(19) österreichisches patentamt

(10) **AT 517886 B1 2018-05-15**

(12) # Patentschrift

(21) Anmeldenummer: A 710/2015
(22) Anmeldetag: 05.11.2015
(45) Veröffentlicht am: 15.05.2018

(51) Int. Cl.: ***G01M 13/00*** (2006.01)
G01M 1/00 (2006.01)
G01M 13/02 (2006.01)
G01M 1/02 (2006.01)
B29C 45/00 (2006.01)
B29C 45/17 (2006.01)
B29C 45/76 (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
AT 13307 U1
DE 102014104637 A1
US 2008111264 A1
GB 1381288 A
EP 2244080 A1
DE 4447288 A1

(73) Patentinhaber:
ENGEL AUSTRIA GMBH
4311 SCHWERTBERG (AT)

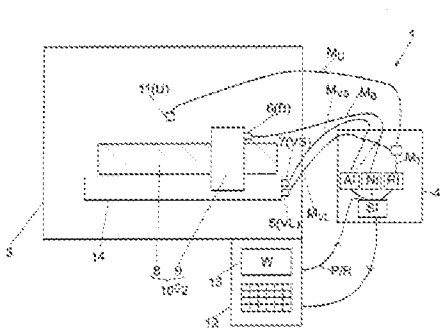
(72) Erfinder:
Pichler Kurt Dipl.Ing. Dr.
4710 Tollet (AT)
Klinglmayr Johannes
4560 Kirchdorf an der Krems (AT)
Kilian Friedrich Johannes Dipl.Ing. Dr.
4501 Neuhofen an der Krems (AT)
Pfeil Reimar Dipl.Ing. Dr.
4540 Bad Hall (AT)

(74) Vertreter:
Torggler Paul N. Mag. Dr., Hofinger Stephan Dipl. Ing. Dr., Gangl Markus Mag. Dr., Maschler Christoph MMag. Dr.
Innsbruck

(54) **Vorrichtung zum Überprüfen eines Zustandes eines Maschinenteils**

(57) Vorrichtung (1) zum Überprüfen eines Zustands eines Maschinenteils (2) einer Formgebungsmaschine (3), mit einer Auswerteeinheit (4), zumindest einem Verlustleistungssensor (5) zum Ermitteln eines für eine Verlustleistung (VL) im und/oder am Maschinenteil (2) repräsentativen Verlustleistungs-Messsignals (M_{VL}), und zumindest einem Bewegungssensor (6) zum Ermitteln eines für eine Bewegung (B) des Maschinenteils (2) repräsentativen Bewegungs-Messsignals (M_B), wobei die Auswerteeinheit (4) dazu ausgebildet ist, aus dem Verlustleistungs-Messsignal (M_{VL}) und aus dem Bewegungs-Messsignal (M_B) einen Schädigungsindikator (SI) für das Maschinenteil (2) zu errechnen.

FIG.1



AT 517886 B1 2018-05-15

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zum Überprüfen eines Zustands eines Maschinenteils einer Formgebungsmaschine. Weiters betrifft die Erfindung eine Formgebungsmaschine mit einer solchen Vorrichtung und ein Verfahren zum Überprüfen des Zustands eines Maschinenteils einer Formgebungsmaschine, insbesondere mit einer solchen Vorrichtung.

[0002] In verschiedensten Industriebereichen, vor allem im Bereich der Großmaschinen, wie beispielsweise Formgebungsmaschinen, treten durch den Betrieb Schädigungen in relativ stark belasteten Maschinenteilen auf. Wenn eine übermäßige Schädigung nicht rechtzeitig erkannt wird, können auch andere, eigentlich noch nicht oder kaum geschädigte Teile in Mitleidenschaft gezogen werden. Diese kann zu hohen Kosten führen.

[0003] Deswegen gibt es bereits Bestrebungen, um Schädigungen in den Maschinenteilen frühzeitig zu erkennen, sodass rechtzeitig entsprechende Maßnahmen getroffen werden können, zum Beispiel dass das geschädigte Maschinenteil vor einem zu erwartenden größeren Gebrechen ausgetauscht wird.

[0004] Dazu ist aus dem Artikel „Sensorlose Maschinenzustandsüberwachung“ von Weck (in VDI-Z integrierte Produktion 142(6), Seiten/Artikel-Nr.: 53-58 2000, Impressum Düsseldorf: Springer-VDI-Verl. ISSN 0042-1766) bekannt, dass besonders häufig Ausfälle bei Werkzeugmaschinen durch das Versagen mechanischer Komponenten des Antriebsstranges verursacht werden. Dafür ist gemäß dem Artikel eine kontinuierliche Überwachung des Maschinenzustands vorgesehen. Zum Beispiel sind Schäden in Hauptspindellagern über ihr Temperaturverhalten erkennbar. Ansonsten kann laut diesem Artikel eine gute Korrelation des Verlaufs der Verschiebekraft eines ausgefallenen Führungswagens mit dem des Motorstroms festgestellt werden. Somit ist eine sensorlose, auf Basis des Motorstroms des Vorschubantriebs (entspricht dem Maschinenteil) aufbauende Zustandsüberwachung möglich. Dies wird also hauptsächlich mit einer reinen Softwareapplikation gelöst. Nachteilig hierbei ist, dass der Motorstrom eine relativ ungenaue Abbildung einer Beschädigung ergibt. Somit kann die aus dem Motorstrom herausgelesene Schädigung relativ große Unterschiede zur tatsächlich vorliegenden Schädigung aufweisen. Es kann daher das Maschinenteil unnötig früh oder gar zu spät getauscht werden.

[0005] Aus der wissenschaftlichen Arbeit „Kugelgewindetriebe im Einsatz an Kunststoffspritzgießmaschinen - Lebensdauerprognose und Optimierung" von Forstmann aus dem Jahre 2010 gehen Versuchsreihen hervor, in welchen die Temperatur und die Vibration (Körperschall) eines Maschinenteils gleichzeitig aufgezeichnet werden. Als Eingangsgrößen für ein Lebensdauerprognosemodell werden dabei Belastungsdaten, Geometriedaten, Werkstoff-, Oberflächen- und Stoffeigenschaften oder die Verschleißgrenze (Materialabtragung an der Bauteiloberfläche) herangezogen (siehe Punkt 4.1). Eine wesentliche Erkenntnis in dieser Arbeit liegt darin, dass der Verschleiß des Kugelgewindetriebs maßgeblich vom Verschmutzungsgrad des Schmierstoffes mit abrasiv wirkenden Partikeln und der Temperatur zusammenhängt (siehe Punkt 4.4.9). Unter Punkt 4.4.9.1 ist angeführt, dass ein Schädigungsparameter als Summe einzelner Teilfaktoren gedacht werden kann, die entsprechend einer zu wählenden mathematischen Verknüpfung den Schädigungsparameter ergeben. Unter Punkt 5.3.2.5 sind Ausfallskriterien für Kugelgewindetriebe angeführt. Da Kugelgewindetriebe an Kunststoffverarbeitungsmaschinen in der Betriebspraxis nicht überwacht werden, kommt es häufig zu unerwarteten Ausfällen, da die Verschleißgeschwindigkeit ab dem Zeitpunkt des Hörbarwerdens des Schadens für den Maschinenbediener bereits so hoch ist, dass zumeist nur noch kurze Restlaufzeiten gegeben sind. Für die Zustandsüberwachung von Serienmaschinen in der Produktion ist es aus Kostengründen wünschenswert ohne zusätzliche Sensoren auszukommen. Ein Lösungsansatz hierfür ist die Auswertung der Antriebsdaten, insbesondere der im Frequenzumrichter vorhandenen Daten. Es wird weiters beschrieben, dass neben dem Motormoment vom Prüfstand weitere Messdaten aufgezeichnet werden, die für die Bestimmung des Ausfallzeitpunktes des Kugelgewindetriebes genutzt werden können. Die Temperatur an der Außenseite der Mutter ist in Verbindung mit der Umgebungstemperatur ein integrales Maß für die eingebrachte Reibarbeit, welche mit

zunehmendem Verschleiß des Kugelgewindetriebes ansteigt. Bei den gemäß dieser wissenschaftlichen Arbeit durchgeführten Untersuchungen stand weder die Praxistauglichkeit für Betriebsüberwachung an Serienmaschinen noch die Kosten der Diagnosemethoden im Vordergrund, sondern die frühzeitige Erkennung von Schäden. In der Zusammenfassung unter Punkt 8 ist schließlich angeführt, dass das realisierte Prognosemodell in der Lage ist, die Schädigung für jeden Bereich des Kugelgewindetriebs individuell zu bestimmen, sowohl für Ermüdungs- als auch für Abrasionsverschleiß.

