmodul und dadurch in der Steuereinheit integriert und definiert diese insofern funktional-gegenständlich.

[0033] Auch bei dieser Variante wird die Trendlinie während des Schraubvorgangs aus vorhergehenden Drehmomentwerten abgeleitet und kontinuierlich angepasst. Unter vorhergehendem Drehmoment werden solche Drehmomentwerte verstanden, die beim aktuellen Schraubvorgang bereits erfasst wurden. Es erfolgt daher insgesamt eine dynamische, kontinuierliche Anpassung der Trendlinie an die aktuellen Gegebenheiten während des Schraubvorgangs selbst. Dadurch wird insgesamt ein Selbstlernerffekt erreicht. Durch diese kontinuierliche Anpassung werden daher auch die Bedingungen für die Erkennung der Kopfauflage und damit beispielsweise die Umschaltbedingungen für das Umschalten von der ersten Phase in die zweite Phase kontinuierlich angepasst und insbesondere zusehends verbessert. Bei dieser Variante der Adaption der Trendlinie an die aktuellen Gegebenheiten wird dabei insbesondere auf die Hinterlegung von Trendlinien verzichtet.

[0034] Ein entscheidender Vorteil dieser kontinuierlichen, dynamischen Anpassung ist darin zu sehen, dass hierdurch quasi eine Auto-Parametrierung auf die aktuell vorhandenen Bedingungen erfolgt. Bei diesem Selbstlernprozess gehen daher infolge der Auswertung des aktuellen Drehmomentverlaufs und der Prognose für die weitere Trendlinie die den Schraubvorgang charakterisierenden Parameterwerte, wie beispielsweise Materialeigenschaften des Werkstücks und/oder Material- sowie Geometrieigenschaften der Schraube, automatisch ein und werden berücksichtigt, ohne dass es einer expliziten Parametrierung und Erfassung dieser verschiedenen Parameterwerte bei unterschiedlichen Anwendungen bedarf.

[0035] Zur Bestimmung der Trendlinie aus den vorhergehenden Drehmomentwerten werden vorzugsweise an sich bekannte, insbesondere mathematische Methoden ergriffen. So besteht die Möglichkeit, die bisher erfassten Messwerte durch einen geeigneten Kurvenfit zu approximieren und anhand des Kurvenfits die zukünftige Trendlinie festzulegen. Im einfachsten Fall wird bei diesem Kurvenfit der Drehmomentverlauf durch eine Gerade mit definierter Steigung approximiert. Hierbei wird vorzugsweise jeweils ein definiertes Auswertintervall vorgegeben, welches für die Ermittlung und Prognose der weiteren Trendlinie herangezogen wird.

[0036] Der Drehmomentverlauf wird hierbei in Abhängigkeit eines Verlaufsparameters erfasst. Bei diesem handelt es sich insbesondere um einen Drehwinkel, mit dem die Schraube eingedreht wird. Als Verlaufsparemeter können grundsätzlich auch andere Parameter, wie

beispielsweise die Drehzahl, herangezogen werden. Es wird daher ein Intervallbereich für diesen Verlaufsparemeter festgelegt, welcher zur Bestimmung der zukünftigen Trendlinie ausgewertet wird. Vorzugsweise wird für die Prognose der Trendlinie beispielsweise ein Winkelintervall von zumindest 60° und vorzugsweise von zumindest 120° und maximal von 180° oder 360° ausgewertet.

[0037] Gemäß einer zweckdienlichen Weiterbildung wird die Trendlinie dabei vorzugsweise durch eine gleitende Mittelwertbildung aus dem Drehmomentverlauf abgeleitet. Hierunter wird verstanden, dass kontinuierlich aus den erfassten Drehmomentwerten ein Mittelwert eines vorgegebenen Intervalls des Verlaufsparameters gebildet wird. Der aktuell ermittelte Mittelwert zuzüglich des Toleranzabstandes definiert dann den Wert der Toleranzlinie für den nachfolgenden, aktuell erfassten Drehmomentwert.

[0038] Vorzugsweise wird ergänzend oder alternativ auch der Toleranzabstand aus vorhergehenden Drehmomentwerten abgeleitet. Auch hier werden unter vorhergehenden Drehmomentwerten wiederum insbesondere die während des jeweiligen Schraubvorgangs erfassten Drehmomentwerte bis zum aktuellen Zeitpunkt verstanden. Auch der Toleranzabstand wird daher ergänzend insbesondere kontinuierlich angepasst. Insgesamt ergibt sich dadurch quasi ein doppelter Selbstlernerffekt, nämlich einerseits für den Verlauf der Trendlinie und andererseits auch für den zulässigen Toleranzbereich. Die dynamische Anpassung des Toleranzabstands beruht dabei auf der Überlegung, dass anhand des erfassten Drehmomentverlaufs zunehmend sichere Aussagen über die Streuung und Varianz der erfassten Drehmomentwerte getroffen werden können und dass daher der Toleranzabstand - ausgehend von einem Initial- oder Anfangswert - kontinuierlich zur Verbesserung der Genauigkeit angepasst werden kann.

[0039] Zweckdienlicherweise wird der Toleranzabstand entsprechend auch mit Hilfe einer statistischen Funktion als Maß für eine statistische Abweichung, z.B. Standardabweichung aus dem zuvor erfassten Drehmomentverlauf ermittelt.

[0040] Insgesamt wird durch diese doppelte Anpassung eine zunehmend bessere Charakterisierung der Schraubpaarung während des jeweiligen Schraubvorgangs erreicht, was zu einer Identifizierung der Kopfauflage mit hoher Genauigkeit führt. Es werden daher quasi die aktuellen Gegebenheiten der Schraubpaarung individuell für jeden Schraubvorgang über die Auswertung des tatsächlichen Drehmomentverlaufs unter Anpassung einerseits der Trendlinie und andererseits des Toleranzabstands ermittelt.

