

(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  
17. März 2011 (17.03.2011)

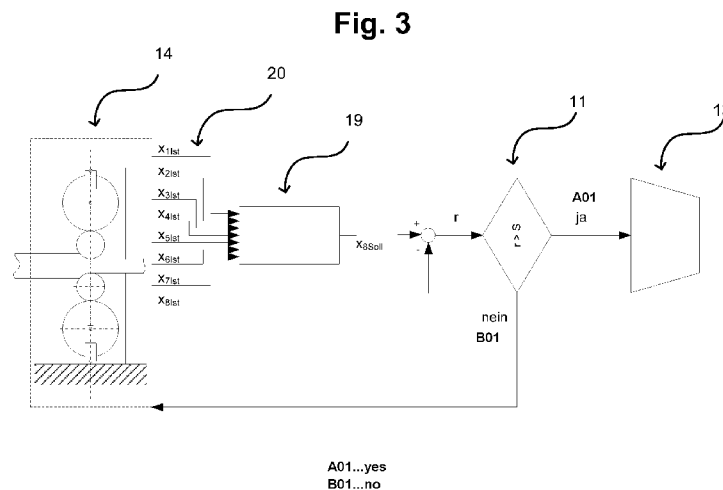
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2011/029806 A2**

- (51) **Internationale Patentklassifikation:**  
G05B 19/418 (2006.01)
- (21) **Internationales Aktenzeichen:** PCT/EP2010/063076
- (22) **Internationales Anmeldedatum:**  
7. September 2010 (07.09.2010)
- (25) **Einreichungssprache:** Deutsch
- (26) **Veröffentlichungssprache:** Deutsch
- (30) **Angaben zur Priorität:**  
A1439/2009 11. September 2009 (11.09.2009) AT
- (71) **Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US):** SIEMENS VAI METALS TECHNOLOGIES GMBH [AT/AT]; Turmstraße 44, A-4031 Linz (AT).
- (72) **Erfinder; und**
- (75) **Erfinder/Anmelder (nur für US):** EFENDIC, Hajrudin [BA/AT]; Hauptplatz 15-16/16, A-4020 Linz (AT).
- (74) **Anwalt:** MAIER, Daniel; Postfach 22 16 34, 80506 München (DE).
- (81) **Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart):** AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, 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, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, 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, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, 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, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** METHOD FOR MONITORING A ROLLER IN A SYSTEM FOR ROLLING METAL

(54) **Bezeichnung :** VERFAHREN ZUM ÜBERWACHEN EINER WALZE IN EINER ANLAGE ZUM WALZEN VON METALL



(57) **Abstract:** The invention relates to a method for monitoring a roller in a system for rolling metal. The aim of the invention is to provide a method by means of which an optimized point in time for changing or restoring the roller can be determined, so that the service life of a roller having little wear can be extended, and that a rapid changeout of a roller having severe wear or damage can be initiated. Said aim is achieved by a method comprising the steps: - receiving at least two channels of target measurement data in the reference state of the system; - defining a target channel from the channels of the target measurement data; - preprocessing the target measurement data; - forming a model based on the measurement data for the target channel from the preprocessed measurement data; - receiving at least two channels of actual measured values in the running operating state of the system, among which an actual measured value for the target channel and an actual measured value for at least one further channel are present; - calculating a target value for the target channel using the model and considering the actual measured value for at least one further channel; - determining a remainder by comparing the target value to the actual measured value for the target channel; - deciding whether to restore or replace the roller by comparing the magnitude of the remainder to a threshold value.

(57) **Zusammenfassung:**

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2011/029806 A2

**Veröffentlicht:**

- *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz 2 Buchstabe g)*

---

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überwachen einer Walze in einer Anlage zum Walzen von Metall. Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, womit ein optimierter Zeitpunkt für den Wechsel bzw. die Wiederherstellung der Walze bestimmt werden kann, sodass zum Einen die Standzeit einer Walze mit geringer Abnutzung verlängert werden kann und zum Anderen, ein rascher Austausch einer Walze mit starker Abnutzung oder Beschädigung initiiert werden kann. Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren gelöst, aufweisend die Schritte - Aufnehmen von mindestens zwei Kanälen von Soll-Messdaten im Referenzzustand der Anlage; - Definieren eines Zielkanals aus den Kanälen der Soll-Messdaten; - Vorbehandlung der Soll-Messdaten; - messdatenbasierte Bildung eines Modells für den Zielkanal aus den vorbehandelten Soll-Messdaten; - Aufnehmen von mindestens zwei Kanälen von Ist-Messwerten im laufenden Betriebszustand der Anlage, worunter sich ein Ist-Messwert für den Zielkanal und ein Ist-Messwert für zumindest einen weiteren Kanal befindet; - Berechnung eines Soll-Werts für den Zielkanal unter Zuhilfenahme des Modells und unter Berücksichtigung des Ist-Messwerts für zumindest einen weiteren Kanal; - Ermittlung eines Residuums durch das Vergleichen des Soll-Werts mit dem Ist-Messwert für den Zielkanal; - Entscheiden über eine Wiederherstellung oder einen Tausch der Walze durch ein Vergleichen der Größe des Residuums mit einem Schrankenwert.

## **Verfahren zum Überwachen einer Walze in einer Anlage zum Walzen von Metall**

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum  
5 Überwachen einer Walze in einer Anlage zum Walzen von Metall.

Konkret betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Überwachen einer Walze in einer Anlage zum Walzen von Metall, aufweisend die Schritte

- 10 - Aufnehmen von mindestens zwei Kanälen von Soll-Messdaten im Referenzzustand der Anlage;
- Definieren eines Zielkanals aus den Kanälen der Soll-Messdaten;
- messdatenbasierte Bildung eines Modells für den  
15 Zielkanal aus den Soll-Messdaten;
- Aufnehmen von mindestens zwei Kanälen von Ist-Messwerten im laufenden Betriebszustand der Anlage, worunter sich ein Ist-Messwert für den Zielkanal und ein Ist-Messwert für zumindest einen weiteren Kanal befindet;
- 20 - Berechnung eines Soll-Werts für den Zielkanal unter Zuhilfenahme des Modells und unter Berücksichtigung des Ist-Messwerts für zumindest einen weiteren Kanals; und
- Ermittlung eines Residuums durch das Vergleichen des Soll-Werts mit dem Ist-Messwert für den Zielkanal.