[0006] Nachteilig bei dieser wissenschaftlichen Arbeit ist, dass sie nur auf theoretischen Betrachtungen bzw. mit einer für Praxiszwecke ungeeigneten Testanordnung durchgeführt wurde. Zudem ist nachteilig, dass zwar Temperatur und Vibration (Körperschall) gleichzeitig aufgezeichnet wurde, aber kein Regelwerk für irgendeine Art von Fusionierung der Messdaten angeführt ist. Mithin ist es auf Basis dieser Arbeit nicht möglich, in der Praxis ein schnelles und aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten.

[0007] Weiters betrifft die Erfindung eine Vorrichtung, bei der eine Auswerteeinheit und zumindest ein Bewegungssensor zum Ermitteln eines für die Bewegung des Maschinenteils repräsentativen Bewegungs-Messsignals vorgesehen sind. Eine derartige Vorrichtung geht z.B. aus der AT 13 307 U1 hervor.

[0008] Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher darin, eine zum bekannten Stand der Technik alternative bzw. verbesserte Vorrichtung und ein verbessertes Verfahren zu schaffen. Insbesondere sollen die aus dem Stand der Technik bekannten Nachteile behoben werden.

[0009] Dies wird durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen von Anspruch 1 gelöst.

[0010] Demnach umfasst die Vorrichtung zumindest einen Verlustleistungssensor zum Ermitteln eines für eine Verlustleistung im und/oder am Maschinenteil repräsentativen Verlustleistungs-Messsignals, wobei die Auswerteeinheit dazu ausgebildet ist, aus dem Verlustleistungs-Messsignal und aus dem Bewegungs-Messsignal einen Schädigungsindikator für das Maschinenteil zu errechnen. Bevorzugte Ausführungsbeispiele finden sich in den abhängigen Ansprüchen.

[0011] Somit ist es erstmals möglich, die Schädigung sehr präzise wiedergebende Werte (zumindest Verlustleistungs-Messsignal und Bewegungs-Messsignal) zu einem einzigen aussagekräftigen Wert (Schädigungsindikator) zu fusionieren. Dadurch wird einem Bediener eine schnelle, fundierte und aussagekräftige Grundlage für eine Entscheidung über einen Austausch eines Maschinenteils zur Verfügung gestellt. In anderen Worten beruht die Erfindung auf der Fusionierung mehrerer Indikatoren in den Messgrößen zu einem globalen Schädigungsindikator. Die Restlebensdauer des Maschinenteils ergibt sich dann in Bezug auf die Lebensdauerangabe des Herstellers. Wenn der Schädigungsindikator knapp unterhalb der Lebensdauerangabe liegt oder diese erreicht, sollte das Maschinenteil ausgetauscht werden.

[0012] Als Verlustleistung bezeichnet man die Differenz zwischen aufgenommener Leistung (Leistungsaufnahme) und in der gewünschten Form abgegebener Leistung (Leistungsabgabe) eines Gerätes oder Prozesses. Verlustleistung wird überwiegend als Wärmestrom freigegeben kann daher über eine Temperaturmessung ermittelt werden. Weiters kann die Verlustleistung auch als Differenz zwischen der zugeführten elektrischen und abgeführten mechanischen Leistung berechnet werden. Daraus ergibt sich ein virtuelles Sensorsignal. Ist die mechanische Leistungsabgabe nicht direkt messbar, kann die Verlustleistung aber auch rein über Überwachung der Motorleistung erfolgen. Steigt nämlich diese Motorleistung bei einem gleichbleibenden Prozess kontinuierlich an, muss die zusätzlich zugeführte Leistung als Verlust budgetiert werden.

[0013] Um eine noch genauere Aussage über die tatsächlich vorliegende Schädigung des Maschinenteils zu erreichen, ist bevorzugt ein Verschleißsensor, vorzugsweise ein Partikelzähler oder Ölzustandssensor, zum Ermitteln des Verschleißes des Maschinenteils vorgesehen, wobei dieser ermittelte Verschleiß als Verschleißmesssignal an die Auswerteeinheit übermittelbar ist, welche zusätzlich dieses Verschleißmesssignal für die Berechnung des Schädigungsin-

dikators berücksichtigt. Konkret kann beispielsweise ein Verschleißsensor der Firma Argo Hytos eingesetzt werden, welcher ein intelligenter Sensor zur Bestimmung des Zustands von Hydraulik- und Schmiersystemen anhand ferromagnetischer Verschleißpartikel ist. Dieser Sensor ist als Einschraub- bzw. Eintauchsensor ausgeführt und ist zur kontinuierlichen Überwachung der ferromagnetischen Verschmutzung im Öl konzipiert.

[0014] Anstatt oder zusätzlich zu diesem ermittelten Verschleiß, der durch betriebliche Benutzung verursacht ist, kann aber auch noch die Alterung - also der Zeitraum seit Inbetriebnahme des Maschinenteils - in die Berechnung des Schädigungsindikators einfließen. Eine derartige Alterung ist ja auch bei Nichtbenutzung gegeben, also rein durch den Zeitablauf. Mit anderen Worten kann also das reine Alter des Maschinenteils auch einen Berechnungsfaktor des Schädigungsindikators bilden.

[0015] Prinzipiell kann mit der beschriebenen Vorrichtung jedes Maschinenteil auf Schädigungen hin untersucht werden. Bevorzugt führt ein solches Maschinenteil Bewegungen aus, weshalb durch die Bewegung naturgemäß Abnützungen auftreten. Besonders sinnvoll ist der Einsatz einer solchen Vorrichtung zum Überprüfen eines Zustands eines Maschinenteils dann, wenn dieses Maschinenteil eine Antriebseinheit ist. Dies kann beispielsweise eine Kolben-Zylinder-Einheit oder ein Riementrieb sein. Besonders bevorzugt wird mit der Vorrichtung allerdings ein Maschinenteil in Form eines Kugelgewindetriebs, zum Beispiel zum Einsatz in einer Schließeinheit einer Formgebungsmaschine, überprüft. Ein derartiger Kugelgewindetrieb weist eine Spindel, eine Spindelmutter und dazwischen angeordnete, vorzugsweise kugelförmige, Wälzkörper auf. Da derartige Kugelgewindetriebe präzise arbeiten und ein Schaden hohe Kosten verursachen kann, kann die beschriebene Vorrichtung besonders effizient bei solchen Kugelgewindetrieben eingesetzt werden.

[0016] Es ist grundsätzlich ausreichend, wenn die Verlustleistung auf Basis eines einzigen Verlustleistungssensors ermittelt wird. Um allerdings einen noch aussagekräftigeren Wert zu erhalten, ist bevorzugt ein Umgebungstemperatursensor zum Messen der Umgebungstemperatur im Bereich der Formgebungsmaschine vorgesehen, wobei diese Umgebungstemperatur als Umgebungstemperatur-Messsignal an die Auswerteeinheit übermittelbar ist, wobei die Auswerteeinheit das Verlustleistungs-Messsignal mit dem Umgebungstemperatur-Messsignal zu einem bereinigten Temperaturmesssignal korrigiert. Somit kann eine zu kühle oder zu heiße Umgebungstemperatur oder tageszeitabhängige Temperaturschwankungen die tatsächliche Verlustleistung nicht unerwünscht verfälschen.