[0041] In bevorzugter Ausgestaltung ist für beide grundlegenden Varianten vorgesehen, dass zur Erkennung der Kopfauflage keine werkstückspezifische und/oder schraubenspezifische Parametrierung für die Bestimmung der Kopfauflage im Vorfeld erfolgt. Es ist daher kein spezielles, geschultes Bedienpersonal und kein besonderes Know how erforderlich. Bisher mussten

anwendungsbezogen in Abhängigkeit der aktuellen Schraubverbindung Parameter festgelegt werden, die für die Bestimmung der Kopfauflage wesentlich waren. Dies ist nunmehr bei der hier vorgestellten Methode nicht erforderlich und auch nicht vorgesehen. Es brauchen lediglich allgemeine Standard-Parameter für den Schraubvorgang vorgegeben werden, die jedoch nicht für die Bestimmung der Kopfauflage relevant sind. Diese Standard-Parameter sind insbesondere und vorzugsweise abschließend die Vorgabe einer Soll-Drehzahl, die Vorgabe einer maximalen Überwachungszeit bis der Schraubvorgang abgebrochen wird sowie die Vorgabe eines Weiterdrehmoments bzw. Weiterdrehwinkels ab Kopfauflage.

[0042] In bevorzugter Weiterbildung wird zu Beginn eines jeden Schraubvorgangs ein fester Initialwert für den Toleranzbereich herangezogen. Dieser Toleranzbereich wird dabei ausreichend groß gewählt, um zuverlässig zu Beginn des Schraubvorgangs auszuschließen, dass der tatsächliche Drehmomentverlauf die Toleranzlinie schneidet. Bevorzugt ist lediglich ein einziger Initialwert hinterlegt. Alternativ können auch typisierte unterschiedliche Initialwerte beispielsweise in Abhängigkeit von typischen Schraubpaarungen oder in Abhängigkeit von typischen Materialien für das Werkstück hinterlegt sein.

[0043] Da üblicherweise zu Beginn des Schraubvorgangs Störeffekte wirken, welche nicht zu dem eigentlichen Schraubvorgang zählen, ist in bevorzugter Weiterbildung vorgesehen, dass ein Anfangsintervall des Drehmomentverlaufs unberücksichtigt bleibt. Hierunter wird verstanden, dass die ersten Drehmomentwerte sowohl für die Erkennung der Kopfauflage als auch für die dynamische Anpassung der Trendlinie und/oder des Toleranzabstands unberücksichtigt bleiben. Das Anfangsintervall ist durch die ersten Werte des Verlaufsparameters, also insbesondere des Drehwinkels, definiert. Das Anfangsintervall erstreckt sich dabei vorzugsweise über einen Winkelbereich von 180° oder auch 360° (halbe bzw. volle Umdrehung), beginnend ab einem ersten Drehmomentanstieg infolge des Kontakts der Schraube mit dem Werkstück.

[0044] Durch das hier gewählte Prinzip für die Erkennung der Kopfauflage anhand des Schnittpunkts zwischen der Toleranzlinie und der Trendlinie (erste Variante) oder zwischen der Toleranzlinie und dem tatsächlichen Drehmomentverlauf (zweite Variante) gibt - je nach Wahl des aktuellen Toleranzabstands - der Schnittpunkt die tatsächliche Kopfauflage nur verzögert wieder. Um eine Identifizierung des Erreichens der tatsächlichen Kopfauflage möglichst genau zu erfassen, ist in bevorzugter Ausgestaltung weiterhin vorgesehen, dass ausgehend von dem erfassten Drehmomentverlauf und ausgehend von dem ermittelten Schnittpunkt auf das tatsächliche Erreichen der Kopfauflage zurückgeschlossen, insbesondere zurückgerechnet wird. Es wird hierbei insbesondere ein Kopfauflage-Punkt, nämlich ein Kopfauflage-Drehwinkel und/ oder ein Kopfauflage-Drehmoment ermittelt. Auch hier werden insbesondere mathe-

mathematische Methoden, wie beispielsweise ein Kurvenfit, etc., eingesetzt. Durch das Zurückrechnen bzw. Zurückschließen wird ein definierter Wert des Verlaufsparameters, insbesondere des Drehwinkels oder des Drehmoments ermittelt, welcher die tatsächliche Kopfauflage angibt.

[0045] Hierzu erfolgt beispielsweise eine Interpolation des Drehmomentverlaufs im Bereich des Schnittpunkts und Approximation des Verlaufs insbesondere durch eine Gerade. Ergänzend wird der Drehmomentverlauf in einem definierten Intervall vor dem Schnittpunkt ebenfalls interpoliert und insbesondere durch eine Gerade approximiert. Der Schnittpunkt dieser beiden Geraden wird dann beispielsweise als die tatsächliche Kopfauflage identifiziert. Für die Interpolation des Drehmomentverlaufs vor dem Schnittpunkt wird vorzugsweise ein Intervallbereich vor dem Schnittpunkt unberücksichtigt gelassen. Dieser Intervallbereich liegt dabei beispielsweise bei mehreren 10° , beispielsweise bei 30° oder auch bei 60° .

[0046] Alternativ zu dieser Interpolation zur Bestimmung eines Schnittpunkts wird in zweckdienlicher Ausgestaltung der Gradient, also die Änderung des Drehmomentverlaufs vor dem Erreichen des Schnittpunkts ausgewertet. Dabei wird - wie bei bisherigen Drehmomentüberwachungen - eine charakteristische Änderung der Steigung des Drehmomentverlaufs als Erreichen der tatsächlichen Kopfauflage identifiziert. Im vorliegenden Fall wird dies jedoch nur einmalig durchgeführt, wenn nämlich bereits zuvor aufgrund des Schnittpunkts die Kopfauflage grundsätzlich identifiziert wurde. Die Gradientenbildung dient daher lediglich zur Bestimmung des genauen Zeitpunkts der Kopfauflage, nicht jedoch zum grundsätzlichen Erkennen der Kopfauflage.

[0047] Für das weitere Festziehen der Schraube wird anschließend in zweckdienlicher Ausgestaltung diese ermittelte tatsächliche Kopfauflage als Ausgangspunkt für das weitere Festziehen, also die zweite Phase des Schraubvorgangs, herangezogen. Dieses Festziehen erfolgt dabei in herkömmlicher Weise beispielsweise winkelgesteuert oder drehmomentgesteuert.

[0048] Bei der Schraubeinheit handelt es sich insbesondere um eine mit einem zweckdienlicherweise elektrischen Antriebsmotor versehene Einheit und das Überwachungsmodul wertet einen Motorkennwert zur Ermittlung des Drehmomentverlaufs aus. Hierbei handelt es sich beispielsweise um den Motorstrom als Basis für die Berechnung des abgegebenen Drehmoments. Alternativ wird das Drehmoment direkt mit Hilfe eines geeigneten Messwertaufnehmers gemessen. Hierbei handelt es sich beispielsweise um einen Dehn-Messstreifen oder auch um eine sogenannte Drehmomentmesswelle.

