

(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
10. September 2010 (10.09.2010)

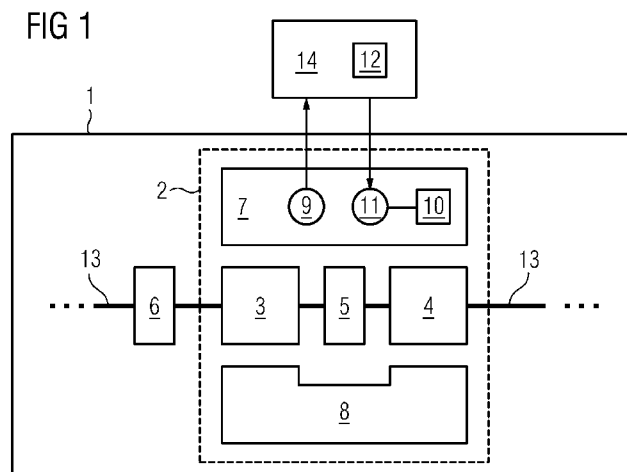
(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2010/099994 A2

- (51) Internationale Patentklassifikation:
D21F 5/00 (2006.01)
- (21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2010/050394
- (22) Internationales Anmeldedatum:
14. Januar 2010 (14.01.2010)
- (25) Einreichungssprache: Deutsch
- (26) Veröffentlichungssprache: Deutsch
- (30) Angaben zur Priorität:
10 2009 011 217.0 4. März 2009 (04.03.2009) DE
- (71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).
- (72) Erfinder; und
- (75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **REINSCHKE, Johannes** [DE/DE]; Roritzer Str. 8, 90419 Nürnberg (DE). **FRIES, Edgar** [DE/DE]; Kloster-Neustift-Str. 5, 91077 Neunkirchen am Brand (DE). **SIEBER, Albrecht** [DE/DE]; Kornweg 4, 91096 Möhrendorf (DE). **SPETH, Friedrich** [DE/DE]; Adalbert-Stifter-Str. 45, 91074 Herzogenaurach (DE).
- (74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT**; 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, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (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: CONTROL OF AN EXPANDED DRYING SECTION OF A PAPER MACHINE

(54) Bezeichnung : STEUERUNG DER ERWEITERTEN TROCKENPARTIE EINER PAPIERMASCHINE



(57) Abstract: The invention relates to a method and to a model-based controller for controlling at least one part of a paper machine, to a paper machine having such a controller, to a computer program for executing the method according to the invention, and to a computer program product on which the computer program according to the invention is stored. In order to achieve an improved or optimized operation mode of an "expanded drying section" of a paper machine - comprising the "actual" drying section, separated, if applicable, into pre-drying and post-drying sections with a size press located therebetween, a steam and condensate system, an exhaust air heat recovery system, a wet press and the white water - a model that includes the above system components is proposed, with which mass and energy balances for the system components as well as the specific energy consumption of the drying section are calculated, based on values for parameters relevant for the drying process.

(57) Zusammenfassung:

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

WO 2010/099994 A2



Veröffentlicht:

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

Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine modellgestützte Steuerung zur Steuerung zumindest eines Teils einer Papiermaschine, eine Papiermaschine mit einer derartigen Steuerung, ein Computerprogramm zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie ein Computerprogrammprodukt, auf dem das erfindungsgemäße Computerprogramm gespeichert ist. Um eine verbesserte beziehungsweise optimierte Fahrweise einer „erweiterten Trockenpartie“ einer Papiermaschine - bestehend aus der „eigentlichen“ Trockenpartie, ggf. aufgeteilt in Vor- und Nachtrockenpartie mit dazwischen befindlicher Leimpresse, einem Dampf- und Kondensatsystem, einem Abluft-Wärmerückgewinnungssystem, einer Nasspresse und dem Siebwasser - zu ermöglichen, wird ein die genannten Anlagenteile umfassendes Modell vorgeschlagen, mittels dem anhand von Werten für die für die Trocknung relevanten Parameter Massen- und Energiebilanzen für die Anlagenteile sowie der spezifische Energieverbrauch in der Trockenpartie berechnet wird.

Beschreibung

Steuerung der erweiterten Trockenpartie einer Papiermaschine

5 Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine modellgestützte
Steuerung zur Steuerung zumindest eines Teils einer Papierma-
schine, eine Papiermaschine mit einer derartigen Steuerung,
ein Computerprogramm zur Durchführung des erfindungsgemäßen
Verfahrens sowie ein Computerprogrammprodukt, auf dem das er-
10 findungsgemäße Computerprogramm gespeichert ist.

Insbesondere in der Trockenpartie einer Papiermaschine wird
viel Energie für die Trocknung der Papierbahn benötigt - eine
Steigerung der Energieeffizienz der Trockenpartie kann sich
15 signifikant auf die Gesamtproduktionskosten auswirken. Gele-
gentlich ist auch die Trockenpartie bezüglich des Anlagen-
durchsatzes der „Flaschenhals“, d.h. durch eine verbesserte
Trocknung kann der Durchsatz gesteigert werden.

20 Zur Energieeinsparung ist es bekannt, intelligente Steuerun-
gen, wie z.B. das "Dryer Management System" von Kadant John-
son, zu verwenden, das die Trocknung in der eigentlichen Tro-
ckenpartie, im Wesentlichen bestehend aus Trockenzylindern
und Trockenhaube, einer Papiermaschine modelliert.

25

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine verbesserte
beziehungsweise optimierte Fahrweise einer „erweiterten Tro-
ckenpartie“ einer Papiermaschine zu ermöglichen.

