



(10) **AT 517731 A1 2017-04-15**

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50864/2015 (51) Int. Cl.: **G01N 11/14** (2006.01)
 (22) Anmeldetag: 08.10.2015 **H02P 25/032** (2016.01)
 (43) Veröffentlicht am: 15.04.2017 **H02K 33/04** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
 US 5565620 A
 DE 102011001412 A1
 AT 508706 A1
 US 2009251087 A1
 EP 1553693 A1
 US 2006208683 A1
 DE 102009045822 A1
 US 2013221887 A1
 CN 101577517 A
 US 2010156332 A1
 EP 0752754 A1

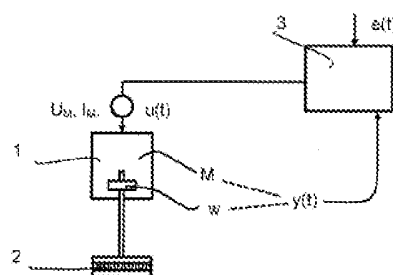
(71) Patentanmelder:
 ANTON PAAR GMBH
 8054 GRAZ-STRASSGANG (AT)

 (74) Vertreter:
 Wildhack & Jellinek Patentanwälte OG
 1030 Wien (AT)

(54) **Verfahren zur Ansteuerung eines Elektromotors**

(57) 1. Verfahren zur Ansteuerung eines Elektromotors (1) für ein Rheometer, wobei
 a) der Elektromotor (1) seine Antriebsenergie auf eine Probe (2) überträgt,
 b) ein Sollzeitverlauf ($e(t)$) für die Auslenkung (w) vorgegeben wird, periodische vorgegebene Form aufweist,
 c) Wert (y) für die Auslenkung (w) als Messgröße ($y(t)$) ermittelt wird,
 d) der Elektromotor (1) durch Vorgabe einer Stellgröße ($u(t)$) angesteuert wird,
 e) dass sich die Messgröße ($y(t)$) und die Stellgröße ($u(t)$) zueinander nichtlinear verhalten,
 f) für den Sollzeitverlauf ($e(t)$) eine Näherungsfunktion ($e'(t)$) als gewichtete Summe einer Anzahl vorgegebener Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) ermittelt wird, und die Gewichte für die Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) als Soll-Parameter-Vektor (E) ermittelt werden,
 g) die Stellgröße ($u(t)$) gewichtete Summe der Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) vorgegeben wird, und anschließend die folgenden Schritte h) bis k) entsprechend einem Regelvorgang laufend und wiederholt ausgeführt werden, nämlich
 h) die Messgröße ($y(t)$) abgetastet wird und die Abtastwerte innerhalb eines Zeitfensters (W) herangezogen werden,

i) für die Abtastwerte eine Näherungsfunktion ($y'(t)$) als gewichtete Summe der Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) ermittelt wird, und die Gewichte als Ist-Parameter-Vektor (Y) ermittelt werden,
 j) eine Differenz (D) zwischen dem Soll-Parameter-Vektor (E) und dem Ist-Parameter-Vektor (Y) vom Stellparameter-Vektor (U) abgezogen wird, und
 k) die Stellgröße ($u(t)$) als gewichtete Summe der Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) vorgegeben wird, wobei die Werte des neu erstellten Stellparameter-Vektors (U) als Gewichte in den folgenden Schritten h) bis j) verwendet werden.



Zusammenfassung

1. Verfahren zur Ansteuerung eines Elektromotors (1) für ein Rheometer, wobei
 - a) der Elektromotor (1) seine Antriebsenergie auf eine Probe (2) überträgt,
 - b) ein Sollzeitverlauf ($e(t)$) für die Auslenkung (w) vorgegeben wird, periodische vorgegebene Form aufweist,
 - c) Wert (y) für die Auslenkung (w) als Messgröße ($y(t)$) ermittelt wird,
 - d) der Elektromotor (1) durch Vorgabe einer Stellgröße ($u(t)$) angesteuert wird,
 - e) dass sich die Messgröße ($y(t)$) und die Stellgröße ($u(t)$) zueinander nichtlinear verhalten,
 - f) für den Sollzeitverlauf ($e(t)$) eine Näherungsfunktion ($e'(t)$) als gewichtete Summe einer Anzahl vorgegebener Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) ermittelt wird, und die Gewichte für die Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) als Soll-Parameter-Vektor (E) ermittelt werden,
 - g) die Stellgröße ($u(t)$) gewichtete Summe der Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) vorgegeben wird,
 und anschließend die folgenden Schritte h) bis k) entsprechend einem Regelvorgang laufend und wiederholt ausgeführt werden, nämlich
 - h) die Messgröße ($y(t)$) abgetastet wird und die Abtastwerte innerhalb eines Zeitfensters (W) herangezogen werden,
 - i) für die Abtastwerte eine Näherungsfunktion ($y'(t)$) als gewichtete Summe der Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) ermittelt wird, und die Gewichte als Ist-Parameter-Vektor (Y) ermittelt werden,
 - j) eine Differenz (D) zwischen dem Soll-Parameter-Vektor (E) und dem Ist-Parameter-Vektor (Y) vom Stellparameter-Vektor (U) abgezogen wird, und
 - k) die Stellgröße ($u(t)$) als gewichtete Summe der Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) vorgegeben wird, wobei die Werte des neu erstellten Stellparameter-Vektors (U) als Gewichte in den folgenden Schritten h) bis j) verwendet werden.

Fig. 1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ansteuerung eines Elektromotors für eine oszillierende Rotation der Antriebswelle, insbesondere für ein Rheometer.

Weiters betrifft die Erfindung eine Anordnung zur Ausübung einer oszillierenden Rotation der Antriebswelle, insbesondere für ein Rheometer zur Messung der Viskosität einer Probe.