[0049] Ausführungsbeispiele werden nachfolgend anhand der Figuren näher erläutert. Diese zeigen teilweise in stark vereinfachten Darstellungen:

Fig. 1 eine stark vereinfachte Darstellung einer Schraubeinheit zusammen mit einer selbstfor-

- menden Schraube zur Illustration eines Einschraubvorgangs der Schraube in ein Werkstück,
- Fig. 2 eine Blockbilddarstellung umfassend eine Steuereinheit der Schraubeinheit sowie eine Antriebseinheit
- Fig. 3 ein Diagramm zur Erläuterung der zuvor beschriebenen zweiten Variante, bei dem ein erfasster Drehmomentverlauf, eine durch Mittelwertbildung gebildete Toleranzlinie sowie eine hiervon beabstandete Toleranzlinie gegenüber einem Drehwinkel der Schraubeinheit aufgetragen sind, sowie
- Fig. 4 ein Diagramm zur Erläuterung der zuvor beschriebenen ersten Variante, bei dem ein erfasster Drehmomentverlauf, ein hieraus abgeleitete Trendlinie sowie eine konstante Toleranzlinie gegenüber einem Drehwinkel der Schraubeinheit aufgetragen sind.

[0050] Zur Ausführung eines automatisierten Einschraubvorgangs einer Schraube 2 in ein Werkstück 4 ist gemäß Fig. 1 eine Schraubeinheit 6 vorgesehen. Mit Hilfe der Schraube 2 wird beispielsweise ein hier nicht näher dargestelltes Bauteil am Werkstück 4 befestigt. Diese weist eine insbesondere als Elektromotor ausgebildete Antriebseinheit 8 auf, die mit Hilfe einer Steuereinheit 10 angesteuert wird. Über die Antriebseinheit 8 wird eine Spindel in eine Drehbewegung um eine Rotationsachse versetzt. Beim Einschraubvorgang wird diese Drehbewegung mit Hilfe eines stirnseitig angeordneten Angriffselements 12, beispielsweise ein Schrauberbit oder ein Werkzeugschlüssel, auf die Schraube 2 übertragen.

[0051] Bei der Schraube 2 handelt es sich insbesondere um eine selbstformende Schraube 2, welche also in das Werkstück 4 eingeschraubt wird, ohne dass in diesem vorhergehend ein Gewinde eingebracht ist. Die Schraube 2 weist hierzu einen Schraubenkopf 14 sowie einen Gewindenschaft 16 auf. Die Unterseite des Schraubenkopfes 14 bildet eine Kopfauflagefläche 18 aus.

[0052] In Fig. 1 sind drei unterschiedliche Zustände während eines jeweiligen Schraubvorgangs dargestellt. Auf der linken Bildseite ist die Situation zu Beginn des Schraubvorgangs dargestellt, bei der also die Schraube 2 erstmalig in Kontakt mit dem Werkstück 4 kommt. Durch einen geeigneten Anpressdruck sowie der von der Antriebseinheit 8 ausgeübten Drehbewegung wird anschließend während einer ersten Phase des Schraubvorgangs die Schraube 2 sukzessive in das Werkstück 4 eingedreht, bis die sogenannte Kopfauflage K erreicht wird, die in der Bildmitte der Fig. 1 dargestellt ist. Bei dieser sogenannten Kopfauflage K erreicht der Schraubenkopf 14 mit seiner Kopfauflagefläche 18 die Oberfläche des Werkstücks 4, kommt also auf dieser zum Aufliegen. Das Erreichen der Kopfauflage K ist dabei mit einem deutlichen Drehmomentanstieg verbunden.

[0053] Anschließend erfolgt dann noch ein Festziehen

der Schraube 2 in einer anschließenden zweiten Phase des Schraubvorgangs bis der Einschraubvorgang beendet ist, wie dies auf der rechten Bildhälfte der Fig. 1 dargestellt ist. Zur Illustrierung des Festziehens der Schraube ist beispielhaft der Schraubenkopf 14 als in das Werkstück 4 eingezogen dargestellt.

[0054] Bei den hier insbesondere interessierenden Verschraubungen handelt es sich insbesondere um Werkstücke 4 aus einem vergleichsweise weichen Material, insbesondere Holz, Kunststoff oder auch Leichtmetalle wie Aluminium und Magnesium.

[0055] Die Steuerung und Überwachung des Schraubvorgangs erfolgt mit Hilfe der Steuereinheit 10, wie dies grob vereinfacht anhand der Blockbild-Darstellung in Fig. 2 dargestellt ist. Die Steuereinheit 10 gibt ein geeignetes Steuersignal S an die Antriebseinheit 8 ab. Hierbei kann es sich entweder um ein Steuersignal im engeren Sinne handeln oder auch um die Freigabe oder das Abschalten der Stromversorgung für den Elektromotor. Hierzu weist die Steuereinheit 10 beispielsweise ein integriertes Steuermodul 20 auf. Dieses erfasst beispielsweise auch den vom Elektromotor aufgenommenen Motorstrom als charakteristischen Wert für ein aktuell vom Elektromotor auf die Schraube 2 ausgeübtes Drehmoment m.

[0056] Die Steuereinheit 10 umfasst weiterhin ein Überwachungsmodul 22, welches beispielsweise vom Steuermodul 20 als Eingangssignal jeweils einen aktuellen Drehmomentwert m_i oder zumindest eine zu diesem korrelierte Kenngröße erhält. Anhand der übermittelten Drehmomentwerte m_i überwacht das Überwachungsmodul 22 den Schraubvorgang insbesondere im Hinblick auf das Erreichen der Kopfauflage K. Sobald das Überwachungsmodul 22 die Kopfauflage K identifiziert hat, gibt sie ein Schaltsignal k_s ab. Dieses wird beispielsweise an das Steuermodul 20 übermittelt, welches anschließend anhand des Schaltsignals k_s die zweite Phase des Schraubvorgangs einleitet und durchführt.

[0057] Das Überwachungsmodul 22 ist zur Auswertung der Drehmomentwerte m_i geeignet ausgebildet. Das Überwachungsmodul 22 umfasst hierzu üblicherweise einen Mikroprozessor mit einem integrierten Algorithmus, über den die Drehmomentwerte m_i in geeigneter Weise ausgewertet werden.