25 Rechnergestützte Verfahren zur Überwachung einer Anlage sind dem Fachmann unter den Begriffen Fault Diagnosis oder Fault Detection (nachfolgend kurz FD) bekannt, siehe z.B. WO 02/086726 A1. Diese Verfahren zur Detektion von Fehlzuständen  
30 in Anlagen beinhalten folgende Verfahrensschritte:

- a) Messdatenerfassung von mindestens zwei Kanälen von Soll-Messdaten im Referenzzustand einer Anlage,
- b) Definition eines Zielkanals aus den erfassten Kanälen der  
35 Soll-Messdaten,
- c) messdatenbasierte Bildung eines Modells für den Zielkanal,
- d) Verwendung aktuell ermittelter Messwerte und des gebildeten Modells zur Berechnung eines Soll-Werts

für den Zielkanal,

e) Detektion von Fehlzuständen durch das Vergleichen zwischen dem aktuellen Messwert und dem Soll-Wert des Zielkanals.

5 Bei der Zustandsüberwachung, engl. *Condition monitoring*, einer Anlage werden mehrere Messsensoren durch ein Messdatenerfassungssystem erfasst und bei einer - sich beispielsweise aus einer Abnutzung einer Komponente ergebenden - Veränderung des Anlagenverhaltens wird  
10 selbsttätig eine Warnung oder Fehlermeldung generiert. Zuerst werden Messdaten für den Referenzzustand der Anlage (die sog. Soll-Messdaten) die von einem oder mehreren Sensoren stammen meist in digitaler Form von einem Messdatenerfassungssystem aufgenommen (Schritt a). Unter einem Kanal von Messdaten  
15 versteht man eine Aneinanderreihung von Messwerten, die von einem Sensor stammen und einer Zustandsgröße zugeordnet sind; unter einem Zielkanal versteht man einen Kanal der aufgenommenen Messdaten, welcher relevante Informationen über das Verhalten der Anlage enthält bzw. enthalten kann. In der  
20 einfachsten Form der FD wird nach der Definition eines Zielkanals (Schritt b), ein, auf einen oder mehreren (ausgenommen der Zielkanal) Kanälen von Soll-Messdaten der Anlage basierendes, Modell für den Zielkanal erstellt (Schritt c). Mittels dieses Modells und in Abhängigkeit von  
25 aktuellen Messwerten wird ein Soll-Wert für den Zielkanal durch einen Prozessrechner berechnet (Schritt d) und mit dem aktuellen Messwert des Zielkanals verglichen, wobei ein sogenanntes Residuum, d.h. die Abweichung des Soll-Werts vom aktuellen Messwert, berechnet wird. Überschreitet das  
30 Residuum einen Schwellwert, so wird eine Fehlermeldung generiert (Schritt e). Konkrete Anweisungen wie die Zustandsüberwachung einer Walze zum Walzen von Metall durchgeführt werden kann, können dem Stand der Technik nicht entnommen werden.

35

Moderne Anlagen zum Walzen von Metall, beispielsweise ein Walzgerüst oder ein aus mehreren gekoppelten Walzgerüsten bestehendes Walzwerk, sind hochkomplexe technische Systeme.

Dabei weist jedes Walzgerüst je nach Aufbau (z.B. Duo, Trio, Quarto, Quinto oder Sexto, vgl. Kapitel 2.6 Walzgerüste in Werner Schwenzfeier: Walzwerktechnik, Springer Verlag, 1979) mindestens zwei Arbeits- und gegebenenfalls mehrere Zwischen- und Stützwalzen auf. Im Walzgerüst wird ein Walzgut (z.B. in flacher, runder oder profilartiger Form) aus Metall (beispielsweise Eisen-, Stahl- oder Aluminiumwerkstoffe) durch das Walzen (eine plastische Formänderung des Metalls durch das Aufbringen einer Walzkraft in einem Walzspalt) in einem heißen oder kalten Zustand verformt, wobei das Walzgut unidirektional oder bidirektional (d.h. in reversierendem Betrieb) durch das Walzgerüst bewegt wird. Obwohl sich die Walzwerkstechnik als auch die Technologie der Walzen in den letzten Jahrzehnten rasant weiterentwickelt hat, wird die Leistungsfähigkeit eines Walzgerüsts durch die Walzen (sowohl Arbeits-, Zwischen- und Stützwalzen) begrenzt. Da jede Walze der Anlage zum Walzen von Metall einem Verschleiß unterworfen ist, ist es notwendig, den Zustand der Walze in regelmäßigen Zeitabständen wiederherzustellen (z.B. durch Walzentausch oder durch das sog. Dressieren der Walzen).

Nach dem Stand der Technik sind folgende Strategien für den Walzenwechsel bekannt:

- Walzenwechsel nach einer bestimmten Walzdauer, wobei die Walzdauer jene Zeitspanne angibt, während der die Walze in Betrieb war;
- Walzenwechsel nach einer bestimmten Walzstrecke, wobei die Walzstrecke jene Strecke angibt, die die Walzen im Betrieb zurückgelegt hat;
- Walzenwechsel nach einer Inspektion eines Schadens an der Walze oder einer Verschlechterung der Produktqualität des Walzguts.

Nachteilig an den ersten beiden Strategien ist, dass die Walzdauer bzw. die Walzstrecke so festgelegt werden muss, dass bis zum Walzenwechsel keine, oder zumindest mit einer hohen Wahrscheinlichkeit keine, Schäden an der Walze oder eine Verschlechterung der Produktqualität des Walzguts

auftritt. Somit muss die Walze vorzeitig (d.h. vor dem Erreichen der Lebensdauer) gewechselt werden, was die Wirtschaftlichkeit negativ beeinflusst. Nachteilig an der dritten Strategie ist, dass die Beurteilung eines Schadens an der Walze nicht während des Betriebs erfolgen kann, dass die  
5 Beurteilung des Schadens eine hohe Fachkenntnis des Bedienpersonals voraussetzt, dass die Lebensdauer der Walze zum Zeitpunkt des Walzenwechsels bzw. der Wiederherstellung bereits abgelaufen ist und somit bereits Walzgut mit  
10 schlechterer Qualität produziert worden ist.

Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Überwachung einer Walze in einer Anlage zum Walzen von Metall anzugeben, womit ein optimierter Zeitpunkt für den Wechsel bzw. die  
15 Wiederherstellung der Walze bestimmt werden kann, sodass zum Einen die Standzeit einer Walze mit geringer Abnutzung verlängert werden kann und zum Anderen, ein rascher Austausch einer Walze mit starker Abnutzung oder Beschädigung initiiert werden kann.

20 Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, die Überwachung einer Walze auch während des Betriebs zu ermöglichen, d.h. dass dafür der Walzbetrieb nicht gestoppt werden muss.

25 Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, dass die Überwachung einer Walze auch von einem Bedienpersonal mit geringer Fachkenntnis durchgeführt werden kann.

