

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 50529/2015 (51) Int. Cl.: **H02K 41/02** (2006.01)
 (22) Anmeldetag: 23.06.2015 **H02K 41/00** (2006.01)
 (45) Veröffentlicht am: 15.12.2016 **B65G 54/02** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
 FR 2730876 A1
 CN 104578673 A
 DE 4133114 A1

(73) Patentinhaber:
 BERNECKER + RAINER INDUSTRIE-
 ELEKTRONIK GES.M.B.H
 5142 EGGELSBERG (AT)

(72) Erfinder:
 Weber Andreas Dipl.Ing.
 5020 Salzburg (AT)
 Forthuber Friedrich
 5144 Handenberg (AT)

(74) Vertreter:
 Patentanwälte Pinter & Weiss OG
 1040 Wien (AT)

(54) **Verfahren und Langstatorlinearmotor zur Übergabe einer Transporteinheit an einer Übergabeposition**

(57) Um in einem Langstatorlinearmotor eine Übergabeposition zu realisieren, in der eine Transporteinheit (Tn) magnetisch gelenkt wird, um von einem ersten Transportabschnitt (Am) auf einen zweiten Transportabschnitt (An) umgelenkt zu werden und dabei die Vorwärtsbewegung der Transporteinheit (Tn) durch die Übergabe möglichst unbeeinflusst bleibt, ist vorgesehen dass an der Übergabeposition (U) an zumindest einer Seite der Transporteinheit (Tn) der Statorstrom (i_A) zumindest einer mit einem Erregungsmagneten (4, 5) der Transporteinheit (Tn) zusammenwirkenden Antriebsspule (7, 8) als Stromraumvektor mit einer vortriebskraftbildenden Stromkomponente (i_{Aq}) und einer seitenkraftbildenden Stromkomponente (i_{Ad}) eingepreßt wird, und der Statorstrom (i_A) eine vortriebskraftbildende elektromagnetische Kraftkomponente (F_{EMV}) und/oder seitenkraftbildende elektromagnetische Kraftkomponente (F_{EMS}) erzeugt, die zur Erzeugung einer Lenkwirkung (L) der auf die Transporteinheit (Tn) wirkenden Vortriebskraft (F_V) überlagert wird.

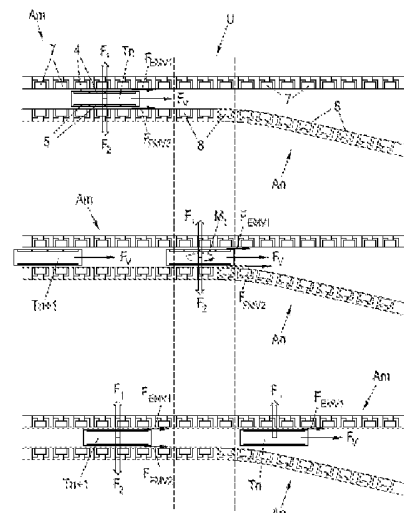


Fig. 8

Beschreibung

VERFAHREN UND LANGSTATORLINEARMOTOR ZUR ÜBERGABE EINER TRANSPORT-EINHEIT AN EINER ÜBERGABEPOSITION

[0001] Die gegenständliche Erfindung betrifft ein Verfahren zur Übergabe einer Transporteinheit eines Langstatorlinearmotors an einer Übergabeposition von einem ersten Transportabschnitt, mit einer Anzahl von in Bewegungsrichtung der Transporteinheit hintereinander angeordneten Antriebsspulen im Bereich der Übergabeposition, an einen zweiten Transportabschnitt, mit einer Anzahl von in Bewegungsrichtung der Transporteinheit hintereinander angeordneten Antriebsspulen im Bereich der Übergabeposition, wobei an jeder Seite der Transporteinheit Erregungsmagnete angeordnet sind, die mit Antriebsspulen im Bereich der Transporteinheit zusammenwirken und zur Bewegung der Transporteinheit Antriebsspulen im Bereich der Transporteinheit jeweils durch einen Statorstrom zur Erzeugung eines magnetischen Flusses, der eine auf die Transporteinheit wirkende Vortriebskraft erzeugt, bestromt werden. Weiters betrifft die Erfindung einen Langstatorlinearmotor mit einer Übergabeposition.

[0002] In so gut wie allen modernen Produktionsanlagen ist es erforderlich, Bauteile oder Komponenten, auch über längere Transportstrecken hinweg, mit Transporteinrichtungen zwischen einzelnen Produktionsstationen zu bewegen. Dazu sind eine Vielzahl von Transport- oder Fördereinrichtungen bekannt. Häufig werden dazu Stetigförderer in verschiedenen Ausführungen eingesetzt. Konventionelle Stetigförderer sind Förderbänder in den verschiedenen Ausführungsformen, bei denen eine Drehbewegung eines elektrischen Antriebs in eine lineare Bewegung des Förderbandes umgesetzt wird. Mit solchen konventionellen Stetigförderern ist man in der Flexibilität erheblich eingeschränkt, insbesondere ist ein individueller Transport von einzelnen Transporteinheiten nicht möglich. Um dem abzuhelpen und um den Anforderungen moderner, flexibler Transporteinrichtungen gerecht zu werden, werden vermehrt sogenannte Langstatorlinearmotoren (LLM) als Ersatz für konventionelle Stetigförderer eingesetzt.

[0003] Bei einem Langstatorlinearmotor ist eine Vielzahl von elektrischen Antriebsspulen, die den Stator bilden, entlang einer Transportstrecke angeordnet. Auf einer Transporteinheit ist eine Anzahl von Erregungsmagneten, entweder als Permanentmagnete oder als elektrische Spule oder Kurzschlusswicklung, angeordnet, die mit den Antriebsspulen zusammenwirken. Der Langstatorlinearmotor kann als Synchronmaschine, sowohl selbsterregt oder fremderregt, oder als Asynchronmaschine ausgeführt sein. Durch Ansteuerung der einzelnen Antriebsspulen, zur Regelung des magnetischen Flusses, wird eine Vortriebskraft erzeugt und die Transporteinheit kann entlang der Transportstrecke bewegt werden. Dabei ist es auch möglich, entlang der Transportstrecke eine Vielzahl von Transporteinheiten anzuordnen, deren Bewegungen einzeln und unabhängig voneinander kontrolliert werden können. Ein Langstatorlinearmotor zeichnet sich insbesondere durch eine bessere und flexiblere Ausnützung über den gesamten Arbeitsbereich der Bewegung (Geschwindigkeit, Beschleunigung), eine individuelle Regelung/Steuerung der Transporteinheiten entlang der Transportstrecke, eine verbesserte Energieausnützung, die Reduktion der Wartungskosten aufgrund der geringeren Anzahl an Verschleißteilen, einen einfachen Austausch der Transporteinheiten, effizientes Monitoring und Fehlerdetektion und eine Optimierung des Produktstromes aus. Beispiele solcher Langstatorlinearmotoren können der WO 2013/143783 A1, der US 6,876,107 B2, der US 2013/0074724 A1 oder der WO 2004/103792 A1 entnommen werden.

[0004] In der US 2013/0074724 A1 und der WO 2004/103792 A1 sind die Antriebsspulen des Stators an der Oberseite der Transportstrecke angeordnet. Die Permanentmagnete sind an der Unterseite der Transporteinheiten angeordnet. In der WO 2013/143783 A1 und der US 6,876,107 B2 sind die Permanentmagnete an beiden Seiten der zentral angeordneten Antriebsspulen vorgesehen, womit die Permanentmagnete den Stator des Langstatorlinearmotors umgeben und die Antriebsspulen mit den beidseitig angeordneten Permanentmagneten zusammenwirken.

[0005] Es sind auch flächige Ausführungen von Linearmotoren bekannt, wie beispielsweise in der CN 104578673 A gezeigt.

[0006] Die Führung der Transporteinheiten entlang der Transportstrecke erfolgt entweder durch Führungsrollen, wie beispielsweise in der WO 2013/143783 A1 oder der US 6,876,107 B2, oder durch magnetische Führung, wie beispielsweise in der WO 2004/103792 A1. Im Falle der magnetischen Führung sind an den Transporteinheiten beidseitig Führungsmagnete vorgesehen, die mit gegenüber an der Transportstrecke angeordneten Führungsstäben zusammenwirken. Die Führungsstäbe bilden dabei ein magnetisches Joch aus, die den magnetischen Kreis der Führungsmagnete schließen. Die damit gebildeten magnetischen Führungskreise wirken damit einer seitlichen Bewegung der Transporteinheiten entgegen, womit die Transporteinheiten seitlich geführt werden. Eine ähnliche magnetische Seitenführung kann auch der US 6,101,952 A entnommen werden.

[0007] In vielen Transporteinrichtungen sind auch Übergabepositionen, z.B. in Form von Weichen, notwendig, um komplexe und intelligente Bahnplanungen bzw. Bahnrealisierungen der Transporteinrichtung zu ermöglichen. Diese Übergabepositionen wurden bisher oftmals mithilfe zusätzlicher mechanischer Auslöseeinheiten realisiert. Ein Beispiel dafür findet sich in der US 2013/0074724 A1 in Form einer mechanisch ausgelösten Weiche mittels beweglicher Umlenkarmlen oder eines Drehteller.