[0058] Das Prinzip der Erkennung und Bestimmung der Kopfauflage K wird nachfolgend anhand der Fig. 3 näher erläutert. Anhand der jeweils aktuell erfassten Drehmomentwerte m_i ergibt sich insgesamt ein Drehmomentverlauf M. Die einzelnen Drehmomentwerte m_i werden dabei vorzugsweise in Abhängigkeit eines Drehwinkels α erfasst. Dieser Drehwinkel α gibt die jeweilige Drehposition des Angriffselements 12 und damit auch der Schraube 2 an. Anhand des Drehwinkels α ist also die Drehbewegung der Schraube 2 charakterisiert. Eine Drehbewegung um 360° bedeutet eine volle Umdrehung der Schraube 2 um ihre Rotationsachse.

[0059] Zur Identifizierung der Kopfauflage K werden eine sogenannte Trendlinie L sowie ein Toleranzabstand t festgelegt und vorzugsweise während des jeweiligen

Schraubvorgangs kontinuierlich angepasst. Um den Toleranzabstand t beabstandet zur Trendlinie L verläuft eine obere Toleranzlinie T , welche also quasi eine Obergrenze eines zulässigen Drehmoments m für den jeweils aktuell erfassten Drehmomentwert m_i angibt.

[0060] Zu Beginn des Schraubvorgangs wird ein initialer Toleranzabstand t vorgegeben, der zunächst ausreichend groß gewählt ist. Zweckdienlicherweise bleiben die ersten Drehmomentwerte m_i sowohl für die Ermittlung der Trendlinie L als auch für die daraus abgeleitete Toleranzlinie T außer Betracht. Die Toleranzlinie T wird beispielsweise erst im Anschluss nach einem Anfangsintervall a , beispielsweise nach einem Winkelbereich von 60° , ermittelt. Der erste Punkt der Toleranzlinie T ergibt sich dabei aus dem erfassten aktuellen Drehmomentwert m_i zuzüglich des initialen Toleranzabstands t .

[0061] Wird der Toleranzabstand t beidseitig der Trendlinie L zur Ausbildung auch einer unteren Toleranzlinie angetragen, so ergibt sich beidseitig der Trendlinie L ein Toleranzbereich und damit insgesamt ein Trendkanal, innerhalb dessen die Drehmomentwerte m_i schwanken können, ohne dass auf Kopfauflage K erkannt wird.

[0062] Während des Schraubvorgangs wird die Trendlinie L dynamisch angepasst. Hierzu wird beispielsweise eine gleitende Mittelwertbildung vorgenommen. Im Ergebnis ergibt sich daher für die Trendlinie L insgesamt eine im Vergleich zum Drehmomentverlauf M geglättete Kurve, welche dem Drehmomentverlauf M folgt.

[0063] Ergänzend erfolgt auch eine dynamische Anpassung des Toleranzabstands t ausgehend von dem Initialwert zu Beginn. Zur Bestimmung des Toleranzabstands t wird insbesondere eine statistische Auswertung des Drehmomentverlaufs M vorgenommen und es wird beispielsweise ein Wert für eine zulässige Abweichung, beispielsweise die Standardabweichung, aus dem bisher erfassten Drehmomentverlauf M ermittelt. Der Toleranzabstand t ist daher insbesondere mit einer statistischen Streuung / Abweichung der erfassten Drehmomentwerte m_i direkt korreliert. Dadurch ergibt sich eine dynamische Veränderung des Toleranzabstands t , insbesondere eine Verringerung im Laufe des Schraubvorgangs. Der Toleranzabstand t gibt daher ein Maß für eine zulässige Streuung der einzelnen Drehmomentwerte m_i an.

[0064] Erreicht die Schraube 2 die Kopfauflage K , so steigt das Drehmoment m sprunghaft an. Dies führt dazu, dass der Drehmomentverlauf M die Toleranzlinie L in einem Schnittpunkt P schneidet. Dies wird von dem Überwachungsmodul 22 als Indiz für das Erreichen der Kopfauflage K ausgewertet.

[0065] Im nächstfolgenden Schritt wird anschließend auf das Erreichen der tatsächlichen Kopfauflage K zurückgeschlossen, da prinzipbedingt der Schnittpunkt P nachfolgend und damit verzögert zur tatsächlichen Kopfauflage K auftritt. Hierzu wird der Drehmomentverlauf M in geeigneter Weise im Bereich des Schnittpunkts S ausgewertet. Speziell wird beispielsweise in einem definierten Winkelintervall vor Erreichen des Schnittpunkts P die

Veränderung $\Delta m / \Delta \alpha$ des Drehmoments m im Hinblick auf einen charakteristischen Anstieg ausgewertet, welcher dann als das Erreichen der tatsächlichen Kopfauflage K bei einem definierten Kopfauflage-Drehwinkel α (K) und / oder einem definierten Kopfauflage-Drehwinkel $m(K)$ gewertet wird.

[0066] Ausgehend von der so bestimmten tatsächlichen Kopfauflage K erfolgt dann für den weiteren Schraubvorgang die Steuerung in der zweiten Phase zum Festziehen der Schraube 2. Dies erfolgt insbesondere winkeligesteuert, d.h. ausgehend von dem ermittelten Kopfauflage-Drehwinkel α (K) wird die Schraube noch um einen definierten Winkel α weiter gedreht, bevor dann der Schraubvorgang abgebrochen wird und der Schrauber 2 zurückgezogen wird. Alternativ wird die Schraube ausgehend vom Kopfauflage-Drehmoment $m(K)$ drehmomentgesteuert angezogen.

[0067] In der Darstellung der Figur 4 ist der Verlauf des Drehmoments M , eine Toleranzlinie T mit festem Wert (waagrechte Gerade) sowie eine Trendlinie L gegenüber dem Drehwinkel α aufgetragen. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die spezielle Ermittlung der Trendlinie L , die auch als Bewertungsfunktion bezeichnet wird. Wie gut zu erkennen ist, ist diese während des Einschraubens bis zur Kopfauflage K , repräsentiert z.B. durch den Kopfauflage-Drehwinkel α (K) nahezu konstant und weist nur geringe Schwankungen auf. Erst bei Erreichen der Kopfauflage steigt die Trendlinie L sprunghaft an, sodass die konstante Toleranzlinie T am Schnittpunkt P geschnitten wird.