[0017] Der Bewegungssensor kann als Vibrationssensor oder als Geschwindigkeitssensor ausgebildet sein. Bevorzugt ist der Bewegungssensor als Beschleunigungssensor, welcher die zweite zeitliche Ableitung der Position des Maschinenteils misst, ausgebildet. Der Bewegungssensor kann auch einen oder mehrere dieser Sensoren umfassen. Der Beschleunigungssensor ist besonders gut dazu geeignet, unterschiedliche Schwingungsfrequenzbereiche als Frequenzbänder auszugeben. Besonders relevante Merkmale dieser Frequenzbänder sind Frequenzspitzen oder Pulssignale. Diese Merkmale eignen sich zur Ermittlung eines Absplitterungsindikators. Zusätzlich oder alternativ können aber auch Messgrößen des Verschleißsensors in die Ermittlung des Absplitterungsindikators miteinfließen.

[0018] Einen weiteren Teil-Indikator des Schädigungsindikators bildet der Reibungsindikator. Dieser kann über die Auswerteeinheit aus dem Verlustleistungs-Messsignal, vorzugsweise aus dem bereinigten Temperaturmesssignal, errechnet werden. Ein Abnutzungsindikator wird über die Auswerteeinheit wiederum aus dem Bewegungs-Messsignal errechnet. Somit setzt sich der Schädigungsindikator aus dem Absplitterungsindikator, dem Reibungsindikator und dem Abnutzungsindikator zusammen.

[0019] Für die Berechnung des Schädigungsindikators können aber nicht nur Informationen von den Sensoren der Vorrichtung herangezogen werden, vielmehr ist es sogar von Vorteil, wenn die Auswerteeinheit zusätzlich zumindest ein elektrisches Signal der Formgebungsmaschine erhält. Dieses zumindest eine elektrische Signal der Formgebungsmaschine kann beispielsweise eine Position und/oder eine Bewegungsrichtung des Maschinenteils der Formgebungsma-

schine repräsentieren. Das heißt, wenn gerade ein besonders kraftintensiver Zyklusabschnitt durchlaufen wird, sind die Messergebnisse entsprechend daran anzupassen. Vor allem können zu so einem Zeitpunkt des Zyklus verstärkte Vibrationen auftreten, die aber keinen Rückschluss auf eine erhöhte Schädigung bedeuten. Diese Werte können aufgrund der Information über die Position und/oder die Bewegungsrichtung des Maschinenteils entsprechend berücksichtigt bzw. ausgefiltert werden.

[0020] Es ist auch möglich, dass das zumindest eine elektrische Signal der Formgebungsmaschine eine Temperatur eines Teils, zum Beispiel einer Spindel, der Formgebungsmaschine repräsentiert und dieses Signal auch in die Ermittlung der Verlustleistung einfließt. Somit kann ein in der Formgebungsmaschine ohnehin vorhandenes Signal auch zur präziseren Ermittlung der Verlustleistung herangezogen werden. Im Speziellen setzt sich die Verlustleistung somit aus dem Verlustleistungs-Messsignal (welches beispielsweise der Schmieröltemperatur entspricht), dem die Spindeltemperatur repräsentierenden elektrischen Signal und dem die Umgebungstemperatur repräsentierenden Umgebungstemperatur-Messsignal zusammen.

[0021] Schutz wird auch begehrt für eine Formgebungsmaschine, insbesondere Spritzgießmaschine oder Spritzpresse, mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung. Dabei ist bevorzugt vorgesehen, dass die Formgebungsmaschine eine mit der Auswerteeinheit in signaltechnischer Verbindung stehende Steuer- oder Regeleinheit zum Steuern oder Regeln der Formgebungsmaschine aufweist. Die Auswerteeinheit kann auch in die Steuer- oder Regeleinheit integriert sein. Im Speziellen kann die Auswerteeinheit ein in der Steuer- oder Regeleinheit gespeichertes Programm sein.

[0022] Es ist prinzipiell möglich, dass die Steuer- oder Regeleinheit die Formgebungsmaschine in Abhängigkeit des von der Auswerteeinheit an die Steuer- oder Regeleinheit übermittelten Schädigungsindikators steuert oder regelt, zum Beispiel kann das Maschinenteil bei einem entsprechenden Wert zum Stillstand gebracht oder bei Erreichen eines vorbestimmten Schwellwerts für den Schädigungsindikator sogar ganz abgeschaltet werden. Allgemein kann vorgesehen sein, dass Steuern oder Regeln bei einer erkannten Schädigung schonender durchzuführen um eine weitergehende Schädigung zu verhindern oder zumindest zu verzögern. Zum Beispiel können niedrigere Beschleunigungen oder Rucke gefahren werden.

[0023] Bevorzugt ist vorgesehen, dass über die Steuer- oder Regeleinheit in Abhängigkeit des von der Auswerteeinheit an die Steuer- oder Regeleinheit übermittelten Schädigungsindikators ein Warnsignal ausgebbar ist, wenn der übermittelte Schädigungsindikator einen festgelegten Schwellwert erreicht. Dieses Warnsignal kann zum Beispiel akustisch ausgegeben werden. Der aktuelle Wert des Schädigungsindikators und/oder das Warnsignal kann aber auch an die Steuer- oder Regeleinheit zurück übermittelt oder über eine optionale Netzwerkverbindung an eine Fernwartungsstelle (z. B. ein Servicecenter oder dergleichen) weitergeleitet werden. Bevorzugt wird der Schädigungsindikator (zum Beispiel als ein Zahlenwert) über eine Anzeigevorrichtung angezeigt. Diese Anzeigevorrichtung kann Teil der Auswerteeinheit sein. Es kann aber auch die meist ohnehin vorhandene Anzeigevorrichtung (Bildschirm) der Steuer- oder Regeleinheit der Formgebungsmaschine dafür benutzt werden.

[0024] Schutz wird darüber hinaus auch begehrt für ein Verfahren zum Überprüfen eines Zustands eines Maschinenteils einer Formgebungsmaschine, insbesondere mit einer erfindungsgemäßen Vorrichtung. Dabei sind die Schritte Ermitteln einer Verlustleistung im und/oder am Maschinenteil, Ermitteln einer Bewegung des Maschinenteils, und Errechnen eines Schädigungsindikators für das Maschinenteil durch die Auswerteeinheit aus der Verlustleistung und aus der Bewegung vorgesehen. Detaillierter ausgedrückt sind die Schritte Ermitteln einer Verlustleistung im und/oder am Maschinenteil mit einem Verlustleistungssensor, wobei diese ermittelte Verlustleistung als Verlustleistungs-Messsignal an eine Auswerteeinheit übermittelt wird, Ermitteln einer Bewegung des Maschinenteils mit einem Bewegungssensor, wobei diese ermittelte Bewegung als Bewegungsmesssignal an die Auswerteeinheit übermittelt wird, und Errechnen eines Schädigungsindikators für das Maschinenteil durch die Auswerteeinheit aus dem Verlustleistungs-Messsignal und aus dem Bewegungs-Messsignal vorgesehen.

[0025] Bevorzugt ist auch noch der weitere Schritt Ermitteln eines Verschleißes des Maschinenteils mit einem Verschleißsensor vorgesehen, wobei dieser ermittelte Verschleiß als Verschleißmesssignal an die Auswerteeinheit übermittelt wird, welche zusätzlich dieses Verschleißmesssignal für die Berechnung des Schädigungsindikators berücksichtigt.

[0026] Sämtliche hinsichtlich der Vorrichtung und hinsichtlich der Formgebungsmaschine angeführten möglichen Ausführungsbeispiele gelten sinngemäß auch als mögliche bzw. bevorzugte Ausführungsvarianten des Verfahrens zum Überprüfen eines Zustands eines Maschinenteils einer Formgebungsmaschine.

