



(10) **DE 10 2015 102 029 A1** 2016.08.18

(12)

## Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2015 102 029.7**

(22) Anmeldetag: **12.02.2015**

(43) Offenlegungstag: **18.08.2016**

(51) Int Cl.: **D03D 51/02 (2006.01)**

(71) Anmelder:

**Lindauer Dornier GmbH, 88131 Lindau, DE**

(72) Erfinder:

**Lehmann, Michael, 88097 Eriskirch, DE**

(74) Vertreter:

**Canzler & Bergmeier Patentanwälte, 85055  
Ingolstadt, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

**DE 100 53 079 C1  
DE 200 21 049 U1**

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen**

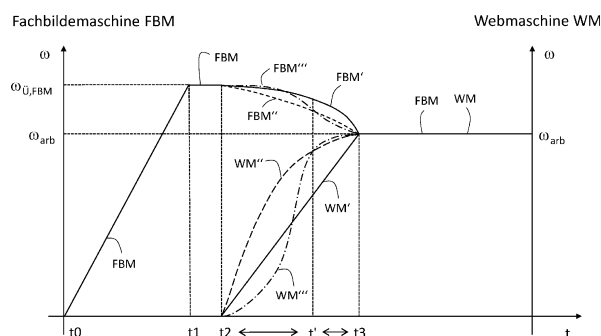
(54) Bezeichnung: **Startverfahren für eine Webmaschine**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum kontrollierten Hochfahren einer Web- und Fachbildemaschine,

- wobei die Web- und die Fachbildemaschine mit einer Steuerung verbunden sind,
- wobei die Webmaschine mittels eines Hauptantriebs angetrieben wird,
- wobei die Fachbildemaschine mittels eines elektromotorischen Nebenantriebs angetrieben wird,
- wobei die Web- und die Fachbildemaschine mittels einem gemeinsamen Umrichterzwischenkreis zur Energieflussübertragung verbunden sind,
- wobei die Fachbildemaschine zu einem Zeitpunkt  $t_0$  gestartet und bis zu einem Zeitpunkt  $t_1$  auf eine Überdrehzahl gefahren wird, die oberhalb ihrer Arbeitsdrehzahl liegt, wobei der Zeitpunkt  $t_1$  vor einem Zeitpunkt  $t_3$  liegt,
- wobei die Webmaschine zu einem Zeitpunkt  $t_2$  gestartet wird und wobei die Startphase der Webmaschine in dem Zeitintervall vom Zeitpunkt  $t_2$  bis zum Zeitpunkt  $t_3$  liegt, und
- wobei eine Leistungsübertragung (Rückspeisung) mittels des Umrichterzwischenkreises von der Fachbildemaschine zur Webmaschine in der besagten Startphase vorgenommen wird.

Das erfindungsgemäße Verfahren zeichnet sich dadurch aus, dass die Fachbildemaschine zwischen den Zeitpunkten  $t_0$  und  $t_1$  auf eine vorbestimmte Überdrehzahl gefahren wird, und dass der Gradient des Drehzahlverlaufs der Fachbildemaschine in einem späteren Abschnitt der Startphase negativer ist als in einem früheren Abschnitt.

Die Erfindung betrifft gleichfalls eine entsprechende Webvorrichtung.



**Beschreibung**

**[0001]** Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zum kontrollierten Hochfahren einer Web- und Fachbildemaschine nach dem Oberbegriff des Anspruchs 1. Die Erfindung betrifft ebenfalls eine entsprechende Webvorrichtung mit einer solchen Web- und Fachbildemaschine.

**[0002]** Derartige Web- und Fachbildemaschinen sind bekannt. Bei diesen weist die Fachbildemaschine einen separaten Antrieb auf, deren zentrale Antriebswelle, von welcher die Bewegungen der Fachbildemittel abgeleitet sind, mit einem elektrischen Ein- oder Vielmotor verbunden ist. Fachbildemaschinen, bei denen die Fachbildemittel von der Bewegung der zentralen Antriebswelle entkoppelbar sind, sind z. B. Schaftmaschinen der Bauart 2881 der Firma Stäubli oder Jacquardmaschinen der Bauart LX von Stäubli bzw. SI der Firma Bonas.

**[0003]** Die Antriebswelle der Webmaschine, von der die weiteren Bewegungen (Webblatt, ggf. mechanische Schusseintrags Elemente) abgeleitet sind, ist ihrerseits mit wenigstens einem sie direkt antreibenden, ebenfalls in der Regel als Elektromotor ausgebildeten Aktor verbunden. Solche Direktantriebe sind in ihrem mechanischen Aufbau sehr einfach, nahezu wartungsfrei und sehr präzise regelbar.

**[0004]** Des Weiteren sind die Antriebe der Webmaschine und der Fachbildemaschine mittels eines gemeinsamen Gleichspannungszwischenkreises, im Weiteren als Umrichterzwischenkreis bezeichnet verbunden, so dass sie untereinander einen Energiefluss ausbilden können.

**[0005]** Einer der Nachteile eines vorgenannten Direktantriebs für die Webmaschine liegt darin, dass die für den geforderten hochdynamischen Start der Webmaschine erforderliche große Spitzenleistung unmittelbar über den Aktor bereitgestellt werden muss. Diese Spitzenleistung ist im Wesentlichen unmittelbar durch das elektrische Versorgungsnetz zuzuführen, denn die Unterstützung durch den oft vorhandenen Umrichterzwischenkreis-Kondensator fällt praktisch nicht ins Gewicht. Derartige Leistungsspitzen können bereits im Fall eines stabilen Versorgungsnetzes und geeigneter Zuleitungsquerschnitte zu starken Spannungseinbrüchen führen, die sich in die Zwischenkreisspannung eines für den Direktantrieb eingesetzten Umrichters fortsetzen und dort ein störungsbedingtes Abbrechen des Webmaschinenstarts bewirken. Das Problem verschärft sich noch beträchtlich, wenn die Webmaschinen an schwachen Versorgungsnetzen betrieben werden. Dies ist mit der zunehmenden Verlagerung textiler Produktion in Entwicklungs- und Schwellenländer immer häufiger der Fall. Selbst aktive Einspeiseeinheiten, die die Umrichterzwischenkreis-Spannung regeln und/oder

sie hierbei nach dem Hochsetzsteuer-Prinzip auf einen höheren Nennwert setzen, stoßen schließlich an ihre Grenzen. Noch ungünstiger liegen die Verhältnisse, wenn durch Nennspannungsniveau und/oder Art des elektrischen Versorgungsnetzes ein Vortrafo erforderlich wird, der durch seine zusätzliche Eigenimpedanz das Netz aus Sicht der zu startenden Webmaschine noch schwächer macht.

**[0006]** Ist der Webmaschinenstart auf die für den ersten Blattanschlag vorgesehene Drehzahl, im Folgenden Arbeitsdrehzahl genannt, aus den vorgenannten Gründen nicht mehr möglich, so besteht eine bekannte Gegenmaßnahme darin, diese Drehzahl abzusenken. D. h. die Arbeitsdrehzahl für den ersten Blattanschlag liegt dann mehr oder minder deutlich unter der für den Artikel an sich vorgesehenen Betriebsdrehzahl. Dies kann aber zu Anlaufstellen (Startmarken) und einem nicht hinnehmbaren Qualitätsverlust in der Webware führen. Ein generelles Absenken der Betriebsdrehzahl ist ebenfalls keine akzeptable Lösung, da die Fertigstellung der Ware entsprechend länger dauern würde, was die Rentabilität der Weberei aufs Spiel setzt.

**[0007]** Die DE 200 21 049 U1 als nächstkommen-der Stand der Technik weist für getrennte Antriebe für Web- und Fachbildemaschine auf die Möglichkeit hin, den aus der DE 100 53 079 C1 bekannten vorgezogenen Start der Fachbildemaschine derart zu gestalten, dass diese den nachfolgenden Startvorgang der Webmaschine durch ihre kinetische Energie unterstützt. Dazu wird die Fachbildemaschine auf eine Drehzahl oberhalb der zum Ende des Webmaschinenstarts zu erreichenden Arbeitsdrehzahl beschleunigt. Während schließlich die Webmaschine startet, gibt die Fachbildemaschine durch Wieder-Abbremsung zu deren Startunterstützung, d. h. während ihrer Startphase, kinetische Energie ab.

**[0008]** Die DE 200 21 049 U – insbesondere aufgrund ihrer Fokussierung auf eine Antriebslösung mit gemeinsamen motorischen Elementen für Web- und Fachbildemaschine – legt nahe, dass der Abbremsvorgang der Fachbildemaschine mit Beginn des Webmaschinenstarts einsetzt und während dieses Startvorgangs (praktisch) gleichmäßig erfolgt. Eine solche Rückeinspeisung ist jedoch nicht optimal, da die Fachbildemaschine hierbei zu Beginn des Webmaschinenstarts mehr Energie zurückspeisen würde, als von der Webmaschine benötigt. Im gemeinsamen Umrichterzwischenkreis für die Antriebe von Web- und Fachbildemaschine würde dann das Spannungsniveau stark ansteigen und die Energie müsste im Bremswiderstand in Wärme umgesetzt werden und wäre für den Prozess verloren.

**[0009]** Der Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, den Spitzenleistungsbedarf der Webmaschine durch bessere Ausnutzung der kinetischen

Rückspeiseenergie der Fachbildemaschine zu reduzieren, wobei die Prozesssicherheit durch Einhaltung der Spannungsgrenzen im Umrichterzwischenkreis gewährleistet sein soll. Auch sollen keine Abschläge in der Startdynamik der Webmaschine in Kauf genommen werden müssen.

**[0010]** Die Aufgabe wird bei dem erfindungsgemäßen Verfahren gelöst durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 sowie bei einer erfindungsgemäßen Webvorrichtung durch die Merkmale des Anspruchs 16.

**[0011]** Erfindungsgemäß umfasst das Verfahren zum Hochfahren einerseits das Hochfahren der Fachbildemaschine auf eine vorbestimmte Überdrehzahl (im Folgenden Schritt 1 genannt) und andererseits die Einstellung der Drehzahlreduzierung der Fachbildemaschine derart, dass der Gradient des Drehzahlverlaufs der Fachbildemaschine in einem späteren Abschnitt der Startphase negativer ist als in einem früheren Abschnitt (im Folgenden Schritt 2 genannt).

