

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro

(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
01. März 2018 (01.03.2018)



(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
WO 2018/036619 A1

- (51) Internationale Patentklassifikation:  
B41F 33/00 (2006.01) D21G 1/00 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2016/069908
- (22) Internationales Anmeldedatum:  
23. August 2016 (23.08.2016)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (71) Anmelder: B&R INDUSTRIAL AUTOMATION GMBH [AT/AT]; B & R Straße 1, 5142 Eggelsberg (AT).
- (72) Erfinder: WEISSBACHER, Joachim; Binderweg 6/4, 5101 Bergheim (AT). KICKINGER, Robert; Bergstetten 25, 5142 Bergstetten (AT). TRESENS, Albert; C/Sant Ignasi, 3, 2n E, 08922 Santa Coloma de Gramenet (ES).
- (74) Anwalt: PATENTANWÄLTE PINTER & WEISS OG; Prinz-Eugen-Strasse 70, 1040 Wien (AT).

MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

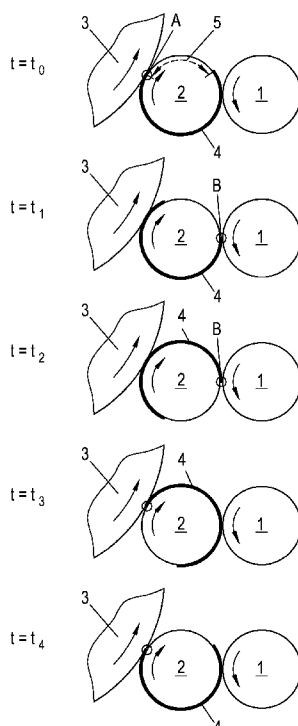
(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Veröffentlicht:  
— mit internationalem Recherchenbericht (Artikel 21 Absatz 3)

(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK,

(54) Title: METHOD FOR CONTROLLING THE DRIVE OF A MACHINE

(54) Bezeichnung: VERFAHREN ZUR REGELUNG DES ANTRIEBS EINER MASCHINE



(57) Abstract: A method for controlling the drive of a machine with at least one first rolling element (1'), a surface of which rolls onto a counter-surface at least in partial intervals of a rotational cycle under the effect of a contact force under elastic deformation. A rotational speed correction method, which automatically compensates for deviations, caused by deformation, in the peripheral speed of the first rolling element (1') by adjusting the set point value for the peripheral speed of the first rolling element (1'), and a retrospective method, which automatically compensates for deviations in the rotational speed constancy of the first rolling element (1') within a rotational cycle by applying a correction signal that is determined from the plot of a controlled variable in one or more preceding rotational cycles, are used in combination.

(57) Zusammenfassung: Verfahren zur Regelung eines Antriebs einer Maschine mit zumindest einem ersten Walzelement (1'), welches mit einer Oberfläche zumindest in Teilintervallen eines Umdrehungszyklus unter Einwirkung einer Kontaktkraft unter elastischer Verformung auf einer Gegenfläche abwälzt. Ein Drehzahlkorrekturverfahren, welches verformungsbedingte Abweichungen der Umfangsgeschwindigkeit des ersten Walzelements (1') durch ein Anpassen des Sollwerts für die Umfangsgeschwindigkeit des ersten Walzelements (1') automatisch ausgleicht, und ein rückschauendes Verfahren, welches Abweichungen der Drehzahlkonstanz des ersten Walzelements (1') innerhalb eines Umdrehungszyklus durch

Fig. 1 Anwenden eines aus dem Verlauf einer Regelgröße in einem oder mehreren vorhergehenden Umdrehungszyklus bzw. -zyklen ermittelten Korrektursignals automatisch ausgleicht, werden kombiniert angewendet.

WO 2018/036619 A1

## Verfahren zur Regelung des Antriebs einer Maschine

Die gegenständliche Erfindung betrifft ein Verfahren zur Regelung des Antriebs einer Maschine mit zumindest einem ersten Walzelement, welches mit einer Oberfläche zumindest in Teilintervallen eines Umdrehungszyklus unter Einwirkung einer Kontaktkraft unter elastischer Verformung auf einer Gegenfläche abwälzt.

Durch die Wirkung der Kontaktkraft wird ein Körper, der im Folgenden in nicht einschränkender Weise als Walzenelement bezeichnet wird, elastisch deformiert, wenn er auf einer Gegenfläche abwälzt. Durch diese elastische Deformation verändert sich der jeweils effektiv wirkende Radius des Walzenelements. Wenn zwei Walzenelemente aneinander abrollen, verändern sich beide Radien und damit auch, gemeinsam mit der Walzendrehzahl, die Liniengeschwindigkeit eines Produkts, das durch das Walzenpaar transportiert wird.

Als „Walzenelemente“ werden im Zusammenhang mit der gegenständlichen Offenbarung allgemein Maschinenelemente bezeichnet, die um eine feststehende oder bewegte Achse rotieren. Die Walzenelemente können im Wesentlichen zylindrisch sein, oder als Profilwalzen ausgebildet sein.

Im Allgemeinen wird die Geschwindigkeit der Walzenoberfläche, bzw. die Relativgeschwindigkeit von aneinander abrollenden Walzenoberflächen, durch die Vorgabe einer Söldrehzahl für die Walzen eingestellt. Da die effektiven Radien unter Wirkung einer Kontaktkraft nicht a priori bekannt sind, kommt aufgrund der elastischen Verformung zu einem Drehmomentaustausch zwischen den Walzen. Das bedeutet, dass eine Walze auf die andere Walze ein beschleunigendes Drehmoment ausübt, während die andere Walze ein bremsendes Drehmoment auf erstere ausübt.

Zusätzlich treten in der Praxis periodische Störungen der Bewegung (Störmomente) auf. Beispiele für derartige Störungen sind z.B. eine Druckplatte, die auf einer der Walzen angebracht ist und nicht den gesamten Umfang der Walze umschließt ebenso wie das Druckmotiv, das auf dieser Druckplatte aufgeprägt ist.

Verfahren der eingangs genannten Art kommen beispielsweise bei Rotationsdruckverfahren mit elastischen Druckformen zum Einsatz, wie etwa dem Flexodruckverfahren. Dabei können im drucktechnischen Alltag zahlreiche Probleme auftreten, deren Behandlung und Lösung von der Bedienperson der Druckmaschine eine gute Ausbildung und große Erfahrung erfordern. Das Auftreten von Querstreifen im Druckbild ist beim Flexodrucken ein solches unerwünschtes Phänomen und diese Querstreifen gehören zu den wohlbekanntesten Problemen im drucktechnischen Alltag.

Bedeckt die Druckform den Umfang des Formzylinders nicht vollständig, so ist bekannt, dass die Lücke im von der Druckform nicht bedeckten Bereich der Oberfläche des Formzylinders Schwingungen im Druckstock verursachen kann, die sich negativ auf das Druckbild auswirken. Diese Schwingungen entstehen jeweils, wenn die Druckform mit der Rasterwalze oder dem Gegendruckzylinder in Kontakt gelangt oder diesen Kontakt wieder löst.

Weiterhin ist bekannt, dass die durch das Druckmotiv bestimmte geometrische Form der Druckformoberfläche motivangeregte Schwingungen, die sich ebenfalls negativ auf das Druckbild auswirken, verursachen können.

Auch wenn solche Schwingungen eine Rolle spielen, sind die exakten Ursachen für Querstreifen im Druckbild oft nicht einfach zu ermitteln, sodass Maßnahmen zu deren Verhinderung meist durch Versuch und Irrtum herausgefunden werden. In der drucktechnischen Praxis wird dabei versucht, diese unerwünschte Erscheinung durch verschiedene Maßnahmen wie z.B. Veränderung der Druckzustellung, Veränderung der Druckbildlänge, Aufteilung einer Druckfarbe auf mehrere Druckwerke, manuelle Veränderung von Walzendurchmessern auf dem Bediengerät der Maschinensteuerung, Einsatz spezieller Sleeves und Adapter, geeignete Wahl des Klebebandes, etc. zu unterdrücken. Diese Maßnahmen erfordern allesamt auf den jeweiligen Druckauftrag spezifisch abgestimmte manuelle Eingriffe durch erfahrenes Bedienpersonal der Druckmaschine, oder sie müssen bereits bei der Druckformherstellung berücksichtigt werden.

DE 10 2012 013532 A1 offenbart ein Verfahren, bei dem im Druckspalt zwischen Druckform und Bedruckstoff auf Vollkontakt gefahren wird. Durch die äußerst niedrige Relieftiefe auf der gesamten Fläche müssen dabei sehr geringer Toleranzen eingehalten werden, was sich in der Praxis als schwierig erweisen kann.

DE 69400403 T2 offenbart ein Druckverfahren, wobei eine Augenblicksintensität oder ein Motormoment eines Antriebsmotors gemessen und die Drehgeschwindigkeiten von Druckzylindern so eingestellt wird, dass beim Hindurchbewegen eines Gummielements zwischen einem ersten und einem zweiten Zylinder einerseits, und zwischen einem ersten und dritten Zylinder andererseits, eine minimale Veränderung der Augenblicksintensität oder des Motorelements bewirkt wird.

Es besteht weiterhin ein Bedarf an Verfahren und Vorrichtungen zur Verbesserung der Bearbeitungsqualität und insbesondere zur Vermeidung von Querstreifen in einem Druckbild, die möglichst unabhängig von der Erfahrung der Bedienperson funktionieren sollen. Das Verfahren soll nach Möglichkeit keinen zusätzlichen Aufwand bei der Produktionsvorbereitung bzw.

Umrüstung, zum Beispiel bei der Druckformherstellung, erfordern und einfach umzusetzen sein.

Dieses und weitere Ziele werden erfindungsgemäß durch ein Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, bei dem ein Drehzahlkorrekturverfahren, welches verformungsbedingte Abweichungen der Umfangsgeschwindigkeit des ersten Walzenelements durch ein Anpassen des Sollwerts für die Geschwindigkeit des ersten Walzenelements automatisch ausgleicht, und ein rückschauendes Verfahren, welches Abweichungen der Drehzahlkonstanz des ersten Walzenelements innerhalb eines Umdrehungszyklus durch Anwenden eines aus dem Verlauf einer Regelgröße, insbesondere einer Ist-Geschwindigkeit oder einer Ist-Position des Walzenelements, in einem oder mehreren vorhergehenden Umdrehungszyklus bzw. -zyklen ermittelten Korrektursignals automatisch ausgleicht, kombiniert angewendet werden. Vom Erfinder wurde bei Versuchen festgestellt, dass weder mit der Anwendung eines Drehzahlkorrekturverfahrens alleine, noch mit der Anwendung eines rückschauendes Verfahrens zur Erhöhung der Drehzahlkonstanz alleine die Qualitätsprobleme zu beheben waren. Erst durch die kombinierte Anwendung dieser beiden Verfahren ließ sich eine Qualitätssteigerung erzielen, die aufgrund der enttäuschenden Ergebnisse, die mit den einzelnen Verfahren alleine erzielt wurden, nicht zu erwarten war. Das erfindungsgemäße Verfahren hat den Vorteil, dass es auch bei bestehenden Maschinen einfach umsetzbar ist.

Im Zusammenhang mit der gegenständlichen Offenbarung wird unter dem Begriff „in Kontakt sein“ eines Walzenelements mit einer Gegenfläche bzw. von Walzenpaaren miteinander nicht nur eine direkte Berührung, sondern auch eine Berührung unter Zwischenlage eines Produktes, insbesondere eines Bedruckstoffs, der beispielsweise beim Bedrucken zwischen einem Walzenpaar hindurchgeführt wird, verstanden. Weiters bedingt der Begriff „in Kontakt sein“ nicht unbedingt, dass das Walzenelement während der gesamten Umdrehungszeit die Gegenfläche berührt.

Der Begriff „unter elastischer Verformung auf einer Gegenfläche abwälzen“ wird im Zusammenhang mit der gegenständlichen Erfindung dahingehend verstanden, dass die Oberflächen der aneinander abwälzenden Elemente zumindest im Berührungsbereich im Wesentlichen ohne Gleiten aneinanderliegen.