[0027] Weitere Einzelheiten und Vorteile der vorliegenden Erfindung werden anhand der Figurenbeschreibung unter Bezugnahme auf die in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiele im Folgenden näher erläutert. Darin zeigen:

[0028] Fig. 1 schematisch eine Formgebungsmaschine mit einer Vorrichtung zum Überprüfen eines Zustands eines Maschinenteils,

[0029] Fig. 2 ein Diagramm der Verlustleistung des Maschinenteils entlang einer Zeitachse,

[0030] Fig. 3 ein Diagramm von über den Beschleunigungssensor aufgenommenen Frequenzbändern entlang einer Zeitachse,

[0031] Fig. 4 ein Diagramm mit der Zusammensetzung des Schädigungsindikators entlang einer Zeitachse,

[0032] Fig. 5 ein Diagramm des Verlustleistungs-Messsignals mit Schwellwert und

[0033] Fig. 6 passend zu Fig. 5 ein Diagramm des Schädigungsindikators mit einer Einflussfunktion.

[0034] In Fig. 1 ist schematische eine Formgebungsmaschine 3 dargestellt. Diese weist als (zumindest) einen Maschinenteil 2 einen Kugelgewindetrieb 10 auf. Dieser Kugelgewindetrieb 10 setzt sich zumindest aus der Spindel 8 und der Spindelmutter 9 zusammen. Unterhalb des Kugelgewindetriebs 10 befindet sich eine Ölwanne 14.

[0035] Im Bereich dieser Ölwanne 14 ist ein Verlustleistungssensor 5 zur Ermittlung einer Verlustleistung VL vorgesehen. Im Speziellen kann dieser Verlustleistungssensor 5 ein Thermometer zur Ermittlung der Öltemperatur sein. Vom Verlustleistungssensor 5 wird ein Verlustleistungs-Messsignal M_{VL} an eine Auswerteeinheit 4 weitergeleitet. Weiters ist im Bereich der Ölwanne 14 ein Verschleißsensor 7 zum Ermitteln des Verschleißes VS des Maschinenteils 2 vorgesehen. Im Speziellen kann dieser Verschleißsensor 7 ein Partikelzähler oder ein Ölzustandssensor sein. Vom Verschleißsensor 7 wird ein Verschleißmesssignal M_{VS} ebenfalls an die Auswerteeinheit 4 weitergeleitet. Im oder am Maschinenteil 2 ist ein Bewegungssensor 6 zum Ermitteln einer Bewegung B des Maschinenteils 2 angeordnet. Im Speziellen kann dieser Bewegungssensor 6 ein Beschleunigungssensor zum Ermitteln von Frequenzbändern sein. Vom Bewegungssensor 6 wird ein Bewegungs-Messsignal M_B ebenfalls an die Auswerteeinheit 4 übermittelt. Auch ein Umgebungstemperatursensor 11 kann vorgesehen sein, um die Umgebungstemperatur U zu messen und ein entsprechendes Umgebungstemperatur-Messsignal M_U an die Auswerteeinheit 4 weiterzuleiten.

[0036] In weiterer Folge wird in der Auswerteeinheit 4 aus diesen Eingangssignalen ein Schädigungsindikator SI errechnet, welcher eine (relativ) genaue Aussage über die tatsächlich vorliegende Schädigung des Maschinenteils 2 zulässt. Dazu wird zunächst das Verlustleistungs-Messsignal M_{VL} und das Umgebungstemperatur-Messsignal M_U zu einem bereinigten Temperaturmesssignal M_T zusammengeführt. Aus diesem bereinigten Temperaturmesssignal M_T wird dann in der Auswerteeinheit 4 über einen hinterlegten Algorithmus ein Reibungsindikator RI errechnet. Aus dem Bewegungs-Messsignal M_B wird in der Auswerteeinheit 4 ein Abnutzungsindikator NI errechnet. Der Absplitterungsindikator AI wird in der Auswerteeinheit 4 aus dem Verschließ-Messsignal M_{VS} errechnet. Zusätzlich oder alternativ kann dieser Absplitterungsindikator AI auch aus den Frequenzspitzen oder Pulssignalen der Frequenzbänder des Bewegungssensors 6 errechnet werden (siehe Strichlierung in Fig. 1). Schließlich wird aus zumindest

einem dieser Indikatoren - vorzugsweise aus allen drei Indikatoren - Reibungsindikator RI, Abnutzungsindikator NI und Absplitterungsindikator AI der Schädigungsindikator SI auf Basis eines in der Auswerteeinheit 4 hinterlegten Algorithmus errechnet. In Fig. 1 ist die Verlustleistung nur durch ein Temperatursignal abgebildet, tatsächlich kann die Verlustleistung aber auch aus der zusätzlich verbrauchten Antriebsleistung ermittelt werden.

[0037] Dieser Schädigungsindikator SI wird dann mit der Lebensdauerangabe des Herstellers des Maschinenteils 2 verglichen, wodurch die (wahrscheinliche) Restlebensdauer feststeht. Wenn keine Herstellerangaben verfügbar sind, kann über die Steigung des Schädigungsindikators ein Zeitpunkt für den prognostizierten Ausfall (SI=1) angegeben werden. Dieser Schädigungsindikator SI (bzw. die daraus abgeleitete Restlebensdauer) kann dann über eine Anzeigevorrichtung angezeigt werden. Im Speziellen kann dies über die Anzeigevorrichtung 13 (Bildschirm) der Steuer- oder Regeleinheit 12 der Formgebungsmaschine 3 erfolgen. Es ist aber auch möglich, dass der Schädigungsindikator SI bei Überschreiten eines Grenzwerts als akustisches oder optisches Warnsignal W, vorzugsweise über die Anzeigevorrichtung 13, ausgegeben wird. Es ist auch möglich, dass die Steuer- oder Regeleinheit 12 die Formgebungsmaschine 3 in Abhängigkeit des von der Auswerteeinheit 4 an die Steuer- oder Regeleinheit 12 übermittelten Schädigungsindikators SI steuert oder regelt, vorzugsweise das Maschinenteil 2 abschaltet, bremst oder bestimmte Bewegungen limitiert. In die Berechnung des Schädigungsindikators SI kann auch zumindest ein Wert einfließen, der direkt aus der Formgebungsmaschine 3 bzw. aus deren Steuer- oder Regeleinheit 12 stammt. Zum Beispiel kann zumindest ein elektrisches Signal der Formgebungsmaschine 3 eine Position P und/oder eine Bewegungsrichtung R und/oder eine Leistungsaufnahme des Maschinenteils 2 repräsentieren.

[0038] In der Fig. 1 sind der Bewegungssensor 6 und der Verlustleistungssensor 5 getrennt von der Auswerteeinheit 4 ausgebildet bzw. angeordnet. Anders als dargestellt, können diese Sensoren auch Teil der Auswerteeinheit 4 sein.

[0039] Fig. 2 zeigt in einem Diagramm die bereinigte Temperatur M_T. Man erkennt aus Fig. 2, dass die Verlustleistung VL beinahe monoton (bzw. stetig) ansteigt und erst am Ende wieder (leicht) einbricht. Für die Detektion des Schädigungsindikators SI reicht es, wenn in einem gewissen Intervall die bereinigte Temperatur M_T einen vom Intervall abhängigen statistischen Wert (Streuung, Mittelwert, Median, etc.) übersteigt. (Dazu kann schon vorab auf Fig. 4 verwiesen werden: Da die bereinigte Temperatur M_T kurz vor dem Zeitpunkt t_6 wieder einbricht, wird auch der Wert für den Reibungsindikator RI zurückgefahren.)

[0040] Fig. 3 zeigt in drei Diagrammen die über den Beschleunigungssensor gemessenen Signalamplituden SA in verschiedenen Frequenzbereichen. Dabei werden verschiedene Frequenzbänder (Band 1, Band 2 und Band 3) isoliert untersucht bzw. betrachtet.