[0008] Die FR 2 730 876 A1 beschreibt einen Linearmotor mit starren, mechanischen Umlenkeinrichtungen. Eine zu leichte oder zu schwere Transporteinrichtung kommt in Eingriff mit einer der beiden starren, mechanischen Umlenkeinrichtungen und wird damit umgelenkt.

[0009] In der DE 41 33 114 A1 wird nicht die Transporteinheit mit einem Bauteil an einer Übergabeposition umgelenkt, sondern ein damit beförderter Bauteil von der Transporteinheit an der Übergabeposition abgekoppelt. Die Transporteinheit bewegt sich dann ohne Bauteil weiter, der später wieder an die Transporteinheit angekoppelt werden kann. Damit sind in der DE 41 33 114 A1 keine Weichen erforderlich.

[0010] Es sind aber auch schon Transporteinrichtungen bekannt geworden, in denen zusätzliche elektrische Hilfsspulen verwendet werden, um eine Weichenauslösung zu realisieren. In der US 6,101,952 A sind die Hilfsspulen beispielsweise am magnetischen Joch des magnetischen Führungskreises angeordnet, während die Hilfsspulen in der US 2013/0074724 A1 seitlich an der Transportstrecke angeordnet sind. In beiden Fällen wird durch die Hilfsspulen in den magnetischen Führungskreis ein magnetischer Fluss eingeprägt, der eine seitliche Kraft erzeugt, die die Transporteinheit in eine Richtung lenkt. Durch die zusätzlich notwendigen Hilfsspulen erhöht sich aber der Aufwand für die Umsetzung einer Transporteinrichtungen, da die Hilfsspulen zusätzlich verbaut und elektrisch versorgt und angesteuert werden müssen. Zusätzlich sind dazu auch separate Führungsmagnete an den Transporteinheiten erforderlich.

[0011] In der DE 1 963 505 A1, der WO 2015/036302 A1 und der WO 2015/042409 A1 sind magnetisch aktivierte Weichen eines Langstatorlinearmotors beschrieben, die ohne zusätzliche Hilfsspulen auskommen. Bei diesen Langstatorlinearmotoren sind die Erregungsmagnete der Transporteinheiten zwischen beidseitig angeordneten Antriebsspulen angeordnet. Im Bereich einer Weiche kann durch Bestromung der Antriebsspulen auf nur einer Seite der Transportstrecke eine Seitenkraft erzeugt werden, mit der die Transporteinheit im Bereich der Weiche gelenkt werden kann, um die Transporteinheit nach der Weiche auf der gewünschten Transportstrecke weiterzubewegen. Die Weichenauslösung erfolgt dabei derart, dass die Antriebsspulen im Bereich der Weiche nur auf der Seite der Transportstrecke aktiviert werden, entlang der sich die Transporteinheit weiterbewegen soll. Die Antriebsspulen der anderen Seite werden deaktiviert (DE 1 963 505 A1, WO 2015/036302 A1, WO 2015/042409 A1) oder umgepolt (WO 2015/036302 A1). Das bringt aber gewisse Probleme mit sich. Werden die Antriebsspulen einer Seite im Bereich der Weiche deaktiviert, verliert die Transporteinheit im Bereich der Weiche die Hälfte der Vortriebskraft, womit der Bereich der Weiche nur mit einer reduzierten Geschwindigkeit durchfahren werden kann. Im Bereich der Weiche könnte es damit zu Stauungen der Transporteinheiten kommen, was für die Steuerung der Transporteinrichtung ungünstig wäre. Das

Umpolen ist rein statisch und es kann eine bestimmte, vorgegebene Seitenkraft aktiviert oder deaktiviert werden. Durch Umpolen kann somit im Bereich der Weiche eine bestimmte, vorgegebene Seitenkraft eingestellt werden. Wird die Seitenkraft aus Gründen der Sicherheit in der Weichenfahrt überdimensioniert so führt das zu erhöhter Reibung und erhöhtem Verschleiß. Die Transporteinheiten müssten damit mechanisch entsprechend dimensioniert werden, was die Transporteinheiten vergrößert, schwerer und teurer macht. Abgesehen davon erhöht sich damit auch der Verschleiß der mechanischen Komponenten der Transporteinheiten, insbesondere der mechanischen Führungselementen. Wird die Seitenkraft hingegen kleiner gewählt, so wird dadurch die Sicherheit der Weichenfahrt verringert, beispielsweise wenn die Transporteinheit mit Last doch schwerer als angenommen ist. Damit ist auch das Umpolen zur Weichenauslösung für den Betrieb eines Langstatorlinearmotors eher nachteilig.

[0012] Es ist daher eine Aufgabe der gegenständlichen Erfindung eine Transporteinrichtung in Form eines Langstatorlinearmotors anzugeben, in der eine Übergabeposition realisierbar ist, in der die Transporteinheiten magnetisch gelenkt werden und dabei durch die Übergabe möglichst unbeeinflusst bleiben.

[0013] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass zur Übergabe der Transporteinheit an der Übergabeposition an zumindest einer Seite der Transporteinheit der Statorstrom zumindest einer mit einem Erregungsmagneten der Transporteinheit zusammenwirkenden Antriebsspule als Stromraumvektor mit einer vortriebskraftbildenden und einer seitenkraftbildenden Stromkomponente eingepreßt wird, und der Statorstrom eine vortriebskraftbildende und/oder seitenkraftbildende elektromagnetische Kraftkomponente erzeugt, die zur Erzeugung einer Lenkwirkung der auf die Transporteinheit wirkenden Vortriebskraft überlagert wird. Es werden für die Lenkung der Transporteinheiten in der Übergabeposition keine zusätzlichen Hilfselemente (wie etwa Spulen, Schalter, etc.) benötigt. Die Auslösung erfolgt rein durch die für die Vortriebsbewegung benötigten Antriebsspulen und basiert auf einer Regelung des elektromagnetischen Feldes. Durch die Überlagerung der für die Bewegung der Transporteinheit verantwortlichen Vortriebskraft durch zusätzliche vortriebskraftbildende und/oder seitenkraftbildende Kraftkomponenten kann eine Lenkwirkung erzeugt werden, ohne die Vortriebsbewegung der Transporteinheit zu beeinflussen. Insbesondere ermöglicht das auch die Regelung der Vortriebskraft, die ohnehin realisiert ist, von der Regelung der Lenkwirkung zu entkoppeln. Die Vortriebskraft wird oftmals durch Positionsvorgabe geregelt und kann nun einfach durch benötigte Kraftkomponenten überlagert werden, um die Lenkwirkung hervorzurufen.

[0014] Vorzugsweise wird an beiden Seiten der Transporteinheit eine die Vortriebskraft überlagernde, vortriebskraftbildende und/oder seitenkraftbildende elektromagnetische Kraftkomponente erzeugt. Damit hat man mehr Möglichkeiten die gewünschte Lenkwirkung in Richtung und Betrag auf die Transporteinheit einzuprägen.

[0015] In einer ersten bevorzugten Ausgestaltung werden an beiden Seiten der Transporteinheit gleichgerichtete seitenkraftbildende elektromagnetische Kraftkomponenten erzeugt. Das kann erreicht werden, indem der wirkende magnetische Fluss auf einer Seite der Transporteinheit geschwächt wird. Auf diese Weise kann sehr einfach und effizient eine hohe Lenkkraft als Lenkwirkung erzeugt werden.

[0016] In einer zweiten bevorzugten Ausgestaltung wird die Vortriebskraft der Transporteinheit durch Positionsvorgabe geregelt und an zumindest einer Seite der Transporteinheit die Positionsvorgabe durch eine Modifikationsgröße modifiziert. Auf diese Weise kann sehr einfach und effizient ein Lenkmoment als Lenkwirkung erzeugt werden. Hierbei ist es besonders vorteilhaft, wenn die Modifikationsgröße an beiden Seiten mit gleichem Betrag und unterschiedlichen Vorzeichen vorgegeben wird, da sich dadurch die Regelung erheblich vereinfacht.

[0017] Besonders vorteilhaft ist in einer Segmentregelungseinheit ein Lenkregler RL und ein Positionsregler RP implementiert, wobei der Lenkregler einen Flussfehler als Differenz aus einem Sollfluss und einem Istfluss ausregelt und dazu die seitenkraftbildende Stromkomponente des Statorstromes und/oder eine Modifikationsgröße ermittelt und dass der Positionsregler einen Positionsfehler, der sich als Differenz aus einer Sollposition und einer Istposition ergibt

und in den die Modifikationsgröße eingeht, ausregelt und dazu die vortriebskraftbildende Stromkomponente des Statorstromes ermittelt. Auf diese Weise kann die Regelung der Lenkwirkung sehr einfach in eine Positionsregelung der Transporteinheit eingebunden werden.

[0018] Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 10 näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt

[0019] Fig.1 und 2 jeweils eine Transporteinrichtung in Form eines Langstatorlinearmotors,

[0020] Fig.3 den konstruktiven und elektrischen Aufbau des Langstatorlinearmotors,

[0021] Fig.4 eine erste Ausführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Übergabe einer Transporteinheit an einer Übergabeposition,

[0022] Fig.5 die an der Transporteinheit wirkenden Kräfte bei dieser ersten Ausführung,

[0023] Fig.6 eine zweite Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Übergabe einer Transporteinheit an einer Übergabeposition,

[0024] Fig.7 die an der Transporteinheit wirkenden Momente bei einer weiteren Ausführung zur Erzeugung einer Lenkwirkung,

[0025] Fig.8 eine zweite Ausführung eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Übergabe einer Transporteinheit an einer Übergabeposition und

[0026] Fig.9 und 10 ein Regelungskonzept für das erfindungsgemäße Verfahren.