Aus dem Stand der Technik sind unterschiedliche Ansteuerungsregelungen für Elektromotoren bekannt, die einen Elektromotor zu einer oszillierenden Rotation der Antriebswelle anregen. Solche Verfahren werden insbesondere eingesetzt, um die nichtlinearen, rheologischen Eigenschaften von Medien zu messen, wobei die Antriebswelle des Motors in den Bereich eines zu untersuchenden Mediums gebracht wird und durch Bewegung der Antriebswelle im betreffenden Medium dessen nichtlineare, rheologische Eigenschaften ermittelt werden. Besonders bevorzugt wird dabei eine rotierende Oszillation mit großen Auslenkungsamplituden, da bei Überschreitung bestimmter Grenzwerte durch die verwendeten Auslenkungsamplituden die verwendeten Medien bzw. Proben ein nichtlineares Verhalten zeigen. Aus dem Stand der Technik ist es insbesondere bekannt, das Deformationsverhalten unter zyklischer Beanspruchung, insbesondere Dehnung und Kompression zwischen zwei Messteilen zu untersuchen, wobei zumindest einer der Messteile mit der Antriebswelle des Motors verbunden ist. Ein derart ausgebildetes, sogenanntes Rotationsrheometer weist scherende Platten auf, zwischen denen die zu untersuchende Probe angeordnet ist, wobei eine der scherenden Platten mit der Antriebswelle des Elektromotors verbunden ist.

Aus dem Stand der Technik sind Rotations- und Oszillationsrheometer als Instrumente zur Bestimmung des Fließverhaltens von viskoelastischen Proben mittels unterschiedlicher Versuchsstellungen, wie beispielsweise Rotations-, Relaxations- und Oszillationsversuchen, bekannt. Dabei kann sowohl das Fließverhalten von Flüssigkeiten als auch das Deformationsverhalten von Festkörpern untersucht werden. Im Allgemeinen zeigen reale Proben eine Kombination von elastischem und plastischem Verhalten. Das zu untersuchende Probenmaterial wird in einen Messraum zwischen zwei Messteilen eingebracht und mittels Höhenverstellung und geeigneter Sensoren wird der Abstand zwischen den beiden Messteilen bestimmt. Oberes und unteres Messteil werden gegeneinander um eine gemeinsame Rotationsachse relativ bewegt. Die Probe wird aufgrund der Drehung der Messteile gegeneinander einer Scherbelastung unterzogen. In einem derartigen Messaufbau sind sowohl rotierende als auch rotierend oszillierende Bewegungen möglich. Grundsätzlich können unterschiedliche Geometrien für einen derartigen Versuchsaufbau verwendet werden, insbesondere Messsysteme, bei denen

das Medium zwischen zwei Platten eingeklemmt ist, oder Messsysteme, bei denen das Medium zwischen einem Kegel und einer Platte eingeklemmt ist, oder Messsysteme, bei denen das Medium zwischen zwei konzentrisch angeordneten, gegeneinander rotierenden Zylindern angeordnet ist.

Aus dem Stand der Technik sind verschiedene Rheometer bekannt, bei denen die Drehmomentbestimmung mittels einen für Antrieb und Drehmomentbestimmung ausgelegten Motors erfolgt. Alternativ kann die Drehmomentbestimmung jedoch auch über zwei voneinander getrennte Einheiten für Antrieb und Rotation vorgenommen werden, die jeweils einem der Messteile zugeordnet sind. Darüber hinaus sind auch Geräte mit zwei Messmotoren bekannt, wie beispielsweise aus der österreichischen Patentschrift AT 508.706 B1 hervorgeht.

Unabhängig von der Art des Motors können synchrone Motoren mit Permanentmagneten, aber auch asynchrone Motoren im Rahmen der Erfindung verwendet werden. Im Rahmen der Erfindung kann die Amplitude der Oszillationsbewegung, die Oszillationsfrequenz, die Drehzahl des Motors oder das auf die Probe wirkende Drehmoment vorgegeben werden.

Die Messung des Drehmoments kann im Allgemeinen über den Stromverbrauch des jeweiligen Elektromotors erfolgen, wobei je nach verwendetem Motor bzw. Gerätetyp für das Drehmoment ein funktionaler Zusammenhang mit der Stromaufnahme des Motors besteht:

$N = c_1 \times I$ oder $N = c_2 \times I^2$, wobei die beiden Konstanten c_1 und c_2 gerätespezifisch sind.

Die Auslenkung des oszillierenden Motors kann auf unterschiedliche Weise ermittelt werden, insbesondere optisch.

Ziel der Messung einer Probe ist es, für unterschiedliche Amplituden, Auslenkungen und Frequenzen, die unabhängig voneinander modifiziert werden können, unterschiedliche Messwerte zu erhalten. Die so ermittelten Messwerte werden als rheologische Fingerprint des zu untersuchenden Materials bezeichnet.

Hierbei besteht jedoch das wesentliche Problem, dass durch das nichtlineare Verhalten des Mediums bzw. der Probe auch die jeweilige Anregung mitverändert wird.

Aufgabe der Erfindung ist es daher, eine Ansteuerung eines Elektromotors für eine oszillierende Rotation zu schaffen, bei der entweder der zeitliche Verlauf des

Drehmoments oder der zeitliche Verlauf der Auslenkung vorab frei festlegbar ist. Insbesondere ist es Aufgabe der Erfindung, dass der Zeitverlauf des Drehmoments oder der Auslenkung mit großer Genauigkeit die Form einer Sinus- oder Kosinus-Schwingung annimmt.

Die Erfindung löst diese Aufgabe mit den kennzeichnenden Merkmalen des Anspruchs 1.

Hierfür schlägt die Erfindung eine konkrete Ansteuerung des Elektromotors vor. Erfindungsgemäß ist bei einem Verfahren zur Ansteuerung eines Elektromotors für eine oszillierende Rotation der Antriebswelle, insbesondere für ein Rheometer, vorgesehen, dass