**[0012]** Der oben genannte Schritt 1 besteht darin, dass die Überdrehzahl, auf welche die Fachbildemaschine gegenüber der Arbeitsdrehzahl bei erstem Blattanschlag beschleunigt wird, in ihrem Wert und/oder ihrer Obergrenze vorbestimmt, also genau definiert, wird. Besonders bevorzugt wird die Überdrehzahl automatisch wenigstens anhand von Maschinendaten, vorzugsweise aber auch anhand von Prozessdaten, berechnet. Hierauf wird weiter unten detaillierter eingegangen.

**[0013]** Schritt 2 sieht für einen Zeitbereich  $t_1$  bis  $t_3$ , der zeitlich den Startvorgang von  $t_2$  bis  $t_3$  der Webmaschine vorteilhafterweise vollständig einschließt oder auch mit diesem zusammenfallen kann, für die Drehzahl der Fachbildemaschine einen nicht-rampenförmigen Verlauf vor, also einen – beginnend mit der Überdrehzahl aus Schritt 1 – nicht-konstanten Gradienten. Der Gradientenverlauf ist derart, dass in einem späteren Zeitabschnitt des Startvorgangs der Energierückfluss größer ist als in einem früheren Zeitabschnitt. Dies bedeutet, dass das Abbremsen der Fachbildemaschine nicht vergleichmäßig (rampenartig) über den Webmaschinenstart erfolgt, sondern sich in einem späteren Abschnitt der Startphase und bevorzugt gegen Ende des Webmaschinenstarts verstärkt. Hierdurch wird dem tatsächlichen Energiebedarf der Webmaschine unter Berücksichtigung von Wärme- und sonstigen Verlusten Rechnung getragen.

**[0014]** Erfindungsgemäß erfolgt das Rückspeisen der Energie bzw. Leistung somit bedarfsadaptiert, d. h. in besonders starkem Maße dann, wenn auch der Bedarf seitens der startenden Webmaschine am stärksten ist.

**[0015]** Vorteilhafterweise ist im zeitlichen Mittel der Gradient des Drehzahlverlaufs der Fachbildemaschine zwischen dem Zeitpunkt  $t_2$  und einem Zeitpunkt  $t'$  weniger negativ als im zeitlichen Mittel zwischen den Zeitpunkten  $t'$  und  $t_3$ . Hierbei ist der Gradient des Drehzahlverlaufs der Fachbildemaschine zum Ende der Startphase negativer als in einem früheren Zeitraum der Startphase. Dies bedeutet, dass am Ende der Startphase mehr Energie von der Fachbildemaschine zur Webmaschine rückgespeist wird als am Anfang der Startphase.

**[0016]** Ein ähnlicher vorteilhafter Drehzahlverlauf sieht vor, dass im zeitlichen Mittel der Gradient des Drehzahlverlaufs der Fachbildemaschine zwischen dem Zeitpunkt  $t_2$  und einem Zeitpunkt  $t'$  einen geringeren Absolutwert aufweist als im zeitlichen Mittel zwischen den Zeitpunkten  $t'$  und  $t_3$ .

**[0017]** Besonders bevorzugt ist der Gradient des Drehzahlverlaufs der Fachbildemaschine zum Ende der Startphase am negativsten im gesamten Zeitraum der Startphase. Bei dieser Ausgestaltung ist die Energierückspeisung daher am Ende des Webmaschinenstarts, zum Zeitpunkt  $t_3$ , am größten.

**[0018]** Wenn der Gradient des Drehzahlverlaufs der Fachbildemaschine ab dem Zeitpunkt  $t_1$  oder  $t_2$ , je nachdem welcher später liegt, eine streng monoton fallende Funktion ist, steigt der Energiezufluss von der Fachbildemaschine zur Webmaschine stetig an, was den tatsächlichen Energiebedarf der Webmaschine relativ genau widerspiegelt.

**[0019]** In einer bevorzugten Ausführung wird auch der Drehzahlverlauf für die startende Webmaschine nicht rampenartig vorgegeben, sondern besitzt einen über den gesamten Startvorgang (zwischen den Zeitpunkten  $t_2$  und  $t_3$ ) oder zumindest zu dessen Ende hin abnehmenden Gradienten. Damit wird die Leistungsaufnahme vergleichmäßig, d. h. die Leistungsspitze zum Ende des Webmaschinenstarts ist weniger ausgeprägt, wodurch die energetische Starthilfe durch die Fachbildemaschine erleichtert wird. Es sei hierbei angemerkt, dass die Drehzahl der Webmaschine vorliegend als der Wert zu verstehen ist, der sich rechnerisch aus ihrer kinetischen Energie und dem energetisch mittleren Massenträgheitsmoment (welches nachfolgend definiert wird) ergibt.

**[0020]** Wie oben angeführt, wird die besagte Überdrehzahl der Fachbildemaschine vorzugsweise mittels einer Recheneinheit unter Verwendung von Maschinendaten berechnet. Gleichfalls ist es bevorzugt, wenn der Drehzahlverlauf der Fachbildemaschine für die gesamte Startphase der Webmaschine mittels einer Recheneinheit unter Verwendung von Maschinendaten berechnet wird, wobei sich der Drehzahlverlauf der Fachbildemaschine hierbei bevorzugt am

rechnerisch erwarteten Leistungsbedarf der startenden Webmaschine orientiert.

**[0021]** Die besagten Maschinendaten sind vorzugsweise solche, die zum Teil oder alle aus der folgenden Gruppe herangezogen werden: die Massenträgheitsmomente der Fachbildemaschine und/oder der Webmaschine, die energetisch mittleren Massenträgheitsmomente der Fachbildemaschine und/oder der Webmaschine, netz- und einspeiserelevante Daten wie z. B. Kenndaten des gemeinsamen Umrichterzwischenkreises, technische Kenndaten der Antriebe der Fachbilde- und der Webmaschine, die Spitzenleistung der Einspeisung, etc.

**[0022]** Nicht nur Maschinendaten, sondern auch Prozessdaten finden zur Genauigkeitserhöhung bevorzugt Verwendung bei der Berechnung der Überdrehzahl sowie des weiteren Drehzahlverlaufs der Fachbildemaschine. Diese, vorteilhafterweise zumindest teilweise verwendete, Prozessdaten basieren vorzugsweise auf berechneten oder abgeschätzten Webmaschinenverlusten und vorteilhafterweise auch auf Fachbildemaschinenverlusten. Vorzugsweise gehören zu diesen Prozessdaten auch solche, die auf der Dauer der besagten Startphase der Webmaschine basieren.

**[0023]** Die beiden Schritte 1 und 2 werden im Folgenden genauer erklärt.

**[0024]** Hinsichtlich des Schritts 1 wird die Überdrehzahl der Fachbildemaschine berechnet. Als Maschinendaten werden vorzugsweise wenigstens zumindest die energetisch mittleren Massenträgheitsmomente von Web- und Fachbildemaschine herangezogen. Das energetisch mittlere Massenträgheitsmoment ist dabei das Massenträgheitsmoment einer gedachten Schwungmasse, welche, mit gleicher Betriebsdrehzahl wie die Arbeitsmaschine (Web- bzw. Fachbildemaschine) rotierend, die gleiche kinetische Energie wie die betreffende Arbeitsmaschine besitzt.

**[0025]** Durch das Verhältnis dieser beiden energetisch mittleren Massenträgheitsmomente von Web- und Fachbildemaschine liegt in gleicher Größe auch das Verhältnis ihrer beiden kinetischen Energien ab Hochlaufende fest. Es wäre nun (rechnerisch) möglich, die Fachbildemaschine auf eine derart hohe Überdrehzahl zu beschleunigen, dass bei ihrem nachfolgenden Wieder-Abbremsen so viel Energie abgegeben wird, dass diese zum Start der Webmaschine ausreicht. Hierzu ein Rechenbeispiel für das verlustfreie System:

Für die Webmaschine gelte:

Energetisch mittleres Massenträgheitsmoment:  $J_{WM} = 2 \text{ kgm}^2$

Arbeitsdrehzahl zum Hochlaufende:  $\omega_{Arb,WM} = 600 \text{ min}^{-1}$

Hieraus ergibt sich die kinetische Energie:  $W_{kin,WM} = \frac{1}{2} J_{WM} \times \omega_{Arb}^2 = 3948 \text{ J}$

**[0026]** Für die Fachbildemaschine gelte:

Energetisch mittleres Massenträgheitsmoment:  $J_{FBM} = 4 \text{ kgm}^2$

Arbeitsdrehzahl zum Hochlaufende:  $\omega_{Arb} = 600 \text{ min}^{-1}$

**[0027]** Daraus folgende kinetische Energie:  $W_{kin,FBM} = \frac{1}{2} J_{FBM} \times \omega_{Arb}^2 = 7.896 \text{ J}$  Um den Energiebedarf der Webmaschine vollständig abdecken zu können, müsste die Fachbildemaschine eine kinetische Energie von  $(7896 + 3948) \text{ J} = 11844 \text{ J}$  zu Beginn des Webmaschinenstarts aufweisen, was einer Drehzahl von  $735 \text{ min}^{-1}$  entspräche. Hierbei wäre zum einen zu prüfen, ob die zulässige Maximaldrehzahl der Fachbildemaschine dies zulässt. Zum anderen müsste der Antrieb der Fachbildemaschine als Verzögerungsmoment mindestens ca. 50% des für den Webmaschinenstart notwendigen Beschleunigungsmoments entwickeln (diesen ungefähren Wert erhält man durch Berechnung der Energie als Integral des Drehmoments über dem Winkel). Um unzulässige Überspannungen im Umrichterzwischenkreis zu vermeiden, darf die Fachbildemaschine immer nur so viel Energie zurückspeisen, wie die Webmaschine im selben Zeitintervall benötigt. In diesem Fall müsste der Antrieb der Fachbildemaschine gegen Ende des Webmaschinenstarts jedoch ein Verzögerungsmoment aufweisen, welches dem Beschleunigungsmoment der Webmaschine entspricht. Eine solch große Dimensionierung des Fachbildelantriebs ist aber aus Kostensicht nicht wünschenswert, so dass der obige Ansatz, den Energiebedarf für den Webmaschinenstart komplett aus der Fachbildemaschine zu beziehen, nicht praktikabel ist. Das Rechenbeispiel zeigt jedoch, dass die energetisch mittleren Massenträgheitsmomente sinnvolle Größen für die Bestimmung des Drehzahlprofils bzw. der Bewegungsbahn der Fachbildemaschine während des Webmaschinenstarts sind.