Mit dem Begriff „Berührungsbereich“ wird im Zusammenhang mit der gegenständlichen Erfindung er Bereich bezeichnet, in dem sich ein Walzenpaar (bzw. ein Walzenelement und eine Gegenfläche), gegebenenfalls unter Zwischenlage eines Produkts oder Bedruckstoffes, berührt. Bei einem idealisierten, starren Walzenpaar ist der Berührungsbereich in einem Querschnitt als „Berührungspunkt“ darstellbar. Oberflächen- oder Relativgeschwindigkeiten beispielsweise sind im Allgemeinen auf einen errechneten Berührungspunkt bezogen, wobei

dem Fachmann klar ist, dass es sich dabei in realen, elastisch verformbaren Walzen um Berührflächen handelt. Die Begriffe „Berührungsbereich“ und „Berührungspunkt“ können daher im Allgemeinen synonym verwendet werden.

5 Als „Umdrehungszyklus“ wird im Zusammenhang mit der gegenständlichen Erfindung diejenige Zeitspanne bezeichnet, in der sich die charakteristischen Wertspitzen der Regelgröße typischerweise zyklisch wiederholen, wobei der Umdrehungszyklus insbesondere mit der Umlaufdauer des ersten Walzenelements oder eines anderen Walzenelements korrespondieren kann.

10 Als Regelgröße kann beispielsweise die Drehzahl (bzw. ein von der Drehzahl abgeleiteter Wert, wie etwa die Umfangsgeschwindigkeit) des Walzenelements verwendet werden. Die Drehzahl wird dabei im Allgemeinen von einem Drehwinkelsignal abgeleitet, das von einem Drehgeber am Antriebsmotor oder an dem Walzenelement generiert wird. Durch das rückschauende Verfahren zur Erhöhung der Drehzahlkonstanz werden Wertspitzen der Abweichung der Regelgröße, die an bestimmten Stellen des Umdrehungszyklus regelmäßig auftreten, durch das Korrektursignal ausgeglichen. Anstelle der Regelgröße an sich kann das Korrektursignal auch von einer von der Regelgröße beeinflussten Größe abgeleitet werden.

20 Das erfindungsgemäße Verfahren wird im Zusammenhang mit der gegenständlichen Offenbarung auf Basis der Drehzahl beschrieben. Der Fachmann ist jedoch ohne weiteres in der Lage, die Erfindung auf Basis des Drehwinkels (bzw. von Drehpositionen) auszuführen. Die Sollwerte stellen sich dann nicht als konstante Geschwindigkeitsvorgaben dar, sondern als linear ansteigende Positions- bzw. Winkelvorgaben. Solche Ausführungen sind als analoge Ausführungsformen anzusehen.

25 Um die Totzeit des Regelkreises (d.h. die Zeitverschiebung zwischen Reglerausgang und tatsächlichem Querstrom am Antriebsmotor) auszugleichen, muss das Korrektursignal um diese Totzeit „zurückversetzt“ werden, um die Korrektur mit den zu korrigierenden Wertspitzen zu synchronisieren.

30 Der Erfindung liegt die Erkenntnis zugrunde, dass Unterschiede der effektiven Umfangsgeschwindigkeiten - begründet in der elastischen Deformation, die zu veränderten und im Vorhinein äußerst schwierig zu prognostizierenden effektiven Walzendurchmessern führt - von Walzenpaaren eine Ursache für Qualitätsfehler, beispielsweise von Querstreifen in einem Druckbild, darstellen. Dieselben Qualitätsfehler können auch auftreten, wenn ein Walzenelement allgemein auf einer Gegenfläche abrollt. Durch eine Eliminierung dieser Geschwindigkeitsunterschiede kann das Entstehen dieser Qualitätsfehler weitgehend verhindert werden.

In vorteilhafter Weise kann daher für das Drehzahlkorrekturverfahren der zeitliche Verlauf eines für ein Antriebsmoment der Walzenanordnung charakteristischen Werts in zumindest einem der Teilintervalle ermittelt werden, daraus ein Parameter für einen Anstieg dieses Werts in dem Teilintervall abgeleitet werden und die Führungsgröße der Umfangsgeschwindigkeit des ersten Walzenelements in Abhängigkeit von diesem Parameter zur Minimierung des Anstiegs angepasst werden.

Zur Erkennung eines Geschwindigkeitsunterschieds zwischen der Oberfläche des ersten Walzenelements und der Gegenfläche kann in vorteilhafter Weise der Verlauf des Antriebsmoments bei dem Walzenelement oder der Verlauf einer dem Antriebsmoment proportionale Größe wie beispielsweise und nicht einschränkend, der Antriebsstrom oder die Antriebsleistung in dem gewählten Teilintervall ausgewertet werden.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform kann der für das Antriebsmoment charakteristische Wert eine von dem zumindest einen Walzenelement auf die Gegenfläche aufgebraachte Kraft sein.

Der für ein Antriebsmoment der Walzenanordnung charakteristische Wert kann ein für einen Geschwindigkeitsfehler des Walzenelementes und/oder ein für einen Schleppfehler zwischen dem Walzenelement und der Gegenfläche repräsentativer Parameter sein, wie beispielsweise und nicht einschränkend, ein gemittelttes oder effektives Drehmoment, eine gemittelte Steigung eines Drehmoments, eine gemittelte Kraftwirkung (mit dem Walzenradius bewertete Drehmomente) auf die Gegenfläche bzw. auf ein anderes Walzenelement oder eine Summe von Kraftwirkungen von Walzenpaaren aufeinander. Basierend darauf wird die Umfangsgeschwindigkeit so angepasst, dass der repräsentative Parameter in diesem Teilintervall minimiert wird.

Der abgeleitete Parameter kann weiters ein in einem Teilintervall gemittelter Wert sein oder er kann eine gegebenenfalls geglättete Steigung des Antriebsmoments in dem Teilintervall sein.

Das Teilintervall kann eine oder mehrere vollständige Umdrehungen einer der Walzenelemente umfassen. In vorteilhafter Weise kann eine Umfangsgeschwindigkeit des ersten Walzenelements durch Änderung des Vorgabewertes für die Drehzahl dieses Walzenelements angepasst werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform kann eine Umfangsgeschwindigkeit des ersten Walzenelements durch Änderung des Vorgabewertes für den Durchmesser dieses Walzenelements angepasst werden. Die Abweichung (z.B. in Prozent) des Vorgabewertes vom tatsächlichen Durchmesser kann als Kennwert ausgewertet werden, um beispielsweise Qua-

litätsprobleme, die sich durch eine Veränderung dieses Wertes ankündigen, frühzeitig zu erkennen.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform kann eine Umfangsgeschwindigkeit des ersten Walzenelements durch Änderung des Vorgabewertes für die Zustellung dieses Walzenelements angepasst werden. Dadurch ändert sich durch elastische Deformation ebenfalls der für die Relativgeschwindigkeit zwischen zwei Walzenelementen relevante Wert für die Durchmesser. Bei Druckmaschinen können beispielsweise gleichzeitig die Farbaufnahme von einer Rasterwalze zu einem Formzylinder und der Druck von dem Formzylinder auf den Bedruckstoff vorteilhaft beeinflusst werden.

In vorteilhafter Weise kann zur Ermittlung des Vorgabewertes für die Drehzahl eines Walzenelements, des Vorgabewertes für den Durchmesser des Walzenelements oder des Vorgabewertes für die Zustellung des Walzenelements ein Schießverfahren verwendet werden. Das Schießverfahren ist ein iteratives Verfahren, das automatisiert ablaufen kann und bei dem ausgehend von einem Startwert z.B. für den Vorgabewert der Drehzahl des Walzenelements der dazugehörige Zielparameter aus dem sich ergebenden Drehmomentverlauf im genannten Teilintervall ermittelt wird. Nachfolgend wird der Startwert leicht abgeändert und die sich dadurch ergebende Abweichung ermittelt. Durch sukzessive lineare Inter- und Extrapolationen wird der optimale Betriebspunkt automatisch eingestellt. Die Iterationen werden abgebrochen, wenn der gewünschte Betriebspunkt mit ausreichender Genauigkeit erreicht wurde und daher Konvergenz erreicht wurde.

In vorteilhafter Weise kann das rückschauende Verfahren ein selbstlernendes Verfahren zur Steuerung zyklischer Abläufe, insbesondere ein Repetitive-Control-Verfahren sein. Solche Verfahren sind zur Erhöhung der Drehzahlkonstanz gut geeignet. Als selbstlernende Verfahren zur Steuerung zyklischer Abläufe werden im Zusammenhang mit der gegenständlichen Erfindung allgemein Verfahren bezeichnet, bei denen Störungen (z.B. Sollwertabweichungen oder Fehler) in zumindest einem ersten Zyklus ermittelt und gespeichert werden, wobei auf Basis der ermittelten Störungen Maßnahmen zur Unterdrückung dieser Störungen ermittelt werden, und wobei diese Maßnahmen in zumindest einem weiteren Zyklus angewendet werden, um entsprechende Störungen in diesem weiteren Zyklus zu unterdrücken. Durch die sich dauerhaft wiederholende Anwendung dieser Methodik werden Störungen selbstlernend bestmöglich unterdrückt.

Das Repetitive-Control-Verfahren ist ein wohlbekanntes Verfahren, das beispielsweise im Fachartikel „Repetitive control for systems with uncertain period-time“, Maarten Steinbuch, Automatica 38 (2002) 2103-2109, beschrieben wird. Das Repetitive-Control-Verfahren kann dazu verwendet werden, bei periodischen Prozessen das Auftreten von (dann ebenfalls peri-

odischen) Störgrößen zu minimieren. Das Verfahren ist durch die dauerhafte wiederholte Anwendung per se selbstlernend und daher sehr einfach anwendbar. Im gegenständlichen Anwendungsfall kann es vorteilhaft zur Erhöhung der Drehzahlkonstanz verwendet werden, was beispielsweise durch eine selbstlernende additive Stromaufschaltung erreicht wird.

5 In vorteilhafter Weise kann das rückschauende Verfahren einen gegebenenfalls mit einer Drehzahlreglerverstärkung skalierten Drehzahlfehler und/oder einen im Berührungspunkt zwischen Arbeitswalze und Gegendruckzylinder auftretenden periodischen Schleppfehler als Eingangssignal verwenden, wobei im Regelkreis eine Umschaltung zwischen unterschiedli-  
10 chen Varianten der Ermittlung eines Rückführungssignals vorgesehen sein kann, um mehrere alternative Betriebsmodi bereitzustellen. Beispielsweise kann die Rückführung ein von einem Motorgeber ermitteltes, für die Regelgröße repräsentatives Signal oder ein von einem Lastgeber ermitteltes, für die Regelgröße repräsentatives Signal sein. Das Rückführungssig-  
15 nal kann auch durch einen virtuellen Lastgeber erstellt werden, der beispielsweise auf Basis des Antriebsstroms und des Motormoments einen geschätzten Wert für die Regelgröße er-  
mittelt.

In vorteilhafter Weise kann das rückschauende Verfahren eine Initiierungsphase über zu-  
mindest einen Umdrehungszyklus, vorzugsweise über zumindest zwei Umdrehungszyklen  
20 durchlaufen. Ein Umdrehungszyklus kann dabei insbesondere einer Umdrehung des ersten Walzenelements (oder auch eines anderen Walzenelements, wenn dieses den Umdre-  
hungszyklus definiert) entsprechen, sodass es in vielen Anwendungsbereichen nicht not-  
wendig ist, den Zyklus aus einem Signal zu bestimmen. Nach Einschalten des selbstlernenden  
Verfahrens wird über den ersten Umdrehungszyklus zuerst ein interner Speicher initiiert.  
Im zweiten Umdrehungszyklus (und gegebenenfalls in weiteren Zyklen) wird über eine Ein-  
25 schleifsteuerung das Verfahren kontinuierlich oder schrittweise aktiviert, sodass die Stö-  
rungsunterdrückung nach zwei Zyklen (bzw. zwei Umdrehungen) vollständig aktiv ist.

In einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung kann die Gegenfläche durch die  
Oberfläche eines zweiten Walzenelements gebildet sein, wobei das erste Walzelement und  
das zweite Walzelement aneinander abwälzen und wobei der Antrieb des zweiten Wal-  
zelements analog zum ersten Walzelement geregelt wird.

30 In vorteilhafter Weise kann das rückschauende Verfahren zur Erhöhung der Drehzahl-  
konstanz einen im Berührungspunkt zwischen dem ersten Walzelement und dem zweiten  
Walzelement auftretenden periodischen Schleppfehler als Regelgröße verwenden.