30 Unter der „erweiterten Trockenpartie“ wird dabei verstanden:
- die „eigentliche“ Trockenpartie, im Wesentlichen bestehend
aus Trockenzylindern und Trockenhaube und ggf. aufgeteilt
in Vortrockenpartie und Nachtrockenpartie mit dazwischen
befindlicher Leimpresse;
35 - ggf. die Leimpresse;
- das Dampf- und Kondensatsystem;
- das Abluft-Wärmerückgewinnungssystem;
- die Nasspresse;

- das Siebwasser, insbesondere die durch Frischdampfeinsatz geregelte Siebwassertemperatur.

Unter einer „verbesserten“ oder „optimierten“ Fahrweise wird
5 eine Fahrweise verstanden, die den spezifischen Energie-
verbrauch (= Tonnen Dampf pro Tonne produzierten Papiers)
verringert und/oder den Durchsatz (= Tonnen produzierten Pa-
piers pro Stunde) erhöht und/oder die Produktionsmenge über
10 einen längeren Zeitraum (= Tonnen produzierten Papiers pro
Woche oder Monat) steigert. Letzteres Kriterium „Steigerung
der Produktionsmenge“ kann durch die Erhöhung des Durchsatzes
und/oder die Erhöhung der Produktionszeit beziehungsweise der
Anlagenverfügbarkeit, also durch die Verbesserung der soge-
nannten „Runnability“, erreicht werden.

15

Diese Aufgabe wird gelöst durch ein Verfahren zur Steuerung
zumindest eines Teils einer Papiermaschine, enthaltend ein
Online-Modell der Anlagenaggregate

- Trockenpartie, ggf. unterteilt in Vortrockenpartie und
20 Nachtrockenpartie mit dazwischen liegender Leimpresse,
- Wärmerückgewinnungssystem,
- Dampf- und Kondensatsystem,

optional zusätzlich enthaltend ein Online-Modell des Anlagen-
aggregates

- 25 • Nasspresse und/oder
- Siebwassertemperaturregelung,

wobei

- im Online-Modell zwischen den vier Stoffströmen
 - feuchtes Papier,
 - 30 • feuchte Luft,
 - Dampf- und Kondensatgemisch hochreinen Wassers,
 - Prozesswasser mit unterschiedlichen Glykol-Gehalten un-
terschieden wird,
- im Online-Modell eine Massen- und Energiebilanz für alle
35 Stoffströme jeweils in
 - der Trockenpartie,
 - dem Wärmerückgewinnungssystem und
 - dem Dampf- und Kondensatsystem

berechnet wird,

- aus den Massen- und Energiebilanzen der spezifische Energieverbrauch berechnet wird und
- die Massen- und Energiebilanzen und/oder der spezifische Energieverbrauch - vorzugsweise grafisch und/oder tabellarisch - dargestellt und/oder zur Anzeige gebracht werden.

Die Aufgabe wird weiter gelöst durch eine Steuerung, eine Papiermaschine, ein Computerprogramm sowie ein Computerprogrammprodukt mit den in den Ansprüchen 12 - 15 angegebenen Merkmalen.

Das erfindungsgemäße Verfahren basiert auf einem Online-Modell der kompletten „erweiterten Trockenpartie“ mit den bereits genannten Aggregaten - soweit diese in der konkreten Anlage vorhanden sind.

Das aus dem Stand der Technik bekannte System modelliert nur die Trocknung in der Vor- und Nachtrockenpartie, enthält aber keine Modelle folgender Aggregate bzw. Phänomene:

- Siebwassererwärmung,
- Nasspresseneinfluss auf die Papierbahntrocknung,
- Dampf- und Kondensatsystem,
- Wärmerückgewinnungssystem aus feuchter Abluft.

25

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Steuerung zumindest der (erweiterten) Trockenpartie basiert hingegen auf einem Modell der Vor- und Nachtrockenpartie sowie der Leimpresse, der Nasspresse, des Dampf- und Kondensatsystems, des Wärmerückgewinnungssystems und der Siebwassererwärmung, da eine weitere Senkung des spezifischen Energieverbrauchs nur durch ein modellgestütztes Steuerungssystem erreicht werden kann, dessen Modell einen so weiten Anlagenteil (bzw. so viele Anlagenteile) umfasst.

35

In das Modell gehen auch die Eigenschaften der verschiedenen Stoffströme ein. Dabei werden die - zu Beginn der Papierherstellung anfallende - feuchte Fasermatte und das feuchte Pa-

pier jeweils als Faser-Wasser-Gemisch modelliert. Die Eigenschaften von feuchter Luft (Zuluft und Abluft der Papier-trocknung), von hochreinem Wasserdampf- und -kondensatgemisch sowie von Prozesswasser (ggf. mit Glykol versetzt) können
5 hingegen auch z.B. tabellarisch hinterlegt sein.

Eine Senkung des spezifischen Energieverbrauchs (= Tonnen Dampf pro Tonne produzierten Papiers) kann hierbei natürlich nicht nur durch eine Verringerung des Energieverbrauchs bei
10 gleichem Durchsatz der Papiermaschine erzielt werden, sondern auch durch eine Steigerung des Durchsatzes bei gleichem Energieverbrauch. Idealerweise lassen sich beide Bedingungen für einen reduzierten spezifischen Energieverbrauch gleichzeitig erfüllen, das heißt es wird ein höherer Durchsatz bei einem
15 geringeren Einsatz von Energie erzielt.