**[0028]** Eine weitere wichtige Größe stellen die schon oben erwähnten Netz- und Einspeiseverhältnisse dar. Hierbei werden vorzugsweise insbesondere die Kenndaten der Einspeisung für den gemeinsamen Umrichterzwischenkreis von Web- und Fachbildemaschine berücksichtigt. Dabei geht es um die Art der Einspeisung, d. h. ob sie passiv ist (nicht netzrückspeisefähig) oder aktiv (netzrückspeisefähig), wobei sie im letzteren Fall ggf. nach dem Hochsetzsteuerprinzip bzw. Aufwärtswandlerprinzip arbeitet (Zwischenkreisenennspannung  $> 1,35 \times$  Nennspannung des Versorgungsnetzes).

**[0029]** Ferner wird vorteilhafterweise die für die Dauer des Webmaschinenstarts anzusetzende Spitzenleistung der Einspeisung, z. B. die zweifache Nennleistung, berücksichtigt. Wichtig ist ebenso, ob ein Vortrafo, z. B. aufgrund von Sondernetzen, z. B. IT-

Netze, in der Weberei, eingesetzt wird. Hier spielen die Leistung und die Kurzschlussspannung bzw. die Innenimpedanz des Vortrafos eine wichtige Rolle.

**[0030]** Hingegen kann in den meisten Fällen von einer Mitbetrachtung der Kapazitäten im Umrichterzwischenkreis abgesehen werden, da ihr Einfluss in der Energiebilanz gering ist.

**[0031]** Die im obigen Umfang angeführten Netz- und Einspeiseverhältnisse seien den Maschinendaten zugeordnet, ebenso wie die technischen Kenndaten der Antriebe von Web- und Fachbildemaschine, z. B. Spitzenströme der Regler und/oder Spitzendrehmomente der Aktoren bzw. Motoren.

**[0032]** Hinsichtlich der Prozessdaten sind vor allem die zu erwartenden Verluste der Webmaschine während des Startvorgangs relevant. Diese lassen sich z. B. aus den Temperaturen des Getriebeöls abschätzen oder – wenn die Webmaschine vorab bereits gelaufen ist – aus deren gemitteltem Strombedarf unter Berücksichtigung von Standzeit bzw. wiederum der Öltemperatur und einer ggf. neuen Betriebsdrehzahl. Auch die Verluste der Fachbildemaschine inkl. Fachbildemittel (Schäfte, Platinen) werden bevorzugterweise hinzugezogen.

**[0033]** Aus dem Gesamtenergiebedarf der Webmaschine (Summe aus kinetischer Energie bei Arbeitsdrehzahl und Ausgleich der Verluste) beim Startvorgang und der Startdauer lassen sich die mittlere Leistung und die Spitzenleistung berechnen. Aus den Netz- und Einspeiseverhältnissen wiederum ist abschätzbar, ob und in welchem Maß für diese Leistung (vor allem die Spitzenleistung) die Starthilfe durch die Fachbildemaschine vonnöten bzw. einzusetzen ist.

**[0034]** Entsprechend diesem Maß wird gemäß einer bevorzugten Ausführungsform mittels des energetisch mittleren Massenträgheitsmoments der Fachbildemaschine deren Überdrehzahl zu Beginn des Webmaschinenstarts bestimmt, so dass bei Wieder-Abbremsung auf die Arbeitsdrehzahl die notwendige Energie bzw. Leistung bereitgestellt werden kann. Würde dies unter Annahme einer gleichmäßig rampenförmigen Wieder-Abbremsung der Fachbildemaschine über der Zeit geschehen, so erhält man auf diesem Weg den niedrigsten möglichen Wert, den die Überdrehzahl der Fachbildemaschine für die Energierückspeisung haben dürfte.

**[0035]** Mittels des oben aufgezeigten Weges ist somit allein durch Anwendung des Schritts 1 eine mathematisch eindeutige Vorgabe für das Drehzahlverhalten der Fachbildemaschine zum Zweck der Startunterstützung für die Webmaschine generierbar. Im Rahmen der Erfindung wurde jedoch erkannt, dass – wie bereits oben ausgeführt – ein gleichförmiges, d. h. rampenförmiges, Abbremsen der Fachbildema-

schine während des Webmaschinenstarts nicht optimal ist. In diesem Fall würde nämlich die Fachbildemaschine zu Beginn des Webmaschinenstarts weit aus mehr Energie zurückspeisen, als von der Webmaschine benötigt wird. Dies kann sehr schnell, insbesondere bei passiven Netzeinspeisungen, zu einem störungsbedingten Startabbruch wegen unzulässig hoher Spannung im Umrichterzwischenkreis führen.

**[0036]** Erfindungsgemäß wird dieses Problem durch Anwendung des Schritts 2 gelöst. Durch den während des Webmaschinenstarts in einem späteren Abschnitt der Startphase negativeren Gradienten der Fachbildemaschinen-Drehzahl wird zunächst wenig oder keine Energie in den Umrichterzwischenkreis zurückgespeist, mit zunehmender Zeit und damit zunehmendem Leistungs- bzw. Energiebedarf der Webmaschine entsprechend mehr.

**[0037]** Vor Durchführung der oben genannten Schritte 1 und 2 wird bevorzugt seitens der besagten Recheneinheit anhand der Maschinen- und ggf. Prozessdaten ermittelt, ob eine energetische Startunterstützung durch die Fachbildemaschine überhaupt vonnöten ist. Wenn ja, wird der Bediener vorteilhafterweise entweder aufgefordert, diese Startunterstützung zu aktivieren bzw. zuzulassen, oder davon in Kenntnis gesetzt, dass sie automatisch aktiviert wurde. Im letzteren Fall ist es aber empfehlenswert, dem Bediener die Möglichkeit zu geben, die Starthilfe wieder zu deaktivieren.

**[0038]** Vorzugsweise wird dem Bediener auf einer Anzeige der Webvorrichtung angezeigt, ob die besagte Leistungsübertragung von der Fachbildemaschine auf die Webmaschine möglich und/oder nicht möglich ist, beispielsweise bei nicht zu erreichender Überdrehzahl der Fachbildemaschine.

**[0039]** Vor mindestens einem Hochfahren der Webmaschine auf die geforderte Arbeitsdrehzahl, vorzugsweise dem erstmaligen Hochfahren, wird bevorzugt ein Probestart auf eine reduzierte Drehzahl der Webmaschine erzwungen, um das Spannungsverhalten im Umrichterzwischenkreis zu messen. Diese Messergebnisse können dann in die besagten Berechnungen einfließen.

**[0040]** Die Erfindung wird im Folgenden anhand zweier Ausführungsbeispiele, d. h. zweier mathematischer Ansätze zur Gewinnung eines in der Art geeigneten Drehzahlverlaufs für die Fachbildemaschine, beschrieben. Es zeigen:

**[0041]** Fig. 1 ein Flussdiagramm zur Darstellung einer ersten Berechnungsmethode der Rückspeisung für den Fall eines konstanten Energieübertragungsanteils;

**[0042]** Fig. 2 ein Flussdiagramm zur Darstellung einer zweiten Berechnungsmethode der Rückspeisung basierend auf einer Polynomdarstellung;

**[0043]** Fig. 3 ein schematisches Drehzahl-Zeit-Diagramm mit  $t_1 < t_2$  zur Verdeutlichung der Erfindung,

**[0044]** Fig. 4 ein schematisches Drehzahl-Zeit-Diagramm mit  $t_1 < t_2$  ähnlich wie in Fig. 3, allerdings mit einem lokalen Maximum der Drehzahl der Fachbildemaschine, und

**[0045]** Fig. 5 ein schematisches Drehzahl-Zeit-Diagramm mit  $t_1 > t_2$ .

**[0046]** Fig. 1 zeigt eine Berechnungsmethode, die davon ausgeht, zu jedem Zeitpunkt des Webmaschinenstarts den Leistungsbedarf der Webmaschine anteilig zu unterstützen, wobei der Anteil, relativ gesehen, gleich bleibt (z. B. 40%). Der Webmaschinenstart soll so verlaufen, dass die aus der kinetischen Energie und dem energetisch mittleren Massenträgheitsmoment berechnete Drehzahl rampenförmig über der Zeit bis auf die Arbeitsdrehzahl ansteigt. Hierbei wird also der erwartete Leistungsbedarf der Webmaschine mit einem prozentual konstant bleibenden Anteil abgedeckt, was möglich ist, wenn der Zeitpunkt  $t_2$ , d. h. der Startzeitpunkt der Webmaschine, nicht vor dem Zeitpunkt  $t_1$  liegt, zu dem die Fachbildemaschine ihre vorbestimmte Überdrehzahl erreicht hat.

**[0047]** Im Berechnungsschritt **1A** wird aus den Maschinen- und den Prozessdaten **1A'** der zunächst maximale Leistungsbedarf der Webmaschine ermittelt. Als Maschinendaten werden in diesem Beispiel die Arbeitsdrehzahl und das energetisch mittlere Massenträgheitsmoment der Webmaschine herangezogen. Als Prozessdaten gehen die zu erwartenden Verluste bzw. Verlustmomente der Webmaschine und die Startdauer, ausgedrückt als Zeit bzw. überstrichener Winkelbereich, ein.

**[0048]** Zweckmäßigerweise errechnet man zunächst die kinetische Energie der Webmaschine zum Ende des Startvorganges, also bei Arbeitsdrehzahl. Diese Energie ergibt, geteilt durch den überstrichenen Winkelbereich, das mechanisch wirksame Beschleunigungsmoment. Zu diesem wird das erwartete Verlustmoment bei Arbeitsdrehzahl addiert, welches hauptsächlich von der Öltemperatur in den Getrieben abhängig ist. Das so entstehende Summenmoment liefert, multipliziert mit der Arbeitsdrehzahl, die maximale Bedarfsleistung der Webmaschine.