[0068] Zur Ermittlung dieser Toleranzlinie L wird maßgebend die Änderung der Steigung des Verlaufs des Drehmoments M ausgewertet. Da sich bis zum Erreichen der Kopfauflage die Steigung des Verlaufs des Drehmoments M kaum oder nur geringfügig ändert, weist die Trendlinie bis zur Kopfauflage K einen weitgehend konstanten Verlauf auf. Erst bei Erreichen der Kopfauflage K führt dies zu dem dargestellten sprunghaften Anstieg der Trendlinie L .

[0069] Zur Ermittlung der Trendlinie L wird fortlaufend, also in definierten Drehwinkel-Abständen von beispielsweise weniger als 10° (z.B. 5° - 10°) ein jeweiliger momentaner Wert für die Trendlinie L ermittelt. Hierzu wird die Steigung eines momentanen Drehwinkelbereichs mit der Steigung eines ersten Drehwinkelbereichs verglichen. Bei dem momentanen Drehwinkelbereich handelt es sich dabei insbesondere um einen Drehwinkelbereich ausgehend von dem aktuellen erreichten Drehwinkeln α beim Eindrehen der Schraube. Der Drehwinkelbereich erstreckt sich dabei typischerweise über mehrere 10° oder alternativ auf über eine viertel Umdrehung (90°), eine halbe Umdrehung (180°), eine dreiviertel Umdrehung (270°) oder auch eine ganze Umdrehung (360°). Der erste Drehwinkel-Bereich ist von dem momentanen Drehwinkel-Bereich beabstandet, und vorzugsweise ebenfalls um mehrere 10° oder auch 90° , 180° , 270° oder 360° . Unter Abstand wird vorliegend der Abstand zwi-

schen den Anfangswerten (oder zwischen den Endwerten) der beiden Drehwinkel- Bereiche verstanden.

[0070] Für beide Drehwinkel-Bereiche, also dem ersten, früheren Drehwinkel-Bereich, sowie dem momentanen Drehwinkel-Bereich wird dann jeweils die Steigung des Verlaufs des Drehmoments berechnet. Hierzu wird beispielsweise der Mittelwert der Steigung für den jeweiligen Drehwinkel-Bereich bestimmt oder es werden aus den beiden Endpunkten des jeweiligen Drehwinkel-Bereichs die Steigungen abgeleitet. Aufgrund der zumindest weitgehend konstanten Steigung bis zum Erreichen der Kopfauflage sind die dabei ermittelten Steigungswerte für den ersten Bereich und den momentanen Bereich bis zum Erreichen der Kopfauflage K üblicherweise zumindest nahezu identisch. Die beiden Steigungen werden dann in Relation zueinander gesetzt und zwar vorzugsweise durch Quotientenbildung oder durch Subtraktion, sodass der gewünschte konstante Wert erhalten wird, wie er aus dem Diagramm zu entnehmen ist.

[0071] Zweckdienlicherweise wird der so erhaltene Wert noch gewichtet mit einem Erhöhungsfaktor. Dies ist beispielsweise der momentane Wert m_i für das Drehmoment M. Da dieser Wert typischerweise kontinuierlich ansteigt, werden Ausschläge mit zunehmendem Drehwinkel α stärker gewichtet und überhöht. Diese Maßnahme verstärkt daher den charakteristischen Anstieg der Trendlinie bei Erreichen der Kopfauflage K.

[0072] Insgesamt führt dies zu einem sehr sicheren Erkennen der Kopfauflage. Der besondere Vorteil dieser Maßnahme ist darin zu sehen, dass Schwankungen und Störungen in der Eindrehphase bis zur Erkennung der Kopfauflage stark gedämpft werden. Gleichzeitig ist eine sehr abrupte und unverzögerte Reaktion bei Erreichen der Kopfauflage vorhanden, was zu einem schnellen Identifizieren der Kopfauflage mit nur geringem Rechenaufwand führt.

[0073] Von besonderem Vorteil ist weiterhin, dass ein sehr hoher Signal-Rauschabstand vorliegt, d. h. zwischen der Eindreh-Phase bis zum Erreichen der Kopfauflage und der Phase ab Kopfauflage besteht ein deutlicher Unterschied in den Werten für die Trendlinie L. Darüber hinaus ist insbesondere auch aufgrund dieses guten Signal/Rauschabstands diese Auswertemethode sehr robust und unabhängig von der speziellen Anwendung sowie der jeweiligen Paarung aus Schraube und Werkstück. Diese Auswertemethode lässt sich daher universell ohne Parametrisierungsaufwand implementieren und erfordert von dem Benutzer keine zusätzlichen Einstellungen oder Parametrisierungen.

[0074] Auch bei dieser bevorzugten Methode wird ausgehend von dem ermittelten Schnittpunkt P zurückgerechnet auf das tatsächliche Erreichen der Kopfauflage K beim Kopfauflage-Punkt also beim Kopfauflage-Drehwinkel α (K) und / oder beim Kopfauflage-Drehmoment $m(K)$. Hierzu wird insbesondere eine den Drehmomentverlauf approximierende Gerade für den Verlauf des Drehmoments M nach Erreichen des Schnittpunkts P sowie eine entsprechende Gerade vor Erreichen des

Schnittpunkts P bestimmt und deren Schnittpunkt als Kopfauflage-Punkt α (K), $m(K)$ gewertet. Ausgehend von diesem Kopfauflage-Punkt α (K), $m(K)$ erfolgt dann das Festziehen der Schraube, beispielsweise drehwinkel- oder auch drehmomentgesteuert.