- a) der Elektromotor seine Antriebsenergie auf eine Probe überträgt, die sich der Oszillation des Elektromotors widersetzt,
- b) ein zu erreichender Sollzeitverlauf für die Auslenkung oder für das Probendrehmoment vorgegeben wird, und dieser Sollzeitverlauf eine periodische vorgegebene Form aufweist,
- c) dass der tatsächliche Wert für die Auslenkung oder für das Probendrehmoment laufend als Messgröße ermittelt wird,
- d) dass der Elektromotor durch Vorgabe einer Stellgröße in Form der an ihm anliegenden Spannung oder des durch ihn fließenden Stroms angesteuert wird,
- e) dass sich die Messgröße und die Stellgröße zumindest innerhalb eines Bereichs zwischen dem Maximum und dem Minimum des vorgegebenen periodischen Sollzeitverlaufs zueinander nichtlinear verhalten,
- f) dass für den Sollzeitverlauf eine Näherungsfunktion als gewichtete Summe einer Anzahl vorgegebener periodischer, und gegebenenfalls zeitlich verschobener, Basisfunktionen (ermittelt wird, und die herangezogenen Gewichte für die einzelnen Basisfunktionen als Soll-Parameter-Vektor ermittelt werden,
- g) dass die Stellgröße als mit Stellparametern eines Stellparameter-Vektors gewichtete Summe der Basisfunktionen vorgegeben wird, wobei als Stellparameter-Vektor initial der Soll-Parameter-Vektor multipliziert mit einem vorgegebenen Faktor vorgegeben wird, und anschließend die folgenden Schritte h) bis k) entsprechend einem Regelvorgang laufend und wiederholt ausgeführt werden, nämlich
- h) dass die Messgröße laufend abgetastet wird und die letzten ermittelten Abtastwerte für die Messgröße innerhalb eines vorgegebenen Zeitfensters herangezogen werden,
- i) dass für die Abtastwerte der Messgröße innerhalb des Zeitfensters eine Näherungsfunktion als gewichtete Summe der Basisfunktionen ermittelt wird, und die herangezogenen Gewichte für die einzelnen Basisfunktionen als Ist-Parameter-Vektor ermittelt werden,

- j) dass eine Differenz zwischen dem Soll-Parameter-Vektor und dem Ist-Parameter-Vektor ermittelt wird und dass diese Differenz, gegebenenfalls gewichtet mit einem weiteren vorgegebenen Faktor, vom Stellparameter-Vektor abgezogen wird, und
- k) dass die anschließend verwendete Stellgröße als gewichtete Summe der Basisfunktionen vorgegeben wird, wobei die Werte des neu erstellten Stellparameter-Vektors als Gewichte in den folgenden Schritten h) bis j) verwendet werden.

Die Erfindung betrifft auch eine Anordnung umfassend einen Regler sowie einen Motor gemäß Anspruch 6.

Dabei ergeben sich deutliche Verbesserungen bei der Verwendung von großen Signalamplituden, bei denen das zu untersuchende Medium bzw. die zu untersuchende Probe im nichtlinearen Kraft- bzw. Dehnungsbereich betrieben wird. Insbesondere erlaubt es die Erfindung, einen sehr genauen Sinus- bzw. Kosinus-Verlauf des Drehmoments oder der Auslenkung des Elektromotors vorzugeben.

Um die Frequenzabhängigkeit einzelner nichtlinearer Effekte der Probe besser berücksichtigen zu können, kann vorgesehen sein, dass als Basisfunktion Sinus- und Kosinus-Drehmomente herangezogen werden.

Um ein Spektrum unterschiedlicher Frequenzen auf einfache Weise erzeugen zu können, kann vorgesehen sein, dass eine erste Basisfunktion eine vorgegebene Grundform aufweist und die weiteren Basisfunktion gegenüber der ersten Basisfunktion jeweils um einen ganzzahligen Wert gestaucht sind, sodass $f_n(t) = t_1(n \cdot t)$.

Zur Reduktion der erforderlichen Rechenzeit kann vorgesehen sein, dass die Anzahl der gewählten Basisfunktionen kleiner ist als 5.

Eine bevorzugte Ausführungsform der Erfindung, die eine rasche Signalanpassung in Echtzeit ermöglicht, sieht vor, dass die Basisfunktionen als periodische Funktionen vorgegeben werden, und dass die Abtastung derart gewählt wird, dass mehr als hundert Abtastungen während der Periodendauer der Basisfunktion mit der längsten Periode stattfinden.

Zum selben Zweck kann vorgesehen sein, dass die Basisfunktionen periodisch vorgegeben werden, und dass das Zeitfenster, innerhalb dessen die Abtastungen

vorgenommen werden, eine Dauer von zwischen 25 und 50 % der Periodendauer der Basisfunktion mit der längsten Periode aufweist.

Die Anpassung, wie in den Merkmalen h) bis k) des Patentanspruchs 1 beschrieben, wird vorzugsweise mehrfach vorgenommen, um eine gute Korrelation zwischen Sollsignal und Ist-Signal zu erreichen. Hierfür kann vorteilhaft vorgesehen sein, dass als Basisfunktionen periodische Funktionen vorgegeben werden, und dass die Anpassung der Schritte h) bis k) des Patentanspruchs 1 periodisch wiederholt wird, wobei zwischen je zwei Anpassungen jeweils eine Zeitspanne von zwischen 25 und 100 % der Periodendauer der Basisfunktion mit der längsten Periode liegt.

Eine besonders bevorzugte Ausführungsform der Erfindung ist näher in den Zeichnungsfiguren dargestellt.

Fig. 1 zeigt einen Motor 1, der von einem Regler 3 über eine Spannungsquelle mit einem vorgegebenen Spannungsverlauf U_M oder einem Stromverlauf I_M beaufschlagt wird. Der Regler 3 liegt in Abhängigkeit von einem vorgegebenen Soll-Zeitverlauf für die Auslenkung w des Motors oder für das Probendrehmoment M entsprechend dem Stromzeitverlauf oder den Spannungszeitverlauf als Stellgröße $u(t)$ fest. Der Elektromotor 1 wird für eine oszillierende Rotation seiner Antriebswelle angesteuert. Der Elektromotor 1 überträgt seine Antriebsenergie über eine Motorwelle auf eine Probe 2, die sich zwischen zwei Platten befindet, von denen zumindest eine gegen die Probe 2 rotiert wird, sodass die Probe 2 insgesamt einer Scher- oder Drehbewegung unterliegt. Aufgrund der konkreten Viskosität der Probe 2 treten je nach Auslenkung der Antriebswelle des Elektromotors 1 unterschiedliche Drehmomente auf der Motorwelle auf. Diese ermittelten oder eingestellten Auslegungen w und Drehmomente M können zueinander in Relation gesetzt werden, woraus das konkrete viskoelastische Verhalten der zu untersuchenden Probe 2 ermittelt werden kann.