**[0049]** Diese maximale Bedarfsleistung wird nun ihrerseits denjenigen Maschinendaten gegenüber gestellt, welche die Netz- bzw. Einspeiseverhältnisse charakterisieren; hierzu gehören die Kenndaten eines etwaigen Vortrafos (Nennleistung, Kurzschluss-

spannung bzw. Innenimpedanz) sowie die Kenndaten der Einspeiseeinheit für den Umrichter-Zwischenkreis (passive oder aktive Netzeinspeisung, ggf. Hochsetzsteller-Funktion, Spitzenleistung). Die Gegenüberstellung ist eine Abschätzung. Beispielsweise ist in Tabellen hinterlegt, bei welcher Spitzenleistung der betreffende Vortrafo bzw. die betreffende Einspeiseeinheit welchen Spannungseinbruch erwarten lässt. Ist der so zu erwartende Gesamt-Spannungseinbruch im Umrichterzwischenkreis dann so stark, dass entweder der Spannungsbedarf an den Motorenklemmen nicht mehr abgedeckt werden kann und/oder die Unterspannungsüberwachung des Umrichterzwischenkreises auslösen und einen Startabbruch verursachen würde, so muss entsprechend zusätzliche Energie bzw. Leistung seitens der Fachbildemaschine eingespeist werden. Dieser von der Fachbildemaschine zuzuschießende Leistungsanteil ist in der Fig. 1 mit "Bedarf" gekennzeichnet und wird als Wert **1a'** vom Berechnungsschritt **1A** ausgegeben.

**[0050]** Es ist zweckmäßig, wenn zeitgleich oder zeitnah parallel zum Berechnungsschritt **1A** ein Berechnungsschritt **1B** ausgeführt wird, in welchem das bekannte Spitzendrehmoment des Fachbildeantriebs mit dessen Arbeitsdrehzahl multipliziert wird. Man erhält die Spitzenleistung des Fachbildeantriebes. Ggf. wird zuvor vom Spitzendrehmoment noch ein Verlustmoment abgezogen. Die so berechnete Spitzenleistung des Fachbildeantriebs ist in der Figur mit "Möglichkeit" gekennzeichnet und wird als Wert **1b'** vom Berechnungsschritt **1B** ausgegeben.

**[0051]** Im Berechnungsschritt **2** werden zunächst **1a'** (Bedarf) und **1b'** (Möglichkeit) verglichen. Ist der Bedarf größer als die Möglichkeit, sind Probleme der vorgenannten Art beim Start auf die beabsichtigte Arbeitsdrehzahl nicht auszuschließen. Es wird im Schritt **2B** daher eine Reaktion ausgelöst. Diese kann in einer Warnmeldung an den Bediener bestehen, ggf. verbunden mit der Aufforderung, eine niedrigere Arbeitsdrehzahl anzuwählen und die Maschine testweise zu starten, s. Pfad **2b'**. So lassen sich die Abschätzungen aus Schritt **1A** durch ein tatsächlich beobachtetes Verhalten des Umrichterzwischenkreises korrigieren. Eine andere Möglichkeit besteht darin, unter einer entsprechenden Hinweismeldung an den Bediener, automatisch die Arbeitsdrehzahl zu verringern. Auch hier kann dann der betreffende Maschinenstart zur Verifizierung und ggf. Korrektur der Annahmen aus Schritt **1A** dienen. Die reduzierte Arbeitsdrehzahl sollte hierbei so berechnet werden, dass für sie der Bedarf **1a'** genauso hoch ist wie die Möglichkeit **1b'**.

**[0052]** Der kleinere der beiden Werte **1a'**, **1b'** – mathematisch ausgedrückt in  $\min(1a', 1b')$  – wird als **2c'** an einen Berechnungsschritt **3** übergeben. Indem man die Hälfte dieser Spitzenleistung mit der benö-

tigten Zeit des Webmaschinenstarts multipliziert, erhält man die seitens der Fachbildemaschine zuzuschießende Energie, die sie also zum Zeitpunkt des Webmaschinenstarts  $t_2$  vorhalten muss. Aus dieser Zusatzenergie, der Arbeitsdrehzahl und dem energetisch mittleren Massenträgheitsmoment der Fachbildemaschine errechnet sich die Überdrehzahl  $\omega_{\dot{U},FBM}$ , welche die Fachbildemaschine zum Zeitpunkt  $t_2$  – im Vergleich zur Arbeitsdrehzahl – haben muss (s. zum Verständnis auch das weiter oben angeführte Rechenbeispiel für ein verlustfreies System).

**[0053]** Der Leistungsbedarf der Webmaschine beim Start entwickelt sich drehzahl- und zeitproportional, dementsprechend – gemäß obiger Vereinbarung für dieses Verfahren – auch die seitens der Fachbildemaschine zuzuschießende Leistung (bis schließlich hin zum Wert **2c'**). Aus dieser Tatsache und dem bereits bekannten Wert für  $\omega_{\dot{U},FBM}(t_2)$  lässt sich nunmehr für jeden beliebigen Zeitpunkt  $t$  bis zum Abschluss des Webmaschinenstarts zum Zeitpunkt  $t_3$  der Wert  $\omega_{FBM}(t)$  für die Drehzahl der Fachbildemaschine berechnen. Durch Integration über die Zeit erhält man den Winkelverlauf  $\varphi_{FBM}(t)$ . Abhängig davon, wie der Antriebsregler die Vorgabe benötigt, werden z.B. für äquidistante Zeitpunkte im Bereich  $[t_2...t_3]$  Wertepaare (Stützstellen) mit dem zugehörigen Ordinatenwert von  $\omega_{FBM}(t)$  bzw.  $\varphi_{FBM}(t)$  gebildet, aus welchen eine Software-Routine (ggf. im Antriebsregler selbst) einen mathematischen Ausdruck entsprechend einer elektronischen Kurvenscheibe generiert. Da elektronische Kurvenscheiben im Normalfall aber nicht nur ordinaten- sondern auch abzissenseitig mit Winkeln arbeiten, empfiehlt es sich, aus  $\varphi_{FBM}(t)$  zuerst einen Ausdruck  $\varphi_{FBM}(\varphi_M)$  zu generieren. Dabei ist  $\varphi_M$  proportional zur Zeit  $t$ , wobei der Proportionalfaktor durch die Arbeitsdrehzahl gebildet wird.

**[0054]** Es ist vorteilhaft, als Arbeitsdrehzahl die maximal zulässige Betriebsdrehzahl der Webmaschine zu verwenden. So muss die Berechnung bzw. Determinierung der Drehzahl- und Winkelverläufe nur einmalig und nicht vor jedem Webmaschinenstart erfolgen. Zwar werden dann auch Webmaschinenstarts auf sehr kleine Arbeitsdrehzahlen unterstützt, die eine Unterstützung eigentlich nicht bräuchten (der ermittelte Bedarf **1a'** wäre also 0), aber es entsteht durch die Startunterstützung i. d. R. kein Nachteil. Außerdem ist das Verhalten der Fachbildemaschine über alle Arbeitsdrehzahlen hinweg dann qualitativ gleich. Die Weitergabe der für die Berechnung notwendigen Daten von der Webmaschine sind in der **Fig. 1** mit **1a''** bezeichnet.

**[0055]** **Fig. 2** zeigt eine andere vorteilhafte Berechnungsmethode. In ihr sind Polynome für den Drehzahl- bzw. Winkelverlauf der Fachbildemaschine für den Bereich des Webmaschinenstarts vordefiniert. Für die Drehzahl eignen sich besonders Polynome der dritten oder vierten Ordnung, für den Winkel ist

die Ordnung entsprechend 1 höher. In der Berechnung geht es darum, die Koeffizienten für das betreffende Polynom zu ermitteln. Vorteil dieser Methode ist, dass für den gesamten Bereich des Webmaschinenstarts durch den Antriebsregler der Fachbildemaschine (im Gegensatz zur Kurvenscheibe bei Methode 1) nur ein Polynom verwaltet bzw. abgearbeitet werden muss – was den notwendige Rechenaufwand deutlich reduziert.

**[0056]** Bis einschließlich Schritt **2C** und dessen Ergebnis **2c'** gleicht die Methode 2 der in **Fig. 1** dargestellten Methode 1. Je nach Anzahl der verwendeten Potenzen innerhalb des Polynoms müssen Bestimmungsmöglichkeiten für die betreffenden Koeffizienten geschaffen werden. Es sei beispielhaft von der folgenden Notation für das Polynom der Drehzahl ausgegangen:

$$\omega_{FBM}(t) = \omega_{Arb} \cdot (k_{\omega 0} + k_{\omega 1} \cdot t + k_{\omega n} \cdot t^n) \text{ mit } t = [t_2...t_3]$$

**[0057]** Es müssen somit drei Bedingungen zur Bestimmung der drei Koeffizienten  $k_{\omega 0}$ ,  $k_{\omega 1}$  und  $k_{\omega n}$  gefunden werden. Sie können insbesondere wie folgt festgelegt werden (s. Berechnungsschritt **3**, dem durch den Schritt **2E** Maschinen- und Prozessdaten **2E'** zur Verfügung gestellt werden):

1)

$$\omega_{FBM}(t_2) = \omega_{\dot{U},FBM}$$

In Worten: Zu Beginn des Webmaschinenstarts  $t_2$  ist die Arbeitsdrehzahl der Fachbildemaschine die Überdrehzahl.

2)

$$\omega_{FBM}(t_3) = \omega_{arb}$$

In Worten: Zum Ende des Webmaschinenstarts  $t_3$  ist die Arbeitsdrehzahl der Fachbildemaschine die Arbeitsdrehzahl der Webmaschine.

3) Die dritte Restriktion wird beispielsweise durch den Leistungsbedarf der Webmaschine zum Zeitpunkt  $t_3$  vorgegeben, sofern diese von der zur Verfügung stehenden Spitzenleistung der Fachbildemaschine erbringbar ist. Wenn die Fachbildemaschine diese Leistung nicht erbringen kann, wird der Leistungsbedarf der Webmaschine der tatsächlich vorliegenden Spitzenleistung gesetzt.

**[0058]** Aus dem so bestimmten Polynom für die Drehzahl ergibt sich entsprechend dem Berechnungsschritt **4** der Winkelverlauf  $\varphi_{FBM}(t)$  per Zeitintegral. Die Integrationskonstante entspricht dem Winkel, den die Fachbildemaschine zum Zeitpunkt  $t_2$  bereits erreicht hat. Zu diesem Zeitpunkt  $t_2$  läuft die Fachbildemaschine, die vor der Webmaschine gestartet ist, vereinbarungsgemäß mit  $\omega_{\dot{U},FBM}$ .