Bezugszeichenliste

[0075]

2	Schraube
4	Werkstück
6	Schraubeinheit
8	Antriebseinheit
10	Steuereinheit
12	Angriffselement
14	Schraubenkopf
16	Gewindenschaft
18	Kopfauflagefläche
20	Steuermodul
22	Überwachungsmodul
a	Anfangsintervall
α	Drehwinkel
25 α (K)	Kopfauflage-Drehwinkel
$m(K)$	Kopfauflage-Drehmoment
K	Kopfauflage
k_s	Schaltsignal
L	Trendlinie
30 M	Drehmomentverlauf
m	Drehmoment
m_i	Drehmomentwert
P	Schnittpunkt
S	Steuersignal
35 T	Toleranzlinie
t	Toleranzabstand

Patentansprüche

1. Schraubeinheit (6) zum Einschrauben von Schrauben (2) in ein Werkstück (4) umfassend eine Steuereinheit (10), die zur Erkennung einer Kopfauflage (K) eines Schraubenkopfes (14) auf dem Werkstück (4) ausgebildet ist und hierzu ein Überwachungsmodul (22) aufweist, welches zur Erfassung von aktuellen Drehmomentwerten (m_i) in Abhängigkeit eines Drehwinkels sowie zur Überwachung eines Drehmomentverlaufs (M) während eines jeweiligen Einschraubvorgangs ausgebildet ist,

dadurch gekennzeichnet,
dass das Überwachungsmodul (22)

- aus dem Drehmomentverlauf (M) während des Einschraubens bis zur Kopfauflage (K) eine Trendlinie (L) ableitet
- sowie eine Toleranzlinie (T) vorgibt und
- auf das Erreichen der Kopfauflage (K) erkennt,

- wenn die Trendlinie (L) oder der Drehmomentverlauf (M) die Toleranzlinie (T) an einem Schnittpunkt (P) schneidet und dass das Überwachungsmodul (22) weiterhin derart ausgebildet ist, dass
- ausgehend von der Kopfauflage (K) die Schraube (2) definiert festgezogen wird.
2. Schraubeinheit (6) nach dem vorhergehenden Anspruch,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Überwachungsmodul (22) derart ausgebildet ist, dass die Trendlinie (L) aus vorhergehenden Drehmomentwerten (m_i) abgeleitet und kontinuierlich angepasst wird.
 3. Schraubeinheit (6) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Überwachungsmodul (22) derart ausgebildet ist, dass für die Ermittlung der Trendlinie (L) die Änderung der Steigung des Drehmomentverlaufs (M) berücksichtigt wird und der Schnittpunkt (P) der Trendlinie (L) mit der Toleranzlinie (T) bestimmt wird.
 4. Schraubeinheit (6) nach einem der beiden vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Überwachungsmodul (22) derart ausgebildet ist, dass zur Ermittlung der Änderung der Steigung des Drehmomentverlaufs (M) eine erste Steigung des Drehmomentverlaufs (M) innerhalb eines ersten Bereichs des Drehwinkels sowie eine momentane Steigung des Drehmomentverlaufs (M) innerhalb eines momentanen Bereichs des Drehwinkels ermittelt werden und die erste Steigung sowie die momentane Steigung durch Quotientenbildung oder Subtraktion in Relation zueinander gesetzt werden.
 5. Schraubeinheit (6) nach einem der Ansprüche 3 bis 5,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Überwachungsmodul (22) derart ausgebildet ist, dass der erste Bereich und der momentane Bereich voneinander insbesondere um einen fixen Drehwinkel von vorzugsweise mehr als 10° beabstandet sind.
 6. Schraubeinheit (6) nach einem der Ansprüche 3 bis 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Überwachungsmodul (22) derart ausgebildet ist, dass die Toleranzlinie durch einen festen Wert gebildet ist.
 7. Schraubeinheit (6) nach einem der Ansprüche 3 bis 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Überwachungsmodul (22) derart ausgebildet ist, dass die Änderung der Steigung mit einem Überhöhungsfaktor multipliziert wird.
 8. Schraubeinheit (6) nach einem der Ansprüche 3 bis 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Überwachungsmodul (22) derart ausgebildet ist, dass der Überhöhungsfaktor mit zunehmendem Drehwinkel (α) zunimmt und/ oder der momentane Wert des Drehmoments (m_i) und/oder die Ableitung hiervon verwendet wird.
 9. Schraubeinheit (6) nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Überwachungsmodul (22) derart ausgebildet ist, dass die Trendlinie (L) insbesondere durch eine gleitende Mittelwertbildung aus dem Drehmomentverlauf (M) abgeleitet wird, dass die Toleranzlinie (T) von der Trendlinie um einen Toleranzabstand (t) beabstandet ist und dass der Schnittpunkt (P) zwischen dem Drehmomentverlauf (M) und der Toleranzlinie (T) bestimmt wird.
 10. Schraubeinheit (6) nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 9,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Überwachungsmodul (22) derart ausgebildet ist, dass der Toleranzabstand (t) aus vorhergehenden Drehmomentwerten (m_i) abgeleitet wird.
 11. Schraubeinheit (6) nach einem der Ansprüche 1, 2 oder 10,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Überwachungsmodul (22) derart ausgebildet ist, dass der Toleranzabstand (t) mit Hilfe einer statistischen Funktion als Maß einer Abweichung des erfassten Drehmomentverlaufs (M) ermittelt wird.
 12. Schraubeinheit (6) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Überwachungsmodul (22) derart ausgebildet ist, dass das Erkennen der Kopfauflage (K) ohne eine vorhergehende werkstückspezifische und/ oder schraubenspezifische Parametrierung für die Bestimmung der Kopfauflage (K) erfolgt.
 13. Schraubeinheit (6) nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
dass das Überwachungsmodul (22) derart ausgebildet ist, dass ausgehend von dem Schnittpunkt (P) auf einen Kopfauflage-Punkt ($\alpha(K)$, $m(K)$) für das tatsächliche Erreichen der Kopfauflage (K) zurückge-

geschlossen wird.

14. Schraubeinheit (6) nach dem vorhergehenden Anspruch,
dadurch gekennzeichnet, 5
dass das Überwachungsmodul (22) derart ausgebildet ist, dass zur Ermittlung des Kopfauflege-Punktes ($\alpha(K)$, $m(K)$) eine Steigung des Drehmomentverlaufs (M) vor / und oder nach dem Schnittpunkt (P) ausgewertet wird und dass als Kopfauflege-Punkt ($\alpha(K)$, $m(K)$) insbesondere ein weiterer Schnittpunkt zweier Geraden herangezogen wird, die die Steigung vor und nach dem weiteren Schnittpunkt repräsentieren. 10
 15. Verfahren zum Einschrauben einer insbesondere selbstformenden Schraube (2) in ein Werkstück (4) mit Hilfe einer Schraubeinheit (6) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei dem während des Einschraubvorgangs ein Drehmomentverlauf (M) erfasst und überwacht wird, 15
dadurch gekennzeichnet, 20
 - **dass** 25
 - aus dem Drehmomentverlauf (M) während des Einschraubens bis zu einer Kopfauflege (K) eine Trendlinie (L) abgeleitet wird,
 - eine Toleranzlinie (T) festlegt wird,
 - auf das Erreichen der Kopfauflege (K) erkannt wird, wenn die Trendlinie (L) oder der Drehmomentverlauf (M) die Toleranzlinie (T) an einem Schnittpunkt (P) schneidet und dass 30
 - ausgehend von der Kopfauflege (K) die Schraube (2) definiert festgezogen wird. 35