Damit eine solche Messung insgesamt vorgenommen werden kann, wird entweder das Probendrehmoment M oder die Auslenkung w vorab in Form einer Sollgröße $e(t)$ vorgegeben. Der Sollzeitverlauf $e(t)$ weist dabei eine periodische, vorgegebene Form auf und ist dem Regler 3 vorgegeben.

In der Anordnung der **Fig. 1** ist ein nicht dargestelltes Messgerät enthalten, die entweder den tatsächlichen Wert der Auslenkung w oder den tatsächlichen Wert des Probendrehmoments M laufend bestimmt. Dieses Messgerät liefert letztlich tatsächliche

Werte für die Auslenkung w oder das Probendrehmoment M als Messgröße $y(t)$ und übermittelt diese an den Regler 3.

Im Rahmen der Erfindung wird vorausgesetzt, dass sich die Probe 2 nichtlinear verhält. Bewegt man die Antriebswelle des Motors 1 nur innerhalb eines kleinen Auslenkungsbereichs um einen Arbeitspunkt, so verhält sich die Probe 2 üblicherweise linear rund um den betreffenden Arbeitspunkt. Erhöht man jedoch die Auslenkung w , so hat dies bei einer nichtlinearen Probe 2 zur Folge, dass sich die Messgrößen $y(t)$ und die Stellgröße $u(t)$ zumindest innerhalb eines Bereichs zwischen dem Maximum und dem Minimum des vorgegebenen, periodischen Sollzeitverlaufs $e(t)$ zueinander nichtlinear verhalten. Aufgrund dieses nichtlinearen Verhaltens ist es auch nicht möglich, bereits vorab eine Stellgröße $u(t)$ zu schätzen oder zu ermitteln, die letztlich den erwünschten Sollzeitverlauf $e(t)$ erzielt. Darüber hinaus kann auch das Problem bestehen, dass sich eine Probe 2 während der Messung verändert, sich insbesondere hysteretisch verhält, sodass eine VorabEinstellung einer Stellgröße $u(t)$ zur Erreichung eines vorgegebenen Sollzeitverlaufs $e(t)$ nicht möglich ist. Aus diesem Grund verwendet die Erfindung das im Folgenden näher dargestellte iterative Verfahren, in dem letztendlich auf einfache Weise der vorgegebene Sollzeitverlauf $e(t)$ für die Auslenkung w oder das Probendrehmoment M erreicht wird.

Initial, dh noch vor der iterativen Einstellung wird für den Sollzeitverlauf $e(t)$ eine Näherungsfunktion $e'(t)$ ermittelt, die als gewichtete Summe einer Anzahl von vorgegebenen, periodischen und gegebenenfalls zeitlich verschobenen Basisfunktionen $f_1(t)$, $f_2(t)$, ... ermittelt wird.

Als Basisfunktionen $f_1(t)$, $f_2(t)$, ... werden vorteilhafterweise Sinus- oder Kosinusschwingungen $f_1(t) = \sin(a_0 t)$, $f_2(t) = \sin(2 a_0 t)$, ... herangezogen, wobei a_0 eine Basisfrequenz, von insbesondere 1 Hz, darstellt und die erste Basisfunktion $f_1(t)$ eine vorgegebene Grundform aufweist und die weiteren Basisfunktionen gegenüber der ersten Basisfunktion jeweils um einen vorgegebenen ganzzahligen Wert gestaucht sind, sodass $f_n(t) = f_1(n \cdot t)$. Bevorzugterweise werden insgesamt nur wenige Basisfunktionen herangezogen, das vorliegende Ausführungsbeispiel verwendet insgesamt nur drei Basisfunktionen.

Ein vorteilhaftes Beispiel für Basisfunktionen ist beispielsweise in **Fig. 2** näher dargestellt. Will man den Sollzeitverlauf $e(t)$ durch eine Näherungsfunktion $e'(t)$ darstellen, so sind die einzelnen Gewichte zu ermitteln, mit denen die Basisfunktionen $f_1(t)$, $f_2(t)$, ... zu gewichten

sind, um letztlich auf einen Zeitverlauf zu kommen, der dem Sollzeitverlauf $e(t)$ möglichst entspricht $e(t) \sim e'(t) = e_1 f_1(t) + e_2 f_2(t) + \dots$. Die so ermittelten Gewichte $e_1, e_2, \dots$ werden als Soll-Parameter-Vektor $E = [e_1, e_2, \dots]$ ermittelt und für das weitere Vorgehen zur Verfügung gehalten. Sofern man Sinus- und Kosinusschwingungen verwendet, können die Werte des Soll-Parameter-Vektors E beispielsweise mittels diskreter Fourier-Transformation oder Fast-Fourier-Transformation (FFT) ermittelt werden.

Zum initialen Festlegen der Stellgröße $u(t)$ wird ein Stell-Parameter-Vektor $U = [u_1, u_2, \dots]$ vorgegeben, dessen einzelne Elemente Gewichte darstellen, die – multipliziert mit den Basisfunktionen – als gewichtete Summe die Stellgröße $u(t)$ näherungsweise wiedergeben.

$$u(t) \sim u'(t) = u_1 f_1(t) + u_2 f_2(t) + \dots$$

Als Initialwert für den Stell-Parameter-Vektor U wird der Soll-Parameter-Vektor E , multipliziert mit einem vorgegebenen Faktor x , vorgegeben. Der vorgegebene Faktor x wird vorab wie folgt festgelegt: 0.5 bei M- Vorgabe und $0.5 \cdot J \cdot (2 \cdot \pi \cdot f_n)^2$ bei w-Vorgabe (J : Trägheitsmoment Messantrieb)

Im Folgenden wird nun ein iteratives Verfahren dargestellt, mit dem der Regler 3 laufend die Stellgröße $u(t)$ anpasst um eine Auslenkung w oder ein Probendrehmoment M entsprechend dem vorgegebenen Sollzeitverlauf $e(t)$ zu erstellen. Zu diesem Zweck wird, wie in **Fig. 3** dargestellt, die Messgröße $y(t)$ – das ist entweder die Auslenkung w oder das Probendrehmoment M – abgetastet. Vorteilhafterweise erfolgt die Abtastung in sehr kurzen Intervallen, wobei, bezogen auf die Periodendauer der Basisfunktion $f_1(t)$ mit der jeweils längsten Periode, mehr als hundert Abtastungen während einer solchen Periodendauer vorgenommen werden. Bei einer Periodendauer der Basisfunktion $f_1(t)$ von 1000 ms beträgt die Abtastrate vorzugsweise 512Hz . Bevorzugt werden pro Schwingung zwischen 256 und 512 Abtastwerte, insbesondere 256 oder 512 Abtastwerte aufgenommen.