Das erfindungsgemäße Verfahren kann für Offline-"Was wenn?"-Rechnungen verwendet werden. Durch die Berechnung der jeweiligen Massen- und Energiebilanzen sowie des spezifischen
20 Energieverbrauchs können die Auswirkungen einer Änderung auf den Energieverbrauch auf einfache Weise simuliert werden.

Die berechneten Massen- und Energiebilanzen und/oder der zugehörige spezifische Energieverbrauch werden - insbesondere
25 durch grafische und/oder tabellarische Darstellung - zur Anzeige gebracht. Hierbei kann vorteilhafterweise die physikalische Einheit vom Anwender gewählt werden, also beispielsweise ob ein bestimmter Massenstrom in Tonnen pro Stunde oder in Kilogramm pro Sekunde angezeigt werden soll.

30 Für die grafische Darstellung werden die berechneten Werte vorteilhafterweise in einer schematischen Darstellung des oder der die darzustellenden Werte betreffenden Anlagenteils oder Anlagenteile der Papiermaschine in unmittelbarer Nähe
35 der betreffenden Komponente notiert. Durch diese Zuordnung können die betreffenden (Teil-) Ergebnisse für die jeweilige Komponente, z.B. der Leimpresse, "auf einen Blick" von einem Betrachter wahrgenommen werden.

Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit der grafischen Darstellung ist es weiter vorteilhaft, nur eine - vom Bediener zu treffende - Auswahl der Ergebnisse darzustellen. So können beispielsweise in einer ersten Sicht nur die Ergebnisse für die Vor- und Nachtrockenpartie sowie der Leim- und Nasspresse betreffend die Papierbahn, in einer zweiten Sicht die Ergebnisse betreffend die Haubenluft und in einer dritten Sicht die Ergebnisse betreffend den Leimauftrag dargestellt werden. In weiteren Sichten können die Ergebnisse z.B. für das Dampf- und Kondensatsystem jeweils der Vor- und Nachtrockenpartie in einer entsprechenden Schemazeichnung dargestellt werden.

Dabei müssen die Ergebnisse nicht als Absolutwert in die Zeichnung eingetragen werden, sie können auch z.B. in Form eines Balkendiagramms grafisch dargestellt werden oder sich beispielsweise für "Was-wäre-wenn?"-Rechnungen prozentual auf die derzeitigen Istwerte der Papiermaschine beziehen.

In einer vorteilhaften Form der Ausgestaltung werden für den Stoffstrom „feuchtes Papier“ zu den Parametern Temperatur, Massenstrom, absolute Feuchte, relative Feuchte; für den Stoffstrom „feuchte Luft“ zu den Parametern Temperatur, Volumenstrom, Massenstrom, Energiestrom, absolute Feuchte, relative Feuchte, Taupunkt; für den Stoffstrom „Dampf und Kondensat“ zu den Parametern Temperatur, Druck, Prozentsatz Dampf, Massenstrom, Energiestrom; für den Stoffstrom „Prozesswasser“ zu den Parametern Temperatur, Massenstrom und Energiestrom Werte berechnet. Besonders vorteilhaft ist es, wenn zusätzlich zu den dargestellten Ergebnissen - Massen- und Energiebilanzen und/oder spezifischer Energieverbrauch - noch weitere Größen, wie z.B. Temperatur und Dichte der zu trocknenden Papierbahn, in die Darstellung - sei sie nun grafisch oder in Form einer tabellarischen Übersicht - mit aufgenommen werden. Ebenso ist es von besonders großem Vorteil, wenn berücksichtigt wird, dass Vor- und/oder Nachtrockenpartie üblicherweise aus mehreren Antriebsgruppen bestehen, wobei für jede Antriebsgruppe jeweils eine Massen- und Energiebilanz berechnet wird. Somit ermöglicht die Erfindung nicht nur eine Erkennung

von Einsparpotenzialen, sondern führt auch zu einer Verbesserung des Verständnisses der Anlage. Dabei hilft ein Anlagenüberblick, um schadhafte oder zu wartende Aggregate (wie z.B. versottende Wärmetauscher), fehlerhafte Messtechnik (z.B.

5 Durchfluss- und Differenzdruckmessung an einem Ventil passen nicht zusammen) oder eine ungünstige Fahrweise (z.B. wenn Bypass-Dampfventile, die in während der normalen Produktion geschlossen sein sollten, trotzdem geöffnet sind) zu identifizieren bzw. diagnostizieren.

10

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird ein Rechenwert zumindest eines Parameters im Online-Modell dem Messwert eines zugehörigen Sensors zugeordnet und das Online-Modell durch Vergleich zwischen Rechenwert und Messwert adaptiert. Dabei wird z.B. der Massetransfer-Koeffizient in der Stefangleichung adaptiert, so dass berechnete und gemessene Papierfeuchte nach der Trockenpartie übereinstimmen.

15

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform werden papiermaschinenspezifische Einflüsse von zumindest einem der Parameter Temperatur und Feuchte einer Prozesszuluft, Temperatur und Feuchte einer Prozessabluft, Siebwassertemperatur, Maschinengeschwindigkeit, Dampfdrücke in Hauptdampfgruppen und Differenzdrücke zu Nebendampfgruppen auf die Trocknung einer Papierbahn modelliert und für mindestens einen dieser Parameter Sollwerte berechnet. Somit können mit dem erfindungsgemäßen Verfahren Größen, wie z.B. die genannten, optimal eingestellt werden. Je nach Ausstattung der Papiermaschine kann aber auch - falls vorhanden - beispielsweise die Verwendung eines Dampfblaskastens in der Nasspresse berücksichtigt bzw. eingestellt werden. Sogenannte „Abrisse“ der Papierbahn finden in der Regel in der „erweiterten Trockenpartie“, die nach obiger Definition neben der eigentlichen Trockenpartie die Nass- und die Leimpresse mit einschließt, statt. Durch eine verbesserte „Runnability“ kann die Zahl der Abrisse verringert und somit die Produktionszeit erhöht und die Produktionsmenge gesteigert werden.