[0041] In Fig. 4 sind entlang der Zeitachse t die verschiedenen Indikatoren aufgetragen. Am Ende der Zeitachse (ziemlich genau zwischen t_5 und t_6) summieren sich der (in diesem Fall) stetig ansteigende Absplitterungsindikator AI, der Reibungsindikator RI und der Abnutzungsindikator NI zu einem Schädigungsindikator SI, welcher ab dann über dem Schwellwert L liegt. Dies entspricht im vorliegenden Beispiel einem Totalausfall. Diese Auswertung eines Messdatensatzes an einem Kugelgewindetrieb-Prüfstand erstreckte sich über eine hinreichend große Zahl an Testzyklen, wobei die Zahl der Testzyklen einer durchschnittlichen Lebensdauer des Kugelgewindetriebs entspricht. Dabei war der Kugelgewindetrieb am Ende stark verschlissen bzw. nicht mehr brauchbar. Man erkennt einen deutlichen Anstieg der Temperatur (größere Reibung), einzelne Frequenzspitzen (Absplitterungen) bzw. am Ende eine generellen Anstieg der Vibration (Abnutzung). Aus dem Anstieg des Schädigungsindikators SI kann bereits relativ früh auf den Ausfallszeitpunkt $t_{ausfall}$ (entspricht Zeitpunkt t_6 bzw. Erreichen des Schwellwerts L) geschlossen werden. Im tatsächlichen Betrieb können hier bereits Gegenmaßnahmen getroffen bzw. Wartungsmaßnahmen eingeplant werden.

[0042] Fig. 5 zeigt einen Verlauf einer Aufzeichnung eines Signals von einem Temperatursensor, welcher etliche Spitzen (d. h. plötzliche Anstiege und Abfälle über einen hinreichend glatten Signalverlauf) aufweist. Erst wenn eine derartige Signalspitze den strichliert markierten

Grenzwert überschreitet, wirkt sich dies auf die in Fig. 6 gezeigte Einflussfunktion aus. Generell ist zu beachten, dass die Auswirkungswahrscheinlichkeit nach Auftreten eines Indikatorereignisses auch wieder abbauen kann.

[0043] Fig. 6 zeigt ein Beispiel der Auswirkungswahrscheinlichkeit beim Indikator Reibung. Nachdem die Maschinenteil-Temperatur den vordefinierten Grenzwert überschreitet, baut sich diese wieder rasch ab. Nach dem Unterschreiten des Grenzwerts nimmt die die Auswirkungswahrscheinlichkeit exponentiell ab. Nachdem die Maschinenteil-Temperatur den vordefinierten Grenzwert (in Fig. 5 dargestellt) überschreitet, wird die Einflussfunktion auf 1 gesetzt, d. h. die Indikation hat einen Einfluss auf den Gesamtindikator (siehe Fig. 4 nach Zeitpunkt t_5). Bei der ersten Überschreitung wird daher der Indikator auf 1 gesetzt um den Eintritt dieses Ereignisses festzuhalten. Unterschreitet die Temperatur wieder den Grenzwert, wird der Einfluss nicht auf 0 gesetzt, sondern dieser beginnt sich gemäß einer Exponentialfunktion abzubauen. Damit wird die Nachwirkzeit eines Schädigungsereignisses modelliert. Vor den Zeitpunkten t_{03} bzw. t_{09} tritt eine erneute Überschreitung des Grenzwertes auf, weshalb die Einflussfunktion wieder auf 1 gesetzt wird.

[0044] Abschließend lässt sich festhalten, dass eine wesentliche Innovation die Kombination von Verlustleistung und Bewegung (Vibration) ist. Es wird außerdem nicht versucht, ein exaktes mechanisches oder thermisches Modell zu simulieren sondern die Frequenzbänder werden auf einen kontinuierlichen Anstieg (Abnutzung) oder einzelne Ausschläge (Absplitterung) hin analysiert. Ein beispielhaftes Messergebnis eines Kugelgewindetrieb-Prüfstands ist in Fig. 4 dargestellt. Man erkennt deutlich, dass bereits frühzeitig (im Speziellen mehrere Wochen vor dem tatsächlichen Ausfall) ein Verschleiß festgestellt wird und somit der Ausfall prädiziert werden kann.

[0045] Weitere Messungen haben gezeigt, dass die Fusionierung von Temperatur und Vibration nicht notwendigerweise ausreichend sein muss, da bei einigen Tests trotz massiver Schädigungen am Kugelgewindetrieb der Schädigungsindikator SI nicht anstieg. Deshalb wird zusätzlich der Einsatz des Verschleißsensors empfohlen. Dieser liefert ein Ausgangssignal proportional zur Anzahl ferromagnetischer Partikel. Da diese auch bei geringem Verschleiß am Kugelgewindetreib auftreten, verbessert dieser Sensorwert den Schädigungsindikator weiter.

BEZUGSZEICHENLISTE:

1	Vorrichtung
2	Maschinenteil
3	Formgebungsmaschine
4	Auswerteeinheit
5	Verlustleistungssensor
6	Bewegungssensor
7	Verschleißsensor
8	Spindel
9	Spindelmutter
10	Kugelgewindetrieb
11	Umgebungstemperatursensor
12	Steuer- oder Regeleinheit
13	Anzeigevorrichtung
14	Ölwanne
VL	Verlustleistung
M_{VL}	Verlustleistungs-Messsignal
B	Bewegung
M_B	Bewegungs-Messsignal
SI	Schädigungsindikator
VS	Verschleiß
U	Umgebungstemperatur
M_T	bereinigtes Temperaturmesssignal
M_U	Umgebungstemperatur-Messsignal
RI	Reibungsindikator
NI	Abnutzungsindikator
AI	Absplitterungsindikator
P	Position des Maschinenteils
R	Bewegungsrichtung des Maschinenteils
W	Warnsignal
L	Schwellwert
SA	Signalamplitude

Patentansprüche

1. Vorrichtung (1) zum Überprüfen eines Zustands eines Maschinenteils (2) einer Formgebungsmaschine (3), mit
   - einer Auswerteeinheit (4) und
   - zumindest einem Bewegungssensor (6) zum Ermitteln eines für eine Bewegung (B) des Maschinenteils (2) repräsentativen Bewegungs-Messsignals (M_B),
   - **gekennzeichnet durch** zumindest einen Verlustleistungssensor (5) zum Ermitteln eines für eine Verlustleistung (VL) im und/oder am Maschinenteil (2) repräsentativen Verlustleistungs-Messsignals (M_{VL}),

   wobei die Auswerteeinheit (4) dazu ausgebildet ist, aus dem Verlustleistungs-Messsignal (M_{VL}) und aus dem Bewegungs-Messsignal (M_B) einen Schädigungsindikator (SI) für das Maschinenteil (2) zu errechnen.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, mit einem Verschleißsensor (7), vorzugsweise einen Partikelzähler oder Ölzustandssensor, zum Ermitteln des Verschleißes (VS) des Maschinenteils (2), wobei dieser ermittelte Verschleiß (VS) als Verschleißmesssignal (M_{VS}) an die Auswerteeinheit (4) übermittelbar ist, welche zusätzlich dieses Verschleißmesssignal (M_{VS}) für die Berechnung des Schädigungsindikators (SI) berücksichtigt.

3. Vorrichtung nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Maschinenteil (2) eine Antriebseinheit, vorzugsweise ein Kugelgewindetrieb (10), einer Formgebungsmaschine (3) ist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Auswerteeinheit (4) dazu ausgebildet ist, das Verlustleistungs-Messsignal (M_{VL}) für eine Korrektur eines eine Umgebungstemperatur (U) repräsentierendes Umgebungstemperatur-Messsignals (M_U) zum Erhalt eines bereinigten Temperaturmesssignals (M_T) heranzuziehen.

5. Vorrichtung nach Anspruch 4, wobei an der Formgebungsmaschine oder im Bereich der Formgebungsmaschine ein Umgebungstemperatursensor (11) zum Messen der Umgebungstemperatur (U) und zum Ausgeben des Umgebungstemperatur-Messsignals (M_U) vorgesehen ist.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, wobei der Bewegungssensor (6) als Vibrationssensor, als Geschwindigkeitssensor oder als Beschleunigungssensor ausgebildet ist.

7. Vorrichtung nach Anspruch 6, wobei mit dem Beschleunigungssensor unterschiedliche Schwingungsfrequenzbereiche als Frequenzbänder ausgebbar sind.

8. Vorrichtung nach Anspruch 2 und/oder Anspruch 7, wobei die Auswerteeinheit (4) aus Messgrößen des Verschleißsensors (7) und/oder aus den Merkmalen, vorzugsweise Frequenzspitzen oder Pulssignal, der Frequenzbänder einen Absplitterungsindikator (AI) errechnet.

9. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Auswerteeinheit (4) aus dem Verlustleistungs-Messsignal (M_{VL}), vorzugsweise aus dem bereinigten Temperaturmesssignal (M_T), einen Reibungsindikator (RI) errechnet.

10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei die Auswerteeinheit (4) aus dem Bewegungs-Messsignal (M_B) einen Abnutzungsindikator (NI) errechnet.

11. Vorrichtung nach Anspruch 8, 9 und 10, wobei der Schädigungsindikator (SI) aus dem Absplitterungsindikator (AI), dem Reibungsindikator (RI) und dem Abnutzungsindikator (NI) zusammengesetzt ist.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei die Auswerteeinheit (4) zusätzlich aus zumindest einem elektrischen Signal der Formgebungsmaschine (3) den Schädigungsindikator (SI) errechnet.

13. Vorrichtung nach Anspruch 12, wobei das zumindest eine elektrische Signal der Formgebungsmaschine (3) eine Position (P) und/oder eine Bewegungsrichtung (R) des Maschinenteils (2) der Formgebungsmaschine (3) repräsentiert.

14. Vorrichtung nach Anspruch 12 oder 13, wobei das zumindest eine elektrische Signal der Formgebungsmaschine (3) eine Temperatur eines Teils, zum Beispiel einer Spindel (8), der Formgebungsmaschine (3) repräsentiert und dieses Signal auch in die Ermittlung der Verlustleistung (VL) einfließt.

15. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei der Verlustleistungssensor (5) als Temperatursensor zur Bestimmung der Abwärme oder als virtueller Sensor, welcher die Verlustleistung (VL) aus einer Differenz zwischen in die Formgebungsmaschine (3) eingespeister und aus der Formgebungsmaschine (3) entnommener Leistung ermittelt, ausgebildet ist.

16. Formgebungsmaschine (3), insbesondere Spritzgießmaschine oder Spritzpresse, mit einer Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 15.

17. Formgebungsmaschine nach Anspruch 16, wobei die Formgebungsmaschine (3) eine mit der Auswerteeinheit (4) in signaltechnischer Verbindung stehende Steuer- oder Regeleinheit (12) zum Steuern oder Regeln der Formgebungsmaschine (3) aufweist.

18. Formgebungsmaschine nach Anspruch 17, wobei die Steuer- oder Regeleinheit (12) die Formgebungsmaschine (3) in Abhängigkeit des von der Auswerteeinheit (4) an die Steuer- oder Regeleinheit (12) übermittelten Schädigungsindikators (SI) steuert oder regelt, und gegebenfalls das Maschinenteil (2) abschaltet.

19. Verfahren zum Überprüfen eines Zustands eines Maschinenteils (2) einer Formgebungsmaschine (3), insbesondere mit einer Vorrichtung (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 15, mit den Schritten:
    - Ermitteln einer Verlustleistung (VL) im und/oder am Maschinenteil (2),
    - Ermitteln einer Bewegung (B) des Maschinenteils (2), und
    - Errechnen eines Schädigungsindikators (SI) für das Maschinenteil (2) durch die Auswerteeinheit (4) aus der Verlustleistung (VL) und aus der Bewegung (B).

20. Verfahren nach Anspruch 19, mit dem Schritt Ermitteln eines Verschleißes (VS) des Maschinenteils (2) mit einem Verschleißsensor (7), wobei der Verschleiß (VS) für die Berechnung des Schädigungsindikators (SI) berücksichtigt wird.