Die Abtastwerte innerhalb eines Zeitfensters W , das der aktuellen Zeit jeweils unmittelbar vorangeht, werden herangezogen. Das Zeitfenster W , innerhalb dessen die Abtastungen herangezogen werden, wird etwa auf eine Dauer von zwischen 25% und 100 % der Periodendauer der Basisfunktion $f_1(t)$ mit der längsten Periode festgelegt.

Anschließend werden auch die Abtastwerte der Messgröße $y(t)$ innerhalb des Zeitfensters W derselben Analyse unterzogen, wie der Sollzeitverlauf. Es wird eine Näherungsfunktion $y'(t)$ als gewichtete Summe der Basisfunktionen ermittelt, die einzelnen, so ermittelten

Gewichte für die einzelnen Basisfunktionen werden zu einem Ist-Parameter-Vektor Y zusammengefasst.

$$y(t) \sim y'(t) = y_1 f_1(t) + y_2 f_2(t) + \dots ; Y = [y_1, y_2, \dots]$$

In einem weiteren Schritt wird die Differenz D zwischen dem Soll-Parameter-Vektor E und dem Ist-Parameter-Vektor Y ermittelt. Diese Differenz D wird mit einem vorgegebenen Faktor v , der insbesondere zwischen 0.2 und 0.5 liegt, gewichtet. Diese Differenz D wird vom Stellparameter U_n abgezogen und derart der Stellparameter U_{n+1} für den nächsten Iterationsschritt gebildet.

$$U_{n+1} := U_n - D = U_n - (E - Y) * v$$

In einem letzten Schritt wird die Stellgröße $u(t)$ für den nächsten Iterationsschritt als gewichtete Summe der Basisfunktionen basierend auf dem neu ermittelten Stellparametervektor U_{n+1} ermittelt. $u(t) = u_1 f_1(t) + u_2 f_2(t)$ Anschließend wird erneut eine Abtastung innerhalb eines anschließenden Zeitfensters W durchgeführt, erneut ein Ist-Parameter-Vektor Y ermittelt, die Differenz D zwischen dem Soll-Parameter-Vektor E und dem Ist-Parameter-Vektor Y ermittelt und vom Stell-Parameter-Vektor U abgezogen und erneut der Stell-Parameter-Vektor U zur Erstellung der Stellgröße $u(t)$ herangezogen. Dieser Vorgang wird vom Regler 3 laufend vorgenommen, um eine entsprechende Anpassung der Messgröße, d.h. der Auslenkung w oder des Probendrehmoments M , zu erreichen.

Die Anpassung kann beliebig oft wiederholt werden. Zwischen je zwei Anpassungen liegt jeweils eine Zeitspanne von zwischen 25 und 100 % der Periodendauer der Basisfunktion $f_1(t)$ mit der längsten Periode.

Patentansprüche:

1. Verfahren zur Ansteuerung eines Elektromotors (1) für eine oszillierende Rotation der Antriebswelle, insbesondere für ein Rheometer,

a) wobei der Elektromotor (1) seine Antriebsenergie auf eine Probe (2) überträgt, die sich der Oszillation des Elektromotors (1) widersetzt,

dadurch gekennzeichnet,

b) dass ein zu erreichender Sollzeitverlauf ($e(t)$) für die Auslenkung (w) oder für das Probendrehmoment (M) vorgegeben wird, und dieser Sollzeitverlauf ($e(t)$) eine periodische vorgegebene Form aufweist,

c) dass der tatsächliche Wert (y) für die Auslenkung (w) oder für das Probendrehmoment (M) laufend als Messgröße ($y(t)$) ermittelt wird,

d) dass der Elektromotor (1) durch Vorgabe einer Stellgröße ($u(t)$) in Form der an ihm anliegenden Spannung (U_M) oder des durch ihn fließenden Stroms (I_M) angesteuert wird,

e) dass sich die Messgröße ($y(t)$) und die Stellgröße ($u(t)$) zumindest innerhalb eines Bereichs zwischen dem Maximum und dem Minimum des vorgegebenen periodischen Sollzeitverlaufs ($e(t)$) zueinander nichtlinear verhalten,

f) dass für den Sollzeitverlauf ($e(t)$) eine Näherungsfunktion ($e'(t)$) als gewichtete Summe einer Anzahl vorgegebener periodischer, und gegebenenfalls zeitlich verschobener, Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) ermittelt wird, und die herangezogenen Gewichte für die einzelnen Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) als Soll-Parameter-Vektor (E) ermittelt werden,

g) dass die Stellgröße ($u(t)$) als mit Stellparametern eines Stellparameter-Vektors (U) gewichtete Summe der Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) vorgegeben wird, wobei als Stellparameter-Vektor (U) initial der Soll-Parameter-Vektor (E) multipliziert mit einem vorgegebenen Faktor (x) vorgegeben wird,

und anschließend die folgenden Schritte h) bis k) entsprechend einem Regelvorgang laufend und wiederholt ausgeführt werden, nämlich

h) dass die Messgröße ($y(t)$) laufend abgetastet wird und die letzten ermittelten Abtastwerte für die Messgröße ($y(t)$) innerhalb eines vorgegebenen Zeitfensters (W) herangezogen werden,

i) dass für die Abtastwerte der Messgröße ($y(t)$) innerhalb des Zeitfensters (W) eine Näherungsfunktion ($y'(t)$) als gewichtete Summe der Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) ermittelt wird, und die herangezogenen Gewichte für die einzelnen Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) als Ist-Parameter-Vektor (Y) ermittelt werden,

j) dass eine Differenz (D) zwischen dem Soll-Parameter-Vektor (E) und dem Ist-Parameter-Vektor (Y) ermittelt wird und dass diese Differenz (D), gegebenenfalls

gewichtet mit einem weiteren vorgegebenen Faktor, vom Stellparameter-Vektor (U) abgezogen wird, und

k) dass die anschließend verwendete Stellgröße ($u(t)$) als gewichtete Summe der Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) vorgegeben wird, wobei die Werte des neu erstellten Stellparameter-Vektors (U) als Gewichte in den folgenden Schritten h) bis j) verwendet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet,