In einer vorteilhaften Ausführungsform, bei der die Maschine eine Druckmaschine ist, kann  
das erste Walzelement ein Formzylinder sein, wobei ein Gegendruckzylinder und eine

Rasterwalze an dem Formzylinder abwälzen, und wobei auf dem Formzylinder eine elastische Druckform aufgebracht ist, welche während zumindest eines Teilintervalls der Umdrehung des Formzylinders mit der Rasterwalze und/oder dem Gegendruckzylinder in Kontakt ist. Dies ermöglicht eine zuverlässige Verhinderung von Querstreifen im Druckbild.

- 5 Die gegenständliche Offenbarung betrifft somit auch ein Verfahren zur Regelung einer Druckmaschine mit mehreren Walzenelementen, nämlich zumindest einem Formzylinder, einer Rasterwalze und einem Gegendruckzylinder, wobei auf dem Formzylinder eine elastische Druckform aufgebracht ist, welche während zumindest eines Teilintervalls der Umdrehung des Formzylinders mit der Rasterwalze und/oder dem Gegendruckzylinder in Kontakt  
10 ist, wobei der Verlauf eines für das Antriebsmoment von zumindest einem der Walzenelemente charakteristischen Werts in dem Teilintervall ermittelt wird, daraus ein Parameter abgeleitet wird und die Umfangsgeschwindigkeit von zumindest einem der Walzenelemente in Abhängigkeit von diesem Parameter angepasst wird.

Das für die Berechnung ausgewertete Teilintervall wird im Zusammenhang mit der gegenständlichen Erfindung auf Basis der jeweiligen Maschine ausgewählt. Bei Druckmaschinen  
15 werden dabei insbesondere die Größe des Formzylinders, die Größe, Form und Position der Druckform und die Anordnung der weiteren Walzenelemente berücksichtigt. Das Teilintervall kann auf Basis einer Auswertung des Verlaufs von Kennwerten, wie etwa dem Antriebsmoment, der gemessenen Walzengeschwindigkeit, des Geschwindigkeitsfehlers, des Schleppfehlers oder anderer geeigneter Kennwerten, bei einem Testlauf oder beim Anfahren der  
20 Druckmaschine ermittelt werden und kann auch ein oder mehrere vollständige Umdrehungen umfassen.

Die Auswahl des ausgewerteten Teilintervalls sollte so erfolgen, dass Störeinflüsse minimiert werden. In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform der Erfindung wird das Teilintervall  
25 daher so gewählt, dass die Berührungspunkte zwischen der Druckform und der Rasterwalze und zwischen der Druckform und dem Gegendruckzylinder im Teilintervall frei von Berührungswechseln sind. Dies ermöglicht eine stabile Auswertung der Parameter mit minimalen Störeinflüssen. Als „Berührungswechsel“ wird dabei das in Kontakt kommen und das Lösen des Kontakts zwischen dem Druckform und einem anderen Walzenelement verstanden.

30 In einer Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens kann das Verfahren während des Druckvorgangs automatisch und wahlweise auch regelmäßig ausgeführt werden. Dies erlaubt eine automatische Eliminierung von Umfangsgeschwindigkeitsunterschieden zwischen berührenden Walzenpaaren und den damit verbundenen Druckbildfehlern. Dadurch lässt sich ein automatisches Verfahren schaffen, das selbstständig durch die Maschinensoftware  
35 gesteuert abläuft. Dabei ist keine manuelle Interaktion durch das Bedienpersonal notwendig,

es sind keine zusätzlichen Arbeiten in der Druckvorstufe erforderlich und es bedarf keiner Verwendung zusätzlicher Druckeinheiten. Das Merkmal des automatischen und wahlweise auch regelmäßigen Ausführens des Verfahrens kann erfindungsgemäß auch auf Maschinen angewendet werden, die keine Druckmaschinen sind.

- 5 In einer vorteilhaften Ausführungsform kann durch die Anpassung der Umfangsgeschwindigkeit(en) auf einer Maschine mit mehreren Druckwerken eine identische Liniengeschwindigkeit eingestellt werden. Auch dieses Merkmal kann analog auf andere Maschinen angewendet werden.

Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 8  
10 näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt

Fig.1 eine schematische Darstellung des Druckvorgangs einer Flexodruckmaschine;

Fig. 2 eine schematische Darstellung des zu erwartenden Antriebsmoments während einer Umdrehung des Formzylinders;

- 15 Fig. 3 ein Diagramm des dynamischen Verhaltens einer Druckmaschine in einer Versuchsanordnung;

Fig. 4 eine vergrößerte Darstellung eines Teilbereichs des Antriebsmoments der Fig. 3;

- Fig. 5 ein Diagramm des dynamischen Verhaltens der Druckmaschine in der Versuchsanordnung nach einer ersten Anpassung des Vorgabewerts für den Durchmesser des Formzylinders;  
20

Fig. 6 ein Diagramm des dynamischen Verhaltens der Druckmaschine in der Versuchsanordnung bei einer Verwendung eines Repetitive-Control-Verfahrens;

- Fig. 7 ein Diagramm des dynamischen Verhaltens der Druckmaschine in der Versuchsanordnung nach einer zweiten Anpassung des Vorgabewerts für den Durchmesser des Formzylinders, wobei zusätzlich ein Repetitive-Control-Verfahren angewendet wurde;  
25

Fig. 8 ein Diagramm, das die iterative Funktionsweise des Schießverfahrens durch sukzessive Inter- und Extrapolationen veranschaulicht;

- Fig. 9 ein Diagramm eines beispielhaften erfindungsgemäßen Regelkreises für zwei aneinander abrollende Walzenelemente;  
30

Fig. 10 einen Querschnitt eines idealisierten, unverformten Walzenpaars und

Fig. 11 einen Querschnitt des Walzenpaars der Fig. 10, bei dem es durch die Einwirkung einer Kontaktkraft zu einer elastischen Verformung kommt.

5 Beim aneinander Abrollen von zwei Walzenelementen kommt es zu Verformungen, die im Folgenden unter Bezugnahme auf Fig. 10 und 11 allgemein beschrieben werden.

Fig. 10 zeigt ein idealisiertes Walzenpaar aus einem ersten Walzenelement 1' und einem zweiten Walzenelement 2' die in einem Berührungspunkt A (bezogen auf den dargestellten Querschnitt) aneinander abrollen. Die (unverformten) Normalradien  $R_{1,0}$  des ersten Walzenelements 1' und  $R_{2,0}$  des zweiten Walzenelements 2' definieren den Normabstand  $d_0$  der  
10 Walzenachsen. Die Darstellung in Fig. 10 entspricht der Situation in der keine Kontaktkraft  $F$  zwischen den Walzenelementen wirkt ( $F = 0$ ) und keine elastische Verformung der Walzenelemente auftritt.

Fig. 11 zeigt schematisch die Deformation, die am Walzenpaar auftritt, wenn die beiden Walzenelemente 1', 2' mit einer Kontaktkraft  $F > 0$  aneinandergedrückt werden (die Verformungen sind in Fig. 11 aus Gründen der Erkennbarkeit stark überzeichnet dargestellt). Die beiden Walzenelemente berühren sich nun nicht mehr in einer Linie (d.h. in einem Querschnitt in einem Punkt), sondern in einer Berührfläche (die in der Querschnittsdarstellung in Fig. 11 als Linie dargestellt ist). Auch die Radien der Walzenelemente sind nicht mehr konstant, wobei die minimalen Radien  $R_1$ ,  $R_2$  in der Mitte der Berührflächen liegen. Der Abstand der Walzenachsen  $d$  im verformten Zustand ist daher kleiner als der Normabstand  $d_0$ . Daher entspricht auch die Umfangsgeschwindigkeit an der Berührfläche nicht mehr mit dem auf Basis der idealisierten Darstellung berechneten Wert überein. Analoge Überlegungen gelten auch, wenn ein Walzenelement auf einer ebenen Gegenfläche unter elastischer Verformung abrollt.  
20

25 Derartige Verformungen von aneinander abrollenden Walzenelementen sind in der Praxis nicht immer genau vorhersehbar und das genaue Ausmaß der Verformung mittels Messverfahren zu ermitteln ist sehr aufwändig und in der Praxis oft nicht durchführbar. Da aber die Verformung oft unmittelbare Auswirkungen auf die Produktqualität hat, zielt das erfindungsgemäße Verfahren darauf ab, die Qualitätsfehler, die aus diesen Verformungen entstehen, zu minimieren. Im Folgenden wird die Erfindung anhand einer beispielhaften Anwendung in der Drucktechnik beschrieben.  
30

Fig. 1 zeigt die Walzenanordnung einer Flexodruckmaschine, bestehend aus einer Rasterwalze 1, einem Formzylinder 2 und einem Gegendruckzylinder 3, in fünf unterschiedlichen Zeitpunkten  $t = t_0$  bis  $t_4$ , die jeweils auf eine Umdrehung des Formzylinders 2 bezogen sind.

Direkten Druckverfahren, wie etwa der Flexodruck, sind im Stand der Technik seit langem allgemein üblich und bekannt, und es wird daher hierin nicht auf jede einzelne Komponente der Druckmaschine eingegangen. Auch wurde auf die Darstellung einiger Komponenten in Fig. 1 der Übersichtlichkeit halber verzichtet, da sie dem Fachmann hinlänglich bekannt sind.

- 5 Der Formzylinder 2 trägt eine Druckform 4 aus einem flexiblen Material, auf dem gemäß dem bekannten Flexodruckverfahren erhabene Stellen die zu druckenden Bereiche definieren. Die Rasterwalze 1 trägt die Druckfarbe auf die erhabenen Stellen der Druckform 4 auf. Zwischen dem Formzylinder 2 und dem Gegendruckzylinder 3 wird die Druckfarbe dann auf den Bedruckstoff aufgebracht.
- 10 Da die Länge der Druckform 4 kürzer sein kann, als der Umfang des Formzylinders 2, kann es auf dem Formzylinder 2 im Allgemeinen einen nicht von der Druckform 4 bedeckten Bereich geben, der hierin auch als Drucklücke 5 bezeichnet wird. Bei einer Umdrehung des Formzylinders 2, d.h. während eines Druckzyklus, werden somit beispielsweise die folgenden Zeitpunkte  $t = t_0$  bis  $t_4$  durchlaufen:
- 15  $t_0$ : Die Druckform 4 gelangt beim Berührungspunkt A zwischen dem Formzylinder 2 und dem Gegendruckzylinder 3 in Kontakt mit dem Gegendruckzylinder 3 (Beginn eines Druckzyklus), während die Rasterwalze 1 weiterhin in Kontakt mit der Druckform 4 ist;
- 20  $t_1$ : Die Berührung zwischen Rasterwalze 1 und der auf dem Formzylinder 2 aufgebrachten Druckform 4 bei Berührungspunkt B endet, während der Gegendruckzylinder 3 weiterhin in Kontakt mit der Druckform 4 ist;
- $t_2$ : Nach der Drucklücke 5 gelangt die Rasterwalze 1 wieder in Kontakt mit der Druckform 4, während der Gegendruckzylinder 3 weiterhin in Kontakt mit der Druckform 4 ist;
- 25  $t_3$ : Die Berührung zwischen Gegendruckzylinder 3 und Druckform 4 im Berührungspunkt A endet, während die Rasterwalze 1 weiterhin in Kontakt mit der Druckform 4 ist;
- 30  $t_4$ : Der Gegendruckzylinder 3 (bzw. der auf diesem mitgeführte Bedruckstoff) gelangt wieder in Kontakt mit der Druckform 4, während die Rasterwalze 1 weiterhin in Kontakt mit der Druckform 4 ist. Die Lage entspricht dem Zeitpunkt  $t_0$ , wobei der Druckzyklus endet und ein neuer Druckzyklus beginnt.

Die in Fig. 1 dargestellte Anordnung, die zu der dargelegten Abfolge an Berührungswechseln führt, ist rein beispielhaft und nicht einschränkend. Wie dem Fachmann klar ist kann die Druckform 4 kürzer oder länger sein und auch die relative Anordnung der Walzenelemente zueinander kann sich unterscheiden. Solche Änderungen können auch zu einer anderen

5 Abfolge an Berührungswechseln führen. Beispielsweise könnte bei einer kürzeren Druckform 4 und einer entsprechenden Walzenanordnung ein Zeitabschnitt auftreten, bei dem weder der Gegendruckzylinder 3, noch die Rasterwalze 1 in Kontakt mit der Druckform 4 ist. Andererseits ist es auch möglich, dass die Druckform 4 den gesamten Umfang des Formzylinders 2 umfasst, sodass keine Berührungswchsel auftreten. Die Erfindung lässt sich auch auf

10 solche Fälle vorteilhaft anwenden.