**[0059]** In einer bevorzugten Ausführung wird das Drehzahlpolynom im Bereich  $t_2 \dots t_3$  auf lokale Maxima überprüft, s. Berechnungsschritt 5. Existiert ein solcher Wert und liegt dieser oberhalb der zulässigen Maximaldrehzahl der Fachbildemaschine, so erfolgt eine Neuberechnung des Drehzahlpolynoms, d. h. derer Koeffizienten, wozu vorzugsweise der Polynomgrad, d. h. die höchste auftretende Potenz, erhöht wird. Hierzu dient der Berechnungsschritt 2D, dessen Ergebnis 2d' zur besagten Neuberechnung an den Berechnungsschritt 3 weitergegeben wird. Der Vorteil dieser Wahl liegt darin, dass die Restriktionen 1), 2) und 3) nicht verletzt werden müssen, die Startunterstützung durch die Fachbildemaschine also unverändert ist.

**[0060]** Auch bei Polynom-Methode 2 empfiehlt es sich, aus  $\varphi_{\text{FBM}}(t)$  zuerst einen Ausdruck  $\varphi_{\text{FBM}}(\varphi M)$  zu generieren. Dabei ist  $\varphi M$  auch hier proportional zur Zeit  $t$  und der Proportionalfaktor wird wiederum durch die Arbeitsdrehzahl gebildet.

**[0061]** Ebenso ist es – mit derselben Begründung wie für die Methode 1 – auch bei Methode 2 sinnvoll, als Arbeitsdrehzahl die maximal zulässige Betriebsdrehzahl der Webmaschine zu verwenden.

**[0062]** Die Berechnung des Polynoms anhand der Darstellung von Fig. 2 ist insbesondere für den Fall geeignet, dass die Zeitpunkte  $t_1$  und  $t_2$  zusammen fallen, also wenn  $t_1 = t_2$ . Liegt der Zeitpunkt  $t_1$  vor dem Zeitpunkt ( $t_1 < t_2$ ), so können aus dem derart berechneten Polynom zudem in einfacher Weise die Werte für den Zeitpunkt  $t_1$  berechnet werden, d. h. die Werte  $\omega_{\text{FBM}}(t_1)$  bzw.  $\varphi_{\text{FBM}}(t_1)$ . Alternativ hierzu kann die erste o.g. Bedingung zur Bestimmung der Polynomkoeffizienten auch mit  $\omega_{\text{FBM}}(t_1) = \omega_{\text{Ü,FBM}}$  festgelegt werden. In jedem Fall ist  $\omega_{\text{FBM}}(t_1)$  der Drehzahlwert, auf den die Fachbildemaschine bis zum Zeitpunkt  $t_1$  gebracht werden muss. Die Integrationskonstante entspricht nunmehr dem Winkel, den die Fachbildemaschine zum Zeitpunkt  $t_1$  bereits erreicht hat. Ab dem Zeitpunkt  $t_1$  folgt die Fachbildemaschine dem Polynom.

**[0063]** Es besteht für  $t_1 < t_2$  auch die Möglichkeit, mit  $\omega_{\text{FBM}}(t_1) = \omega_{\text{FBM}}(t_2) = \omega_{\text{Ü,FBM}}$  zu arbeiten. D.h. das Polynom beginnt ab  $t_2$ , während der Bereich von  $t_1$  bis  $t_2$  ein Bereich konstanter Drehzahl ( $\omega_{\text{Ü,FBM}}$ ; s. Fig. 3) ist. Die Integrationskonstante entspricht dann dem Winkel, den die Fachbildemaschine zum Zeitpunkt  $t_2$  bereits erreicht hat.

**[0064]** Für den Fall, dass der Zeitpunkt  $t_1$  später liegt als der Zeitpunkt  $t_2$  ( $t_1 > t_2$ ; s. hierzu auch Fig. 4), ist in Fig. 2 bzw. in der zugehörigen Beschreibung  $t_2$  durch  $t_1$  zu ersetzen, um dann bei der Polynombestimmung analog vorzugehen. Hierbei wird bevorzugt die Hälfte der Spitzenleistung 2c' nicht mit der benötigten Zeit des Webmaschinenstarts, sondern mit der

Zeitspanne  $t_3 - t_1$  multipliziert, um die seitens der Fachbildemaschine an die Webmaschine zu übertragende Energie zu bestimmen, d. h. diejenige Energie, die sie zum Zeitpunkt  $t_1$  vorhalten muss.

**[0065]** In der Fig. 3 sind drei beispielhafte Verläufe der Drehzahlen der Fachbildemaschine (FBM) und der Webmaschine (WM) als Funktion der Zeit entsprechend der Erfindung dargestellt. Zum Zeitpunkt  $t_0$  wird die Fachbildemaschine gestartet und bis zum Zeitpunkt  $t_1$  auf die vorbestimmte, insbesondere berechnete Überdrehzahl  $\omega_{\text{Ü,FBM}}$  gefahren (s. oben). Zum Zeitpunkt  $t_2$  wird die Webmaschine gestartet und in einer Startphase, die vom Zeitpunkt  $t_2$  bis zu einem Zeitpunkt  $t_3$  reicht, auf eine Arbeitsdrehzahl  $\omega_{\text{arb}}$  hochgefahren.

**[0066]** Während dieser Startphase wird Energie von der Fachbildemaschine zur Webmaschine definiert zurückgespeist, wobei oben zwei diesbezügliche mögliche Berechnungsmethoden vorgestellt wurden.

**[0067]** Erfindungswesentlich ist, dass der Gradient des Drehzahlverlaufs der Fachbildemaschine in einem späteren Abschnitt der Startphase der Webmaschine (die zwischen den Zeitpunkten  $t_2$  und  $t_3$  liegt) negativer ist als in einem früheren Abschnitt. Hierbei grenzt nicht zwangsläufig der spätere Abschnitt an den Zeitpunkt  $t_3$  und/oder der frühere Abschnitt an den Zeitpunkt  $t_2$  (oder  $t_1$ , wenn  $t_1$  später liegt als  $t_2$ , s. Fig. 5); vielmehr können auch Gradientenverläufe innerhalb des Zeitraums zwischen den Zeitpunkten  $t_2$  (oder  $t_1$ , wenn  $t_1$  später liegt als  $t_2$ ) und  $t_3$  miteinander verglichen werden.

**[0068]** Der Fig. 3 ist zu entnehmen, dass in diesem Ausführungsbeispiel der mit durchgezogener Linie dargestellte Gradient des Drehzahlverlaufs der Fachbildemaschine (hier als FBM' bezeichnet) zum Ende der Startphase sogar am negativsten in Bezug auf den gesamten Zeitraum der Startphase ist, d. h. dass die Kurve im Zeitpunkt  $t_3$  die größte negative Steigung im Bereich zwischen  $t_2$  und  $t_3$  aufweist. Vorzugsweise ist der Gradient des Drehzahlverlaufs der Fachbildemaschine zwischen dem Zeitpunkt  $t_2$  und einem in der Fig. 3 beispielhaft markierten Zeitpunkt  $t'$  weniger negativ als im zeitlichen Mittel zwischen den Zeitpunkten  $t'$  und  $t_3$ .

**[0069]** Es ist auch möglich, dass der Drehzahlverlauf der Fachbildemaschine zwischen den Zeitpunkten  $t_2$  und  $t_3$  in einem frühen Stadium der Startphase sogar kurzfristig einen positiven Gradienten, d. h. eine positive Steigung, besitzt, bevor der Gradient dann wieder negativ wird.

**[0070]** Der mit durchgezogener Linie dargestellte Drehzahlverlauf der Webmaschine (hier als WM' bezeichnet) ist in der Fig. 3 linear rampenförmig ansteigend dargestellt, wie dies bei den obigen Berech-



nungsmethoden 1 und 2 angenommen wurde. Gestrichelt ist ein alternativer Drehzahlverlauf für die Webmaschine (hier als WM“ bezeichnet) wiedergegeben, bei dem die Drehzahl während des Hochfahrens zwischen den Zeitpunkten  $t_2$  und  $t_3$  einen abnehmenden positiven Gradienten aufweist. Bei einem solchen Verlauf ist die Leistungsaufnahme gleichmäßiger als bei einem linearen Hochfahren, da die Leistungsspitze zum Ende des Webmaschinenstarts weniger ausgeprägt ist. Ein beispielhafter entsprechender Drehzahlverlauf der Fachbildemaschine (hier als FBM“ bezeichnet) ist ebenfalls gestrichelt dargestellt. Derer flacherer Verlauf im Vergleich zum Drehzahlverlauf FBM‘, insbesondere zum Ende der Startphase der Webmaschine hin, d.h. am Zeitpunkt  $t_3$ , entspricht dem dort flacheren Verlauf WM“ der Webmaschine, da die Energierückspeisung zum Ende der Startphase der Webmaschine geringer ist als für den zuvor diskutierten Fall des rampenförmigen Anstiegs der Drehzahl WM‘ der Webmaschine.

**[0071]** Weiterhin ist eine dritte Variante in **Fig. 3** mit strichpunktlierten Linien eingezeichnet. Der Drehzahlverlauf der Webmaschine (hier als WM““ bezeichnet) weist eine S-Form auf, welche sich auch im Drehzahlverlauf der Fachbildemaschine (hier als FBM““ bezeichnet, wiederfindet. Die Energierückspeisung von der Fachbildemaschine an die Webmaschine ist – nach jeweils flacheren Drehzahlverläufen im Anschluss an den Zeitpunkt  $t_2$  – während des stärksten Anstiegs der Drehzahl der Webmaschine besonders groß. Zum Ende der Startphase der Webmaschine flachen beiden Drehzahlverläufe, FBM““ und WM““, wieder ab.

**[0072]** In der **Fig. 4** ist der oben geschilderte Fall eines lokalen Maximums der Drehzahl der Fachbildemaschine dargestellt. Bei der Überprüfung des Drehzahlpolynoms im Zeitraum zwischen den beiden Zeitpunkten  $t_2$  und  $t_3$  wird dieses lokale Maximum festgestellt, und – falls dieser Drehzahlwert oberhalb der zulässigen Maximaldrehzahl der Fachbildemaschine liegt – eine Neuberechnung des Drehzahlpolynoms, d. h. derer Koeffizienten, durchgeführt. Wie oben ausgeführt wird hierzu vorzugsweise der Polynomgrad, d. h. die höchste auftretende Potenz, erhöht.