30 Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, aufweisend die Schritte

- Aufnehmen von mindestens zwei Kanälen von Soll-Messdaten im Referenzzustand der Anlage;
- Definieren eines Zielkanals aus den Kanälen der Soll-Messdaten;
- 35 - Vorbehandlung der Soll-Messdaten;
- messdatenbasierte Bildung eines Modells für den Zielkanal aus den vorbehandelten Soll-Messdaten;

- Aufnehmen von mindestens zwei Kanälen von Ist-Messwerten im laufenden Betriebszustand der Anlage, worunter sich ein Ist-Messwert für den Zielkanal und ein Ist-Messwert für zumindest einen weiteren Kanal befindet;
- 5 - Berechnung eines Soll-Werts für den Zielkanal unter Zuhilfenahme des Modells und unter Berücksichtigung des Ist-Messwerts für zumindest einen weiteren Kanal;
- Ermittlung eines Residuums durch das Vergleichen des Soll-Werts mit dem Ist-Messwert für den Zielkanal;
- 10 - Entscheiden über eine Wiederherstellung oder einen Tausch der Walze durch ein Vergleichen der Größe des Residuums mit einem Schrankenwert.

Dabei werden in einer Offline Phase mindestens zwei Kanäle von Soll-Messdaten im Referenzzustand (beispielsweise nach einer Instandsetzung der Walzen) der Anlage zum Walzen von Metall, entweder in Echtzeit oder mit hoher Abtastfrequenz (z.B. 1 kHz), aufgenommen. Bei der Definition eines Zielkanals wird aus den aufgenommenen Kanälen ein Zielkanal ausgewählt, der der Überwachung zugrundegelegt wird. Die Soll-Messdaten werden anschließend einer Vorbehandlung unterzogen, mit dem Ziel, die Datenmenge, d.h. die Anzahl der Kanäle und deren Abtastfrequenz, bei nicht signifikant niedrigerem Informationsgehalt zu reduzieren. Aus den vorbehandelten Soll-Messdaten wird ein messdatenbasiertes Modell für den Zielkanal generiert, welches in der Online Phase der Berechnung eines Soll-Werts und eines Residuums zugrundegelegt wird. Die messdatenbasierte Modellbildung ist dem Fachmann bekannt, insbesondere wenn es sich beim zu bildenden Modell um ein lineares Modell, ein PCR (engl. Principal Component Regression) Modell, ein Modell mit Neuronalen Netzen oder ein KNN (engl. K nearest neighbor) Modell handelt (vgl. H. Efendic et al.: „Iterative Multi-Step Diagnosis Process for Engine Systems“, SAE world congress 2005, April 11-14, 2005. Detroit, USA. Paper number: 2005-01-1055). Es ist prinzipiell möglich, dass die Offline und eine darauf folgende Online Phase auf unterschiedlichen Rechnern, zu verschiedenen Zeiten und gegebenenfalls auch auf

unterschiedlichen Anlagen durchgeführt werden. In diesem Fall wird der Online Phase lediglich das in der Offline Phase gebildete Modell zur Verfügung gestellt.

5 In der Online Phase werden, vorzugsweise ständig und in Echtzeit, mindestens zwei Ist-Messwerte im laufenden Betrieb der Anlage aufgenommen, worunter sich ein Ist-Messwert für den Zielkanal und ein Ist-Messwert für zumindest einen weiteren Kanal befinden. Unter Zuhilfenahme des Modells und  
10 unter Berücksichtigung des Ist-Messwerts für einen weiteren Kanal wird ein Soll-Wert für den Zielkanal berechnet, der für die anschließende Berechnung eines Residuums verwendet wird. Überschreitet ein Residuum einen Schwellwert, so wird eine Entscheidung über einen Tausch oder eine Wiederherstellung  
15 der Walze getroffen und an das Bedienpersonal, z.B. in Form einer Warnung oder eines Alarms, kommuniziert. Andernfalls wird die Online Phase mit neuen Ist-Messwerten wiederholt, sodass der Zustand der Walzen ständig überwacht wird.

20 Durch das erfindungsgemäße Verfahren wird automatisch ein optimierter Zeitpunkt für den Walzenwechsel bzw. die Wiederherstellung der Walze bestimmt, sodass die Lebensdauer der Walze optimal ausgenutzt werden kann und zum Anderen ein Walzgut mit gleichbleibend hoher Qualität erzeugt werden  
25 kann. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass die Überwachung der Walze während des Betriebs der Anlage erfolgt (kein Abschalten der Anlage erforderlich) und dass keinerlei spezielle Fachkenntnisse des Bedienpersonals für die Überwachung erforderlich sind.

30 In einer vorteilhaften Ausführungsform werden nach dem Aufnehmen von mindestens zwei Kanälen die Soll-Messdaten abgespeichert. Dadurch ist es möglich, die Messdatenerfassung von den nachfolgenden Schritten räumlich und zeitlich zu  
35 trennen, sodass z.B. die Messdatenerfassung vom Automatisierungssystem der Anlage zum Walzen von Metall und die nachfolgenden Schritte in der Offline Phase von einem PC bzw. einer Workstation erledigt werden.

Bei einer vorteilhaften Ausführungsform wird als Zielkanal die Walzkraft der Walze oder eine damit in Verbindung stehende Größe (z.B. ein Kammerdruck bzw. die Kammerdrücke in einem die Walzkraft bewirkenden, als Hydraulikzylinder ausgeführten, Anstellzylinder) verwendet. Die Verwendung der Walzkraft bringt Vorteile, da die Abnutzung der Walze anhand dieser Größe gut zu erkennen ist.

10 In einer dazu alternativen, vorteilhaften Ausführungsform wird als Zielkanal die Winkelgeschwindigkeit der Walze oder eine damit in Verbindung stehende Größe (z.B. die Drehzahl, die Frequenz...) verwendet. Die Verwendung der Winkelgeschwindigkeit bringt Vorteile, da die Abnutzung der  
15 Walze anhand dieser Größe gut zu erkennen ist.

In einer weiteren Ausführungsform werden die Soll-Messdaten vor der messdatenbasierten Bildung eines Modells einer Strukturanalyse unterzogen. Durch die Strukturanalyse, z.B. nach der Methode einer engl. *Step forward selection linear (SFS)*, einer engl. *Backward selection combined with SFS linear (BSFS)*, einer engl. *SFS with orthogonal projected variables in each Step (LinOrth)* oder einer engl. *SFS with orthogonal projected variables in each Step using polynomial independent variables (PolyOrth)*, wird die Bildung eines optimierten Modells ermöglicht. Details zur Strukturanalyse sind z.B. bekannt aus der Veröffentlichung

A. Schrems et al.: „Data based multivariate pseudo correlation analysis in steel industry for optimized variable selection“, in Proceedings of the 17th World Congress of the International Federation of Automatic Control, Seoul, Korea, July 6-11, 2008.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform werden die Soll-Messdaten bei der Vorbehandlung der Messdaten den  
35 Schritten

- Detektion und Eliminierung von „Null-Kanälen“;
- Detektion und Eliminierung von Ausreißern;

- Filterung;
- Downsampling

unterzogen. Dadurch wird die Datenmenge (die Anzahl der Kanäle und deren Abtastfrequenz) der Soll-Messdaten  
5 reduziert, wobei jedoch deren Informationsgehalt beinahe konstant bleibt. Durch diesen Schritt wird die Bildung eines kompakten, einen geringen Rechenaufwand bei der Berechnung eines Soll-Werts erfordernden, Modells ermöglicht. Unter einem sogenannten „Null-Kanal“ versteht man einen Kanal, bei  
10 dem sämtliche Messwerte, d.h. bei allen Abtastzeitpunkten, konstant 0 sind.