[0027] In Fig.1 ist eine Transporteinrichtung 1 in Form eines Langstatorlinearmotors beispielhaft dargestellt. Die Transporteinrichtung 1 besteht aus einer Anzahl von Transportabschnitten A1 ... A9, die zur Transporteinrichtung 1 zusammengestellt sind. Dieser modulare Aufbau ermöglicht eine sehr flexible Gestaltung der Transporteinrichtung 1, bedingt aber auch eine Vielzahl von Übergabepositionen U1 ... U9, an denen die auf der Transporteinrichtung 1 bewegten Transporteinheiten T1 ... Tn (aus Gründen der Übersichtlichkeit sind in Fig.1 nicht alle Transporteinheiten mit einem Bezugszeichen gekennzeichnet) von einem Transportabschnitt A1 ... A9 auf einen anderen übergeben werden.

[0028] Die Transporteinrichtung 1 ist als Langstatorlinearmotor ausgeführt, bei denen die Transportabschnitte A1 ... A9 in an sich bekannter Weise jeweils einen Teil eines Langstators eines Langstatorlinearmotors ausbilden. Entlang der Transportabschnitte A1 ... A9 sind daher in Längsrichtung in bekannter Weise eine Vielzahl von elektrischen Antriebsspulen angeordnet (in Fig.1 aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellt), die mit Erregungsmagneten an den Transporteinheiten T1 ... Tn (siehe Fig.3) zusammenwirken. In ebenso bekannter Weise wird durch Kontrolle des elektrischen Statorstromes i_A der Antriebsspulen 7, 8 für jede der Transporteinheiten T1 ... Tn eine Vortriebskraft F_v erzeugt, die die Transporteinheiten T1 ... Tn in Längsrichtung entlang der Transportabschnitte A1 ... A9, also entlang der Transportstrecke, bewegt. Jede der Transporteinheiten T1 ... Tn kann dabei individuell (Geschwindigkeit, Beschleunigung, Bahn) und unabhängig (bis auf die Vermeidung von möglichen Kollisionen) von den anderen Transporteinheiten T1 ... Tn bewegt werden. Nachdem dieses grundlegende Prinzip eines Langstatorlinearmotors hinreichend bekannt ist, wird hier nicht näher darauf eingegangen.

[0029] Es ist ebenso bekannt, einen Transportabschnitt A1 ... A9 aus einzelnen Transportsegmenten TS zusammenzusetzen, die jeweils eine Anzahl von Antriebsspulen tragen und die jeweils durch eine zugeordnete Segmentregelungseinheit 11 geregelt werden, wie beispielsweise in der US 6,876,107 B2 beschrieben und in Fig. 9 dargestellt ist. Eine Transporteinheit T1 ... Tn, die sich in einem Transportsegment TS befindet, wird daher von der zugehörigen Segmentregelungseinheit 11 geregelt. Im Wesentlichen bedeutet das, dass die Segmentregelungseinheit 11 die Antriebsspulen 7, 8 des zugehörigen Transportsegments TS so regelt, dass die Transporteinheit T1 ... Tn durch die Vortriebskraft in der gewünschten Weise (Geschwindigkeit,

Beschleunigung) entlang des Transportsegments TS bewegt wird. Bewegt sich eine Transporteinheit $T_1 \dots T_n$ von einem Transportsegment TS_n in das nächstfolgende Transportsegment TS_{n+1} , wird auch die Regelung der Transporteinheit $T_1 \dots T_n$ in geordneter Weise auf die Segmentregelungseinheit 11_{n+1} des nächstfolgenden Transportsegments TS_{n+1} übergeben. Die Bewegung der Transporteinheit $T_1 \dots T_n$ durch die Transporteinrichtung 1 wird in einer übergeordneten Anlagenregelungseinheit 10, die mit den Segmentregelungseinheiten 11 verbunden ist, überwacht. Die Anlagenregelungseinheit 10 steuert beispielsweise durch Positionsvorgaben die Bewegung der Transporteinheiten T_n durch die Transporteinrichtung 1. Die Segmentregelungseinheiten 11 regeln dann einen allfälligen Fehler zwischen Sollgröße und Istgröße aus.

[0030] Entlang der Transportstrecke der Transporteinrichtung 1 sind auch einige Übergabepositionen $U_1 \dots U_{10}$ angeordnet. Hierbei sind verschiedene Arten von Übergabepositionen $U_1 \dots U_{10}$ denkbar. An den Übergabepositionen U_2 und U_7 ist z.B. eine Weiche vorgesehen, während die anderen Übergabepositionen $U_1, U_3 \dots U_6, U_8, U_9$ z.B. als Wechselstellen von einem Transportabschnitt $A_1 \dots A_8$ auf einen anderen ausgeführt sind. An der Übergabeposition U_{10} ist z.B. ein Übergang von einem einseitigen Transportabschnitt A_2 auf einen zweiseitigen Transportabschnitt A_9 vorgesehen. An der Übergabeposition U_2 (Weiche) kann eine Transporteinheit T_6 beispielsweise auf dem Transportabschnitt A_2 oder dem Transportabschnitt A_3 weiterbewegt werden. An einer Übergabeposition U_1 (Wechselposition) wird eine Transporteinheit T_5 vom einseitigen Transportabschnitt A_1 an den einseitigen Transportabschnitt A_2 übergeben.

[0031] Entlang der Transportstrecke der Transporteinrichtung 1, die im Wesentlichen durch die Längsrichtung der Transportabschnitt $A_1 \dots A_8$ gegeben ist, können auch eine Anzahl von Arbeitsstationen $S_1 \dots S_4$ angeordnet sein, in denen eine Manipulation an den mit den Transporteinheit $T_1 \dots T_n$ transportierten Komponenten stattfindet. Die Arbeitsstation S_1 kann beispielsweise als Einschleuse- und/oder Ausschleusestation ausgeführt sein, in der fertig bearbeitete Komponenten entnommen werden und zu bearbeitende Komponenten an eine Transporteinheit $T_1 \dots T_n$ übergeben werden. In den Arbeitsstationen $S_2 \dots S_4$ können an den Komponenten irgendwelche Bearbeitungsschritte vorgenommen werden. Dabei können die Transporteinheiten $T_1 \dots T_n$ in einer Arbeitsstationen $S_1 \dots S_4$ zur Bearbeitung gestoppt werden, z.B. in einer Füllstation, in der leere Flaschen befüllt werden, oder durchbewegt werden, z.B. in einer Temperierstation in der Komponenten temperaturbehandelt werden, gegebenenfalls auch mit einer anderen Geschwindigkeit als zwischen den Arbeitsstationen $S_1 \dots S_4$.

[0032] Ein anderes Beispiel einer Transporteinrichtung 1 ist in Fig.2 dargestellt. Hier sind fünf in sich geschlossene Transportabschnitte $A_1 \dots A_5$ vorgesehen. Die Transportabschnitt $A_2 \dots A_4$ dienen hierbei dem Einschleusen von verschiedenen Komponenten an den Arbeitsstationen $S_1 \dots S_3$. In einer Arbeitsstation S_4 eines Transportabschnitt A_5 werden diese Komponenten miteinander verbunden oder anderweitig bearbeitet und aus der Transporteinrichtung 1 ausgeschleust. Ein weiterer Transportabschnitt A_1 dient der Überführung der Komponenten aus den Transportabschnitten A_2, A_3, A_4 in den Transportabschnitt A_5 . Dazu sind Übergabepositionen U_1, U_2, U_3 vorgesehen, um die Transporteinheiten T_n mit den verschiedenen Komponenten in den Transportabschnitt A_1 überzuführen. Weiters ist eine Übergabeposition U_4 vorgesehen, in der die Transporteinheiten T_n mit den verschiedenen Komponenten in den Transportabschnitt A_5 überführt werden.

[0033] Um eine erfindungsgemäße Übergabeposition $U_1 \dots U_{10}$ realisieren zu können, ist es zumindest im Bereich der Übergabeposition $U_1 \dots U_{10}$ erforderlich, dass in Bewegungsrichtung gesehen an beiden Seiten der Transporteinheit T_n Antriebsspulen 7, 8 vorgesehen sind und dass an beiden Seiten der Transporteinheit T_n Erregungsmagnete 4, 5 angeordnet sind. Die Erregungsmagnete können als Permanentmagnete oder als Elektromagnete ausgeführt sein. Eine besonders vorteilhafte Ausgestaltung des Langstatorlinearmotors, zumindest im Bereich der Übergabepositionen U , wird anhand von Fig.3 erläutert.