**[0073]** In der **Fig. 5** ist der Fall wiedergegeben, dass der Zeitpunkt  $t_1$  später liegt als der Zeitpunkt  $t_2$ . Da – wie eingangs beschrieben – aus Bedarfsicht die Webmaschine am Anfang der Startphase nicht von einer Unterstützung seitens der Fachbildemaschine profitiert, kann die Webmaschine schon gestartet werden (zum Zeitpunkt  $t_2$ ), bevor die Fachbildemaschine ihre berechnete Überdrehzahl zum Zeitpunkt  $t_1$  erreicht. Wichtig ist, dass sie anschließend bereit ist, Energie an die Webmaschine im Zeitintervall von  $t_1$  bis  $t_3$  zu übertragen. Angemerkt sei, dass in der **Fig. 4** der besseren Übersichtlichkeit halber nur

jeweils ein möglicher Verlauf der Fachbildemaschine und der Webmaschine gezeigt ist.

**[0074]** Die Ansteuerung des Hauptantriebs der Webmaschine und des elektronischen Nebenantriebs der Fachbildemaschine wird von einer Steuerung übernommen, die Stand der Technik ist und deswegen hier nicht näher beschrieben wird. Die oben genannten Berechnungen werden mit einer Recheneinheit durchgeführt, die mit der besagten Steuerung verbunden ist.

**[0075]** Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die dargestellten und beschriebenen Ausführungsbeispiele beschränkt. Abwandlungen im Rahmen der Patentansprüche sind ebenso möglich wie eine Kombination der Merkmale, auch wenn diese in unterschiedlichen Ausführungsbeispielen dargestellt und beschrieben sind.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- DE 20021049 U1 [0007]
- DE 10053079 C1 [0007]
- DE 20021049 U [0008]

## Patentansprüche

1. Verfahren zum kontrollierten Hochfahren einer Web- und Fachbildemaschine,
  - wobei die Web- und die Fachbildemaschine mit einer Steuerung verbunden sind,
  - wobei die Webmaschine mittels eines Hauptantriebs angetrieben wird,
  - wobei die Fachbildemaschine mittels eines elektromotorischen Nebenantriebs angetrieben wird,
  - wobei die Web- und die Fachbildemaschine mittels einem gemeinsamen Umrichterzwischenkreis zur Energieflussübertragung verbunden sind,
  - wobei die Fachbildemaschine zu einem Zeitpunkt  $t_0$  gestartet und bis zu einem Zeitpunkt  $t_1$  auf eine Überdrehzahl gefahren wird, die oberhalb ihrer Arbeitsdrehzahl liegt, wobei der Zeitpunkt  $t_1$  vor einem Zeitpunkt  $t_3$  liegt,
  - wobei die Webmaschine zu einem Zeitpunkt  $t_2$  gestartet wird und wobei die Startphase der Webmaschine in dem Zeitintervall vom Zeitpunkt  $t_2$  bis zum Zeitpunkt  $t_3$  liegt, und
  - wobei eine Leistungsübertragung (Rückspeisung) mittels des Umrichterzwischenkreises von der Fachbildemaschine zur Webmaschine in der besagten Startphase vorgenommen wird,**dadurch gekennzeichnet**, dass die Fachbildemaschine zwischen den Zeitpunkten  $t_0$  und  $t_1$  auf eine vorbestimmte Überdrehzahl gefahren wird, und dass der Gradient des Drehzahlverlaufs der Fachbildemaschine in einem späteren Abschnitt der Startphase negativer ist als in einem früheren Abschnitt.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass im zeitlichen Mittel der Gradient des Drehzahlverlaufs der Fachbildemaschine zwischen dem Zeitpunkt  $t_2$  und einem Zeitpunkt  $t'$  weniger negativ ist als im zeitlichen Mittel zwischen den Zeitpunkten  $t'$  und  $t_3$ .
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gradient des Drehzahlverlaufs der Fachbildemaschine zum Ende der Startphase am negativsten im gesamten Zeitraum der Startphase ist.
4. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Gradient des Drehzahlverlaufs der Fachbildemaschine ab dem späteren der beiden Zeitpunkte  $t_1$  oder  $t_2$  eine streng monoton fallende Funktion ist.
5. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die besagte Überdrehzahl der Fachbildemaschine mittels einer Recheneinheit unter Verwendung von Maschinendaten berechnet wird.
6. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Drehzahlverlauf der Fachbildemaschine für die gesamte Startphase der Webmaschine mittels einer Recheneinheit unter Verwendung von Maschinendaten berechnet wird, wobei sich der Drehzahlverlauf der Fachbildemaschine hierbei am rechnerisch erwarteten Leistungsbedarf der startenden Webmaschine orientiert.

**net**, dass der Drehzahlverlauf der Fachbildemaschine für die gesamte Startphase der Webmaschine mittels einer Recheneinheit unter Verwendung von Maschinendaten berechnet wird, wobei sich der Drehzahlverlauf der Fachbildemaschine hierbei am rechnerisch erwarteten Leistungsbedarf der startenden Webmaschine orientiert.

7. Verfahren nach mindestens einem der beiden vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die besagten Maschinendaten wenigstens zum Teil aus der folgenden Gruppe herangezogen werden: die Massenträgheitsmomente der Fachbildemaschine und/oder der Webmaschine, die energetisch mittleren Massenträgheitsmomente der Fachbildemaschine und/oder der Webmaschine, netz- und einspeiserelevante Daten wie z. B. Kenndaten des gemeinsamen Umrichterzwischenkreises, technische Kenndaten der Antriebe der Fachbildemaschine und der Webmaschine, die Spitzenleistung der Einspeisung, etc.

8. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Berechnung der Überdrehzahl und des weiteren Drehzahlverlaufs der Fachbildemaschine zusätzlich Prozessdaten, zumindest solche basierend auf berechneten oder abgeschätzten Webmaschinenverlusten und vorteilhafterweise auch auf Fachbildemaschinenverlusten, bevorzugt auch basierend auf der Dauer der besagten Startphase der Webmaschine, in die besagten Rechnungen einfließen.

9. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass die besagte Leistungsübertragung derart vorgenommen wird, dass der erwartete Leistungsbedarf der Webmaschine mit einem prozentual konstant bleibenden Anteil abgedeckt wird, wenn der Zeitpunkt  $t_2$  nicht vor dem Zeitpunkt  $t_1$  liegt.

10. Verfahren nach mindestens einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Drehzahlverlauf der Fachbildemaschine von  $t_1$  bis  $t_3$  durch nur ein Polynom nachgebildet wird, dessen Koeffizienten unter Berücksichtigung zumindest der folgenden Bedingungen gebildet werden:

- i) die Drehzahl der Fachbildemaschine zum Zeitpunkt  $t_x$  wird der Überdrehzahl der Fachbildemaschine gleichgesetzt, wobei
  - a) für  $t_x$  der Zeitpunkt  $t_2$  oder  $t_1$  eingesetzt wird, wenn der Zeitpunkt  $t_2$  mit dem Zeitpunkt  $t_1$  zusammenfällt;
  - b) für  $t_x$  der Zeitpunkt  $t_2$  oder  $t_1$  eingesetzt wird, wenn der Zeitpunkt  $t_2$  später als der Zeitpunkt  $t_1$  liegt;
  - c) wobei für  $t_x$  der Zeitpunkt  $t_1$  eingesetzt wird, wenn der Zeitpunkt  $t_1$  später als der Zeitpunkt  $t_2$  liegt;
- ii) die Drehzahl der Fachbildemaschine zum Zeitpunkt  $t_3$  wird der Arbeitsdrehzahl der Fachbildemaschine gleichgesetzt;

iii) der Leistungsbedarf der Webmaschine zum Zeitpunkt  $t_3$ , sofern er von der zur Verfügung stehenden Spitzenleistung der Fachbildemaschine erbringbar ist, ansonsten diese Spitzenleistung.

11. Verfahren nach dem vorhergehenden Anspruch, **dadurch gekennzeichnet**, dass für das derart ermittelte Polynom des Drehzahlverlaufs das lokale Maximum im relevanten Abszissenbereich von  $t_1$  bis  $t_3$  ermittelt und mit der zulässigen Maximaldrehzahl der Fachbildemaschine verglichen wird, wobei für den Fall, dass das lokale Maximum die zulässige Maximaldrehzahl übersteigt, eine Neubestimmung des Polynoms derart erfolgt, dass dessen höchste auftretende Potenz erhöht wird.

12. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Drehzahlverlauf für die Webmaschine in der besagten Startphase derart vorgegeben wird, dass er zumindest zu deren Ende hin einen abnehmenden, d. h. weniger positiven, Gradienten aufweist.

13. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor einem Antreiben der Fachbildemaschine auf die besagte Überdrehzahl seitens der Recheneinheit eine Vorabberechnung zumindest anhand von Maschinendaten durchgeführt wird, ob die besagte Leistungsübertragung von der Fachbildemaschine an die Webmaschine zur Reduzierung ihres Leistungsbedarfs möglich ist.

14. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass auf einer Anzeige angezeigt wird, ob die besagte Leistungsübertragung von der Fachbildemaschine auf die Webmaschine möglich und/oder nicht möglich ist, beispielsweise bei nicht zu erreichender Überdrehzahl der Fachbildemaschine.

15. Verfahren nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass vor mindestens einem Hochfahren der Webmaschine auf die geforderte Arbeitsdrehzahl, vorzugsweise dem erstmaligen Hochfahren, ein Probestart auf eine reduzierte Drehzahl der Webmaschine erzwungen wird, um das Spannungsverhalten im Umrichterzwischenkreis zu messen, um diese Messergebnisse in die besagten Berechnungen einfließen zu lassen.