In einer weiteren Ausführungsform werden die Soll-Messdaten  
15 nach dem Downsampling einer Detektion und Eliminierung von stationären Bereichen unterzogen. Dadurch werden transiente Vorgänge aus den Soll-Messdaten entfernt, was sich wiederum günstig auf deren Datenmenge auswirkt.

20 In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform werden je Zielkanal mehrere messdatenbasierte Modelle gebildet. Dadurch ist es möglich, der Überwachung mehrere Modelle zugrunde zu legen und somit die Qualität der Überwachung zu erhöhen.

25 In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird das Residuum vor der Entscheidung über die Wiederherstellung oder den Tausch der Walze einer Nachbehandlung des Residuums mit wenigstens einem der Schritte

- Filterung;
  - 30 - Detektion und Eliminierung von Ausreißern;
  - Berechnung statistischer Kenngrößen des Residuums
- unterzogen, wobei der Entscheidung über eine Wiederherstellung oder einen Tausch der Walze das nachbehandelte Residuum zugrundegelegt. Durch diese Maßnahme  
35 wird die Zuverlässigkeit der Überwachung der Walze erhöht.

In einer Ausführungsform wird als statistische Kenngröße entweder der Mittelwert, der Median, die Standardabweichung

oder die Varianz berechnet. Natürlich sind aber auch andere statistische Kenngrößen, wie z.B. einer weitergehenden Analyse der Standardabweichung (engl. *Analysis of standard deviation ANOVA*), einer Bestimmung der Konfidenzintervalle und der Konfidenzbereiche (engl. *Determination of confidence intervals and confidence limits*) oder an sich bekannte Methoden der Zeitbereichsanalyse (wie z.B. der Fourier Transformation FT, der *Fast Fourier Transformation FFT* oder der *Discrete Fourier Transformation DFT*; die Anwendung einer Spektralanalyse bei der Zustandsüberwachung ist auch aus WO 2008 071552 A1 bekannt) möglich.

In einer Ausführungsform ist der Schrankenwert entweder fix oder dynamisch veränderlich, wobei ein dynamisch veränderlicher Schrankenwert gegenüber einem fixen Schrankenwert den Vorteil aufweist, dass Charakteristika des Modells (beispielsweise ein Qualitätsparameter oder ein Empfindlichkeitsmaß), die Ist-Messdaten und statistische Kenngrößen des Residuums bei der Bestimmung des Schrankenwerts mit berücksichtigt werden können.

Eine sehr umfassende Überwachung der Anlage ist möglich,

- wenn mehrere Zielkanäle aus den Kanälen der Soll-Messdaten definiert werden;
- wenn je Zielkanal eine messdatenbasierte Bildung eines Modells für den Zielkanal aus den vorbehandelten Soll-Messdaten erfolgt;
- wenn je Zielkanal eine Berechnung eines Soll-Werts für den Zielkanal unter Zuhilfenahme des Modells für den Zielkanal und unter Berücksichtigung des Ist-Messwerts für zumindest einen weiteren Kanal erfolgt;
- wenn je Zielkanal eine Ermittlung eines Residuums durch das Vergleichen des Soll-Werts mit dem Ist-Messwert für den Zielkanal erfolgt; und
- wenn zumindest der Vergleich eines Residuums mit einem Schrankenwert der Entscheidung über eine

Wiederherstellung oder einen Tausch der Walze zugrundegelegt wird.

In einer weiteren Ausführungsform werden die Residuen vor der Entscheidung über eine Wiederherstellung oder einen Tausch der Walze gewichtet. Dieser Schritt ist dann vorteilhaft,  
5 wenn verschiedene Kriterien für den Verschleiß anhand der Residuen unterschiedliche Priorität aufweisen.

Es hat sich als vorteilhaft herausgestellt, das  
10 erfindungsgemäße Verfahren zur Überwachung einer Arbeits-, Zwischen- oder Stützwalze eines Walzgerüsts zum Kalt- oder Warmwalzen von Eisen-, Stahl- oder Aluminiumwerkstoffen anzuwenden.

15 Weitere Vorteile und Merkmale der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung nicht einschränkender Ausführungsbeispiele, wobei auf die folgenden Figuren Bezug genommen wird, die Folgendes zeigen:

20 Fig. 1 ein Flussdiagramm mit Verfahrensschritten zur Überwachung einer Walze eines Walzgerüsts  
Fig. 2 eine schematische Darstellung eines Walzgerüsts  
Fig. 3 eine Darstellung des Ablaufs einer Online Phase  
Fig. 4 ein Ablaufdiagramm mit dem Zusammenhang zwischen einer  
25 Online und einer Offline Phase  
Fig. 5 ein Flussdiagramm mit Verfahrensschritten zur Überwachung einer Walze mit zwei Zielkanälen  
Fig. 6 eine zeitliche Darstellung eines Residuums mit zwei unterschiedlichen Schwellwerten  
30 Fig. 7 eine Darstellung

In Fig. 1 ist ein Flussdiagramm mit Verfahrensschritten zum Überwachen einer unteren Arbeitswalze in einer als Quarto-Walzgerüst ausgeführten Anlage zum Walzen von Stahl  
35 dargestellt, wobei auf den in Fig. 2 dargestellten Aufbau des Walzgerüsts Bezug genommen wird. Nach dem Wiederherstellen bzw. Tausch der Walze und dem Beginn des Walzvorgangs des

Bandes 15 wird das erfindungsgemäße Verfahren gestartet (Schritt 1) und es werden 8 Kanäle von Soll-Messdaten im laufenden Betrieb des Walzgerüsts 14 mit einer Abtastzeit von 1 ms über eine Dauer von 10 min von einem

5 Messdatenerfassungssystem aufgenommen (Schritt 2). Jeder Kanal der Soll-Messdaten stammt von einem Sensor der mit einer Zustandsgröße des Walzgerüsts 14 in Verbindung steht, wobei jeweils zwei Sensoren als Drucksensoren im einem oberen und in einem unteren, als Hydraulikzylinder ausgeführten

10 Anstellzylinder 18 integriert sind, je ein Drehzahlsensor mit einer oberen und einer unteren Stützwalze 16 und je ein Drehzahlsensor mit einer oberen und einer unteren Arbeitswalze 17 verbunden ist.