20

25

30

35

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird der Wert zumindest eines Parameters festgehalten, und für die Parameter, deren Werte nicht festgehalten werden, werden Sollwerte mittels eines Optimierungs-Algorithmus bestimmt. Der Optimierungs-Algorithmus kann ein gewichtetes Mittel zwischen spezifischem Energieverbrauch und Durchsatz optimieren. Auf diese Weise können zwei wichtige Ziele bei der Papierherstellung - Steigerung der Energieeffizienz und des Durchsatzes - in ausgewogener Weise gleichzeitig verfolgt werden. Alternativ können der spezifische Energieverbrauch oder der Durchsatz auch jeweils nur für sich optimiert werden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird für zumindest einen der Parameter ein Wertebereich vorgegeben, innerhalb dessen eine vorgebbare Anzahl von Werten sukzessive festgehalten wird, und es werden für die Parameter, deren Werte nicht festgehalten werden, für jeden der Werte innerhalb des Wertebereichs jeweils Sollwerte mittels eines Algorithmus zur Optimierung eines gewichteten Mittels zwischen spezifischem Energieverbrauch und Durchsatz bestimmt. Auf diese Weise können "Vorschläge" in einem Schritt für den gesamten Wertebereich gemacht werden. Zudem kann ein Bediener (Anlagenfahrer) so leicht erkennen, welche Auswirkungen Änderungen eines Parameters auf die berechneten Sollwerte der anderen Parameter haben.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform werden die Sollwerte in regelmäßigen zeitlichen Abständen oder auf Anforderung eines Anlagenfahrers berechnet. Die zeitlichen Abstände können sich dabei nach der Prozessdynamik des modellierten Anlagenteils richten und betragen typischerweise zwischen 10 und 60 Sekunden, insbesondere 30 Sekunden.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird zumindest ein Sollwert einem dem entsprechenden Parameter zugeordneten Stellglied oder einer zugeordneten Regeleinrichtung eines DCS („Distributed Control Systems“) der Papiermaschine automatisch vorgegeben. Somit kann das erfindungsgemäße Ver-

fahren nicht nur optimierte Sollwerte „vorschlagen“, die z.B. von einem Anlagenfahrer bestätigt oder nur tendenziell übernommen werden können, sondern auch direkt als "Steuerungsmethode" in Hinblick auf die berechneten Sollwerte dienen. Dabei können die Sollwerte direkt einem Stellglied vorgegeben werden, in der Regel werden sie jedoch einer Regeleinrichtung des DCS zugeführt.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform wird ein zeitlicher Verlauf zumindest eines Sollwertes mit Hilfe eines modellprädiktiven Optimierungsalgorithmus berechnet. Dies bezieht sich vornehmlich auf Sortenwechsel und Pausen-Sollwerte, wodurch eine Beschleunigung von Sortenwechseln sowie des Anfahrens nach Stillständen oder Pausenzeiten erreicht werden kann. Es ist insbesondere die Temperatur der Trockenzylinder in der eigentlichen Trockenpartie nur relativ langsam änderbar beziehungsweise umsteuerbar. Die Verkürzung der Umsteuerzeit von einer Sorte zur nächsten sowie die Optimierung von Pausen-Sollwerten mit dem Ziel, möglichst schnell wieder anfahren zu können und gleichzeitig die Energieverluste während der Pausen-Zeit möglichst gering zu halten, sind weitere Mittel, um die Produktionsmenge zu steigern und den spezifischen Energieverbrauch zu senken.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform werden Anlagengrenzen bzw. Parameterwertgrenzen aus berechneten bzw. aus dem Online-Modell abgeleiteten Größen generiert und/oder sind fest vorgegeben und/oder werden vom Anlagenfahrer vorgegeben und bei der Berechnung eines Sollwertes berücksichtigt. Aus dem Online-Modell abgeleitete Größen sind dabei z.B. Taupunkttemperaturen. Die Berücksichtigung dieser Grenzwerte kann u.a. gewährleisten, dass die berechneten Sollwerte auf der konkreten Papiermaschine auch realisierbar sind.

In einer weiteren vorteilhaften Ausführungsform misst zumindest ein einem Parameter zugehöriger Sensor den Parameterwert und gibt bei einer Abweichung des Messwertes vom Rechenwert des Parameters ein Warnsignal aus. Hierdurch wird eine erwei-

terte Anlagenüberwachung erzielt, z.B. darauf, ob Ventile, die im Normalbetrieb geschlossen sein sollten, geöffnet sind. Ist dies der Fall, kann an einer Anzeigeeinheit z.B. eine optisch hervorgehobene Textnachricht "Ventil offen!" ausgegeben werden. Denkbar sind auch alternativ oder zusätzlich andere Formen der optischen oder akustischen Signalgebung, die möglicherweise auch gestaffelt in Abhängigkeit von der Differenz zwischen Messwert und Rechenwert zugeschaltet werden können, so dass bei einer großen Diskrepanz, die auf eine Fehlfunktion hindeuten könnte, buchstäblich "die Alarmglocken läuten". Auf diese Weise sorgt das erfindungsgemäße Verfahren nicht nur durch eine Überwachung der Messwerte für eine Einhaltung der erkannten oder berechneten Einsparpotenziale, sondern auch für eine erhöhte Sicherheit beim Betrieb der Papiermaschine.