- dass als Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) Sinus- und Kosinusschwingungen herangezogen werden, und/oder
- dass eine erste Basisfunktion ($f_1(t)$) eine vorgegebene Grundform aufweist und die weiteren Basisfunktionen ($f_2(t)$, ...) gegenüber der ersten Basisfunktion $f_1(t)$ jeweils um einen vorgegebenen ganzzahligen Wert n gestaucht sind, sodass $f_n(t) = f_1(n \cdot t)$ und/oder
- dass die Anzahl der Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...), kleiner als 5 ist.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet,

- die Basisfunktionen als periodische Funktionen vorgegeben werden, und
- dass die Abtastung derart gewählt wird, dass mehr als 100 Abtastungen während der Periodendauer der Basisfunktion mit der längsten Periode stattfinden.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

- die Basisfunktionen periodisch vorgegeben werden, und
- dass das Zeitfenster (W), innerhalb dessen Abtastungen herangezogen werden, eine Dauer von zwischen 25% und 100% der Periodendauer der Basisfunktion mit der längsten Periode aufweist.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet,

- die Basisfunktionen als periodische Funktionen vorgegeben werden, und
- dass die Anpassung der Schritte h) bis k) des Anspruchs 1 periodisch wiederholt wird, wobei zwischen je zwei Anpassungen jeweils eine Zeitspanne von zwischen 25% und 100% der Periodendauer Basisfunktion mit der längsten Periode liegt.

6. Anordnung zur Ausübung einer oszillierenden Rotation der Antriebswelle, insbesondere für ein Rheometer zur Messung der Viskosität einer Probe (2), umfassend einen Elektromotor (1) sowie einen Motorregler (3),

a) wobei der Elektromotor (1) eine Antriebswelle zur Übertragung seiner Antriebsenergie auf die Probe (2) aufweist,

dadurch gekennzeichnet,

- b) dass dem Regler (3) ein zu erreichender periodischer Sollzeitverlauf ($e(t)$) für die Auslenkung (w) oder für das Probendrehmoment (M) vorab vorgegeben ist,
 - c) dass ein Messgerät vorgesehen ist, das den tatsächlichen Wert (y) für die Auslenkung (w) oder für das Probendrehmoment (M) laufend als Messgröße ($y(t)$) ermittelt und dem Regler (3) meldet,
 - d) dass der Regler (3) den Elektromotor (1) durch Vorgabe einer Stellgröße ($u(t)$) in Form der an ihm anliegenden Spannung (U_M) oder des durch ihn fließenden Stroms (I_M) ansteuert,
 - e) dass sich die Messgröße ($y(t)$) und die Stellgröße ($u(t)$) zumindest innerhalb eines Bereichs zwischen dem Maximum und dem Minimum des vorgegebenen periodischen Sollzeitverlaufs ($e(t)$) zueinander nichtlinear verhalten,
 - f) dass der Regler (3) für den Sollzeitverlauf ($e(t)$) eine Näherungsfunktion ($e'(t)$) als gewichtete Summe einer Anzahl vorgegebener periodischer, und gegebenenfalls zeitlich verschobener, Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) ermittelt, und die herangezogenen Gewichte für die einzelnen Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) als Soll-Parameter-Vektor (E) ermittelt,
 - g) dass der Regler (3) die Stellgröße ($u(t)$) als mit Stellparametern eines Stellparameter-Vektors (U) gewichtete Summe der Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) vorgibt, wobei er als Stellparameter-Vektor (U) initial der Soll-Parameter-Vektor (E) multipliziert mit einem vorgegebenen Faktor (x) vorgibt,
- und der Regler (3) anschließend die folgenden Schritte h) bis k) entsprechend einem Regelvorgang laufend und wiederholt ausgeführt werden, nämlich
- h) dass der Regler (3) vom Messgerät die Messgröße ($y(t)$) laufend abtastet und die letzten ermittelten Abtastwerte für die Messgröße ($y(t)$) innerhalb eines vorgegebenen Zeitfensters (W) heranzieht,
 - i) dass der Regler (3) für die Abtastwerte der Messgröße ($y(t)$) innerhalb des Zeitfensters (W) eine Näherungsfunktion ($y'(t)$) als gewichtete Summe der Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) ermittelt, und die herangezogenen Gewichte für die einzelnen Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) als Ist-Parameter-Vektor (Y) ermittelt,
 - j) dass der Regler (3) die Differenz (D) zwischen dem Soll-Parameter-Vektor (E) und dem Ist-Parameter-Vektor (Y) ermittelt und dass der Regler (3) diese Differenz (D), gegebenenfalls gewichtet, mit einem weiteren vorgegebenen Faktor, vom Stellparameter-Vektor (U) abzieht, und
 - k) dass der Regler (3) die anschließend verwendete Stellgröße ($u(t)$) als gewichtete Summe der Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) vorgibt, wobei Regler (3) die Werte des neu erstellten Stellparameter-Vektors (U) als Gewichte in den folgenden Schritten h) bis j) verwendet.

7. Anordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet,

- dass die Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...) Sinus- und Kosinusschwingungen herangezogen sind, und/oder
- dass eine erste Basisfunktion ($f_1(t)$) eine vorgegebene Grundform aufweist und die weiteren Basisfunktionen ($f_2(t)$, ...) gegenüber der ersten Basisfunktion $f_1(t)$ jeweils um einen vorgegebenen ganzzahligen Wert n gestaucht sind, sodass $f_n(t) = f_1(n \cdot t)$ und/oder
- dass die Anzahl der Basisfunktionen ($f_1(t)$, $f_2(t)$, ...), kleiner als 5 ist.

8. Anordnung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet,

- die Basisfunktionen als periodische Funktionen sind, und
- dass die Abtastung derart gewählt ist, dass mehr als 100 Abtastungen während der Periodendauer der Basisfunktion mit der längsten Periode stattfinden.