15 Die Soll-Messdaten  $MD_{Soll}$  weisen folgende Struktur auf

$$MD_{Soll} = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,7} & x_{1,8} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,7} & x_{2,8} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ x_{4800000,1} & x_{4800000,2} & \dots & x_{4800000,7} & x_{4800000,8} \end{bmatrix},$$

wobei die Kanäle den Spalten der Matrix entsprechen:

Spalte 1	Kanal x1	Kammerdruck 1 vom oberen Anstellzylinder
Spalte 2	Kanal x2	Kammerdruck 2 vom oberen Anstellzylinder
Spalte 3	Kanal x3	Kammerdruck 1 vom unteren Anstellzylinder
Spalte 4	Kanal x4	Kammerdruck 2 vom unteren Anstellzylinder
Spalte 5	Kanal x5	Winkelgeschwindigkeit der oberen Stützwalze
Spalte 6	Kanal x6	Winkelgeschwindigkeit der unteren Stützwalze
Spalte 7	Kanal x7	Winkelgeschwindigkeit der oberen Arbeitswalze
Spalte 8	Kanal x8	Winkelgeschwindigkeit der unteren

		Arbeitswalze
--	--	--------------

Anschließend erfolgt die Definition eines Zielkanals (Schritt 3) aus den acht Kanälen der Soll-Messdaten, wobei als Zielkanal die Winkelgeschwindigkeit der unteren Arbeitswalze (d.h. Kanal 8) ausgewählt wird.

In Schritt 4 werden die Soll-Messdaten (Datenmenge 4.8 Millionen Einzelwerte, d.h. 8 Kanäle mal 1000 Messwerten pro Sekunde mal 600 Sekunden) einer automatischen Vorbehandlung, bestehend aus den Schritten

- Detektion und Eliminierung von „Null-Kanälen“;
- Detektion und Eliminierung von Ausreißern;
- Filterung;
- Downsampling;
- Detektion und Eliminierung von stationären Bereichen;

unterzogen. Bezüglich der Details zur Vorbehandlung wird auf die unveröffentlichte Anmeldung PCT/EP2009/058406 verwiesen, deren Inhalt hiermit per Referenz miteinbezogen wird. Durch die Vorbehandlung der Messdaten wurde die Datenmenge auf 46400 Einzelwerte (8 Kanäle mal 10 Messwerten pro Sekunde mal 580 Sekunden) reduziert. Somit weisen die Soll-Messdaten nach der Vorehandlung  $MD^*_{Soll}$  folgende Struktur auf

$$MD^*_{Soll} = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \dots & x_{1,7} & x_{1,8} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \dots & x_{2,7} & x_{2,8} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ x_{46400,1} & x_{46400,2} & \dots & x_{46400,7} & x_{46400,8} \end{bmatrix},$$

Anschließend wird in Schritt 5 aus dem vorhandelten Soll-Messdaten ein messdatenbasiertes, lineares Modell M für den Zielkanal generiert, womit die Offline Phase 6 abgeschlossen ist.

In der nachfolgenden Online Phase 12 werden kontinuierlich und in Echtzeit Ist-Messwerte von 8 Kanälen ( $x_{1Ist} \dots x_{8Ist}$ ) im laufenden Betrieb des Walzgerüsts aufgenommen (Schritt 7). In

Schritt 8 wird aus den 7 Kanälen von Ist-Messwerten, die nicht mit dem Zielkanal korrespondieren (d.h. die Kanäle 1 bis 7), ein Soll-Wert  $x_{8Soll}$  für den Zielkanal unter Zuhilfenahme des Modells M berechnet. Im darauffolgenden Schritt 9 wird das Residuum  $r$  als  $r = x_{8Soll} - x_{8Ist}$  berechnet. Aus dem so berechneten Residuum werden anschließend im Zuge einer Nachbehandlung des Residuums (Schritt 10) Ausreißer entfernt und ein Mittelwert in Form einer fensterbasierten Mittelwertberechnung (engl. *sliding average*) berechnet, sodass die Zuverlässigkeit der Vorhersage eines Tausches bzw. einer Wiederherstellung (Schritt 11) der Walze wesentlich erhöht wird. Anschließend wird das nachbehandelte Residuum mit einem Schwellenwert  $S$  verglichen, wobei wenn gilt  $r > S$  eine Wiederherstellung oder einen Tausch der Walze, beispielsweise durch einen entsprechende Meldung auf einer als Display ausgeführten Mensch-Maschine-Schnittstelle, initiiert wird; andernfalls wird die Online Phase 12 fortgeführt.

In Fig. 2 ist das Walzgerüst 14 zum Walzen eines Bandes 15 aus Stahl in einer symbolischen Darstellung gezeigt. Das Band 15 wird in einer, durch einen Pfeil symbolisierten, Richtung durch Gießspalt, der durch die beiden Arbeitswalzen 17 gebildet wird, geführt, wobei eine die plastische Verformung des Bands 15 bewirkende Walzkraft durch die Arbeitswalzen 17 aufgebracht wird. Die Arbeitswalzen 17 werden mittels der Stützwalzen 16 gegen das Band 15 angestellt, wobei die Anstellkraft durch jeweils einen, auf der oberen und unteren Seite des Bands 15 angeordneten, Anstellzylinder 18 bewirkt wird.

In Fig. 3 ist der Ablauf der Online Phase nochmals symbolisiert dargestellt. Aus dem Walzgerüst 14 werden 8 Kanäle von Ist-Messdaten 20 ( $x_{1Ist}$  bis  $x_{8Ist}$ ) laufend aufgenommen, wobei die Kanäle 1 bis 7, d.h. die Ist-Messdaten

$x_{1Ist}$  bis  $x_{7Ist}$  dem Modell 19 zugeführt werden, welches den simulierten Soll-Wert  $x_{8Soll}$  berechnet. Das Residuum  $r$ , welches durch den Vergleich von  $x_{8Soll}$  mit  $x_{8Ist}$  gebildet wird, wird als Basis für die Entscheidung 11 über einen Tausch bzw. 5 eine Wiederherstellung 13 der Walze verwendet.

In Fig. 4 ist der Zusammenhang zwischen der Offline Phase 6 und der Online Phase 12 bei der Überwachung einer Walze dargestellt. In der Offline Phase werden mindestens zwei 10 Kanäle von Soll-Messdaten 21 für den Referenzzustand der Anlage aufgenommen. Nach einer nicht dargestellten Definition eines Zielkanals, wird eine Vorbehandlung der Soll-Messdaten 4 durchgeführt. Anschließend wird nach einer Strukturanalyse 22, ein, auf den vorbehandelten Soll-Messdaten und dem 15 Ergebnis der Strukturanalyse basierendes, Modell 19 gebildet. In der Online Phase 12 werden laufend Ist-Messwerte 20 von der Anlage eingelesen, welche - nach einer nicht dargestellten Berechnung eines Soll-Werts für den Zielkanal und einer Ermittlung eines Residuums, der Entscheidung über 20 eine Wiederherstellung oder einen Tausch der Walze 11 zugrundegelegt wird. Das Ergebnis der Entscheidung wird auf einem Anzeigemodul 23 dargestellt.