Bei positions- oder drehzahlgeregelten Walzenelementen werden die Drehgeschwindigkeiten der einzelnen Walzenelemente auf Basis des jeweiligen Durchmessers aufeinander abgestimmt, sodass in den Berührungspunkten in der theoretischen Modellierung keine Relativgeschwindigkeiten zwischen den Walzenelementen bestehen. In der Praxis hat sich jedoch

15 herausgestellt, dass aufgrund der elastischen Deformation der Walzenelemente solche Relativgeschwindigkeiten im Berührungspunkt auftreten können. Das Antriebsmoment ist höher, wenn sowohl die Rasterwalze 1, als auch der Gegendruckzylinder 3 gleichzeitig im Eingriff mit dem Formzylinder stehen, und es ist geringer wenn der Berührungspunkt einer oder mehrerer Walzenelemente sich gerade im Bereich der Drucklücke 5 befindet.

20 Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung des zu erwartenden Antriebsmoments während einer Umdrehung des Formzylinders, bezogen auf die Zeitpunkte  $t_0$  bis  $t_4$ , wie sie in Fig. 1 dargestellt sind. Dieses theoretische Schema kann zur Auswertung von tatsächlichen Messergebnissen herangezogen werden. Es ist anzumerken, dass unterschiedliche Walzenanordnungen bzw. unterschiedliche Längen der Druckform 4 zu unterschiedlichen Verläufen des

25 Antriebsmoments führen würden, wobei der Fachmann die Lehren der gegenständlichen Anmeldung ohne weiteres auf solche Fälle übertragen kann.

Nach diesen theoretischen Überlegungen wird nun die Erfindung anhand einer vom Anmelder durchgeführten Versuchsreihe und unter Bezugnahme auf die Fig. 3 bis 7 beispielhaft und in nicht einschränkender Weise erläutert.

30 Fig. 3 zeigt ein Diagramm des dynamischen Verhaltens der Versuchsanordnung, wobei die oberste Kurve den Schleppfehler (Differenz zwischen Soll- und Ist-Position bezogen auf die Oberfläche des Formzylinders), die mittlere Kurve den Geschwindigkeitsverlauf und die unterste Kurve das Antriebsmoment der Formzylinder zeigt, wobei die Zeitpunkte  $t_0$  bis  $t_4$  bei einer Umdrehung gemäß der Darstellungen in Fig. 1 und 2 in das Diagramm eingezeichnet

35 sind.

Die Soll-Position entspricht dabei dem Sollwert des Positionsreglers, die Ist-Position wurde mit einem Encoder gemessen. Ein nicht konstanter Verlauf des Schleppfehlers zeigt an, dass die Umfangsgeschwindigkeiten der Walzenelemente, die in Kontakt sind, nicht zueinander passen.

- 5 Der Geschwindigkeitsverlauf weist bei den Zeitpunkten  $t_0$ ,  $t_1$ ,  $t_2$  und  $t_4$  (immer wenn ein Walzenpaar in oder außer Eingriff gelangt) deutlich ausgeprägte und breite Wertspitzen auf.

Der in Fig. 3 dargestellte Verlauf des Antriebsmoments ist in Fig. 4 nochmals vergrößert dargestellt. Darin ist deutlich zu erkennen, dass das Antriebsmoment in den Intervallen  $t_1$  bis  $t_2$  und  $t_3$  bis  $t_4$  jeweils annähernd linear zunimmt. Im Rahmen der Versuche konnte gezeigt  
10 werden, dass diese Anstiege des Antriebsmoments auf unterschiedliche Umfangsgeschwindigkeiten zwischen den Walzenpaaren zurückzuführen sind, wobei der Anstieg im Intervall  $t_1$  bis  $t_2$  auf eine Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Gegendruckzylinder und Formzylinder und der Anstieg im Intervall  $t_3$  bis  $t_4$  auf eine Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Rasterwalze und Formzylinder zurückzuführen sind.

- 15 Im Druckbild waren ein stark ausgeprägter Querstreifen bei  $t_1$ , wo der Druckformzylinder den Kontakt zu dem Rasterzylinder verliert, und ein weniger ausgeprägter, aber immer noch deutlich sichtbarer Querstreifen bei  $t_2$ , wo Druckformzylinder und Rasterzylinder wieder miteinander in Kontakt gelangen, erkennbar.

Es konnte gezeigt werden, dass die Querstreifen insbesondere aufgrund von verzerrten  
20 Bildpunkten auf dem Bedruckstoff entstehen, die bei einer makroskopischen Betrachtung des Druckbildes durch das menschliche Auge als Streifen wahrgenommen werden.

Durch die Kontaktkraft zwischen den jeweiligen Walzenpaaren (verursacht durch die Druckbeistellung) kommt es zu einer elastischen Deformation der beiden Walzenelemente (des gesamten Druckstockaufbaus). Diese elastische Deformation führt wiederum zu veränderten  
25 effektiven Durchmessern der jeweiligen Walzenelemente, die von den vom Maschinenbediener eingestellten Durchmessern abweichen. Diese Effekte können einen Umfangsgeschwindigkeitsunterschied der jeweiligen Paarungen verursachen, auch wenn die Rotationsgeschwindigkeiten vermeintlich korrekt eingestellt sind, und eine direkte Messung der exakten effektiven Durchmesserwerte bei laufender Druckmaschine nicht möglich ist.

- 30 Dieser Geschwindigkeitsunterschied führt dazu, dass durch den Kontakt der Walzenelemente ein Momentaustausch zwischen den Walzenelementen erfolgt, der dadurch gekennzeichnet ist, dass das sich schneller drehende Walzenelement das langsamer drehende Walzenelement antreibt und umgekehrt (das sich langsamer drehende Walzenelement bremst das schneller drehende Walzenelement).

Dies resultiert in der Kontaktphase der beiden Walzenelemente (wenn die Druckform im Eingriff ist) im Falle, dass die Walzenpaare positionsgeregelt betrieben werden, in dem über der Zeit ansteigendem Drehmoment an dem schneller drehenden Walzenelement einerseits, und in einem über der Zeit abfallendem Drehmoment an dem langsamer drehenden Walzenelement andererseits. Dies ist im Verlauf der Diagramme der Fig. 3 und 4 erkennbar.

Der Effekt der sich über die Zeit des Eingriffs aufbauenden und gegeneinander wirkenden Drehmomente wird durch die über die Zeit ansteigenden Schleppfehler der zugeordneten Antriebsregelkreise verursacht.

Am Ende der Kontaktphase bauen sich die bis dahin akkumulierten Schleppfehler wieder ab und führen zu einem durch das Störverhalten der Antriebsregelkreise bestimmten Ausgleichsverhalten (aperiodisches Abklingen oder Abklingen mit gedämpfter Schwingung). Je nach Ausgleichsverhalten (bestimmt durch die Stördynamik des geschlossenen Antriebsregelkreises) werden Streifen im Druckbild verursacht.

Eine der Erfindung zugrundeliegende Überlegung liegt darin, das Auftreten von Querstreifen im Druckbild dadurch zu verhindern, dass unterschiedliche Umfangsgeschwindigkeiten bei Walzenpaaren erkannt und die Umfangsgeschwindigkeiten der Walzenpaare automatisiert aneinander angepasst werden. Dazu werden die Drehmomentverläufe der zugeordneten Walzenantriebe in der Kontaktphase ausgewertet und die Walzendrehzahlen solange angepasst, bis die Umfangsgeschwindigkeiten der Walzenpaare übereinstimmen und sich im Mittel in der Kontaktphase im Wesentlichen konstante Drehmomentverläufe ergeben.

Die Umfangsgeschwindigkeiten der Walzenelemente können beispielsweise durch eine Änderung des Vorgabewerts für den Walzendurchmesser angepasst werden. In einem weiteren Versuchslauf wurde daher der Vorgabewert für den Durchmesser der Formzylinder in einem ersten Schritt um 0,6 % erhöht, um eine entsprechend geringere Umfangsgeschwindigkeit des Formzylinders zu erzielen. Fig. 5 zeigt ein Diagramm des dynamischen Verhaltens der Druckmaschine in der oben beschriebenen Versuchsanordnung nach dieser Anpassung des Vorgabewerts für den Durchmesser des Formzylinders um +0,6%. Es ist deutlich zu erkennen, dass das Antriebsmoment deutlich verringerte Wertspitzen (ca. 6 Nm in Fig. 5 gegenüber ca. 13 Nm in Fig. 4) und einen verringerten Durchschnittswert aufwies. Weiters wies das Antriebsmoment in den Teilintervallen der Kontaktphasen (Intervalle  $t_1$  bis  $t_2$  sowie  $t_3$  bis  $t_4$ ) einen im Mittel konstanten Verlauf auf. Im Druckbild waren keine Querstreifen mehr zu erkennen.

Aus den obigen Untersuchungen wurde der Schluss gezogen, dass eine Anpassung der Umfangsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit vom Verlauf des Antriebsmoments Druckfehler,

und insbesondere die Bildung von Querstreifen, verhindern kann. Diese Anpassung kann automatisiert erfolgen, wobei beispielsweise die Steigung des Antriebsmoments in den „konstanten“ Bereichen (d.h. den Bereichen, in denen keine Änderung an den Berührungspunkten A und B erfolgt, vgl. Fig. 1) ausgewertet, und die Umfangsgeschwindigkeit(en) der Walze(n) dementsprechend angepasst wird (werden), beispielsweise durch eine Änderung von Vorgabewerten für den/die Walzendurchmesser.

Die Angleichung der Umfangsgeschwindigkeiten der Walzenpaare kann nicht nur durch eine Veränderung der Drehzahl einer der beteiligten Walzenelemente erreicht werden, sondern es können auch Veränderung der Zustellung zwischen den Walzenpaaren vorgenommen werden, um die gewünschte Länge des Druckmotivs auf dem Substrat zu beeinflussen und dadurch Verzerrungen, die sich im Druckbild ergeben können, auszugleichen.

In einem weiteren Ansatz zur Verbesserung des Druckbildes wurde versucht, eine dynamische Anpassung der Antriebsregelung in Abhängigkeit vom Verlauf des Antriebsmoments umzusetzen. Dazu wurde die Konstanz der Walzengeschwindigkeit mithilfe eines Repetitive-Control-Verfahrens erhöht.

Erfindungsgemäß wird eine hohe Qualität des Druckbildes erst durch eine erhöhte Konstanz der Walzengeschwindigkeiten mithilfe des Repetitive-Control-Verfahrens durch eine additive Stromaufschaltung erreicht. Das Repetitive-Control-Verfahren kann grundsätzlich selbstlernend ausgeführt werden und ist daher sehr einfach anwendbar.

Fig. 6 zeigt ein Diagramm des dynamischen Verhaltens der Versuchsanordnung, wenn das RC-Verfahren angewendet wird. Der Vorgabewert für den Walzendurchmesser wurde gegenüber dem Ausgangswert (Fig. 3 und 4) nicht verändert. In Fig. 6 sind, von oben nach unten, die Verläufe der folgenden Werte angegeben:

- Schleppfehler
- Drehzahlfehler
- Drehzahl
- Antriebsmoment
- Status der RC-Steuerung (0: nicht aktiv, 2 und 3: Initialisierungsphasen, 4: aktiv)
- Ausgangswert RC-Steuerung (additive Stromaufschaltung)

Nach der Aktivierung der RC-Steuerung (Status = 4) ist zu erkennen, dass die tatsächliche Drehzahl keine relevanten Wertspitzen aufweist, und daher als konstant angesehen werden

kann. Auch der Schleppfehler wurde massiv verringert. Dennoch zeigt sich am Verlauf des Antriebsmoments, dass dieses stets positiv ist und es in den Kontaktphasen zu einem stetigen Anstieg kam. Trotz der erheblichen Verbesserungen waren im Druckbild Streifen bemerkbar, wenn auch in geringerem Ausmaß als vor der Verwendung der RC-Steuerung.

- 5 Um die erkennbaren Vorteile der RC-Steuerung dennoch zu nutzen, wurden weitere Versuche durchgeführt, wobei die Anpassung der Vorgabewerte für die Walzengeschwindigkeit und die RC-Steuerung kombiniert wurden. Das Messergebnis dieses Versuchs ist in Fig. 7 dargestellt. Fig. 7 zeigt einen annähernd konstanten Geschwindigkeitsverlauf mit einem sehr geringen Schleppfehler und geringem Antriebsmoment. Im Druckbild waren keine Querstreifen  
10 fen erkennbar.