9. Anordnung nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet,

- die Basisfunktionen periodisch sind, und
- dass das Zeitfenster (W), innerhalb dessen Abtastungen herangezogen werden, eine Dauer von zwischen 25% und 100% der Periodendauer der Basisfunktion mit der längsten Periode aufweist.

10. Anordnung nach einem der Ansprüche 6 bis 9, dadurch gekennzeichnet,

- die Basisfunktionen als periodisch sind, und
- dass der Regler (3) die Anpassung der Schritte h) bis k) des Anspruchs 6 periodisch wiederholt, wobei zwischen je zwei Anpassungen jeweils eine Zeitspanne von zwischen 25% und 100% der Periodendauer Basisfunktion $f_1(t)$ mit der längsten Periode liegt.

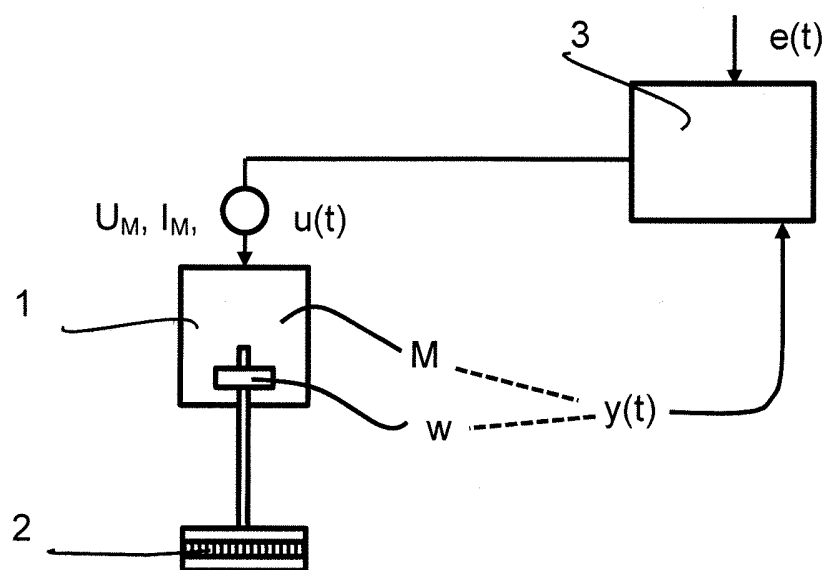


Fig. 1

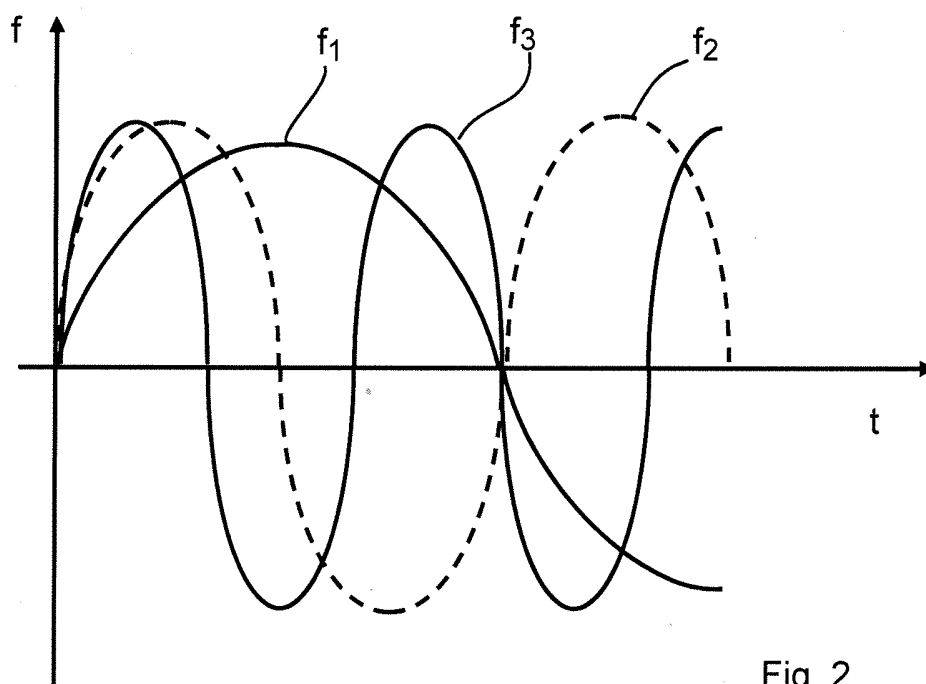


Fig. 2

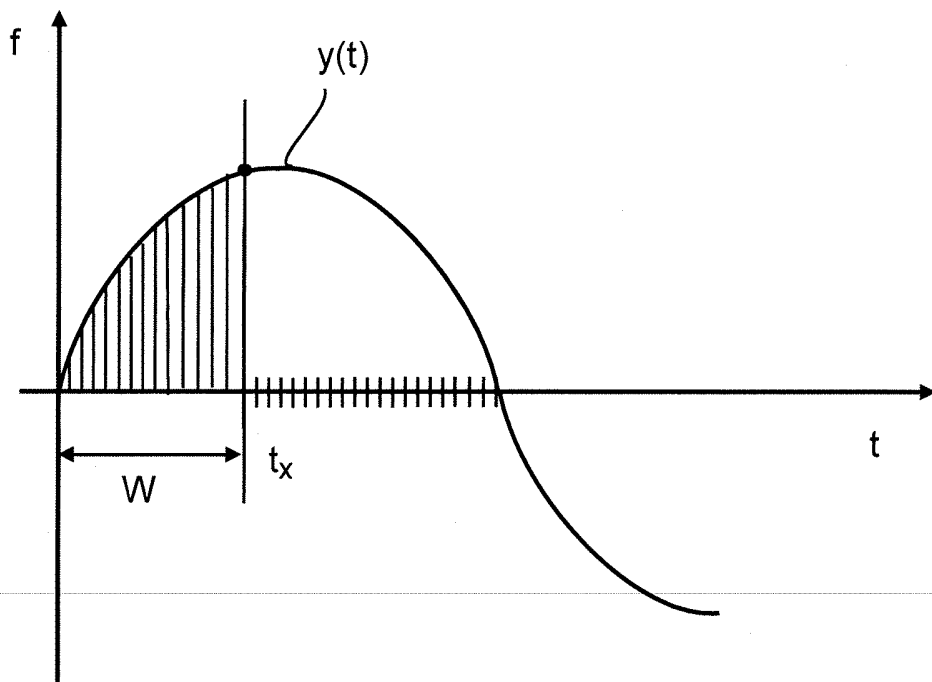


Fig. 3

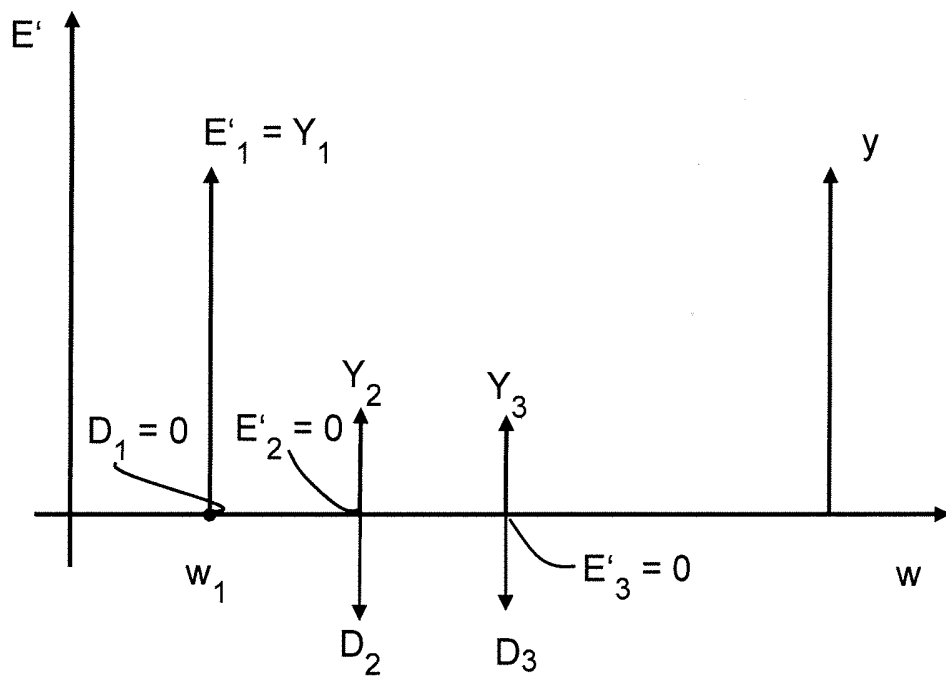


Fig. 4

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß IPC:
G01N 11/14 (2006.01); **H02P 25/032** (2016.01) ; **H02K 33/04** (2006.01)

Klassifikation des Anmeldungsgegenstands gemäß CPC:
G01N 11/142 (2013.01); **H02P 25/032** (2016.02); **H02K 33/04** (2013.01); **H02P 2209/11** (2013.01)

Recherchierte Prüfstoff (Klassifikation):

G01N, H02P, H02K

Konsultierte Online-Datenbank:

WPI, EPODOC, Volltext, ELSEVIER, NPL,

Dieser Recherchenbericht wurde zu den am **08.10.2015** eingereichten Ansprüchen **1-10** erstellt.

Kategorie ¹⁾	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	US 5565620 A (BOHLIN LEIF) 15. Oktober 1996 (15.10.1996) das ganze Dokument	1-10
A	DE 102011001412 A1 (SCARABAEUS MESS UND PRODUKTIONSTECHNIK GMBH) 20. September 2012 (20.09.2012) das ganze Dokument	1-10
A	AT 508706 A1 (ANTON PAAR GMBH) 15. März 2011 (15.03.2011) das ganze Dokument	1-10
A	US 2009251087 A1 (TAKEI YASUYUKI) 08. Oktober 2009 (08.10.2009) das ganze Dokument	1-10
A	EP 1553693 A1 (DENSO CORP) 13. Juli 2005 (13.07.2005) das ganze Dokument	1-10