In Fig. 5 ist ein Flussdiagramm mit Verfahrensschritten zur 25 Überwachung einer Walze mit zwei Zielkanälen (die Walzkraft und die Winkelgeschwindigkeit der unteren Arbeitswalze) symbolisch dargestellt. Der Unterschied zu Fig. 1. besteht darin, dass in der Offline Phase 6 die Schritte 3 (Definition je eines Zielkanals, nämlich der Walzkraft und der 30 Winkelgeschwindigkeit der unteren Arbeitswalze), 4 (Vorbehandlung der Messdaten pro Zielkanal), und 5 (Bildung je eines Modells pro Zielkanal) für die beiden Zielkanäle durchgeführt werden. Außerdem werden in der Online Phase 12 die Schritte 8 (Berechnung eines Soll-Werts), 9 (Berechnung eines Residuums) und 10 (Nachbehandlung des jeweiligen 35 Residuums) für beide Zielkanäle durchgeführt. Die beiden Residuen  $r_1$  und  $r_2$  werden einer Entscheidungslogik 24 zugeführt, welche nach einer Gewichtung der beiden Residuen

eine Entscheidung über eine Wiederherstellung bzw. einen Tausch der Walze vornimmt.

In Fig. 6 ist der zeitliche Verlauf eines Residuums  $r$  bei der  
5 Überwachung einer Walze in einer Anlage zum Walzen von Stahl  
dargestellt. Nach einer Zeit  $t_1$  erreicht das Residuum  $r$  den  
Schwellwert  $S_1$ , wobei dabei eine Warnung an das  
Bedienpersonal generiert wird. Durch diese Warnung wird das  
Bedienpersonal aufgefordert, demnächst einen Wechsel bzw.  
10 eine Wiederherstellung der Walze vorzunehmen. Da nur eine  
Warnung vorliegt, kann z.B. das Walzen eines Coils noch  
fertig gestellt werden, bevor tatsächlich der Wechsel bzw.  
die Wiederherstellung der Walze vorgenommen wird. Im  
Gegensatz zum Schwellwert  $S_1$  ist der Schwellwert  $S_2$  mit einem  
15 Alarm verknüpft, sodass bei fortgesetztem Betrieb der Anlage  
von einer reduzierten Qualität des Walzguts oder von einer  
schwerwiegenden Schädigung der Walze ausgegangen werden muss.  
Das Zeitfenster A gibt somit effektiv ein Zeitintervall für  
den Wechsel bzw. die Wiederherstellung der Walze an.

20

In Fig. 7 ist die Bestimmung eines dynamisch veränderlicher  
Schrankenwerts 27 gezeigt, wobei ein Empfindlichkeitsmaß des  
Modells 19, die Ist-Messdaten 20 und statistische Kenngrößen  
des Residuums 10 in einem Schrankenwert Generator 26 bei der  
25 Bestimmung des Schrankenwerts 27 mit berücksichtigt werden.

## Bezugszeichenliste

	1	Start
	2	Messdatenerfassung von Soll-Messdaten
5	3	Definition eines Zielkanals
	4	Vorbehandlung der Soll-Messdaten
	5	Messdatenbasierte Modellbildung
	6	Offline Phase
	7	Messdatenerfassung von Ist-Messdaten
10	8	Berechnung eines Soll-Werts
	9	Ermittlung eines Residuums
	10	Nachbehandlung des Residuums
	11	Entscheidung Wiederherstellung oder Tausch
	12	Online Phase
15	13	Tausch bzw. Wiederherstellung der Walze
	14	Walzgerüst
	15	Band
	16	Stützwalze
	17	Arbeitswalze
20	18	Anstellzylinder
	19	Modell
	20	Ist-Messdaten
	21	Soll-Messdaten
	22	Strukturanalyse
25	23	Anzeigemodul
	24	Entscheidungslogik
	25	Residuum
	26	Schrankenwert Generator
	27	Schrankenwert
30	A	Zeitfenster für Tausch bzw. Wiederherstellung

## Patentansprüche / Patent claims

1. Verfahren zum Überwachen einer Walze in einer Anlage zum Walzen von Metall, aufweisend die Schritte
- 5       - Aufnehmen von mindestens zwei Kanälen von Soll-Messdaten im Referenzzustand der Anlage;
- Definieren eines Zielkanals aus den Kanälen der Soll-Messdaten;
- Vorbehandlung der Soll-Messdaten;
- 10       - messdatenbasierte Bildung eines Modells für den Zielkanal aus den vorbehandelten Soll-Messdaten;
- Aufnehmen von mindestens zwei Ist-Messwerten im laufenden Betriebszustand der Anlage, worunter sich ein Ist-Messwert für den Zielkanal und ein Ist-Messwert für
- 15       zumindest einen weiteren Kanal befindet;
- Berechnung eines Soll-Werts für den Zielkanal unter Zuhilfenahme des Modells und unter Berücksichtigung des Ist-Messwerts für zumindest einen weiteren Kanal;
- Ermittlung eines Residuums durch das Vergleichen des
- 20       Soll-Werts mit dem Ist-Messwert für den Zielkanal;
- Entscheiden über eine Wiederherstellung oder einen Tausch der Walze durch ein Vergleichen der Größe des Residuums mit einem Schrankenwert.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- 25       nach dem Aufnehmen die Soll-Messdaten abgespeichert werden.
3. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Zielkanal die Walzkraft der Walze oder eine damit in Verbindung stehende Größe verwendet wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 2, **dadurch**
- 30       **gekennzeichnet, dass** als Zielkanal die Winkelgeschwindigkeit der Walze oder eine damit in Verbindung stehende Größe verwendet wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Soll-Messdaten bei der Vorbehandlung
- 35       der Messdaten den Schritten
- Detektion und Eliminierung von „Null-Kanälen“;

- Detektion und Eliminierung von Ausreißern;
- Filterung;
- Downsampling

unterzogen werden.