[0034] Fig.3 zeigt einen Querschnitt durch einen beliebigen Transportabschnitt A_m und einer darauf bewegten Transporteinheit T_n . Eine Transporteinheit T_n besteht hier aus einem Grund-

körper 2 und einer daran angeordneten Komponentenaufnahme 3, wobei die Komponentenaufnahme 3 grundsätzlich an einer beliebigen Stelle des Grundkörpers 2 angeordnet sein kann, insbesondere auch an der Unterseite für hängende Komponenten. Am Grundkörper 2 ist zu beiden Seiten der Transporteinheit T_n die Anzahl der Erregungsmagnete 4, 5 des Langstatorlinearmotors angeordnet. Die Transportstrecke der Transporteinrichtung 1, bzw. eines Transportabschnitts A_m , bzw. eines Transportsegments T_{Sm} eines Transportabschnitts A_m , wird durch eine stationäre Führungskonstruktion 6 gebildet, an der die Antriebsspulen 7, 8 des Langstatorlinearmotors angeordnet sind. Der Grundkörper 2 mit den beidseitig angeordneten Permanentmagneten 4, 5 ist dabei zwischen den Antriebsspulen 7, 8 angeordnet. Damit ist jeweils zumindest ein Erregungsmagnet 4, 5 einer Antriebsspule 7, 8 (oder einer Gruppe von Antriebsspulen) gegenüberliegend angeordnet und wirkt damit mit der Antriebsspule 7, 8 zur Erzeugung einer Vortriebskraft F_v zusammen. Damit ist die Transporteinheit T_n zwischen der Führungskonstruktion 6 und entlang der Transportstrecke bewegbar. Am Grundkörper 2 und/oder an der Komponentenaufnahme 3 können natürlich auch noch (hier aus Gründen der Übersichtlichkeit nicht dargestellte oder nur angedeutete) Führungselemente 9, wie Rollen, Räder, Gleitflächen, etc., vorgesehen sein, um die Transporteinheit T_n entlang der Transportstrecke zu führen. Die Führungselemente der Transporteinheit T_n wirken dabei zur Führung mit der stationären Führungskonstruktion 6 zusammen, z.B. in dem sich die Führungselemente 9 an der Führungskonstruktion 6 abstützen, daran abgleiten oder abrollen, etc.. Die Führung der Transporteinheit T_n kann aber auch zumindest durch das Vorsehen von Führungsmagneten erfolgen.

[0035] Um eine Transporteinheit T_n vorwärts zu bewegen wird in die beidseitigen Antriebsspulen 7, 8 bekanntermaßen ein Statorstrom i_{A1} , i_{A2} eingeprägt, wobei in verschiedenen Antriebsspule 7, 8 auch unterschiedliche Statorströme i_{A1} , i_{A2} eingeprägt werden können. Hierbei ist es auch ausreichend nur in die Antriebsspulen 7, 8 einen Statorstrom i_{A1} , i_{A2} einzuprägen, die gerade mit den Erregungsmagneten 4, 5 an der Transporteinheit T_n zusammenwirken können. Zur Erzeugung einer auf die Transporteinheit T_n wirkenden Vortriebskraft F_v , wird eine Antriebsspule 7, 8 mit einem Statorstrom i_A mit einer vortriebskraftbildenden Stromkomponente i_{Aq} bestromt.

[0036] Für die Bewegung der Transporteinheit T_n müssen aber nicht gleichzeitig die beidseitig angeordneten Antriebsspulen 7, 8 durch Einprägen eines Statorstromes i_A bestromt werden. Es reicht grundsätzlich aus, wenn die auf die Transporteinheit T_n zur Bewegung wirkende Vortriebskraft F_v nur mittels der Antriebsspulen 7, 8 einer Seite und Permanentmagnet 4, 5 auf der zugehörigen Seite der Transporteinheit T_n erzeugt wird. An Streckenabschnitten der Transportstrecke, an denen eine große Vortriebskraft F_v benötigt wird, z.B. im Falle einer Steigung, einer schweren Last oder in Bereichen der Beschleunigung der Transporteinheit T_n , können die Antriebsspulen 7, 8 zu beiden Seiten bestromt werden (z.B. Transportabschnitt A9 in Fig.1), womit die Vortriebskraft F_v vergrößert werden kann. Ebenso ist es denkbar, dass in gewissen Transportabschnitten A die Führungskonstruktion 6 nur einseitig ausgeführt ist, oder dass in gewissen Transportabschnitten A die Führungskonstruktion 6 zwar zweiseitig ausgeführt ist, aber nur einseitig mit Antriebsspulen 7, 8 bestückt ist. Das ist auch in Fig.1 angedeutet, in der Streckenabschnitte mit beidseitiger Führungskonstruktion 6 und Streckenabschnitte mit nur einseitiger Führungskonstruktion 6 angedeutet sind.

[0037] Eine erfindungsgemäße Übergabeposition U, hier in Form einer Weiche wie z.B. die Übergabeposition U2 in Fig.1, zwischen zwei Transportabschnitten A_m , A_n wird nun anhand der Fig.4 erläutert. Entlang der Transportabschnitte A_m , A_n sind wie oben beschrieben die Antriebsspulen 7, 8 in Bewegungsrichtung hintereinander angeordnet. Die Transportabschnitte A_m , A_n bestehen hier aus in Längsrichtungen hintereinander folgenden Transportsegmenten T_{Sm1} , T_{Sm2} , T_{Sm3} , T_{Sm4} , T_{Sm5} bzw. T_{Sn1} , T_{Sn2} , T_{Sn3} , T_{Sn4} , jeweils mit einer Anzahl von Antriebsspulen 7, 8. Vor allem im Falle einer Weiche als Übergabeposition U ist im Bereich der Ausfahrt (oder Einfahrt bei umgekehrter Fahrtrichtung) ein Streckenabschnitt vorhanden, an dem nur an einer Seite eine Führungskonstruktion 6 bzw. Antriebsspulen 7, 8 angeordnet werden können.

[0038] Eine Transporteinheit T_n wird entlang der Transportstrecke, hier zuerst der Transportabschnitt A_m , bewegt. Dazu sind die Antriebsspulen 7, 8 im Bereich der Transporteinheit T_n , also im Bereich in dem die Erregungsmagnete 4, 5 der Transporteinheit T_n und Antriebsspulen 7, 8 zusammenwirken können, mit einem Statorstrom i_A bestromt, wobei die Statorströme i_{A1} , i_{A2} dieser Antriebsspulen 7, 8 nicht gleich sein müssen. Dafür sorgt die zugehörige Segmentsteuerereinheit 11_{m1} (siehe Fig.9). Der Statorstrom i_{A1} , i_{A2} , bzw. die vortriebskraftbildende Komponenten i_{Aq1} , i_{Aq2} , der Antriebsspulen 7, 8 erzeugt in Zusammenwirken mit den Erregungsmagneten 4, 5 die auf die Transporteinheit T_n wirkende Vortriebskraft F_v .

[0039] Auf die Transporteinheit T_n wirken an den beiden Seiten immer die erregungsmagnetischen Seitenkräfte F_{PMS1} , F_{PMS2} aufgrund des Zusammenwirkens der Erregungsmagnete 4, 5 der Transporteinheit T_n mit ferromagnetischen Bestandteilen der Führungskonstruktion 6. Die an beiden Seiten der Transporteinheit T_n wirkenden erregungsmagnetischen Seitenkräfte F_{PMS1} , F_{PMS2} sind im Normalfall, bei gleichem Luftspalt, gleichem Aufbau der Führungskonstruktion 6 an beiden Seiten, usw., gleich groß und entgegengerichtet, sodass die vektorielle Summe der wirkenden erregungsmagnetischen Seitenkräfte F_{PMS1} , F_{PMS2} Null ergibt. Im Idealfall ist die Transporteinheit T_n daher frei von Seitenkräften.

[0040] Die gegenständliche Erfindung beruht nun darauf, dass der magnetische Fluss ψ bzw. das magnetische Feld zwischen Transporteinheit T_n und Antriebsspulen 7, 8 bzw. der Führungskonstruktion 6, der im Normalfall von den Permanentmagneten 4, 5 hervorgerufen wird, gezielt beeinflusst wird, um der Transporteinheit T_n eine Lenkwirkung L einzuprägen. Dazu wird der für das magnetische Feld verantwortliche Stromraumvektor des Statorstromes i_A zumindest einer Antriebsspule 7, 8 so geändert, dass eine vortriebskraftbildende und/oder seitenkraftbildende elektromagnetische Kraftkomponente entsteht, die der Vortriebskraft F_v überlagert wird. Das Ziel ist dabei in der Regel, dass die wirkende Vortriebskraft F_v und damit die Vortriebsbewegung der Transporteinheit T_n nicht beeinflusst wird.

[0041] In einer ersten Ausgestaltung der Erfindung wird durch den Statorstrom i_A , bzw. den daraus hervorgehenden magnetischen Fluss ψ (magnetischer Fluss ψ und Statorstrom i_A sind als äquivalent anzusehen), nicht nur die für die Bewegung der Transporteinheit T_n benötigte Vortriebskraft F_v erzeugt, sondern auch eine seitenkraftbildende elektromagnetische Kraftkomponente F_{EMS} , in weiterer Folge auch elektromagnetische Seitenkraft genannt. Dazu wird einer der mit der Transporteinheit T_n zusammenwirkenden Antriebsspulen 7, 8 ein Statorstrom i_A eingepreßt, der neben der vortriebskraftbildenden elektromagnetischen Kraftkomponente, die die Vortriebskraft F_v bewirkt, eine Kraftkomponente quer dazu, also in Seitenrichtung, hervorruft. Die elektromagnetische Seitenkraft F_{EMS} wird damit der Vortriebskraft F_v überlagert. Die Komponenten ψ_d des eingepreßten elektromagnetischen Feldes, die die Seitenkraft hervorrufen, dienen hierbei praktisch der Schwächung oder Stärkung des wirkenden erregungsmagnetischen Feldes. Damit wirken auf die Transporteinheit T_n die resultierenden Seitenkräfte F_1 , F_2 , die sich jeweils als Summe aus der wirkenden erregungsmagnetischen Seitenkraft F_{PMS} und, falls vorhanden, der elektromagnetischen Seitenkraft F_{EMS} an jeder Seite der Transporteinheit T_n ergeben, also $F_1 = F_{PMS1} + F_{EMS1}$ und $F_2 = F_{PMS2} + F_{EMS2}$ (siehe Fig. 5).