40

45

50

55

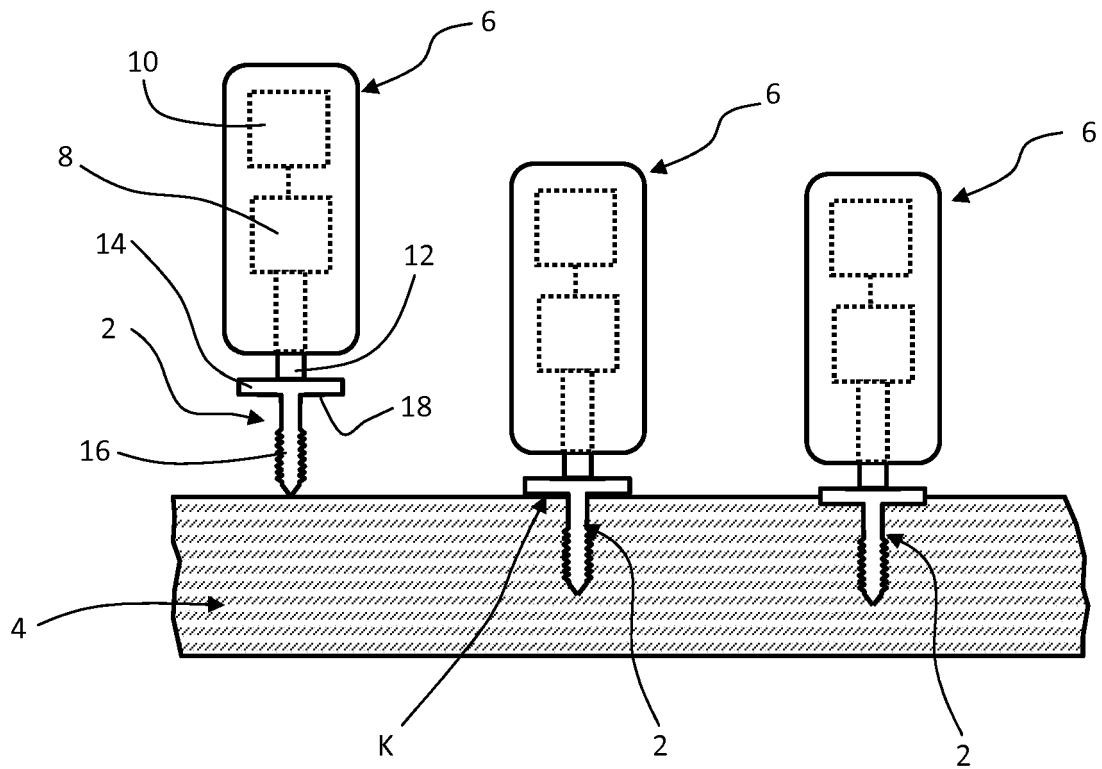


FIG 1

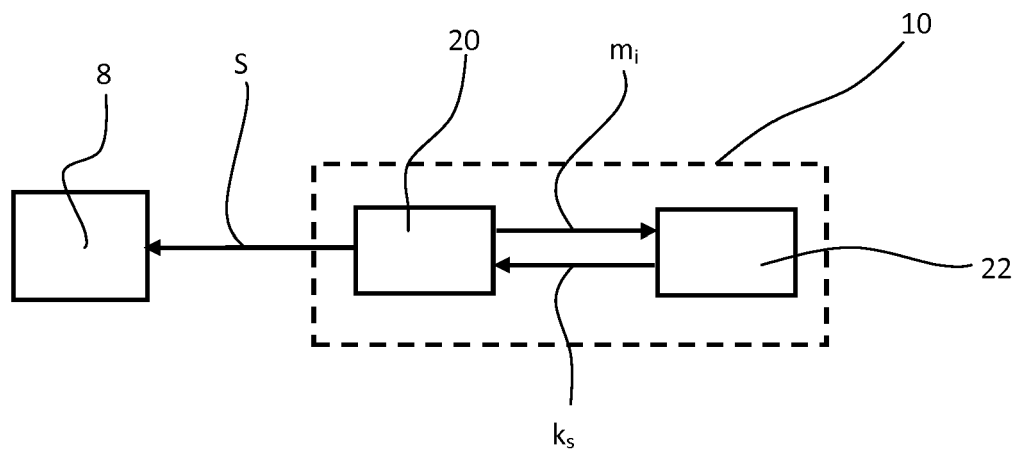


FIG 2

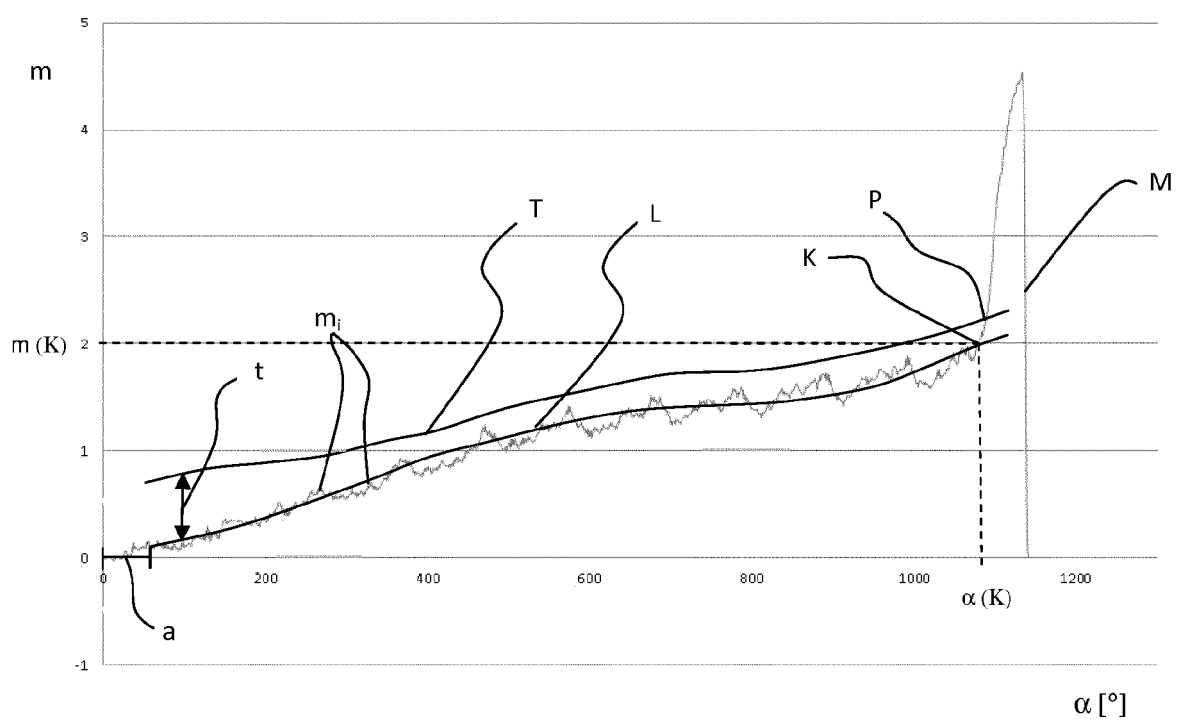


FIG 3

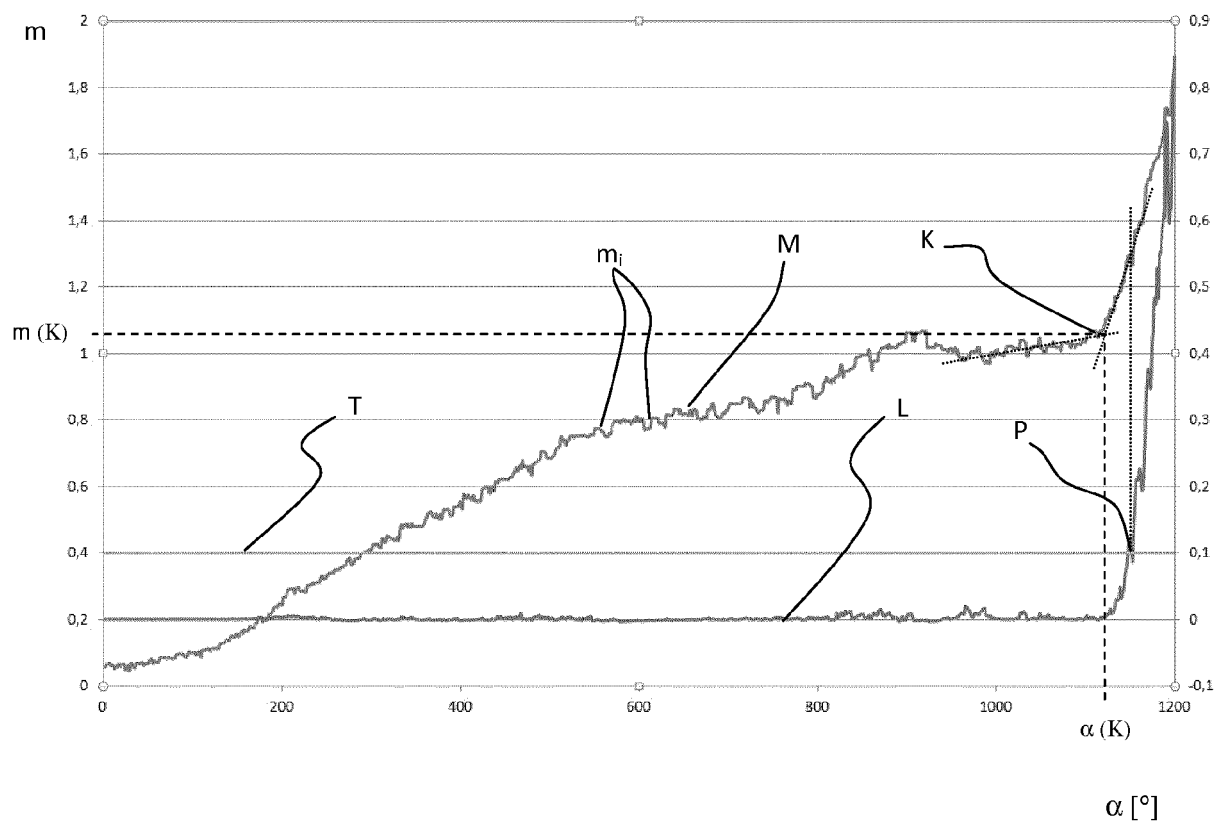


FIG 4



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

 Nummer der Anmeldung
EP 16 16 9427

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	DE 197 36 547 A1 (IBM [US]) 25. Februar 1999 (1999-02-25) * Spalte 1, Zeile 61 - Spalte 2, Zeile 23 * * Spalte 3, Zeile 61 - Spalte 4, Zeile 24 * * Spalte 4, Zeile 31 - Spalte 4, Zeile 49 * * Ansprüche 1,4,5; Abbildungen 1,2,4a,4b *	1-6, 9-13,15	INV. B25B23/14
A	DE 20 2014 105672 U1 (WILLE GMBH & CO KG EDUARD [DE]) 2. Dezember 2014 (2014-12-02) * das ganze Dokument *	1	
A	GB 2 096 361 A (INT HARVESTER CO) 13. Oktober 1982 (1982-10-13) * das ganze Dokument *	1	
A,D	EP 0 559 937 A1 (SIEMENS AG [DE]) 15. September 1993 (1993-09-15) * das ganze Dokument *	1	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B25B
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 12. Oktober 2016	Prüfer Pastramas, Nikolaos
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : mündliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

EPO FORM 1503 03.92 (P04C03)

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 16 16 9427

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
 Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
 Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

12-10-2016

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	DE 19736547 A1	25-02-1999	KEINE	
15	DE 202014105672 U1	02-12-2014	DE 202014105672 U1 EP 3025823 A1	02-12-2014 01-06-2016
	GB 2096361 A	13-10-1982	DE 3212038 A1 GB 2096361 A	11-11-1982 13-10-1982
20	EP 0559937 A1	15-09-1993	KEINE	
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- EP 0559937 A1 [0003]