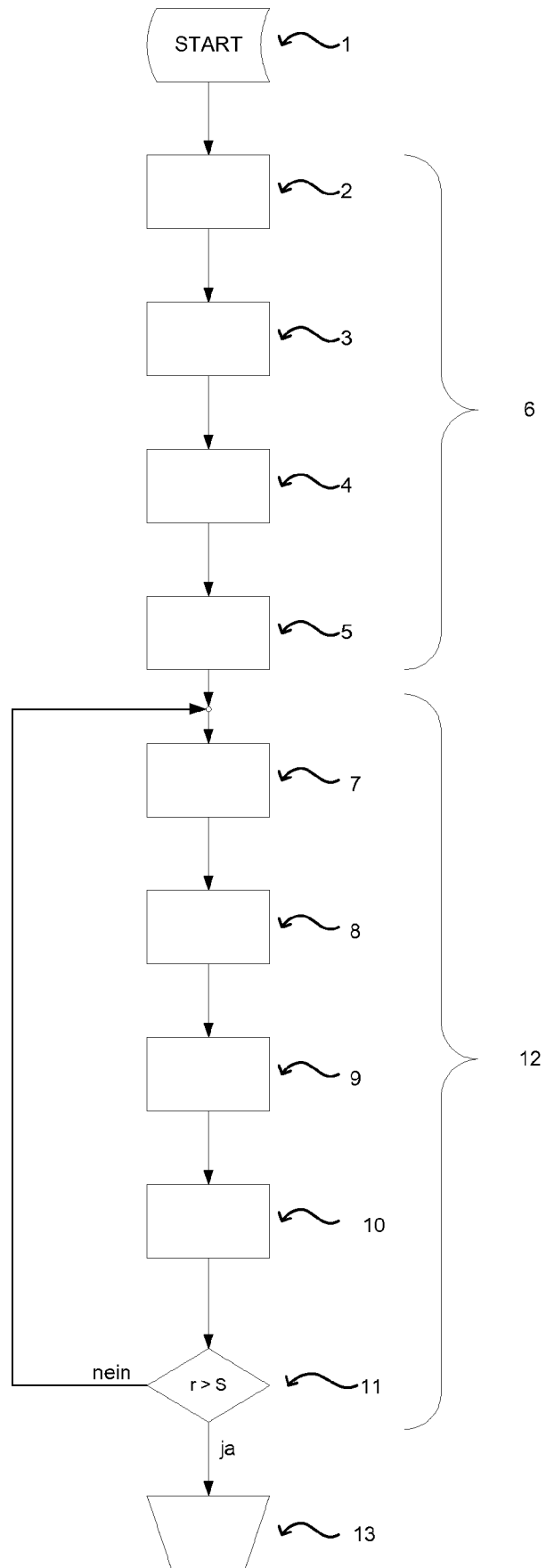
- 5 6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Soll-Messdaten nach dem Downsampling einer Detektion und Eliminierung von stationären Bereichen unterzogen werden.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Soll-Messdaten vor der  
10 messdatenbasierten Bildung eines Modells einer Strukturanalyse unterzogen werden.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** für den Zielkanal eine messdatenbasierte Bildung mehrerer Modelle aus den vorbehandelten Soll-  
15 Messdaten erfolgt.
9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Residuum vor der Entscheidung über die Wiederherstellung oder den Tausch der Walze einer Nachbehandlung des Residuums mit wenigstens einem der  
20 Schritte
- Filterung;
  - Detektion und Eliminierung von Ausreißern;
  - Berechnung statistischer Kenngrößen des Residuums
- unterzogen wird, wobei der Entscheidung über eine  
25 Wiederherstellung oder einen Tausch der Walze das nachbehandelte Residuum zugrundegelegt wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** als statistische Kenngrößen entweder der Mittelwert, der Median oder die Standardabweichung oder die Varianz berechnet  
30 werden.
11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schrankenwert entweder fix oder dynamisch veränderlich ist.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, **dadurch gekennzeichnet,**  
35

- **dass** mehrere Zielkanäle aus den Kanälen der Soll-Messdaten definiert werden;
- **dass** je Zielkanal eine messdatenbasierte Bildung eines Modells für den Zielkanal aus den vorbehandelten Soll-Messdaten erfolgt;
- 5 - **dass** je Zielkanal eine Berechnung eines Soll-Werts für den Zielkanal unter Zuhilfenahme des Modells für den Zielkanal und unter Berücksichtigung des Ist-Messwerts für zumindest einen weiteren Kanal erfolgt;
- 10 - **dass** je Zielkanal eine Ermittlung eines Residuums durch das Vergleichen des Soll-Werts mit dem Ist-Messwert für den Zielkanal erfolgt;
- **dass** zumindest der Vergleich eines Residuums mit einem Schrankenwert der Entscheidung über eine
- 15 Wiederherstellung oder einen Tausch der Walze zugrundegelegt wird.

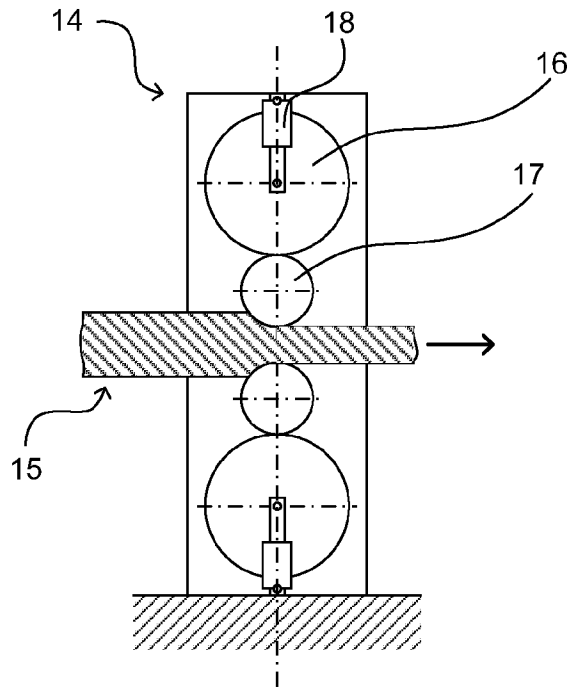
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Residuen vor der Entscheidung über eine Wiederherstellung oder einen Tausch der Walze gewichtet werden.

- 20 14. Verwendung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 13 zur Überwachung einer Arbeits-, Zwischen- oder Stützwalze eines Walzgerüsts zum Kalt- oder Warmwalzen von Eisen-, Stahl- oder Aluminiumwerkstoffen.