[0042] Überall dort, wo keine elektromagnetische Seitenkraft F_{EMS} benötigt wird, also z.B. außerhalb einer Übergabeposition U , werden der Stromraumvektor der in die Antriebsspulen 7, 8 eingepreßten Statorströme i_{A1} , i_{A2} vorzugsweise so geregelt, dass die vektorielle Summe der resultierenden Seitenkräfte F_1 , F_2 Null ist. Im Idealfall bedeutet das, dass die elektromagnetischen Seitenkräfte F_{EMS1} , F_{EMS2} gleich Null sind. Damit erreicht man in diesen Bereichen einen maximalen Wirkungsgrad der Bewegung der Transporteinheit T_n , da die ganze Energie in die Erzeugung der Vortriebskraft F_v fließt.

[0043] Auch im Einfahrtsbereich der Übergabeposition U (Fig.4 oben) werden die Statorströme i_{A1} , i_{A2} vorzugsweise beidseitig so eingepreßt, dass die vektorielle Summe der resultierenden Seitenkräfte F_1 , F_2 , bzw. die elektromagnetischen Seitenkräfte F_{EMS1} , F_{EMS2} , Null sind. Die entstehenden Seitenkräfte F_1 , F_2 , die sich damit auf die erregungsmagnetischen Seitenkräfte F_{PMS1} , F_{PMS2} reduzieren, sind damit im Einfahrtsbereich der Übergabeposition U im Normalfall gleich

groß und entgegengerichtet und heben sich damit auf.

[0044] Im Übergabebereich (Fig.4 Mitte) der Übergabeposition U werden die Statorströme i_{A1} , i_{A2} , die in die Antriebsspulen 7, 8 eingepreßt werden, nun so geändert, dass sich durch Feldschwächung oder Feldstärkung des permanentmagnetischen Feldes resultierende Seitenkräfte F_1 , F_2 an den beiden Seiten der Transporteinheit Tn ergeben, die im Betrag unterschiedlich sind. Da der magnetische Fluss ψ eine Funktion des Statorstromvektors i_A ist, kann die für die Seitenkraft verantwortliche magnetische Flusskomponente ψ_d durch Ändern des vektoriellen Stromraumzeigers des Statorstromes i_A an einer Seite, oder auch an beiden Seiten, der Transporteinheit Tn verändert werden, um die elektromagnetische Seitenkraft F_{EMS1} , F_{EMS2} an zumindest einer Seite zu erzeugen. Vorzugsweise wird der magnetische Fluss ψ so geändert, dass die elektromagnetischen Seitenkräfte F_{EMS1} , F_{EMS2} an den beiden Seiten der Transporteinheit Tn in dieselbe Richtung zeigen (Fig.5). Man könnte den magnetischen Fluss ψ zwar auch so ändern, dass die elektromagnetischen Seitenkräfte F_{EMS1} , F_{EMS2} an den beiden Seiten der Transporteinheit Tn unterschiedliche Richtungen haben, wobei sich diese aber zum Teil aufheben würden, was letztendlich nur mit höheren Verlusten verbunden wäre. Wenn gleichzeitig mehrere Antriebsspulen 7, 8 mit der Transporteinheit Tn zusammenwirken, was normalerweise der Fall ist, dann kann der magnetische Fluss ψ einer der wirkenden Antriebsspulen 7, 8, mehrerer der wirkenden Antriebsspulen 7, 8 oder auch aller wirkenden Antriebsspulen 7, 8 verändert werden. Ebenso ist es denkbar, nur an einer Seite der Transporteinheit Tn eine elektromagnetischen Seitenkraft F_{EMS1} , F_{EMS2} zu erzeugen. Entscheidend ist dabei nur die erzeugte Resultierende der auf die Transporteinheit Tn wirkenden Kräfte.

[0045] In Fig.4 Mitte wird beispielsweise der Statorstrom i_{A1} der Antriebsspulen 7 des Transportabschnitts Am, in deren Bereich sich die Transporteinheit Tn befindet, so geregelt, dass eine elektromagnetischen Seitenkraft $F_{EMS1} = f(i_{A1})$ in eine Richtung entsteht. Auf der gegenüberliegenden Seite wird der Statorstrom i_{A2} der Antriebsspulen 8 des Transportabschnitts Am, in deren Bereich sich die Transporteinheit Tn befindet, so geregelt, dass durch die magnetische Flusskomponente ψ_d eine elektromagnetischen Seitenkraft $F_{EMS2} = f(i_{A2})$ in die gleiche Richtung entsteht. Damit wird die wirkende Seitenkraft F_1 auf einer Seite erhöht und die wirkende Seitenkraft F_2 auf der anderen Seite gleichzeitig verkleinert. Es kann aber ausreichend sein, nur an einer Seite eine elektromagnetischen Seitenkraft F_{EMS} zu erzeugen. Die Transporteinheit Tn erfährt damit eine resultierende Lenkkraft F_L aus der vektoriellen Summe der beiden Seitenkräfte F_1 , F_2 , also $F_L = F_1 + F_2$. Die resultierende Lenkkraft F_L führt die Transporteinheit Tn im gezeigten Ausführungsbeispiel entlang des Transportabschnitts Am, womit die Transporteinheit Tn im Ausfahrtsbereich der Übergabeposition U geradeaus weiterbewegt wird (Fig.4 unten).

[0046] Die Feldschwächung erfolgt dabei auf der Seite der Transporteinheit Tn, entlang der die Transporteinheit Tn nicht weiterbewegt werden soll, hier an den Antriebsspulen 8. Die Feldstärkung erfolgt an der Seite, an der die Transporteinheit Tn weiterbewegt werden soll, hier an den Antriebsspulen 7.

[0047] Es ist damit offensichtlich, dass durch Regelung der Statorströme i_A im Bereich der Übergabeposition als Lenkwirkung L eine Lenkkraft F_L in eine der beiden Seitenrichtungen erzeugt werden kann, die die Transporteinheit Tn entlang des gewünschten Transportabschnitts Am oder An führt. Dabei kann aber nicht nur die Richtung bestimmt werden, sondern insbesondere auch die Größe dieser Lenkkraft F_L zu jedem Zeitpunkt der Bewegung der Transporteinheit Tn. Diese Lenkkraft F_L kann dabei über die Zeit auch veränderlich sein und kann auch auf die jeweilige Transporteinheit Tn und auch auf die aktuelle Bewegung abgestellt sein. Z.B. kann eine mit einer schwereren Last beladene oder eine schneller bewegte Transporteinheit Tn eine höhere Lenkkraft F_L benötigen, als eine leere oder langsam bewegte Transporteinheit Tn.

[0048] Die Statorströme i_{A1} , i_{A2} der Antriebsspulen 7, 8 werden vorzugsweise so geregelt, dass die gewünschte oder von der übergeordneten Anlagenregelungseinheit 10 (Fig.9) vorgegebenen Vortriebskraft F_v beibehalten wird. Die Vortriebsbewegung der Transporteinheit Tn bleibt damit durch die Erzeugung der Lenkwirkung L in der Übergabeposition U unberührt. Das kann z.B. im Ausfahrtsbereich aus der Übergabeposition U (Fig.4 unten), an der nur mehr die An-

triebsspulen 7 einer Seite aktiv sind, auch bedeuten, dass die die Vortriebskraft F_V hervorrufende q-Komponente des Statorstromes i_{A1} gleichzeitig erhöht werden muss, um die Vortriebskraft F_V aufrecht zu erhalten. Die Vortriebskraft F_V wird aber in der Regel ohnehin durch die Positionsregelung der Transporteinheit T_n eingestellt und es ist daher normalerweise nicht erforderlich, in der Übergabeposition U in diese Regelung der Vortriebskraft F_V einzugreifen.

[0049] Bei der Einfahrt der Transporteinheit T_n in die Übergabeposition U wird mit der aktiven Regelung der seitenkraftbildenden Stromkomponenten i_{Ad1} , i_{Ad2} der Statorströme i_{A1} , i_{A2} begonnen. Dabei ist es nicht unbedingt notwendig, dass schon bei der Einfahrt an beiden Seiten der Transporteinheit T_n elektromagnetische Seitenkräfte F_{EMS1} , F_{EMS2} erzeugt werden. Die elektromagnetischen Seitenkräfte F_{EMS1} , F_{EMS2} müssen aber im Übergabebereich durch die Statorströme i_{A1} , i_{A2} zu jedem Zeitpunkt so geregelt werden, dass sich die benötigte Lenkkraft F_L in die gewünschte Richtung und mit dem benötigten Betrag ausbildet. Um eine definierte Lage der Transporteinheit T_n über die gesamte Länge der Übergabeposition U sicherzustellen, ist es aber vorteilhaft, wenn die elektromagnetischen Seitenkräfte F_{EMS1} , F_{EMS2} an beiden Seiten entlang der gesamten Länge der Übergabeposition U aktiv geregelt werden.