Fig. 8 veranschaulicht die iterative Funktionsweise eines Schießverfahrens, mit dem ein optimaler Vorgabewert für den Durchmesser eines Walzenelements ermittelt werden kann. Ausgehend von einem Startwert  $D_0$  für den Durchmesser wird ein korrespondierender Wert  $k_0$  für die Steigung des Drehmoments ermittelt (diese entspricht beispielsweise der in Fig. 4  
15 dargestellten Steigung zwischen den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$ ). Danach wird der Startwert  $D_0$  geringfügig auf den Wert  $D_1$  verändert und der korrespondierende Wert  $k_1$  der Steigung des Drehmoments ermittelt. Der nächste Vorgabewert  $D_2$  für den Durchmesser wird dann als Schnittpunkt der Linie durch die Punkte  $(D_0, k_0)$  und  $(D_1, k_1)$  mit der Abszissenachse ermittelt. Das Verfahren wird iterativ weitergeführt, bis ein Vorgabewert  $D_x$  gefunden ist, für den die  
20 Steigung des Drehmoments  $k_x$  ausreichend gering ist. In Fig. 8 ist dies beim Wert  $D_4$ , der nur mehr eine sehr geringe Steigung  $k_4$  aufweist, der Fall.

Das Schießverfahren kann auf verschiedene Vorgabewerte angewendet werden, wobei es beim Beginn jedes Druckvorgangs automatisiert ablaufen kann.

Auch wenn die oben dargelegten Beispiele für das erfindungsgemäße Verfahren jeweils anhand einer Regelung des Formzylinders beschrieben sind, ist es für den Fachmann klar,  
25 dass auch die anderen am Druckvorgang beteiligten Walzenelemente, wie etwa die Rasterwalze, der Gegendruckzylinder, oder weitere zwischengelagerte Walzenelemente, in analoger Weise zur Verbesserung des Druckbildes optimiert werden können.

Fig. 9 zeigt einen beispielhaften Regelkreis zur Antriebsregelung zweier aneinander abwälzender Walzenelemente  $1'$  und  $2'$ , die jeweils von einem Antriebsmotor  $M_A$ ,  $M_B$  angetrieben werden. Die beiden Antriebsmotoren werden über jeweils einen Regelkreis geregelt, wobei die Funktion des Reglers im Folgenden in Bezug auf das erste Walzenelement  $1'$  beschrieben wird.  
30

Der Sollwert  $w$  entspricht dem Vorgabewert für die Motordrehzahl, wobei dieser Sollwert  $w$  auf den Abmessungen der unverformten Walzenelemente basiert. Dieser Sollwert wird einerseits durch einen Anpasswert  $a$  korrigiert, der gemäß dem Drehzahlkorrekturverfahren ermittelt wurde. Die Ermittlung des Anpasswerts erfolgt durch den Drehzahlabgleich  $D$ , der untenstehend detaillierter beschrieben ist. Von dem mit dem Anpasswert  $a$  korrigierten Sollwert  $w$  wird die Rückführung  $y_M(t)$  abgezogen, um die Regelabweichung  $e(t)$  zu ermitteln, die den Eingangswert in einen Drehzahlregler  $R_A$  darstellt. Der Drehzahlregler  $R_A$  gibt eine Steuergröße  $u(t)$  aus.

Die Steuergröße  $u(t)$  wird von einem Repetitive-Controller  $RC_A$ , der über einen internen Speicher verfügt, in zumindest einem ersten Umdrehungszyklus in dem internen Speicher gespeichert, wobei der Repetitive-Controller  $RC_A$  auf Basis der gespeicherten Werte in einem nachfolgenden Umdrehungszyklus ein Korrektursignal  $k(t)$  ausgibt. Das Korrektursignal  $k(t)$  wird mit der Steuergröße  $u(t)$  zu einer korrigierten Steuergröße  $u_k(t)$  verknüpft. Ein Stromregler  $S_A$  erstellt auf Basis der korrigierten Steuergröße  $u_k(t)$  eine Stellgröße  $u_s(t)$ , die beispielsweise in Form eines Antriebsstroms den Antriebsmotor  $M_A$  ansteuert.

Der Repetitive-Controller ( $RC_A$ ) verwendet somit den mit der Drehzahlreglerverstärkung skalierten Drehzahlfehler als Eingangsgröße und versucht den Drehzahlfehler während einer Umdrehung auf null zu regeln. Dieser Fall ist im Blockschaltbild dargestellt. Alternativ kann der Drehzahlsollwert durch einen übergeordneten Lageregler vorgegeben werden dessen Istwert der integrierte Wert der Rückführung  $y_M(t)$  ist. In dem Fall kann die Verwendung des mit der Lagereglerverstärkung skalierten Schleppfehlers nützlich sein. Der RC versucht dann den Schleppfehlerverlauf während einer Umdrehung konstant auf null zu regeln.

Die Regelgröße  $y(t)$  ist die Drehzahl des Walzenelements  $1'$ . Um aus dieser Regelgröße  $y(t)$  die Rückführung  $y_M(t)$  zu erstellen, bietet der Regelkreis der Fig. 9 drei Möglichkeiten:

Die Drehzahl kann entweder über einen am Antriebsmotor vorgesehenen Motorgeber  $MG_A$  gemessen werden, oder über einen an dem Walzenelement  $1'$  angeordneten Lastgeber  $LG_A$ . Alternativ dazu kann die Rückführung  $y_M(t)$  von einem virtuellen Lastgeber  $VG_A$  erstellt werden. Der virtuelle Lastgeber erstellt auf Basis der Stellgröße  $u_s(t)$  einen geschätzten Wert für die Regelgröße  $y(t)$ , der auf dem Strom bzw. dem Motormoment (d.h. der Stellgröße  $u_s(t)$ ), der motorseitigen Drehzahl und einem Modell des dynamischen Verhaltens zwischen Motor- und Lastgeber beruht.

Die Art der Rückführung kann über einen Auswahlschalter  $SW_A$  gewählt werden.

Der Regelkreis des zweiten Walzenelements  $2'$  weist dieselben Elemente nochmals auf und funktioniert auf analoge Weise wie oben für das erste Walzenelement  $1'$  beschrieben. Die

Elemente des Regelkreises, die dem zweiten Walzenelement 2' zuzuordnen sind, sind in Fig. 9 durch ein tiefgestelltes B gekennzeichnet, die dem ersten Walzenelement 1' zugeordneten Elemente hingegen mit einem tiefgestellten A. Der Übersichtlichkeit halber sind die Größen bzw. Signale des Regelkreises  $w$ ,  $e(t)$ ,  $u(t)$ ,  $u_k(t)$ ,  $u_s(t)$ ,  $y(t)$ ,  $y_M(t)$ ,  $a$  in Fig. 9 lediglich für den  
5 Regelkreis des ersten Walzenelements 1' angegeben. Der Regelkreis des zweiten Walzenelements verwendet analoge Signale.

Die beiden Regelkreise werden durch den oben erwähnten Drehzahlabgleich D verknüpft, der auf Basis der Stellgröße  $u_s(t)$  (beider Regelkreise) bzw. der von den ausgewählten Gebersignalen erhaltenen Werte gemäß dem zuvor beschriebenen Drehzahlkorrekturverfahren  
10 ausgewertet und den Anpasswert  $a$  für beide Walzenelemente 1', 2' erstellt.

Bei einem hinreichend schnellen Stromregelkreis (diese Bedingung ist meist erfüllt) kann für den virtuellen Lastgeber und den Drehzahlabgleich anstatt des Stromistwerts (d.h. der Stellgröße  $u_{s(i)}$ ) auch der Stromsollwert (d.h. die korrigierte Steuergröße  $u_k(t)$ ) verwendet werden.

15

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Regelung eines Antriebs einer Maschine mit zumindest einem ersten Walzelement (1'), welches mit einer Oberfläche zumindest in Teilintervallen eines Umdrehungszyklus unter Einwirkung einer Kontaktkraft unter elastischer Verformung auf einer Gegenfläche abwälzt, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein Drehzahlkorrekturverfahren, welches verformungsbedingte Abweichungen der Umfangsgeschwindigkeit des ersten Walzelements (1') durch ein Anpassen des Sollwerts für die Geschwindigkeit des ersten Walzelements (1') automatisch ausgleicht, und ein rückschauendes Verfahren, welches Abweichungen der Drehzahlkonstanz des ersten Walzelements (1') innerhalb eines Umdrehungszyklus durch Anwenden eines aus dem Verlauf einer Regelgröße, insbesondere einer Ist-Geschwindigkeit oder Ist-Position des ersten Walzelements (1'), in einem vorhergehenden Umdrehungszyklus oder in mehreren vorhergehenden Umdrehungszyklen ermittelten Korrektursignals automatisch ausgleicht, kombiniert angewendet werden.
- 15 2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass für das Drehzahlkorrekturverfahren der zeitliche Verlauf eines für ein Antriebsmoment der Walzenanordnung charakteristischen Werts in zumindest einem der Teilintervalle ermittelt wird, daraus ein Parameter für einen Anstieg dieses Werts in dem Teilintervall abgeleitet wird und die Führungsgröße der Umfangsgeschwindigkeit des ersten Walzelements (1') in Abhängigkeit von diesem Parameter zur Minimierung des Anstiegs angepasst wird.
- 20 3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Parameter vom Antriebsmoment oder von einer dem Antriebsmoment physikalisch proportionalen Größe, wie etwa dem Antriebsstrom oder der Antriebsleistung, abgeleitet wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass der für das Antriebsmoment charakteristische Wert eine von dem ersten Walzelement (1') auf die Gegenfläche aufgebrauchte Kraft ist.
- 25 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass der abgeleitete Parameter ein in dem zumindest einen Teilintervall gemittelter Wert ist.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der abgeleitete Parameter eine gegebenenfalls geglättete Steigung des Antriebsmoments in dem zumindest einem Teilintervall ist.
- 30

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Umfangsgeschwindigkeit des ersten Walzenelements (1') durch eine Änderung des Vorgabewertes für die Drehzahl dieses Walzenelements angepasst wird.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Umfangsgeschwindigkeit des ersten Walzenelements (1') durch eine Änderung des Vorgabewertes für den Durchmesser dieses Walzenelements angepasst wird.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Umfangsgeschwindigkeit des ersten Walzenelements (1') durch Änderung des Vorgabewertes für die Zustellung dieses Walzenelements angepasst wird.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass das rückschauende Verfahren ein selbstlernendes Verfahren zur Steuerung zyklischer Abläufe, insbesondere ein Repetitive-Control-Verfahren ist.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass das rückschauende Verfahren einen gegebenenfalls mit einer Drehzahlreglerverstärkung skalierten Drehzahlfehler als Eingangssignal verwendet.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das rückschauende Verfahren eine Initiierungsphase über zumindest einen Umdrehungszyklus, vorzugsweise über zumindest zwei Umdrehungszyklen durchläuft.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die Gegenfläche durch die Oberfläche eines zweiten Walzenelements (2') gebildet ist, wobei das erste Walzelement (1') und das zweite Walzelement (2') aneinander abwälzen und wobei der Antrieb des zweiten Walzenelements (2') analog zum ersten Walzelement (1') geregelt wird.
14. Verfahren nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das rückschauende Verfahren einen im Berührungspunkt (A) zwischen dem ersten Walzelement (1') und dem zweiten Walzelement (2') auftretenden periodischen Schleppfehler als Regelgröße verwendet.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Maschine ein Druckmaschine ist, wobei das erste Walzelement (1') ein Formzylinder (2) ist, wobei ein Gegendruckzylinder (3) und eine Rasterwalze (1) an dem Formzylinder (2) abwälzen, und wobei auf dem Formzylinder (2) eine elastische Druckform (4) aufgebracht ist, wel-

che während zumindest eines Teilintervalls der Umdrehung des Formzylinders (2) mit der Rasterwalze (1) und/oder dem Gegendruckzylinder (3) in Kontakt ist.

16. Verfahren nach Anspruch 15, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren während des Druckvorgangs automatisch ausgeführt wird.

5 17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16, dadurch gekennzeichnet, dass das Verfahren während des Druckvorgangs regelmäßig ausgeführt wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 15 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass durch die Anpassung der Umfangsgeschwindigkeit(en) auf einer Maschine mit mehreren Druckwerken eine identische Liniengeschwindigkeit eingestellt wird.