Hierzu 5 Blatt Zeichnungen

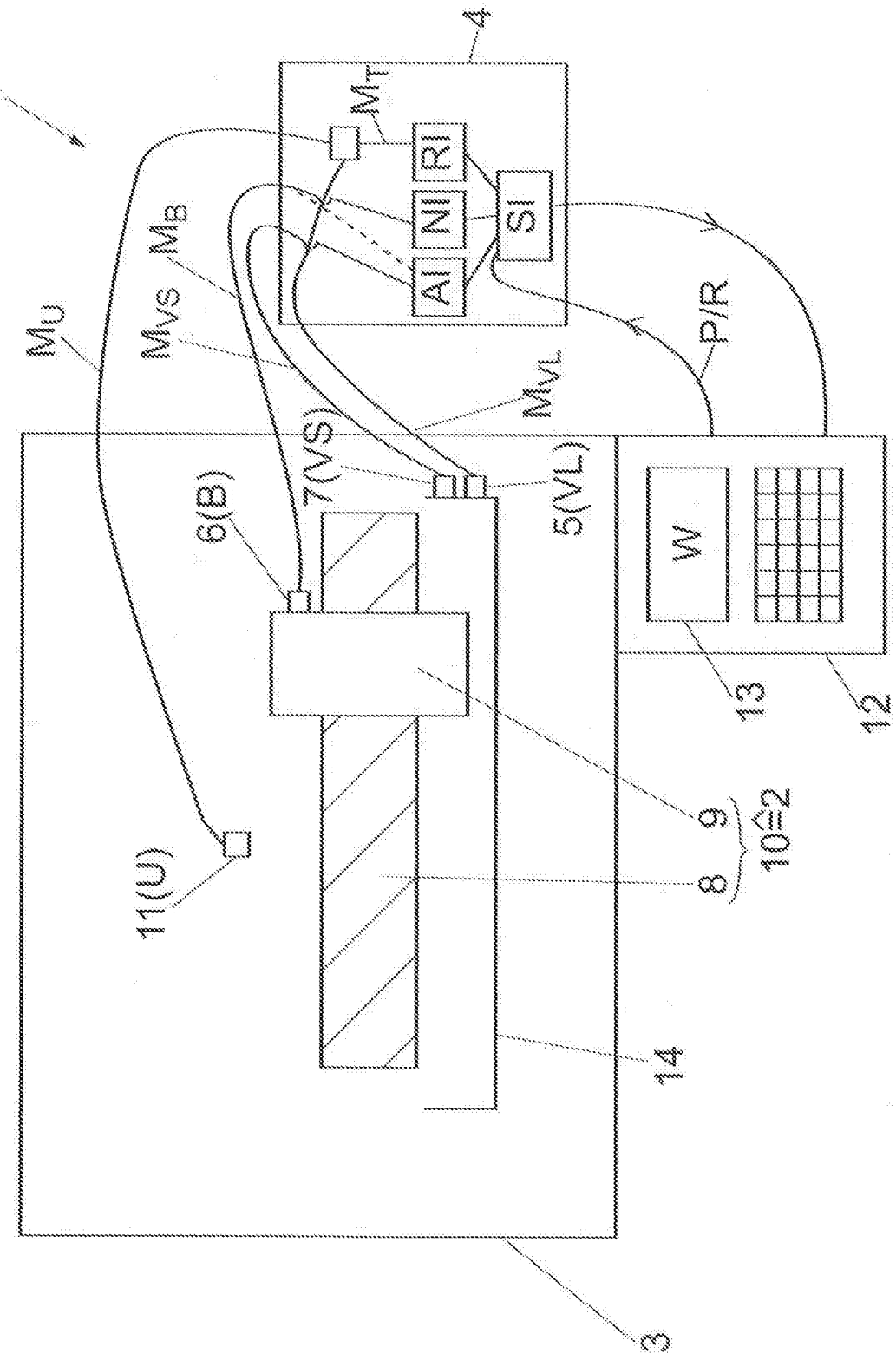


Fig. 1

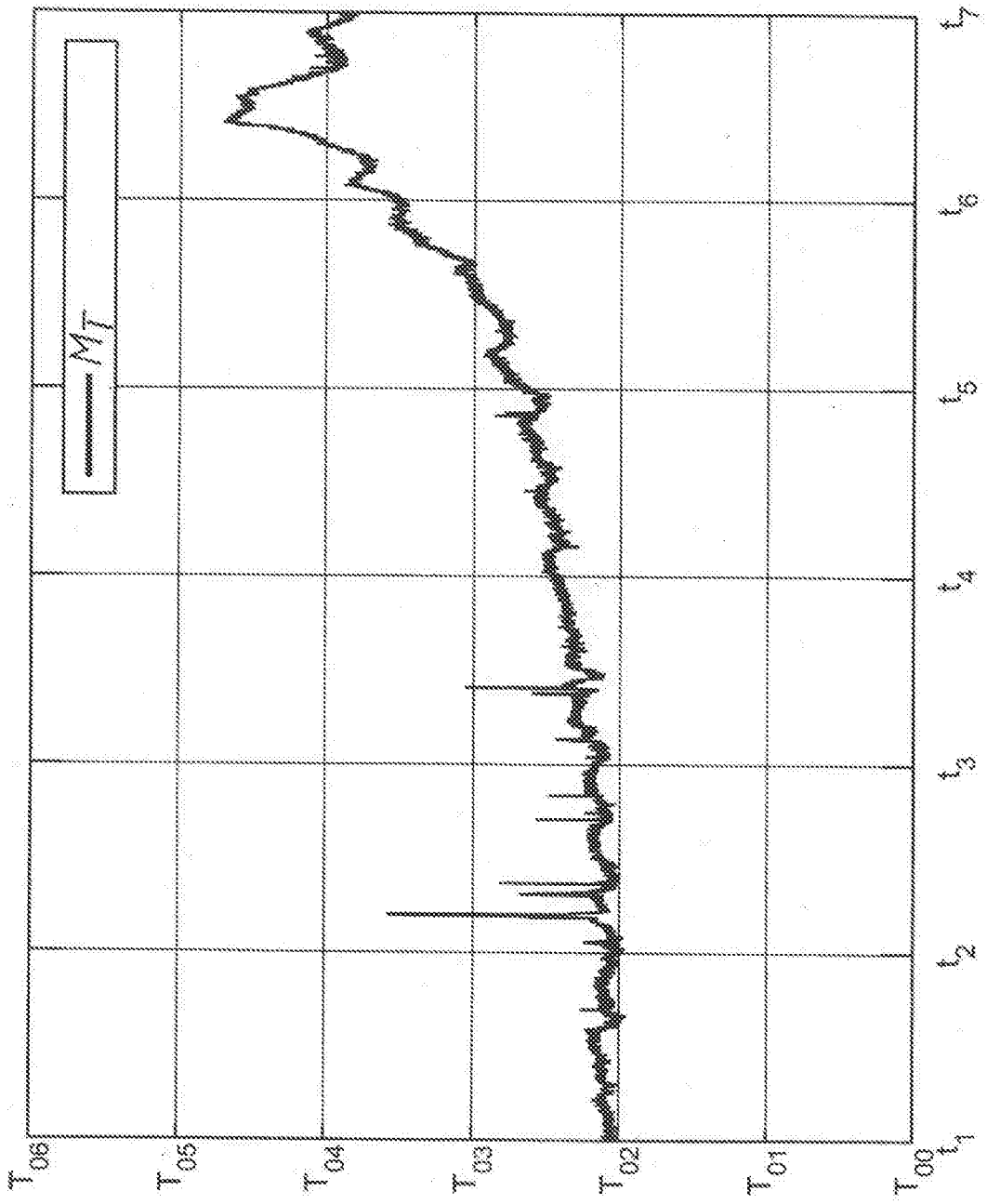


Fig. 2

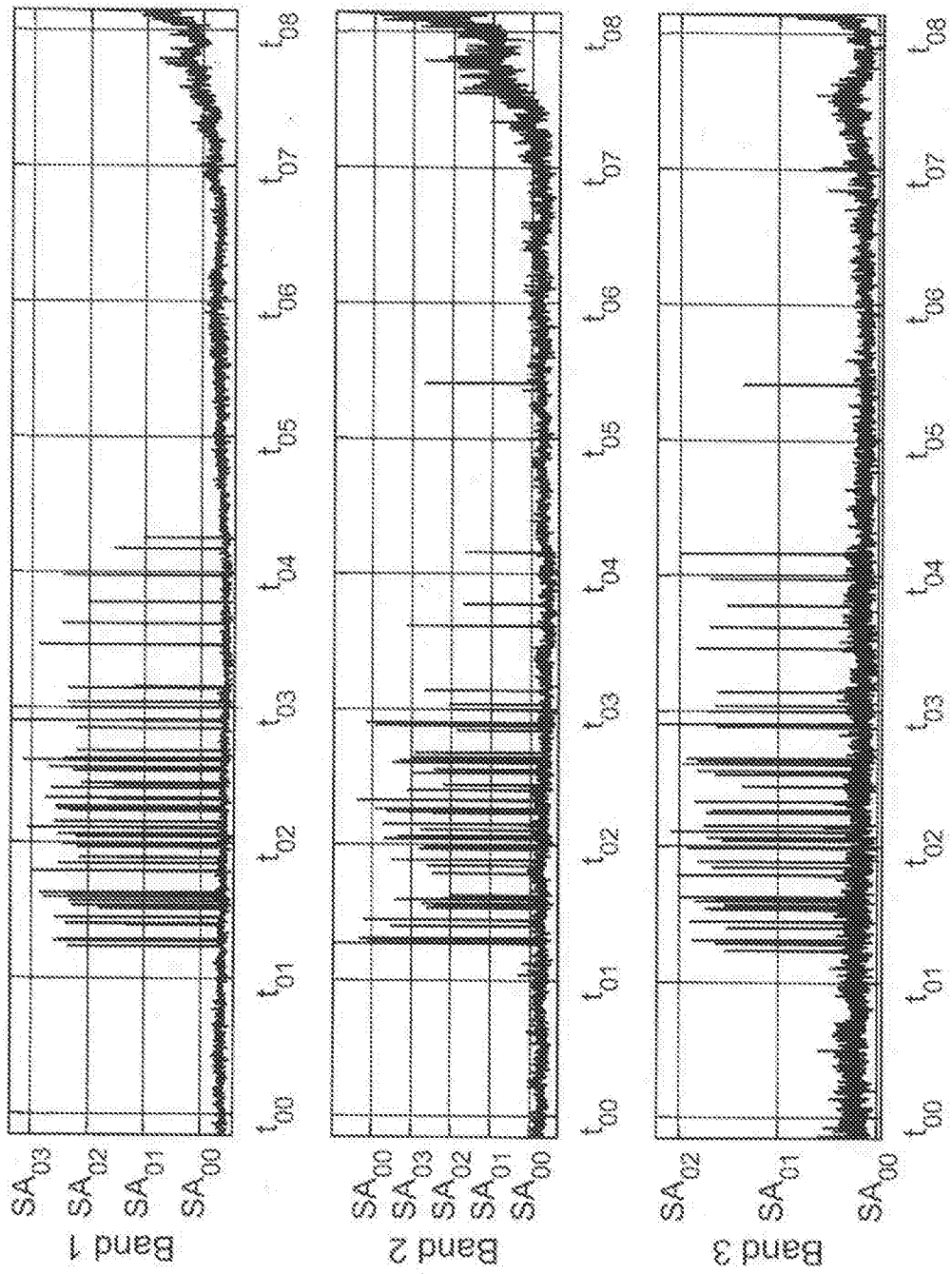

Band 1
Band 2
Band 3
SA_{03}
SA_{02}
SA_{01}
SA_{00}
t_{00}
t_{01}
t_{02}
t_{03}
t_{04}
t_{05}
t_{06}
t_{07}
t_{08}