[0050] Bei der Ausfahrt der Transporteinheit T_n aus der Übergabeposition U (Fig.4 unten) erhöht sich gleichzeitig der Luftspalt zwischen dem nicht befahrenen Transportabschnitt A_n und der Transporteinheit T_n . Dadurch wird die erregungsmagnetische Seitenkraft F_{PMS2} an diesem Transportabschnitt A_n stark reduziert, was die Führung der Transporteinheit T_n entlang des gewünschten Transportabschnitts A_m unterstützt. Insbesondere könnte diese Reduktion der erregungsmagnetischen Seitenkraft F_{PMS2} ausreichen, um die Transporteinheit T_n im Ausfahrtsbereich entlang des gewünschten Transportabschnitts A_m zu bewegen. Die Antriebsspulen 8 an der Ausfahrt der Übergabeposition U müssten damit auch nicht mehr aktiv geregelt werden, um eine elektromagnetische Seitenkraft F_{EMS} zu erzeugen.

[0051] Die Übergabeposition U muss aber nicht als Weiche ausgeführt sein, sondern kann auch als Übergabe von einer Transportabschnitt A_m auf einen anderen Transportabschnitt A_n ausgeführt sein, wie z.B. die Übergabeposition $U1$ in Fig.1, wo beispielsweise von einem zweiseitigen Transportabschnitt (Antriebsspulen beidseitig) auf einen einseitigen Transportabschnitt (Antriebsspulen einseitig) übergegangen wird. Eine solche Situation ist beispielhaft anhand der Fig.6 erläutert. Dabei können die Einfahrt, die Übergabeposition und die Ausfahrt wie bei einer Weiche nach Fig.4 geregelt werden. An der Ausfahrt (Fig.6 unten) reduziert sich die erregungsmagnetische Seitenkraft F_{PMS2} am Transportabschnitt A_n auch ohne aktive Regelung der seitenkraftbildenden Stromkomponente i_{Ad2} des Statorstromes i_{A2} . An der gegenüberliegenden Seite des Transportabschnittes A_m kann die elektromagnetische Seitenkraft F_{EMS1} aus Führungsgründen (z.B. wenn die erregungsmagnetische Führung allein nicht sicher ausreicht) aufrechterhalten werden. D.h., dass es hier grundsätzlich ausreichen würde, wenn im Bereich der Einfahrt (Fig.6 oben) oder des Übergabebereiches (Fig.6 Mitte) die elektromagnetische Seitenkraft F_{EMS} an nur einer Seite geregelt wird. Es ist nicht unbedingt notwendig, gleichzeitig die elektromagnetischen Seitenkräfte F_{EMS1} , F_{EMS2} an beiden Seiten zu regeln. Gleichermäßen könnte man beim Übergang von einem einseitigen Transportabschnitt auf einen zweiseitigen Transportabschnitt vorgehen.

[0052] Damit kann mit den für den Vortrieb der Transporteinheit T_n vorgesehenen Antriebsspulen 7, 8 der jeweilige magnetische Fluss ψ_1 , ψ_2 in einer Übergabeposition U an den beiden Seiten der Transporteinheit T_n über die Vorgabe der Statorströme i_{A1} , i_{A2} geregelt werden, um eine Lenkwirkung L zu erzeugen, die die Transporteinheit T_n in der Übergabeposition entlang einer der beiden Transportabschnitt A_m , A_n führt. Dabei kann die Vortriebskraft F_V unverändert aufrechterhalten werden. Dieser erfinderische Gedanke kann auch noch auf eine andere vorteilhafte Weise genutzt werden. Das wird anhand der Fig.7 erläutert.

[0053] In der Übergabeposition U treffen wie bereits ausführlich beschrieben, zwei Transportabschnitte A_m , A_n aufeinander. Die Antriebsspulen 7, 8 in Zusammenwirken mit den Erregungsmagneten 4, 5 zu beiden Seite der Transportstrecke erzeugen durch Bestromen mit den Statorströmen i_{A1} , i_{A2} vortriebskraftbildende elektromagnetische Kraftkomponenten F_{EMV1} , F_{EMV2} ,

die sich zur gesamten Vortriebskraft F_V der Transporteinheit T_n addieren, also $F_V = F_{EMV1} + F_{EMV2}$. Sind die vortriebskraftbildenden elektromagnetischen Kraftkomponenten F_{EMV1} , F_{EMV2} gleich groß, ist die Transporteinheit T_n , unter der Voraussetzung eines um die Längsachse in Bewegungsrichtung symmetrischen Aufbau, um eine Hochachse der Transporteinheit T_n momentenfrei. Sind die vortriebskraftbildenden elektromagnetischen Kraftkomponenten F_{EMV1} , F_{EMV2} jedoch unterschiedlich groß, wirkt auf die Transporteinheit T_n um die Hochachse ein Lenkmoment M_L , wie in Fig.7 gezeigt. Dieses Lenkmoment M_L kann nun ebenfalls als Lenkwirkung L zur Führung der Transporteinheit T_n entlang eines gewünschten Transportabschnittes A genutzt werden.

[0054] Die Vortriebskraft F_V wird normalerweise über die Position s der Transporteinheit T_n entlang der Transportstrecke geregelt, sodass die Transporteinheit T_n zu jedem Zeitpunkt an der vorgesehenen Position ist. Damit wird indirekt auch die aktuelle Geschwindigkeit und die Beschleunigung der Transporteinheit T_n geregelt.

[0055] Bekannterweise ergeben sich die vortriebskraftbildenden elektromagnetischen Kraftkomponenten F_{EMV1} , F_{EMV2} unmittelbar aus der vortriebskraftbildenden Komponente i_{Aq1} , i_{Aq2} des jeweils eingprägten Statorstromes i_{A1} , i_{A2} durch Multiplikation mit einer bekannten Kraftkonstante K_f . Hier wird in weiterer Folge und ohne Einschränkung der Allgemeinheit angenommen, dass die elektrischen Komponenten des Langstatorlinearmotors an beiden Seiten gleich ausgelegt sind, sodass auch die Kraftkonstante K_f an beiden Seiten gleich groß ist. Damit ergeben sich die vortriebskraftbildenden elektromagnetischen Kraftkomponenten F_{EMV1} , F_{EMV2} zu $F_{EMV1} = K_f \cdot i_{Aq1}$ und $F_{EMV2} = K_f \cdot i_{Aq2}$. Die vortriebskraftbildenden Komponente i_{Aq1} , i_{Aq2} des jeweils eingprägten Statorstromes i_{A1} , i_{A2} werden in einer Regelung über den Positionsfehler E der Transporteinheit T_n geregelt, um die benötigte Vortriebskraft F_V zu erzeugen. Der Positionsfehler E ist dabei als Differenz aus einer Sollposition s_{soll} und einer Istposition s_{ist} gegeben, $E = s_{soll} - s_{ist}$. Die Istposition s_{ist} wird dabei mit bekannten Mitteln erfasst. Damit gilt allgemein $F_{EMVj} = K_f \cdot i_{Aqj} = K_f \cdot K \cdot E = K_f \cdot K \cdot (s_{j,soll} - s_{j,ist})$, mit einer Regelungskonstanten K . Berücksichtigt man noch, dass die Istpositionen der Transporteinheit T_n an beiden Seiten gleich sein müssen, also $s_{1,ist} = s_{2,ist}$, dann folgt $F_{EMV1} - F_{EMV2} = K_f \cdot K \cdot (s_{1,soll} - s_{2,soll})$.

[0056] Werden die Sollpositionen der beiden Seiten der Transporteinheit T_n in der Regelung jeweils mit einer Modifikationsgröße Δs_1 , Δs_2 modifiziert, also $(s_{1,soll} + \Delta s_1)$ und $(s_{2,soll} + \Delta s_2)$, kann über die Modifikationsgröße ein gewünschtes Lenkmoment M_L eingestellt werden. Mit dem Ansatz $s_{1,soll} = s_{2,soll}$ ergibt sich dann $F_{EMV1} - F_{EMV2} = K_f \cdot K \cdot (\Delta s_1 - \Delta s_2)$ und das Lenkmoment $M_L = (F_{EMV1} - F_{EMV2}) \cdot x = K_f \cdot K \cdot (\Delta s_1 - \Delta s_2) \cdot x$.

[0057] In einer bevorzugten Ausgestaltung wird die Modifikationsgröße $\Delta s/2$ an einer Seite addiert und an der anderen Seite subtrahiert, woraus sich unmittelbar der Zusammenhang $F_{EMV1} - F_{EMV2} = K_f \cdot K \cdot (s_{1,soll} - s_{2,soll} + \Delta s)$ ergibt. Hierbei kann wieder der Ansatz $s_{1,soll} = s_{2,soll}$ gemacht werden, da ja über die Modifikationsgröße Δs eingegriffen wird und es ergibt sich $F_{EMV1} - F_{EMV2} = K_f \cdot K \cdot \Delta s$. Wird der Abstand zwischen den beiden Luftspaltmitten mit $2x$ bezeichnet (Fig.7), folgt das Lenkmoment unmittelbar aus $M_L = (F_{EMV1} - F_{EMV2}) \cdot x = K_f \cdot K \cdot \Delta s \cdot x$.