Steuerungen für größere, aus mehreren Anlagenteilen bestehende Anlagen - wie z.B. Papiermaschinen - sind in der Regel mehrstufig aufgebaut. Meist sind unterlagerte Regler vorhanden, denen von einer übergeordneten Einrichtung Sollwerte vorgegeben werden. Die Sollwerte können hierbei momentan gültige Sollwerte sein oder Funktionen der Zeit sein (Sollwertverläufe).

In der Regel berechnen sogenannte Level-2-Systeme die Sollwerte mittels Online-Optimierungsalgorithmen, die ihrerseits auf Online-Modelle der zu steuernden Anlage zurückgreifen. Die Online-Modelle sind häufig mathematisch-physikalische Modelle. In manchen Fällen weisen die Modelle Parameter auf, die nicht mehr sinnvoll physikalisch modelliert werden können, sondern empirisch bestimmt werden müssen. Beispiele derartiger Parameter sind Wärmeübergangskoeffizienten, Reibwerte und dergleichen mehr. Die empirischen Parameter werden in der Regel während der Inbetriebsetzungsphase - teilweise basierend auf zusätzlichen Offline-Messungen - voreingestellt sowie während des Anlagenbetriebs adaptiert und/oder durch (adaptive) empirische Modelle repräsentiert. Ein Beispiel

derartiger adaptiver empirischer Modelle sind neuronale Netze.

5 Eine erfindungsgemäße Steuerung einer erfindungsgemäßen Papiermaschine stellt ein derartiges Level-2-System dar. Dabei kann das erfindungsgemäße Verfahren Teil eines auf der Steuerung ablaufenden allgemeinen Betriebsverfahrens sein.

10 Durch das erfindungsgemäße Verfahren können auf einfache Weise Offline-Optimierungsrechnungen zur anlagenspezifischen Darstellung der papiermaschinenspezifischen Einflüsse durchgeführt werden. Insbesondere bei einer Aufnahme von weiteren Größen in die Darstellung der Ergebnisse kann das erfindungsgemäße modell-basierte Level-2-System auch als Softsensor zur
15 Anzeige von nicht messbaren Werten genutzt werden. Somit ermöglicht die Erfindung nicht nur eine Erkennung von Einsparpotenzialen, sondern führt auch zu einem verbesserten Verständnis der Anlage.

20 Ist das Level-2-System online mit der Papiermaschine verbunden, können günstige Werte für die Parameter auch mittels der Steuerung an der Papiermaschine eingestellt werden.

Vorteilhafterweise wird zumindest ein Sollwert einem dem entsprechenden Parameter zugeordneten Stellglied oder einer zugeordneten Regeleinrichtung der Papiermaschine automatisch vorgegeben. Somit kann das Level-2-System nicht nur als "Vorschlagsystem", sondern auch als "Steuerungssystem" in Hinblick auf die mittels des Algorithmus zur Optimierung eines
30 gewichteten Mittels zwischen dem spezifischen Energieverbrauch und Durchsatz berechneten Sollwerte dienen. Dabei können die Sollwerte direkt einem Stellglied vorgegeben werden, in der Regel werden sie jedoch einer Regeleinrichtung des DCS zugeführt.

35

Diese Regeleinrichtungen können als modellbasierte Regler ausgebildet sein, die ihre Stellgröße unter Verwendung eines Modells der von ihnen geregelten Regelstrecke ermitteln. Mo-

dellbasierte Regler können beispielsweise auch als modellprä-
diktive Regler ausgebildet sein, die als solche allgemein be-
kannt sind (siehe z.B. den Fachaufsatz "Modellbasierte prä-
diktive Regelung in der industriellen Praxis" von Rainer
5 Dittmar und Bernd-Markus Pfeiffer, erschienen in at - Automa-
tisierungstechnik, Bd. 54 (2006), Heft 12, Seiten 590 - 601).
Wenn für einen Anlagenteil eine physikalische Modellierung
nicht möglich bzw. nicht sinnvoll ist (beispielsweise der
hierzu erforderliche Aufwand zu hoch ist), werden im Stand
10 der Technik "Advanced Process Control"-Systeme eingesetzt,
welche die Form von modellprädiktiven Reglern (englisch: MPC
= model predictive control) aufweisen und welche auf voll-
ständig empirisch bestimmten dynamischen Prozessmodellen be-
ruhen. Die Identifikation dieser Modelle erfolgt im Regelfall
15 offline oder in einer Kalibrierungsphase, jedoch nicht wäh-
rend des laufenden Betriebs. Es sind jedoch auch Online-
Identifikationsverfahren bekannt.

Zumindest die erweiterte Trockenpartie der Papiermaschine
20 wird vom Level-2-System gesteuert, wobei "gesteuert" hier im
Rahmen der vorliegenden Erfindung im allgemeinen Sinne von
"kontrolliert" verwendet wird. Es soll also offen bleiben, ob
eine Steuerung im engeren Sinne oder eine Regelung realisiert
ist. Auch ist die Ausgestaltung der unterlagerten Regler im
25 Rahmen der vorliegenden Erfindung von untergeordneter Bedeu-
tung. Es kann sich beispielsweise um Einfachregler oder um
kaskadierte Regler handeln. Auch eine Ausgestaltung als ver-
teiltes Steuerungssystem (DCS = distributed control system)
ist möglich.