A	US 2006208683 A1 (IDE YUUIJI) 21. September 2006 (21.09.2006) das ganze Dokument	1-10
A	DE 102009045822 A1 (BOSCH GMBH ROBERT) 28. April 2011 (28.04.2011) das ganze Dokument	1-10
A	US 2013221887 A1 (AGHILI FARHAD) 29. August 2013 (29.08.2013) das ganze Dokument	1-10
A	CN 101577517 A (UNIV BEIJING TECHNOLOGY) 11. November 2009 (11.11.2009) das ganze Dokument	1-10
A	US 2010156332 A1 (LIN YOU-REN et al.) 24. Juni 2010 (24.06.2010) das ganze Dokument	1-10

Datum der Beendigung der Recherche:
07.07.2016

Seite 1 von 2

Prüfer(in):

ROBISCH Nicolas

¹⁾ **Kategorien** der angeführten Dokumente:

- X** Veröffentlichung **von besonderer Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann allein aufgrund dieser Druckschrift nicht als neu bzw. auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden.
- Y** Veröffentlichung **von Bedeutung**: der Anmeldungsgegenstand kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren weiteren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese **Verbindung für einen Fachmann naheliegend** ist.

- A** Veröffentlichung, die den allgemeinen **Stand der Technik** definiert.
- P** Dokument, das von **Bedeutung** ist (Kategorien **X** oder **Y**), jedoch **nach dem Prioritätstag** der Anmeldung veröffentlicht wurde.
- E** Dokument, das **von besonderer Bedeutung** ist (Kategorie **X**), aus dem ein „**älteres Recht**“ hervorgehen könnte (früheres Anmeldedatum, jedoch nachveröffentlicht, Schutz ist in Österreich möglich, würde Neuheit in Frage stellen).
- &** Veröffentlichung, die Mitglied der selben **Patentfamilie** ist.

Kategorie ^{*)}	Bezeichnung der Veröffentlichung: Ländercode, Veröffentlichungsnummer, Dokumentart (Anmelder), Veröffentlichungsdatum, Textstelle oder Figur soweit erforderlich	Betreffend Anspruch
A	EP 0752754 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO LTD) 08. Januar 1997 (08.01.1997) das ganze Dokument	1-10