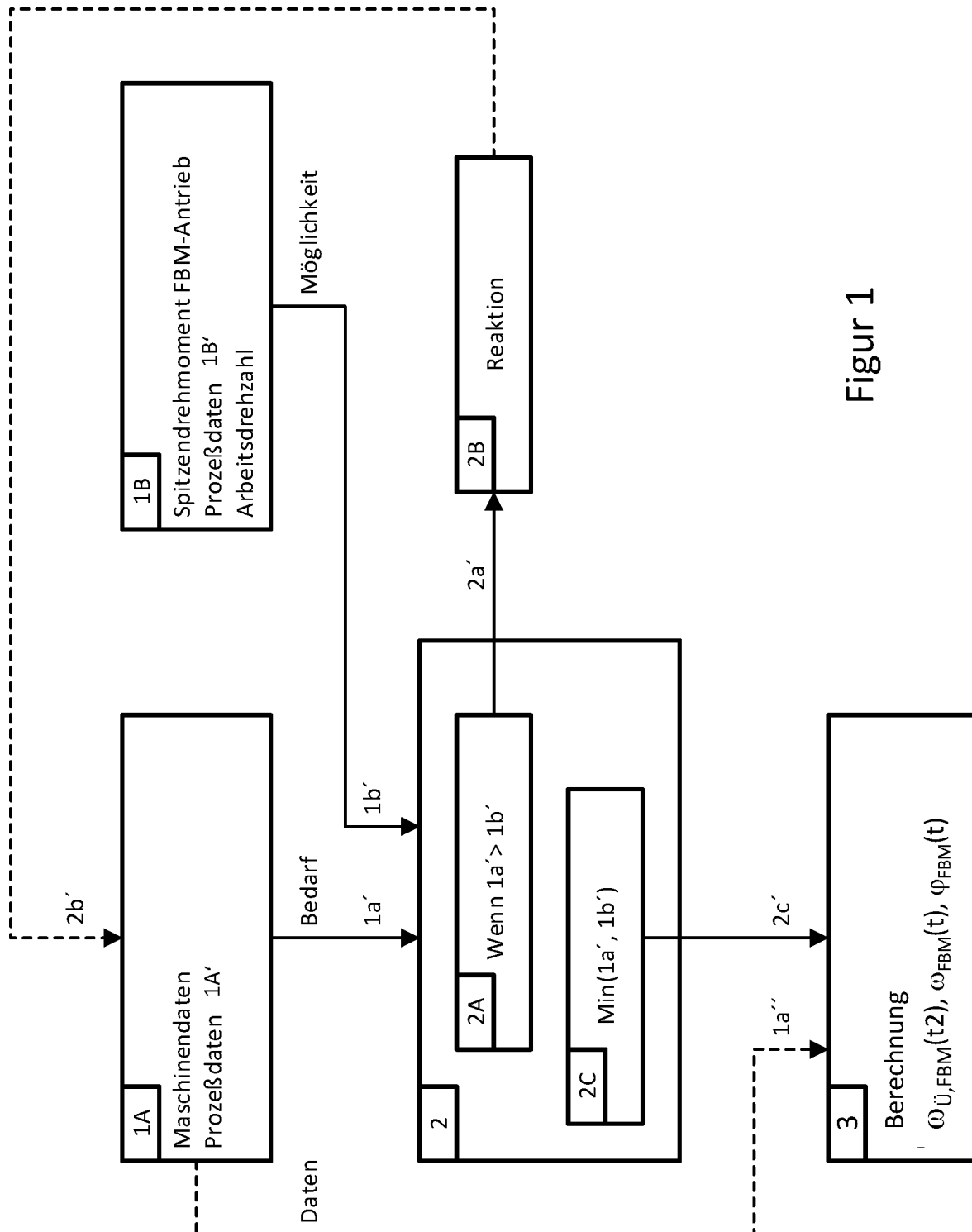
16. Webvorrichtung mit einer Web- und einer Fachbildemaschine zur Durchführung des Verfahrens nach mindestens einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Vorrichtung Folgendes umfasst:

- eine mit der Web- und Fachbildemaschine verbundene Steuerung,
- einem Hauptantrieb für die Webmaschine,

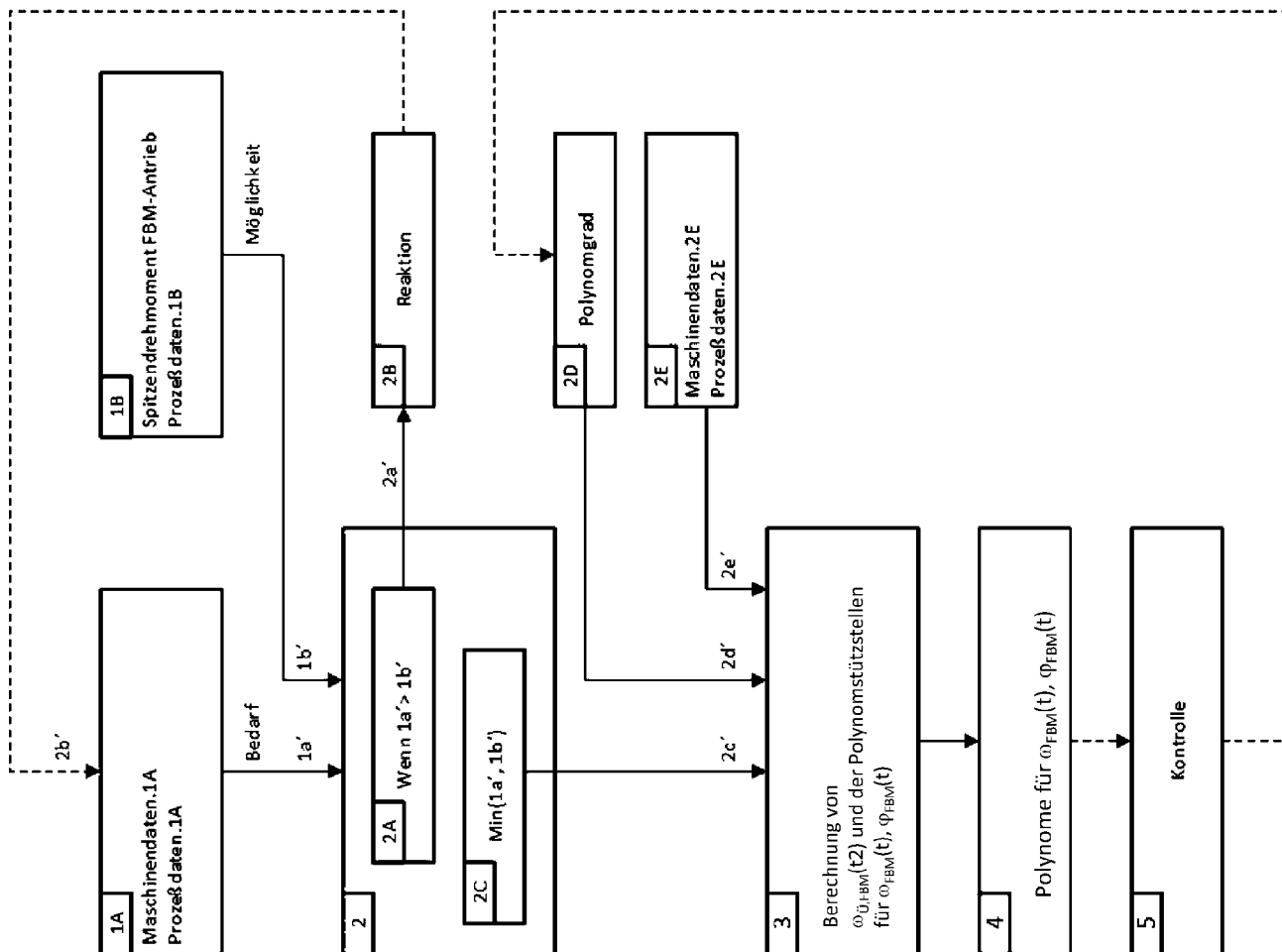
- einem elektromotorischen Nebenantrieb für die Fachbildemaschine,
- einem der Web- und Fachbildemaschine gemeinsamen Umrichterzwischenkreis zur Energieflussübertragung von der Fachbildemaschine zur Webmaschine,
- wobei die Fachbildemaschine derart steuerbar ist, dass sie zu einem Zeitpunkt  $t_0$  gestartet wird und bis zu einem Zeitpunkt  $t_1$  auf eine Überdrehzahl gefahren wird, die oberhalb ihrer Arbeitsdrehzahl liegt, wobei der Zeitpunkt  $t_1$  vor einem Zeitpunkt  $t_3$  liegt,
- wobei die Webmaschine derart steuerbar ist, dass sie zu einem Zeitpunkt  $t_2$  gestartet wird und wobei die Startphase der Webmaschine in dem Zeitintervall vom Zeitpunkt  $t_2$  bis zum Zeitpunkt  $t_3$  liegt, und
- wobei die Steuerung derart ausgebildet ist, dass eine Leistungsübertragung (Rückspeisung) mittels des Umrichterzwischenkreises von der Fachbildemaschine zur Webmaschine in der besagten Startphase vornehmbar ist, wobei in einem frühen Abschnitt der Startphase der Gradient des Drehzahlverlaufs der Fachbildemaschine weniger negativ eingestellt wird als in einem späteren Abschnitt der Startphase.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen



Figur 1



Figur 2

Webmaschine WM

Fachbildemaschine FBM

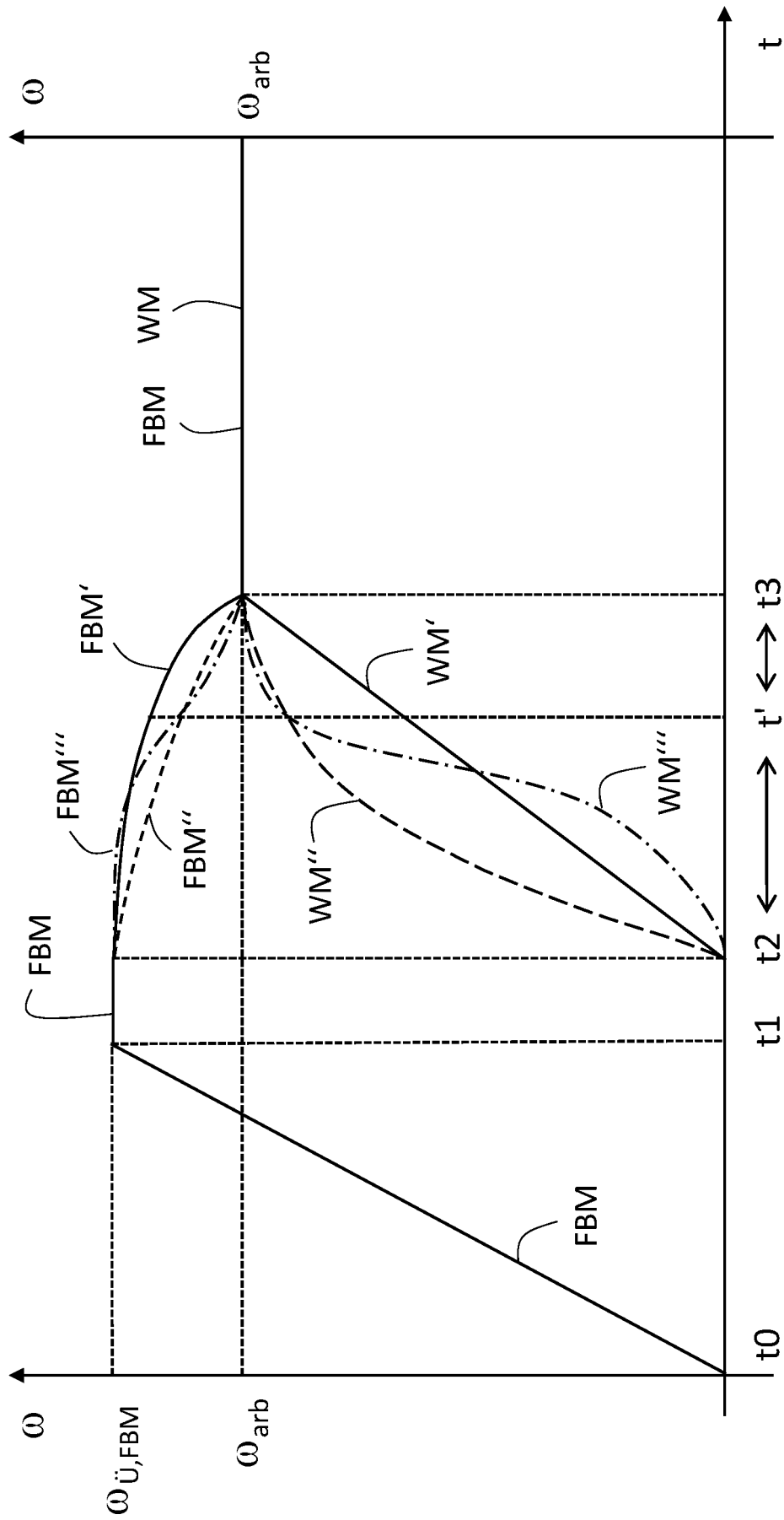


Figure 3

Webmaschine WM

Fachbildemaschine FBM

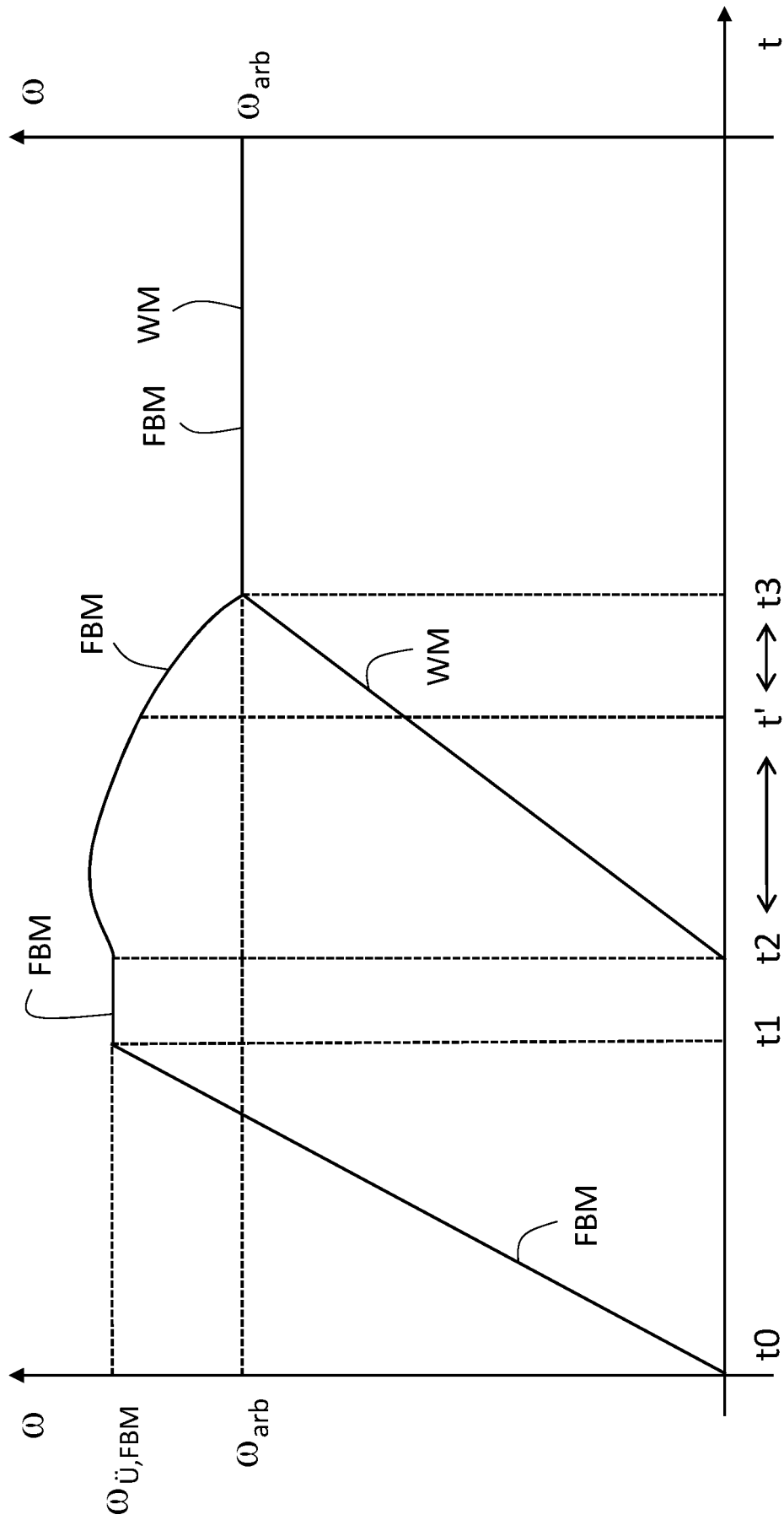
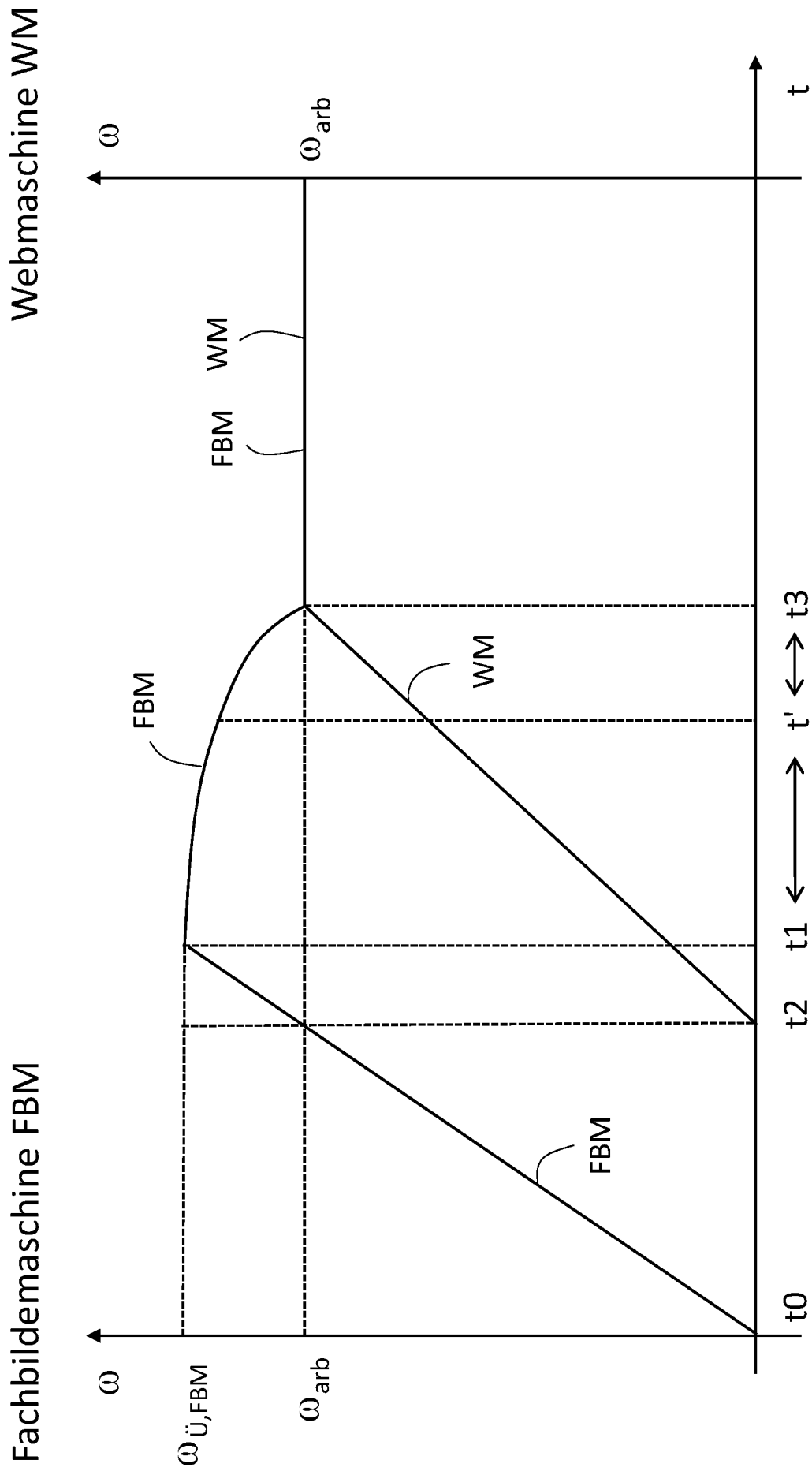


Figure 4





## Figur 5