30
Das erfindungsgemäße Level-2-System kann somit sowohl für
Offline-"Was wenn?"-Rechnungen verwendet werden als auch on-
line angebunden sein und beispielsweise dem DCS/QCS-System
(QCS = quality control system) in regelmäßigen zeitlichen Ab-
35 ständen (zum Beispiel alle 30 Sekunden) Sollwerte für rele-
vante Stellglieder vorgeben.

In Abhängigkeit von der Form der Ausgestaltung der Erfindung kann eine Kombination aus mindestens zwei der nachstehenden Ziele erreicht werden:

- Senkung des spezifischen Energieverbrauchs,
- 5 - Erhöhung des Durchsatzes,
- Erhöhung der Produktionszeiten beziehungsweise der Produktionsmenge,
- Beschleunigung von Sortenwechseln sowie des Anfahrens nach Stillständen oder Pausenzeiten,
- 10 - Verbesserter Anlagenüberblick,
- Diagnose des Anlagenzustandes mit Ausgabe von Warnungen,
- Analyse der Anlagenfahrweise mit Anzeige von Anlagengrenzen und/oder Warnungen.

15 Im Folgenden wird die Erfindung anhand der in den Figuren dargestellten Ausführungsbeispiele näher beschrieben und erläutert. Es zeigen:

20 FIG 1 eine schematische Darstellung der modellierten Anlagenteile einer Papiermaschine,

FIG 2 eine diagrammatische Darstellung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

25 FIG 1 zeigt eine schematische Darstellung einer Papiermaschine 1, wobei die Darstellung auf die für die Erfindung wesentlichen Anlagenteile beschränkt ist. Diese sind zum einen die Trockenpartie 2 mit Vortrockenpartie 3, Nachtrockenpartie 4 und Leimpresse 5, wobei der Einfluss der Nasspresse 6 auf die
30 Trocknung der Papierbahn 13 ebenfalls mitmodelliert wird. Zudem gehört zur Trockenpartie 2 ein Wärmerückgewinnungssystem 7 und ein Dampf- und Kondensatsystem 8. Alle Anlagenteile können mehrere Sensoren 9 zum Aufnehmen der verschiedensten Messwerte (u.a. für die im erfindungsgemäßen Verfahren be-
35 rechneten Parameter) aufweisen, wobei nur ein Sensor 9 im Wärmerückgewinnungssystem 7 in der Figur dargestellt ist. Die Sensoren 9 liefern die Messwerte an eine Steuerung 14 der Papiermaschine 1, die geeignete Mittel 12 - wie z.B. Ein- und

Ausgabemittel, Arbeitsspeicher, Prozessor etc. - zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens aufweist. Die Anlagenteile können auch Stellglieder 10 aufweisen, die entweder direkt oder über eine übergeordnete Regeleinrichtung 11 von der Steuerung 14 angesteuert werden können. Dabei ist die genaue Form der Ausgestaltung der Regeleinrichtungen 11 - beispielsweise als modellprädiktive Regler - für die Lehre der Erfindung unwesentlich. Ebenso können die von der Steuerung 14 den Stellgliedern 10 vorzugebende Sollwerte, z.B. in regelmäßigen zeitlichen Abständen (beispielsweise alle 30 Sekunden), einem DCS/QCS („Distributed Control System / Quality Control System“) übergeben werden.

Die Vortrockenpartie 3 und die Nachtrockenpartie 4 weisen üblicherweise mehrere Trockengruppen (Trockenzylinder einer Dampf- oder Trockengruppe haben denselben Dampfdruck) auf, für die vorteilhafterweise jeweils einzeln eine Massen- und Energiebilanz berechnet wird. Da es ebenso von Vorteil ist, neben den berechneten Massen- und Energiebilanzen sowie dem spezifischen Energieverbrauch noch weitere Größen in die Darstellung der Ergebnisse mit aufzunehmen, ist es aus Gründen der Übersichtlichkeit geboten, nicht alle Ergebnisse in einer Darstellung anzuzeigen, sondern einem Benutzer mehrere Sichten anzubieten, in denen jeweils nur ein Ausschnitt dargestellt ist. Dabei können auch mehrere Sichten denselben Anlagenteil betreffen, wobei sich beispielsweise bei einer Darstellung von Vortrockenpartie 3, Leimpresse 5 und Nachtrockenpartie 4 eine Sicht auf Ergebnisse (und ggf. weitere Größen) betreffend die Papierbahn 13, eine auf die Haubenluft und eine weitere auf den Leimauftrag beziehen kann.

FIG 2 verdeutlicht in einem Diagramm die grundsätzliche Funktionsweise des erfindungsgemäßen Verfahrens. Dabei fließen für die Trocknung einer Papierbahn relevante Parameter 15 in ein Modell 17 der Trockenpartie einer Papiermaschine ein. Das Modell 17 berücksichtigt die papiermaschinenspezifischen Einflüsse der Parameter 15 und berechnet für die Parameter 15 Werte 16 sowie für die einzelnen Anlagenteile jeweils zumin-

dest eine Massen- und Energiebilanz 20 sowie hieraus dann den spezifischen Energieverbrauch 21.