Fig. 3

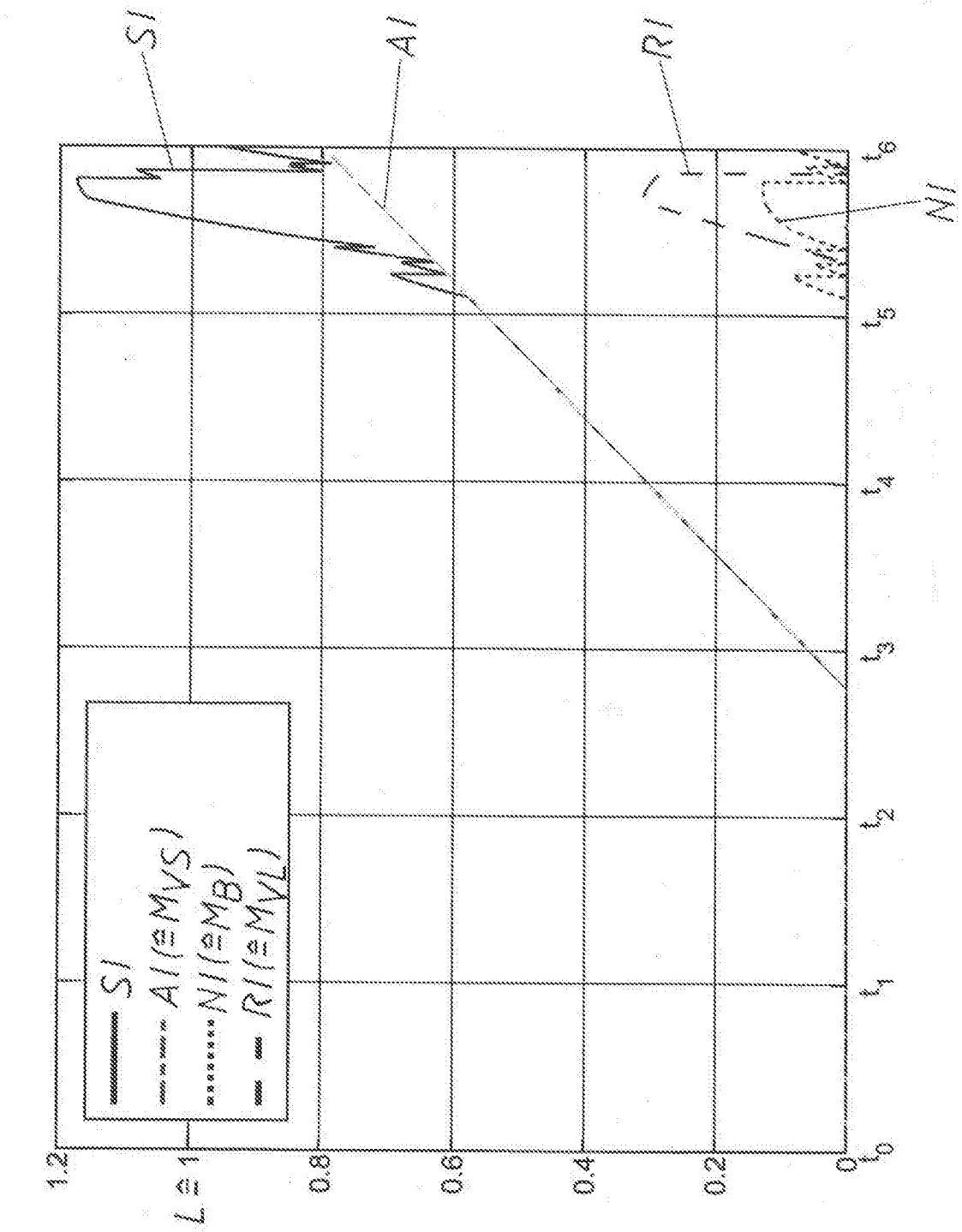

SI
AI
RI
NI
1.2
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
L ∈ 1
t0
t1
t2
t3
t4
t5
t6
SI
AI (∈ MVS)
NI (∈ MB)
RI (∈ MVL)

Fig. 4

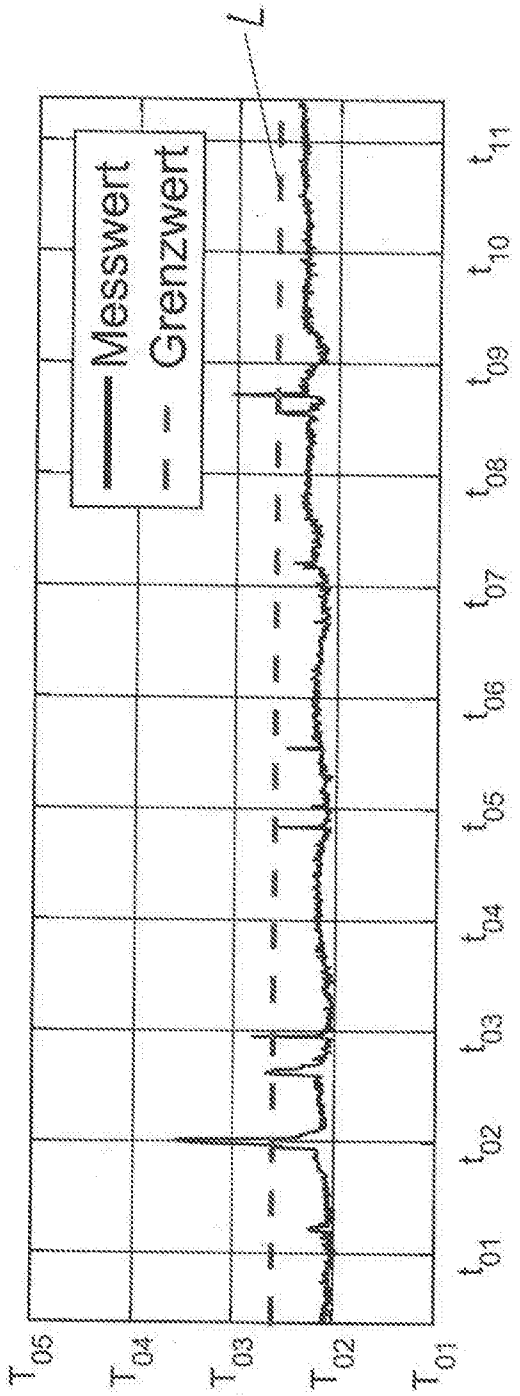

Messwert
Grenzwert
L
T05
T04
T03
T02
T01
t01
t02
t03
t04
t05
t06
t07
t08
t09
t10
t11

Fig 5

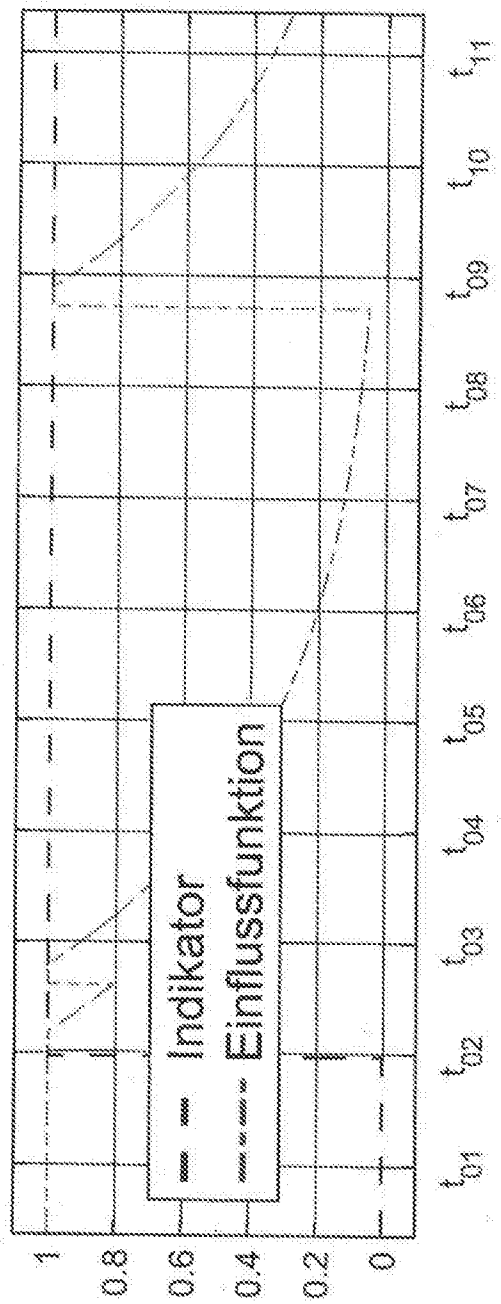

Indikator
Einflussfunktion
1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
t01
t02
t03
t04
t05
t06
t07
t08
t09
t10
t11

Fig 6