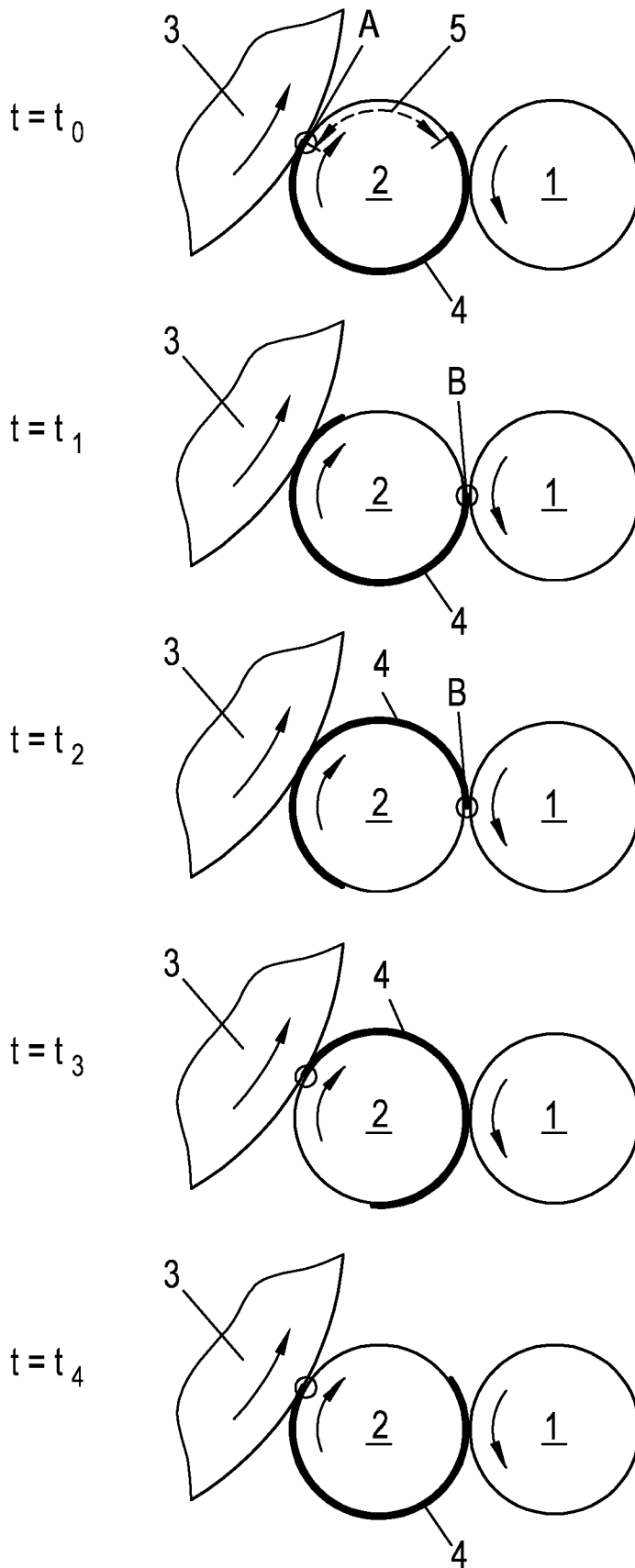


Fig. 1

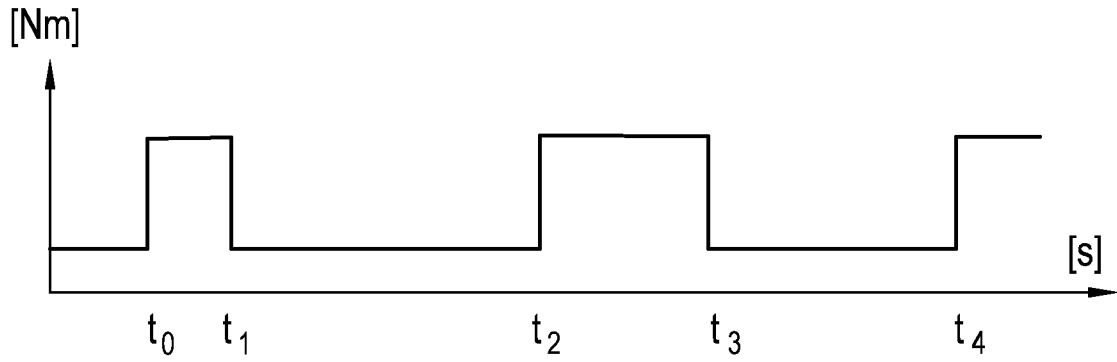


Fig. 2

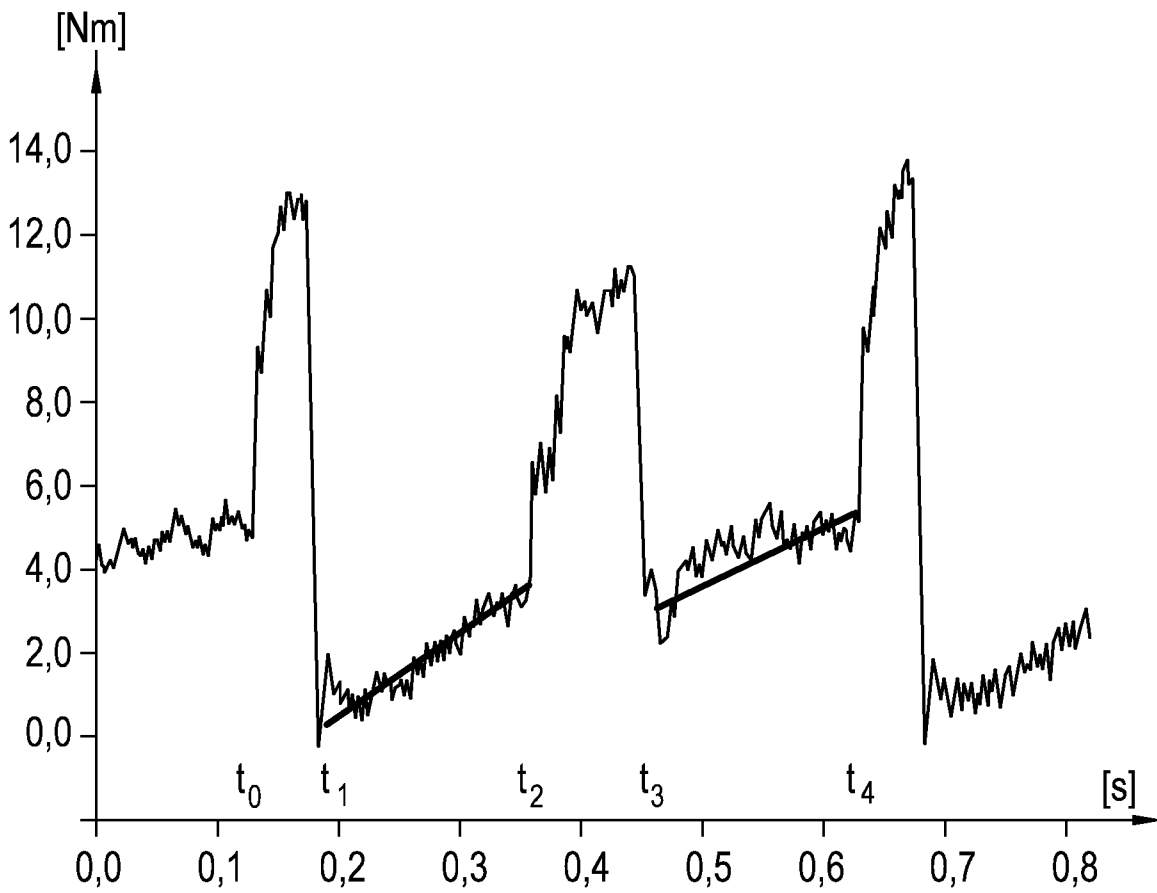


Fig. 4

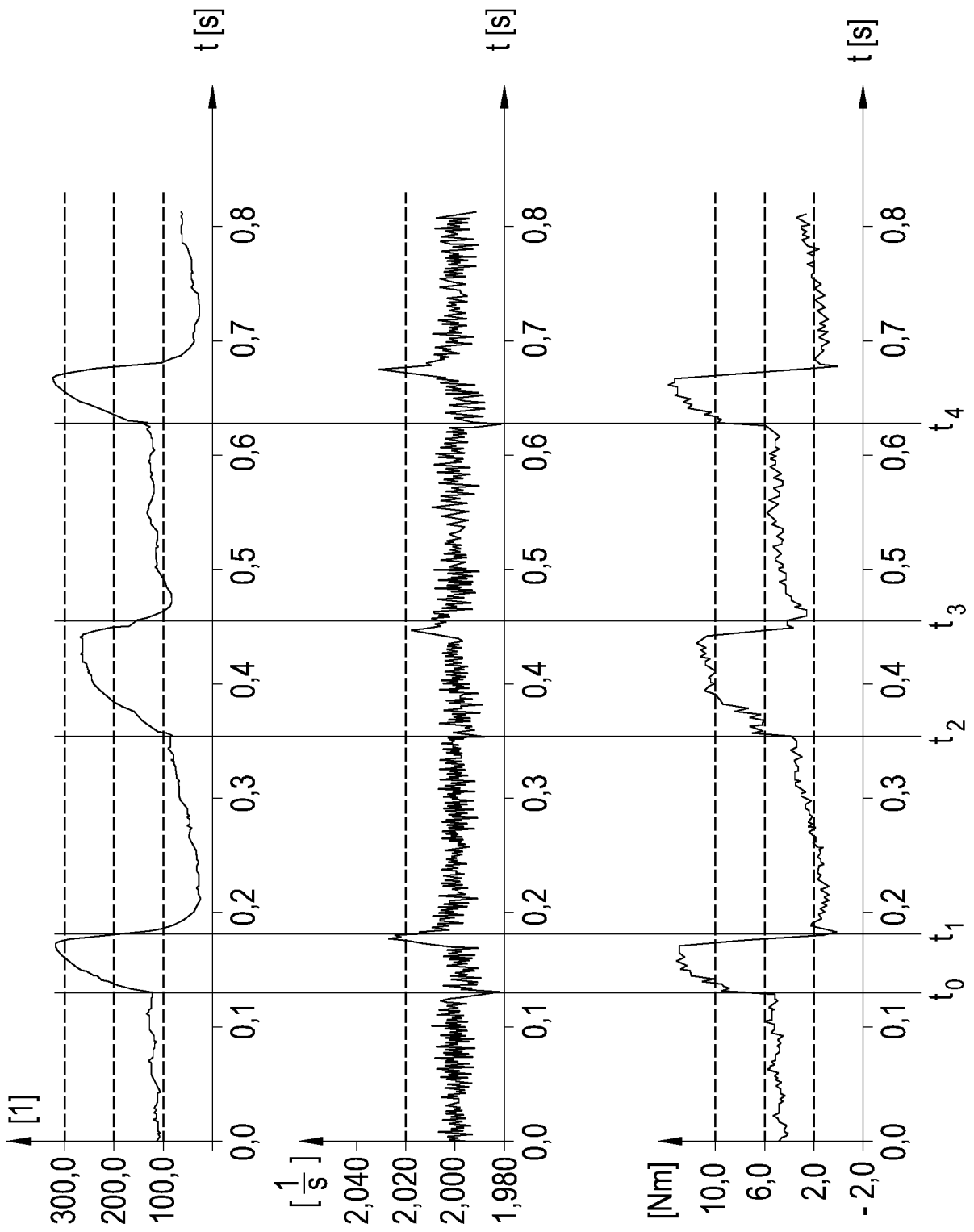


Fig. 3

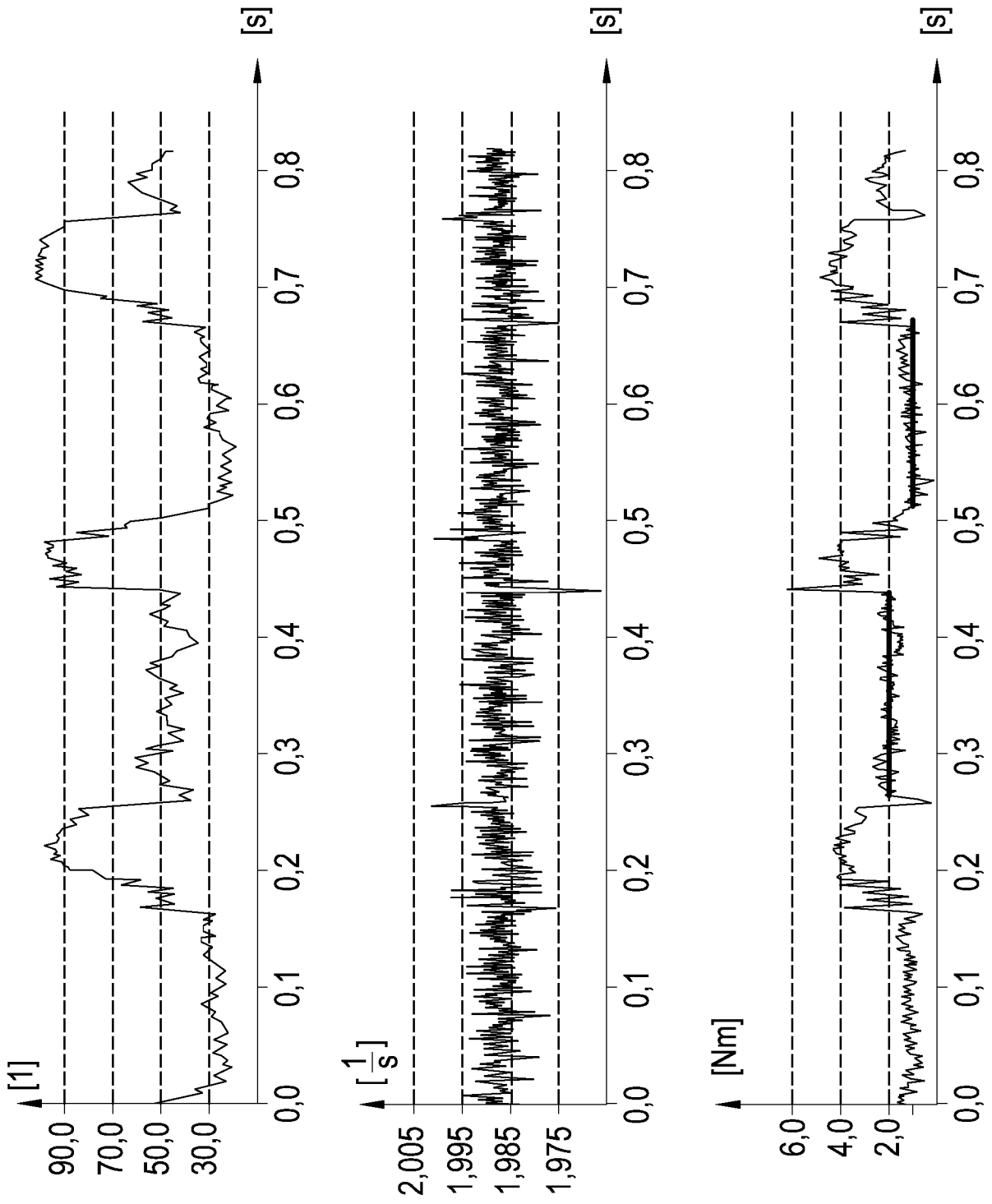


Fig. 5

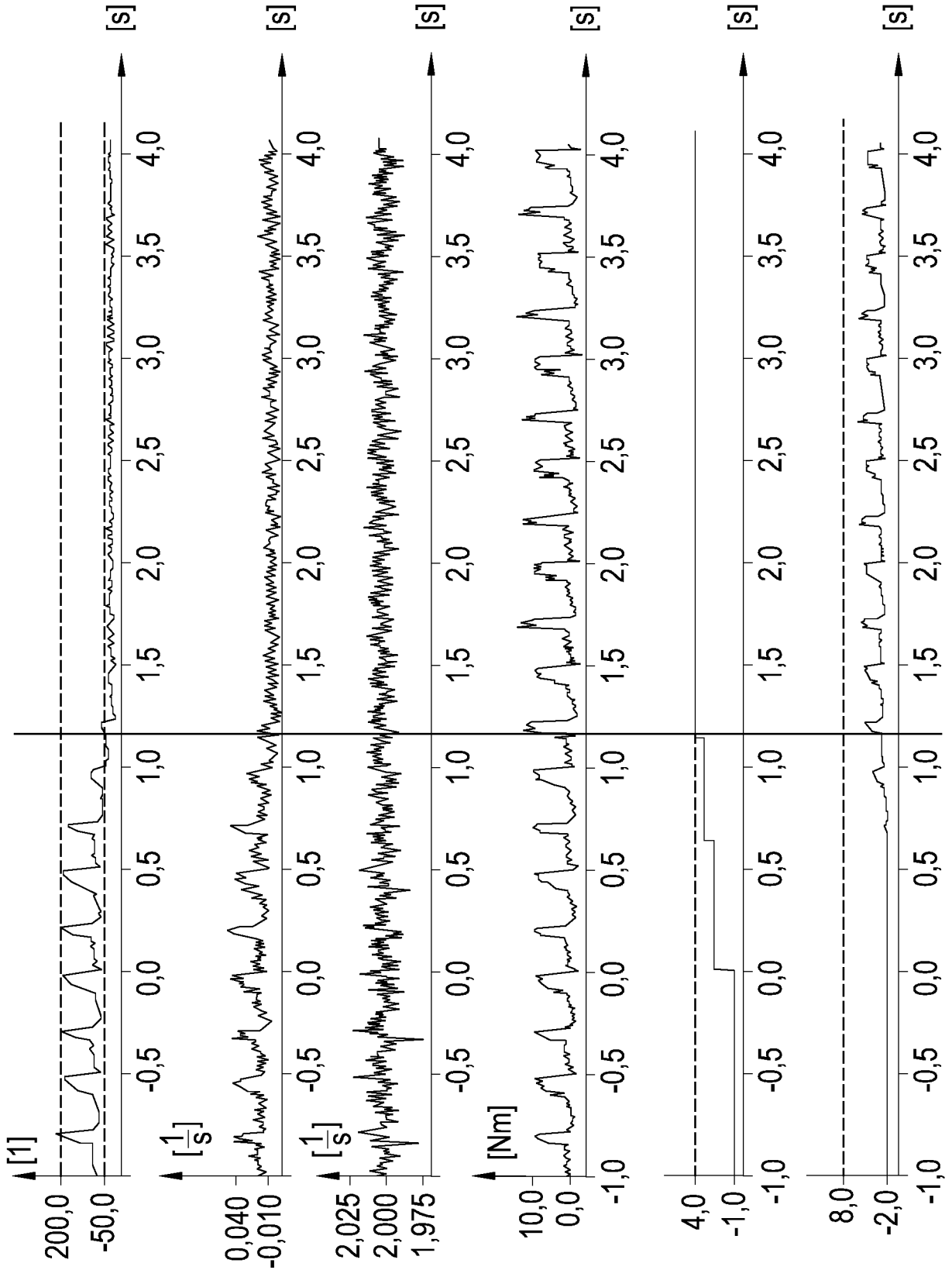


Fig. 6

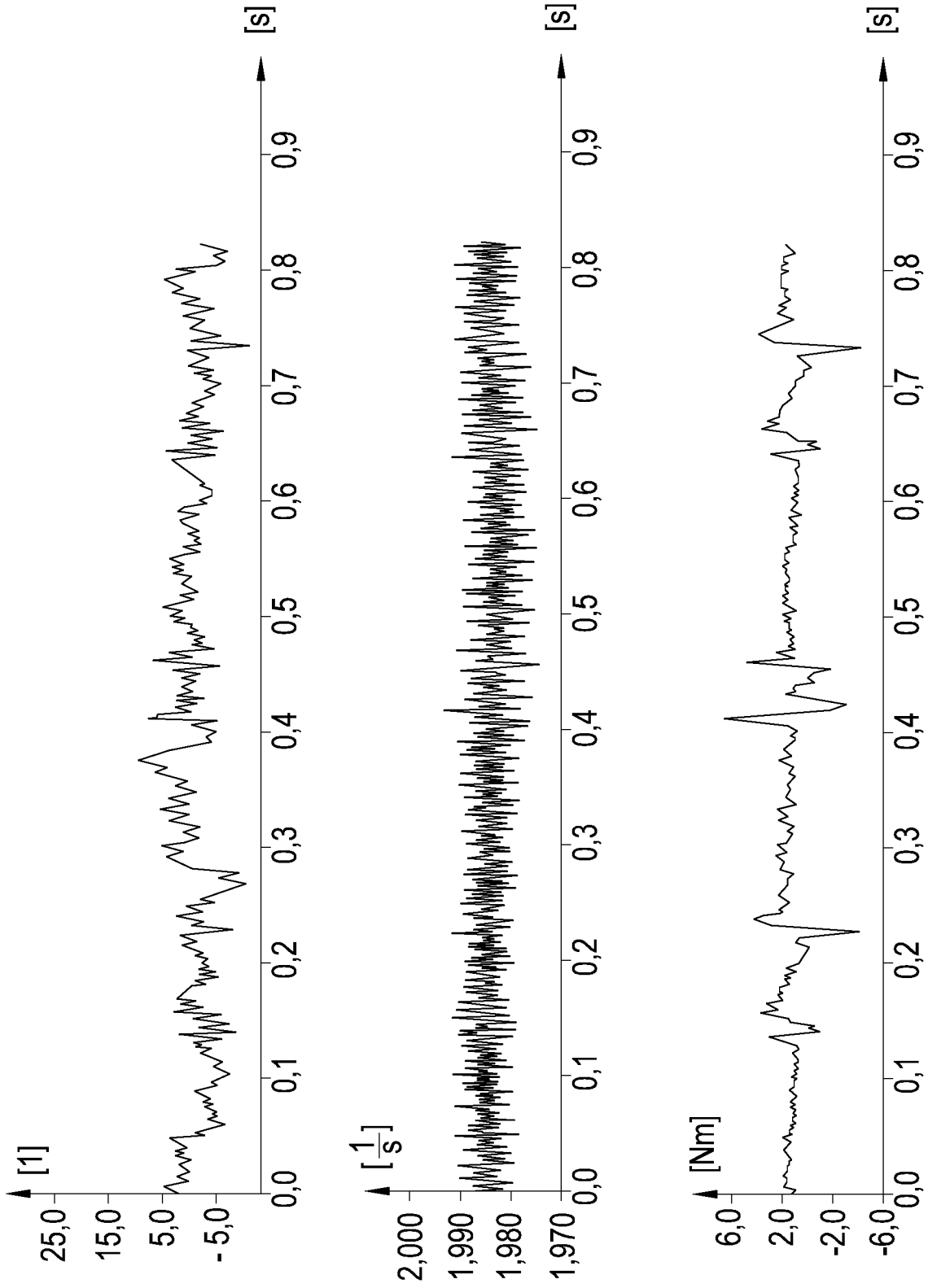


Fig. 7

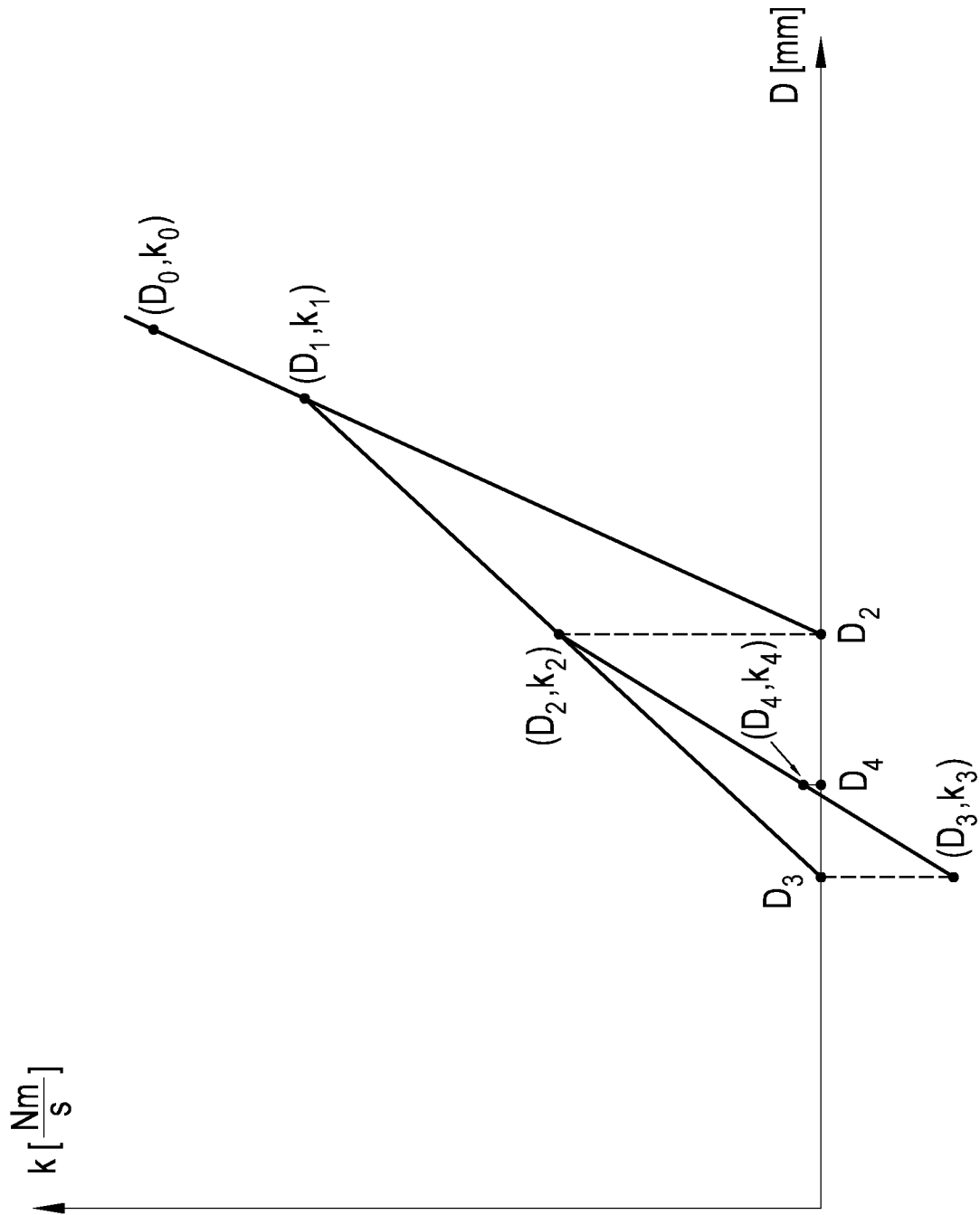


Fig. 8

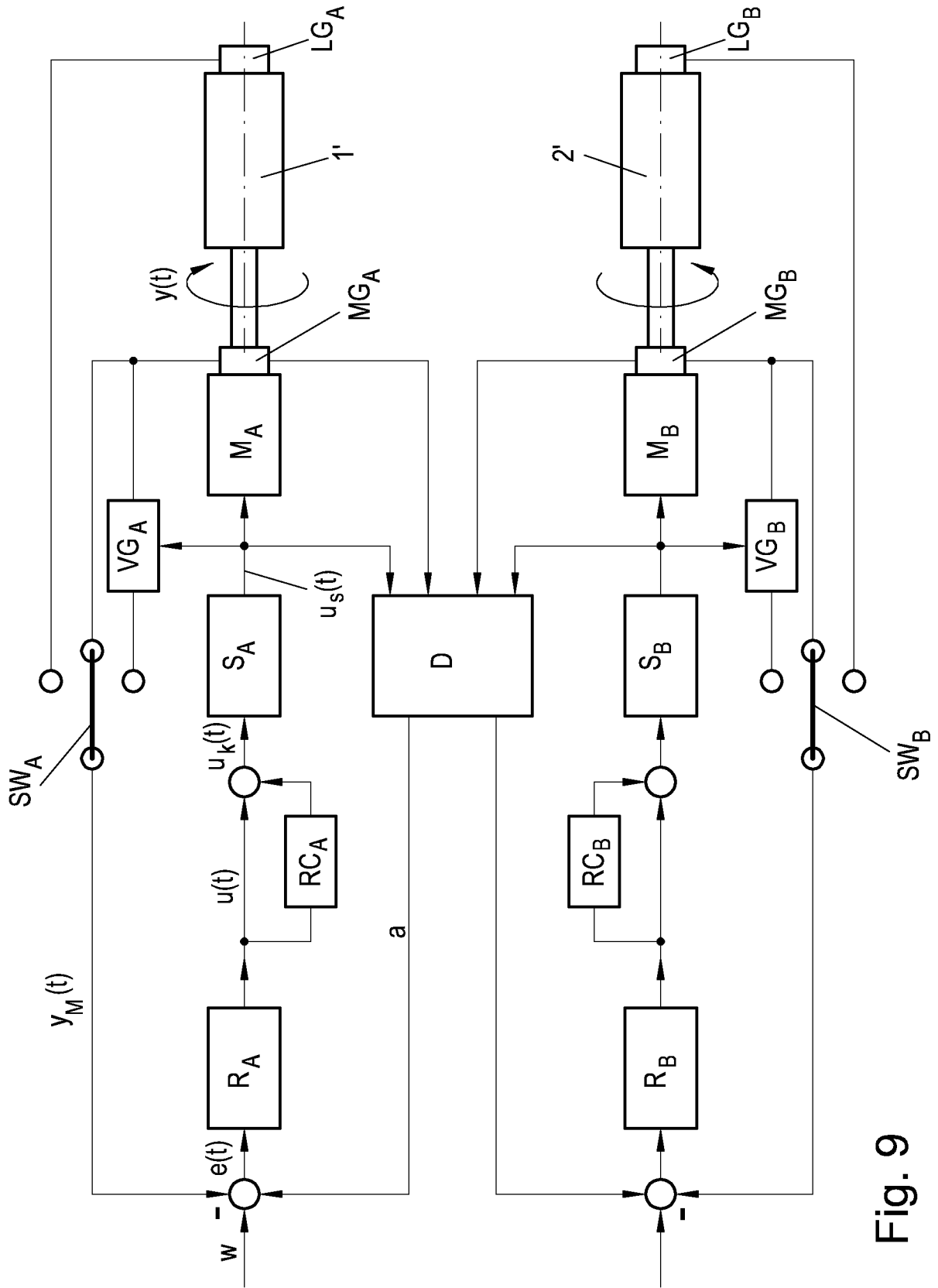


Fig. 9

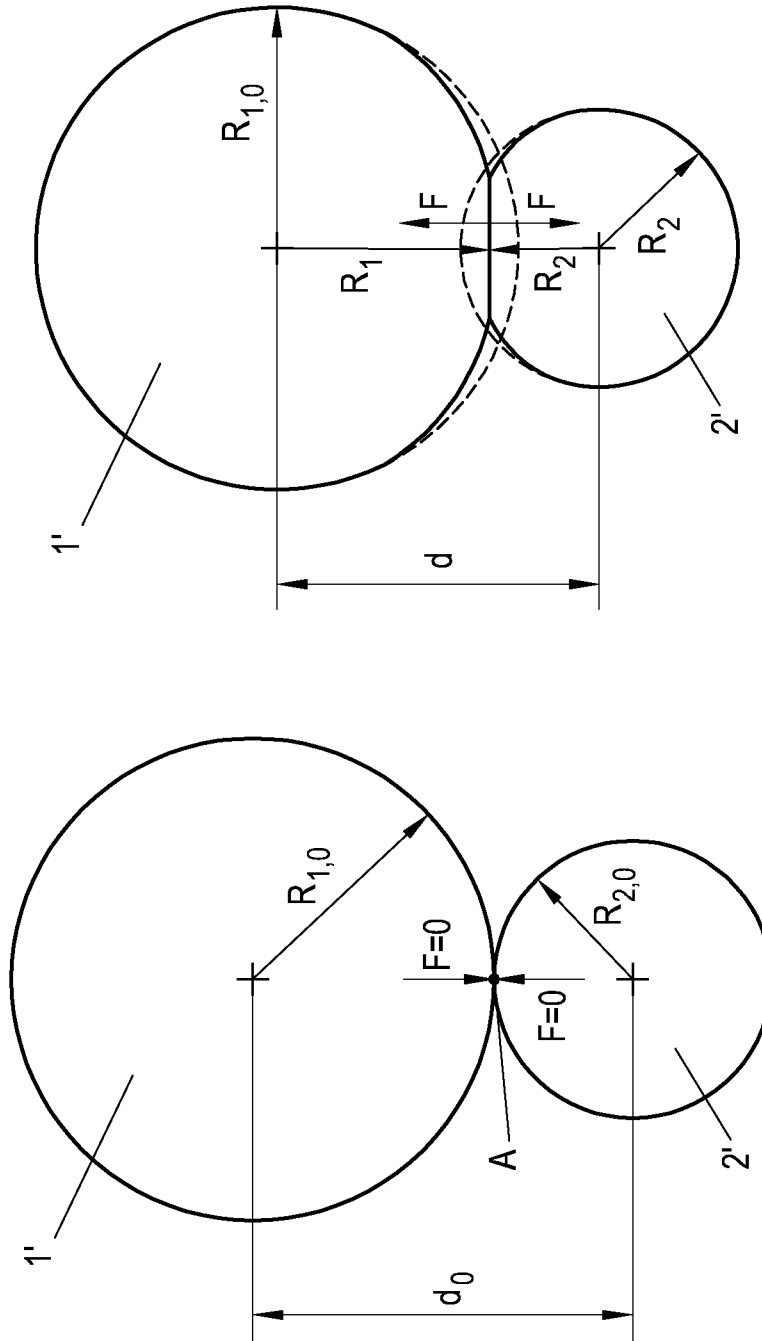


Fig. 11

Fig. 10

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2016/069908

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER  
INV. B41F33/00 D21G1/00  
ADD.  
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED  
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
B41F D21G  
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)  
EPO-Internal

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	EP 1 759 839 A2 (ROLAND MAN DRUCKMASCH [DE]) 7 March 2007 (2007-03-07) figures 1,2 paragraphs [0013], [0016] - [0023] -----	1-18
X	DE 101 07 135 A1 (WINDMOELLER & HOELSCHER [DE]) 29 August 2002 (2002-08-29) figure 1 claims 1,5 paragraphs [0029], [0030] -----	1-18

Further documents are listed in the continuation of Box C.

See patent family annex.

\* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search  27 June 2017	Date of mailing of the international search report  06/07/2017
---	--

Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Authorized officer  Hajji, Mohamed-Karim
--	--

# INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2016/069908

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date	
EP 1759839	A2	07-03-2007	DE 102005041697 A1	15-03-2007
			EP 1759839 A2	07-03-2007
			JP 4339341 B2	07-10-2009
			JP 2007069606 A	22-03-2007
-----				
DE 10107135	A1	29-08-2002	NONE	
-----				

# INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/069908

<b>A. KLASSIFIZIERUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES</b> INV. B41F33/00 D21G1/00 ADD.		
Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPC) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPC		
<b>B. RECHERCHIERTE GEBIETE</b> Recherchierter Mindestprüfstoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole ) B41F D21G		
Recherchierte, aber nicht zum Mindestprüfstoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen		
Während der internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe) EPO-Internal		
<b>C. ALS WESENTLICH ANGESEHENE UNTERLAGEN</b>		
Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	EP 1 759 839 A2 (ROLAND MAN DRUCKMASCH [DE]) 7. März 2007 (2007-03-07) Abbildungen 1,2 Absätze [0013], [0016] - [0023]	1-18
X	DE 101 07 135 A1 (WINDMOELLER & HOELSCHER [DE]) 29. August 2002 (2002-08-29) Abbildung 1 Ansprüche 1,5 Absätze [0029], [0030]	1-18
<input type="checkbox"/> Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen <input checked="" type="checkbox"/> Siehe Anhang Patentfamilie		
* Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen : "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist "E" frühere Anmeldung oder Patent, die bzw. das jedoch erst am oder nach dem internationalen Anmeldedatum veröffentlicht worden ist "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt) "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht "P" Veröffentlichung, die vor dem internationalen Anmeldedatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist		"T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem internationalen Anmeldedatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht als auf erfinderischer Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist "&" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist
Datum des Abschlusses der internationalen Recherche 27. Juni 2017		Absendedatum des internationalen Recherchenberichts 06/07/2017
Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016		Bevollmächtigter Bediensteter Hajji, Mohamed-Karim

**INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT**

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/EP2016/069908

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung	
EP 1759839	A2	07-03-2007	DE 102005041697 A1	15-03-2007
			EP 1759839 A2	07-03-2007
			JP 4339341 B2	07-10-2009
			JP 2007069606 A	22-03-2007
-----				
DE 10107135	A1	29-08-2002	KEINE	
-----				