Mittels eines Optimierungsalgorithmus 18 können - ausgehend
5 z.B. von den berechneten Werten 16 - auch Sollwerte 19 berechnet werden, die dann beispielsweise von der Steuerung 14 einer dem jeweiligen Sollwert (bzw. dem entsprechenden Parameter) zugeordneten Regeleinrichtung 11 übergeben werden, siehe FIG 1. Die Darstellung der Ergebnisse 20, 21 kann dann
10 - wie oben bereits ausführlich geschildert - tabellarisch oder grafisch erfolgen.

Zusammenfassend betrifft die Erfindung ein Verfahren und eine modellgestützte Steuerung zur Steuerung zumindest eines Teils
15 einer Papiermaschine, eine Papiermaschine mit einer derartigen Steuerung, ein Computerprogramm zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie ein Computerprogrammprodukt, auf dem das erfindungsgemäße Computerprogramm gespeichert ist. Um eine verbesserte beziehungsweise optimierte Fahrweise
20 einer „erweiterten Trockenpartie“ einer Papiermaschine - bestehend aus der „eigentlichen“ Trockenpartie, ggf. aufgeteilt in Vor- und Nachtrockenpartie mit dazwischen befindlicher Leimpresse, einem Dampf- und Kondensatsystem, einem Abluft-Wärmerückgewinnungssystem, einer Nasspresse und dem Siebwas-
25 ser - zu ermöglichen, wird ein die genannten Anlagenteile umfassendes Modell vorgeschlagen, mittels dem anhand von Werten für die für die Trocknung relevanten Parameter Massen- und Energiebilanzen für die Anlagenteile sowie der spezifische Energieverbrauch in der Trockenpartie berechnet wird.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Steuerung zumindest eines Teils einer Papiermaschine (1), enthaltend ein Online-Modell der Anlagenaggregat

- 5
- Trockenpartie (2), ggf. unterteilt in Vortrockenpartie (3) und Nachtrockenpartie (4) mit dazwischen liegender Leimpresse (5),
 - Wärmerückgewinnungssystem (7),
 - 10 • Dampf- und Kondensatsystem (8),
 - sowie optional zusätzlich des Anlagenaggregates Nasspresse (6),
 - sowie optional zusätzlich des Anlagenaggregates Siebwassertemperaturregelung,

15 wobei

- im Online-Modell zwischen den vier Stoffströmen
 - feuchtes Papier,
 - feuchte Luft,
 - Dampf- und Kondensatgemisch hochreinen Wassers,
 - 20 • Prozesswasser mit unterschiedlichen Glykol-Gehalten unterschieden wird,
- im Online-Modell eine Massen- und Energiebilanz (20) für alle Stoffströme jeweils in
 - der Trockenpartie (2),
 - 25 • dem Wärmerückgewinnungssystem (7) und
 - dem Dampf- und Kondensatsystem (8) berechnet wird,
- aus den Massen- und Energiebilanzen (20) der spezifische Energieverbrauch (21) berechnet wird und
- 30 - die Massen- und Energiebilanzen (20) und/oder der spezifische Energieverbrauch (21) zur Anzeige gebracht werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

wobei

- 35
- für den Stoffstrom „feuchtes Papier“ zu den Parametern (15)
 - Temperatur,
 - Massenstrom,
 - absolute Feuchte,

- relative Feuchte;
 - für den Stoffstrom „feuchte Luft“ zu den Parametern (15)
 - Temperatur,
 - Volumenstrom,
 - 5 • Massenstrom,
 - Energiestrom,
 - absolute Feuchte,
 - relative Feuchte,
 - Taupunkt;
 - 10 - für den Stoffstrom „Dampf und Kondensat“ zu den Parametern (15)
 - Temperatur,
 - Druck,
 - Prozentsatz Dampf,
 - 15 • Massenstrom,
 - Energiestrom;
 - für den Stoffstrom „Prozesswasser“ zu den Parametern (15)
 - Temperatur,
 - Massenstrom,
 - 20 • Energiestrom
- Werte (16) berechnet werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
wobei

- 25 - ein Rechenwert zumindest eines Parameters (15) im Online-Modell dem Messwert eines zugehörigen Sensors (9) zugeordnet wird und
- das Online-Modell durch Vergleich zwischen Rechenwert und Messwert adaptiert wird.

30

4. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei

- papiermaschinenspezifische Einflüsse von zumindest einem der Parameter (15)
 - 35 • Temperatur und Feuchte einer Prozesszuluft,
 - Temperatur und Feuchte einer Prozessabluft,
 - Siebwassertemperatur,
 - Maschinengeschwindigkeit,

- Dampfdrücke in Hauptdampfgruppen und
- Differenzdrücke zu Nebendampfgruppen

auf die Trocknung einer Papierbahn (13) modelliert werden und
– für mindestens einen dieser Parameter (15) Sollwerte (19)
5 berechnet werden.

5. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei der Wert (16) zumindest eines Parameters (15) fest-
gehalten wird und für die Parameter (15), deren Werte (16)
10 nicht festgehalten werden, Sollwerte (19) mittels eines Opti-
mierungs-Algorithmus (18), insbesondere zur Optimierung eines
gewichteten Mittels zwischen spezifischem Energieverbrauch
(21) und Durchsatz, bestimmt werden.

15 6. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
wobei für zumindest einen der Parameter (15) ein Wertebereich
vorgegeben wird, innerhalb dessen eine vorgebbare Anzahl von
Werten (16) sukzessive festgehalten wird, und wobei für die
Parameter (15), deren Werte (16) nicht festgehalten werden,
20 für jeden der Werte (16) innerhalb des Wertebereichs jeweils
Sollwerte (19) mittels eines Algorithmus (18) zur Optimierung
eines gewichteten Mittels zwischen spezifischem Energie-
verbrauch (21) und Durchsatz bestimmt werden.