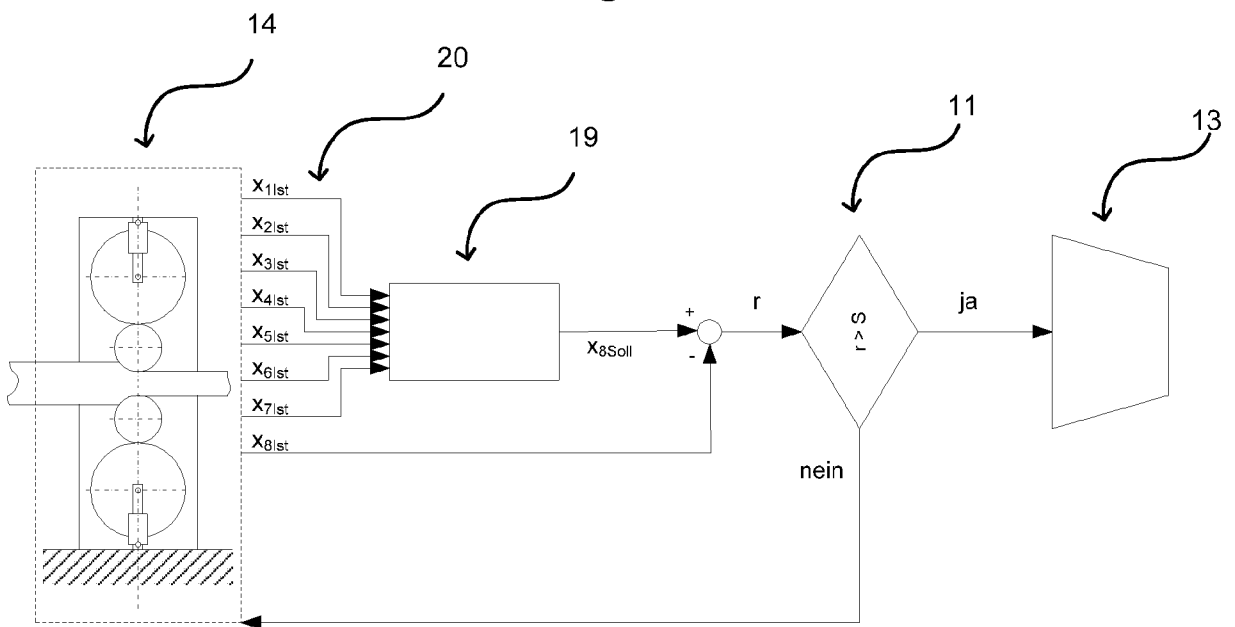
Fig. 1



2/4  
**Fig. 2**



**Fig. 3**



3/4  
Fig. 4

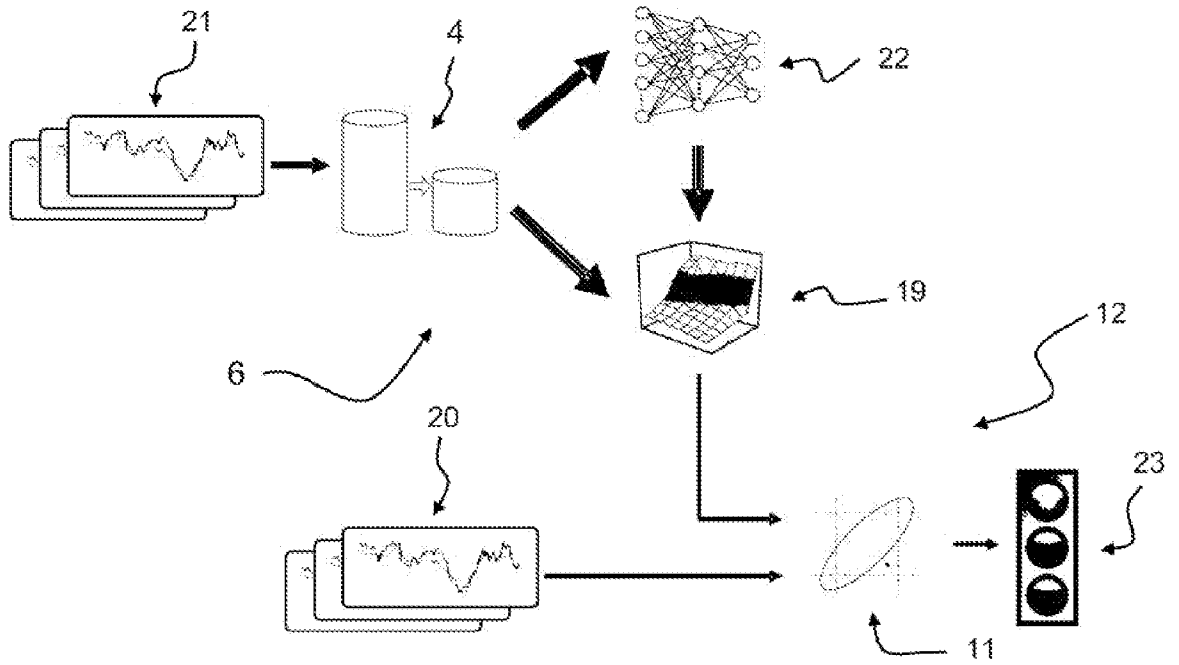


Fig. 6

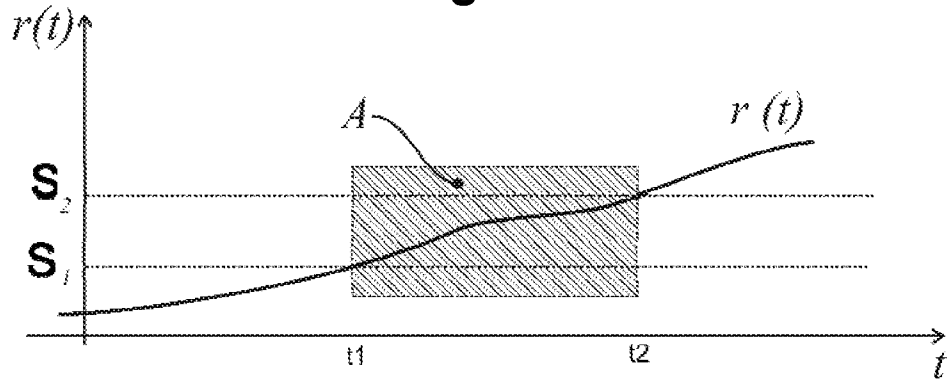
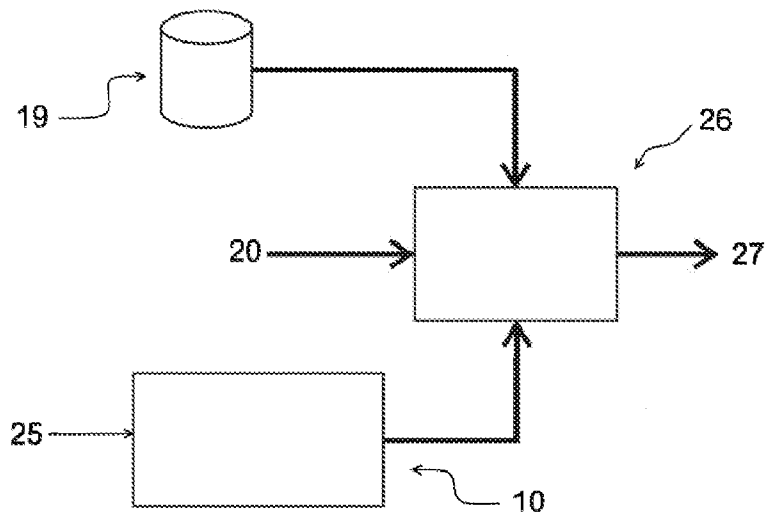


Fig. 7



4/4  
**Fig. 5**