[0058] Durch die Positionsregelung in Form der Sollpositionsvorgabe $s_{1,soll}$, $s_{2,soll}$ wird die Vortriebskraft F_V der Transporteinheit T_n geregelt. Durch Vorgabe der Modifikationsgröße Δs , bzw. der Modifikationsgrößen Δs_1 , Δs_2 , werden vortriebskraftbildende elektromagnetische Kraftkomponenten $F_{EMV1} = K_f \cdot K \cdot \Delta s/2$ und $F_{EMV2} = -K_f \cdot K \cdot \Delta s/2$ bzw. $F_{EMV1} = K_f \cdot K \cdot \Delta s_1$ und $F_{EMV2} = K_f \cdot K \cdot \Delta s_2$ erzeugt, die der ursprünglichen vortriebskraftbildenden elektromagnetischen Kraftkomponenten durch die Positionsregelung in Form der Sollpositionsvorgabe $s_{1,soll}$, $s_{2,soll}$ und somit auch der Vortriebskraft F_V überlagert werden und die ein gewünschtes Lenkmoment M_L erzeugen. Hierbei ist es natürlich ausreichend, dass an nur einer Seite eine vortriebskraftbildende elektromagnetische Kraftkomponenten F_{EMV1} , F_{EMV2} überlagert wird, um ein Lenkmoment M_L zu erzeugen.

[0059] Durch die Verwendung einer Modifikationsgröße $\pm \Delta s/2$ kann auf einfache Weise sichergestellt werden, dass die Vortriebskraft F_V als Summe der beiden vortriebskraftbildenden elektromagnetischen Kraftkomponenten F_{EMV1} , F_{EMV2} nicht beeinflusst wird. Die Vorwärtsbewegung der Transporteinheit T_n wird dann durch das Einpräggen eines Lenkmoments M_L also nicht

beeinflusst.

[0060] Das Lenkmoment M_L als Lenkwirkung L kann nun in einer Übergabeposition U genutzt werden, um die Transporteinheit T_n entlang eines gewünschten Transportabschnittes A zu bewegen, wie anhand der Fig.8 erläutert wird. Darin ist wieder eine Weiche als Übergabeposition U dargestellt. In der Einfahrt (Fig.8 oben) werden die vortriebskraftbildenden elektromagnetischen Kraftkomponenten F_{EMV1} , F_{EMV2} auf den gleichen Wert geregelt, womit sich $\Delta s=0$ und $M_L=0$ ergibt. Im Übergabebereich (Fig.8 Mitte), wird durch Vorgabe der Modifikationsgrößen Δs_1 , Δs_2 ein Lenkmoment M_L wie oben beschrieben erzeugt, das dazu führt, dass die Transporteinheit T_n entlang des Transportabschnittes A_m geführt wird und entlang des Transportabschnittes A_m weiterbewegt wird. Im Ausfahrtsbereich der Übergabeposition (Fig.8 unten) kann die Transporteinheit T_n dann wie gehabt nur an einer Seite angetrieben weiterbewegt werden (wie in Fig.8), oder es kann ein beidseitiger Antrieb vorgesehen sein.

[0061] Die Methode der Lenkkraft F_L und die Methode des Lenkmoments M_L kann natürlich auch kombiniert werden, wie in Fig.8 angedeutet.

[0062] Das Aufbringen einer ausreichenden Lenkkraft F_L und/oder eines ausreichenden Lenkmoments M_L ist an sich natürlich nur so lange erforderlich, bis die Führungselemente der Transporteinheit T_n , z.B. Rollen, Räder, Gleitflächen, Magnetlager, oder Ähnliches, am gewünschten Transportabschnitt A sicher wirken. Damit ist eine definierte Lage der Transporteinheit T_n sichergestellt und die aktive Regelung der Antriebsspulen 7, 8 zum Aufbringen der Lenkwirkung L (Lenkkraft F_L und/oder Lenkmoments M_L) kann beendet werden.

[0063] Das Regelungskonzept für die Transporteinrichtung 1 und damit auch für erfindungsgemäße Übergabeposition U wird nun anhand der Fig. 9 und 10 erläutert.

[0064] Eine übergeordnete Regeleinheit 10 ist für die Bewegung der Transporteinheiten T_n im Langstatorlinearmotor entlang der Transportstrecke zuständig. Die Regeleinheit 10 gibt damit die Bewegung der Transporteinheiten T_n vor, beispielsweise durch die Vorgabe von Sollpositionswerten s_{soll} , und steuert damit auch die Geschwindigkeit, Beschleunigung der Transporteinheiten T_n . Gleichfalls ist die übergeordnete Regeleinheit 10 auch für die Führung der Transporteinheiten T_n entlang der Transporteinrichtung 1 zuständig und damit auch für die Lenkung der Transporteinheiten T_n in Übergabepositionen U . Die Regeleinheit 10 gibt damit auch die auf die Transporteinheiten T_n wirkende Lenkwirkung L vor, beispielsweise durch die Vorgabe von Sollwerten des magnetischen Flusses ψ_{soll} , und bestimmt damit, entlang welcher Transportstrecke die Transporteinheiten T_n in der Transporteinrichtung 1 bewegt werden. Die übergeordnete Regeleinheit 10 gibt für jede der bewegten Transporteinheiten T_n entsprechende Sollwerte für die Position s_{soll} und den magnetischen Fluss ψ_{soll} vor.

[0065] Jedem Transportsegment TS_n , TS_{n+1} , oder allgemein einer Gruppe von Antriebsspulen 7, 8 oder auch jeder Antriebsspule 7, 8, eines Transportabschnitts A_n ist eine Segmentregelungseinheit 11_n , 11_{n+1} zugeordnet, die die Antriebsspulen 7, 8 des jeweiligen Transportsegments TS_n , TS_{n+1} individuell mit einem Statorstrom i_A ansteuert. Dabei kann natürlich auch vorgesehen sein, für die die Antriebsspulen 7, 8 jeder Seite einen eigene Segmentregelungseinheit 11_n , 11_{n+1} vorzusehen, wobei die Segmentregelungseinheiten 11_n , 11_{n+1} an jeder Seite auch über eine Datenleitung miteinander verbunden sein können und Datenuntereinander austauschen können. Jede Segmentregelungseinheit 11_n , 11_{n+1} erzeugt aus den Sollwertvorgaben für den für die Position s_{soll} und den magnetischen Fluss ψ_{soll} einen Statorstrom i_A , mit dem die Antriebsspulen 7, 8 beaufschlagt werden. Vorzugsweise werden dabei nur die Antriebsspulen 7, 8 geregelt, die mit der Transporteinheit T_n , bzw. deren Erregungsspulen 4, 5, zusammenwirken. Der Statorstrom i_A ist ein Stromvektor (Stromraumzeiger), der eine vortriebskraftbildende Komponente i_{Aq} zur Erzeugung der Vortriebskraft F_V umfasst und der einen magnetischen Fluss ψ bewirkt. In der Übergabeposition U können nun über die Stromvektoren i_{A1} , i_{A2} modifizierte vortriebskraftbildende elektromagnetische Kraftkomponenten F_{EMV1} , F_{EMV2} und/oder seitenkraftbildende elektromagnetische Kraftkomponenten F_{EMS1} , F_{EMS2} eingepreßt werden, die die benötigte Lenkwirkung L bewirken. Der Statorstromvektor i_A erzeugt damit in Zusammenwirken mit den Erregungsmagneten 4, 5 der Transporteinheit T_n wie beschrieben zu jedem Zeit-

punkt die gewünschte Wirkung auf die Transporteinheit T_n , insbesondere eine Vortriebskraft F_v und gegebenenfalls eine Lenkwirkung L (Lenkkraft F_L und/oder Lenkmoments M_L).