25 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 - 6,
wobei die Sollwerte in regelmäßigen zeitlichen Abständen oder
auf Anforderung eines Anlagenfahrers berechnet werden.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 - 7,
30 wobei zumindest ein Sollwert (19) einem dem entsprechenden
Parameter (15) zugeordneten Stellglied (10) oder einer zuge-
ordneten Regeleinrichtung (11) eines DCS („Distributed
Control Systems“) der Papiermaschine (1) automatisch vorgege-
ben wird.

35

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 - 8,
wobei ein zeitlicher Verlauf zumindest eines Sollwertes (19)
mit Hilfe eines modellprädiktiven Optimierungsalgorithmus be-
rechnet wird.

5

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 4 - 9,
wobei Anlagengrenzen bzw. Parameterwertgrenzen
- aus berechneten bzw. aus dem Online-Modell abgeleiteten
Größen generiert werden und/oder

10 - fest vorgegeben sind und/oder

- vom Anlagenfahrer vorgegeben werden

und diese Anlagengrenzen bzw. Parameterwertgrenzen bei der
Berechnung eines Sollwertes (19) berücksichtigt werden.

15 11. Verfahren nach einem der vorherigen Ansprüche,
wobei zumindest ein einem Parameter (15) zugehöriger Sensor
(9) den Parameterwert misst und wobei bei einer Abweichung
des Messwertes vom Rechenwert (16) des Parameters (15) ein
Warnsignal ausgegeben wird.

20

12. Modellgestützte Steuerung (14) zur Steuerung zumindest
eines Teils einer Papiermaschine (1) mit Mitteln (12) zur
Durchführung eines Verfahrens nach einem der vorherigen An-
sprüche.

25

13. Papiermaschine (1) mit zumindest einer Steuerung (14)
nach Anspruch 12.

30 14. Computerprogramm zur Durchführung eines Verfahrens nach
einem der Ansprüche 1 - 11 bei Ablauf in einer Steuerung (14)
nach Anspruch 12.

15. Computerprogrammprodukt, auf dem ein Computerprogramm
nach Anspruch 14 gespeichert ist.

35

FIG 1

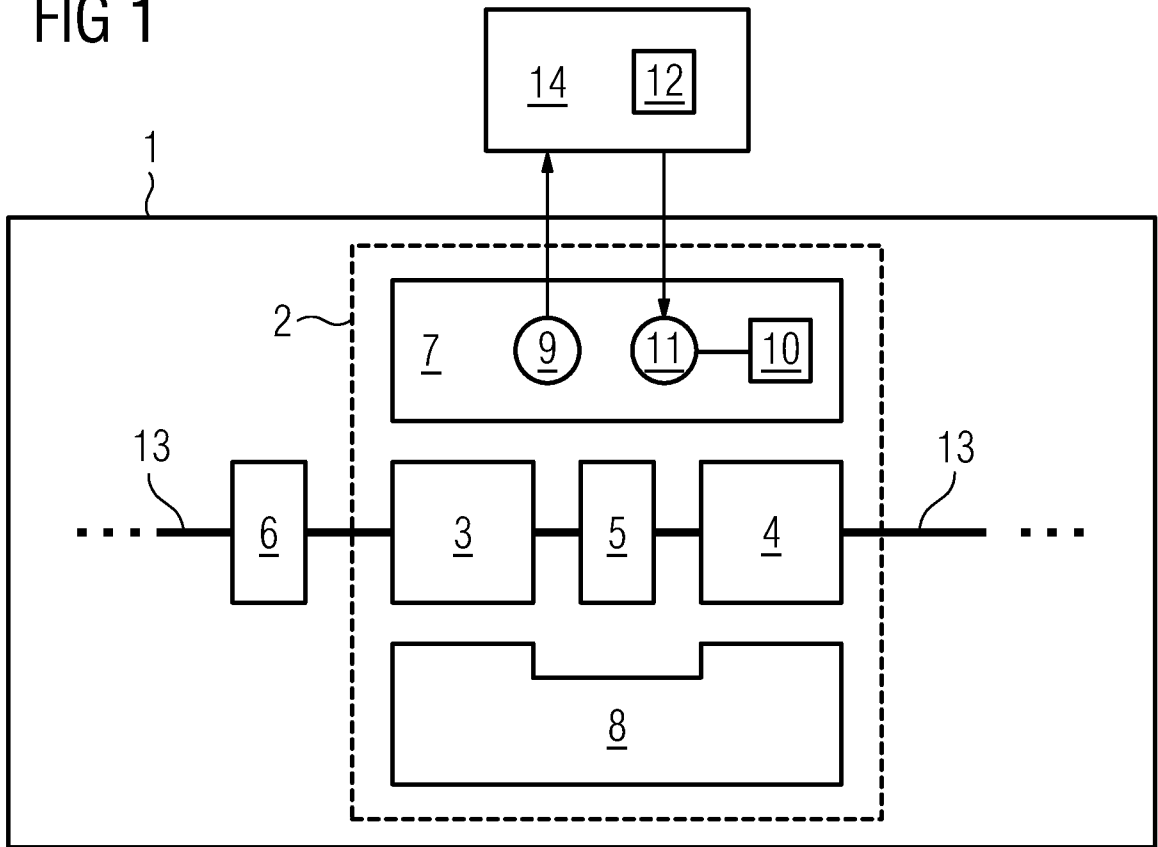


FIG 2