[0066] In einer Segmentregelungseinheit 11 sind für jede Antriebsspule 7, 8 ein Lenkregler RL zur Regelung der Lenkwirkung L und ein Positionsregler RP zur Regelung der Position s implementiert, wie in Fig.10 dargestellt. Die Regelung der Lenkwirkung L ist vorzugsweise nur in einer Übergabeposition U aktiv und erfolgt beispielsweise auf Basis des magnetischen Flusses ψ und es wird ein Sollfluss ψ_{soll} wie oben beschrieben vorgegeben. Außerhalb einer Übergabeposition U wird in der Regel nur die Vortriebskraft F_v geregelt. Der aktuelle Istfluss ψ_{ist} wird messtechnisch erfasst oder mittels eines geeigneten Beobachters geschätzt und mit dem Sollfluss ψ_{soll} verglichen. In einer Übergabeposition U regelt der Lenkregler RL die Flussdifferenz bzw. den Flussfehler $e_v = \psi_{soll} - \psi_{ist}$ aus, um die gewünschte Lenkwirkung L zu erzeugen. Dazu kann ein beliebiger geeigneter Regler verwendet werden. Der Lenkregler RL berechnet dazu für die geregelte Antriebsspule 7, 8 eine seitenkraftbildende Stromkomponente i_{Ad} des Statorstromes i_A und gegebenenfalls auch eine Modifikationsgröße Δs bzw. $\Delta s/2$ (falls als Lenkwirkung auch ein Lenkmoment M_L verwendet wird. Der Positionsregler RP regelt einen Positionsfehler e_s aus, der sich aus der vorgegebenen Sollposition s_{soll} und der aktuellen Istposition s_{ist} ergibt. Die Istposition s_{ist} kann messtechnisch erfasst werden oder kann auch andere geeignete Weise ermittelt werden, beispielsweise wieder durch einen regelungstechnischen Beobachter. In den Positionsfehler e_s geht, zumindest in einer Übergabeposition U bei Verwendung des Lenkmoments M_L als Lenkwirkung L , auch die Modifikationsgröße Δs ein. Damit ergibt sich der Positionsfehler e_s beispielsweise zu $e_s = s_{soll} - s_{ist} [-\Delta s/2]$. Zum Ausregeln des Positionsfehlers e_s kann ein beliebiger geeigneter Regler verwendet werden. Zur Positionsregelung ermittelt der Positionsregler RP für die geregelte Antriebsspule 7, 8 eine vortriebskraftbildende Stromkomponente i_{Aq} des Statorstromes i_A . Damit sind beide Komponenten des Statorstromes i_A vorhanden und der ermittelte Statorstrom i_A kann der Regelstrecke, hier die Transporteinrichtung 1 bzw. den vorgesehenen Teilen, insbesondere der geregelten Antriebsspule 7, 8, eingeprägt werden.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Übergabe einer Transporteinheit (T_n) eines Langstatorlinearmotors an einer Übergabeposition (U) von einem ersten Transportabschnitt (A_m), mit einer Anzahl von in Bewegungsrichtung der Transporteinheit (T_n) hintereinander angeordneten Antriebsspulen (7, 8) im Bereich der Übergabeposition (U), an einen zweiten Transportabschnitt (A_n), mit einer Anzahl von in Bewegungsrichtung der Transporteinheit (T_n) hintereinander angeordneten Antriebsspulen (7, 8) im Bereich der Übergabeposition (U), wobei an jeder Seite der Transporteinheit (T_n) Erregungsmagnete (4, 5) angeordnet sind, die mit Antriebsspulen (7, 8) im Bereich der Transporteinheit (T_n) zusammenwirken und zur Bewegung der Transporteinheit (T_n) Antriebsspulen (7, 8) im Bereich der Transporteinheit (T_n) jeweils durch einen Statorstrom (i_A) zur Erzeugung eines magnetischen Flusses (ψ), der eine auf die Transporteinheit (T_n) wirkende Vortriebskraft (F_V) erzeugt, bestromt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass zur Übergabe der Transporteinheit (T_n) an der Übergabeposition (U) an zumindest einer Seite der Transporteinheit (T_n) der Statorstrom (i_A) zumindest einer mit einem Erregungsmagneten (4, 5) der Transporteinheit (T_n) zusammenwirkenden Antriebsspule (7, 8) als Stromraumvektor mit einer vortriebskraftbildenden Stromkomponente (i_{Aq}) und einer seitenkraftbildenden Stromkomponente (i_{Ad}) eingepreßt wird, und der Statorstrom (i_A) eine vortriebskraftbildende elektromagnetische Kraftkomponente (F_{EMV}) und/oder seitenkraftbildende elektromagnetische Kraftkomponente (F_{EMS}) erzeugt, die zur Erzeugung einer Lenkwirkung (L) der auf die Transporteinheit (T_n) wirkenden Vortriebskraft (F_V) überlagert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass an beiden Seiten der Transporteinheit (T_n) eine die Vortriebskraft (F_V) überlagernde, vortriebskraftbildende elektromagnetische Kraftkomponente (F_{EMV}) und/oder seitenkraftbildende elektromagnetische Kraftkomponente (F_{EMS}) erzeugt wird.
3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass an beiden Seiten der Transporteinheit (T_n) gleichgerichtete seitenkraftbildende elektromagnetische Kraftkomponenten (F_{EMS}) erzeugt werden.
4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Vortriebskraft (F_V) der Transporteinheit (T_n) durch Positionsvorgabe geregelt wird und die Positionsvorgabe an zumindest einer Seite der Transporteinheit (T_n) durch eine Modifikationsgröße (Δs) modifiziert wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Modifikationsgröße (Δs) an beiden Seiten der Transporteinheit (T_n) mit gleichem Betrag und unterschiedlichen Vorzeichen vorgegeben wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einer Segmentregelungseinheit (11) ein Lenkregler (RL) und ein Positionsregler (RP) implementiert werden, dass der Lenkregler (RL) einen Flussfehler (e_ψ) als Differenz aus einem Sollfluss (ψ_{soll}) und einem Istfluss (ψ_{ist}) ausregelt und dazu die seitenkraftbildende Stromkomponente (i_{Ad}) des Statorstromes (i_A) ermittelt und dass der Positionsregler (RP) einen Positionsfehler (e_s), der sich als Differenz aus einer Sollposition (s_{soll}) und einer Istposition (s_{ist}) ergibt, ausregelt und dazu die vortriebskraftbildende Stromkomponente (i_{Aq}) des Statorstromes (i_A) ermittelt.
7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass in einer Segmentregelungseinheit (11) ein Lenkregler (RL) und ein Positionsregler (RP) implementiert werden, dass der Lenkregler (RL) einen Flussfehler (e_v) als Differenz aus einem Sollfluss (ψ_{soll}) und einem Istfluss (ψ_{ist}) ausregelt und dazu eine Modifikationsgröße (Δs) ermittelt und dass der Positionsregler (RP) einen Positionsfehler (e_s), der sich als Differenz aus einer Sollposition (s_{soll}) und einer Istposition (s_{ist}) ergibt und in den die Modifikationsgröße (Δs) eingeht, ausregelt und dazu die vortriebskraftbildende Stromkomponente (i_{Aq}) des Statorstromes (i_A) ermittelt.

8. Langstatorlinearmotor mit einer Übergabeposition (U) von einem ersten Transportabschnitt (Am), mit einer Anzahl von in Bewegungsrichtung der Transporteinheit (Tn) hintereinander angeordneten Antriebsspulen (7, 8) im Bereich der Übergabeposition (U), an einen zweiten Transportabschnitt (An), mit einer Anzahl von in Bewegungsrichtung der Transporteinheit (Tn) hintereinander angeordneten Antriebsspulen (7, 8) im Bereich der Übergabeposition (U), wobei an jeder Seite der Transporteinheit (Tn) Erregungsmagnete (4, 5) angeordnet sind, die mit Antriebsspulen (7, 8) im Bereich der Transporteinheit (Tn) zusammenwirken, wobei zur Bewegung der Transporteinheit (Tn) Antriebsspulen (7, 8) im Bereich der Transporteinheit (Tn) jeweils durch einen Statorstrom (i_A) zur Erzeugung eines magnetischen Flusses (ψ), der eine auf die Transporteinheit (Tn) wirkende Vortriebskraft (F_V) erzeugt, bestromt werden, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Segmentregelungseinheit (11) vorgesehen ist, in der eine Regelung implementiert ist, die an zumindest einer Seite der Transporteinheit (Tn) einer Antriebsspule (7, 8), die mit einem Erregungsmagneten (4, 5) der Transporteinheit (Tn) zusammenwirkt, einen Statorstrom (i_A) als Stromraumvektor einprägt, wobei der Statorstrom eine vortriebskraftbildende Stromkomponente (i_{Aq}) und eine seitenkraftbildende Stromkomponente (i_{Ad}) enthält, und der Statorstrom (i_A) eine vortriebskraftbildende elektromagnetische Kraftkomponente (F_{EMV}) und/oder seitenkraftbildende elektromagnetische Kraftkomponente (F_{EMS}) erzeugt, die zur Erzeugung einer Lenkwirkung (L) der auf die Transporteinheit (Tn) wirkenden Vortriebskraft (F_V) überlagert wird.
9. Langstatorlinearmotor nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Segmentregelungseinheit (11) ein Lenkregler (RL) und ein Positionsregler (RP) implementiert sind, dass der Lenkregler (RL) einen Flussfehler (e_ψ) als Differenz aus einem Sollfluss (ψ_{soll}) und einem Istfluss (ψ_{ist}) ausregelt und dazu die seitenkraftbildende Stromkomponente (i_{Ad}) des Statorstromes (i_A) ermittelt und dass der Positionsregler (RP) einen Positionsfehler (e_s), der sich als Differenz aus einer Sollposition (s_{soll}) und einer Istposition (s_{ist}) ergibt, ausregelt und dazu die vortriebskraftbildende Stromkomponente (i_{Aq}) des Statorstromes (i_A) ermittelt.
10. Langstatorlinearmotor nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass in der Segmentregelungseinheit (11) ein Lenkregler (RL) und ein Positionsregler (RP) implementiert sind, dass der Lenkregler (RL) einen Flussfehler (e_ψ) als Differenz aus einem Sollfluss (ψ_{soll}) und einem Istfluss (ψ_{ist}) ausregelt und dazu eine Modifikationsgröße (Δs) ermittelt und dass der Positionsregler (RP) einen Positionsfehler (e_s), der sich als Differenz aus einer Sollposition (s_{soll}) und einer Istposition (s_{ist}) ergibt und in den die Modifikationsgröße (Δs) eingeht, ausregelt und dazu die vortriebskraftbildende Stromkomponente (i_{Aq}) des Statorstromes (i_A) ermittelt.

Hierzu 7 Blatt Zeichnungen

1/7

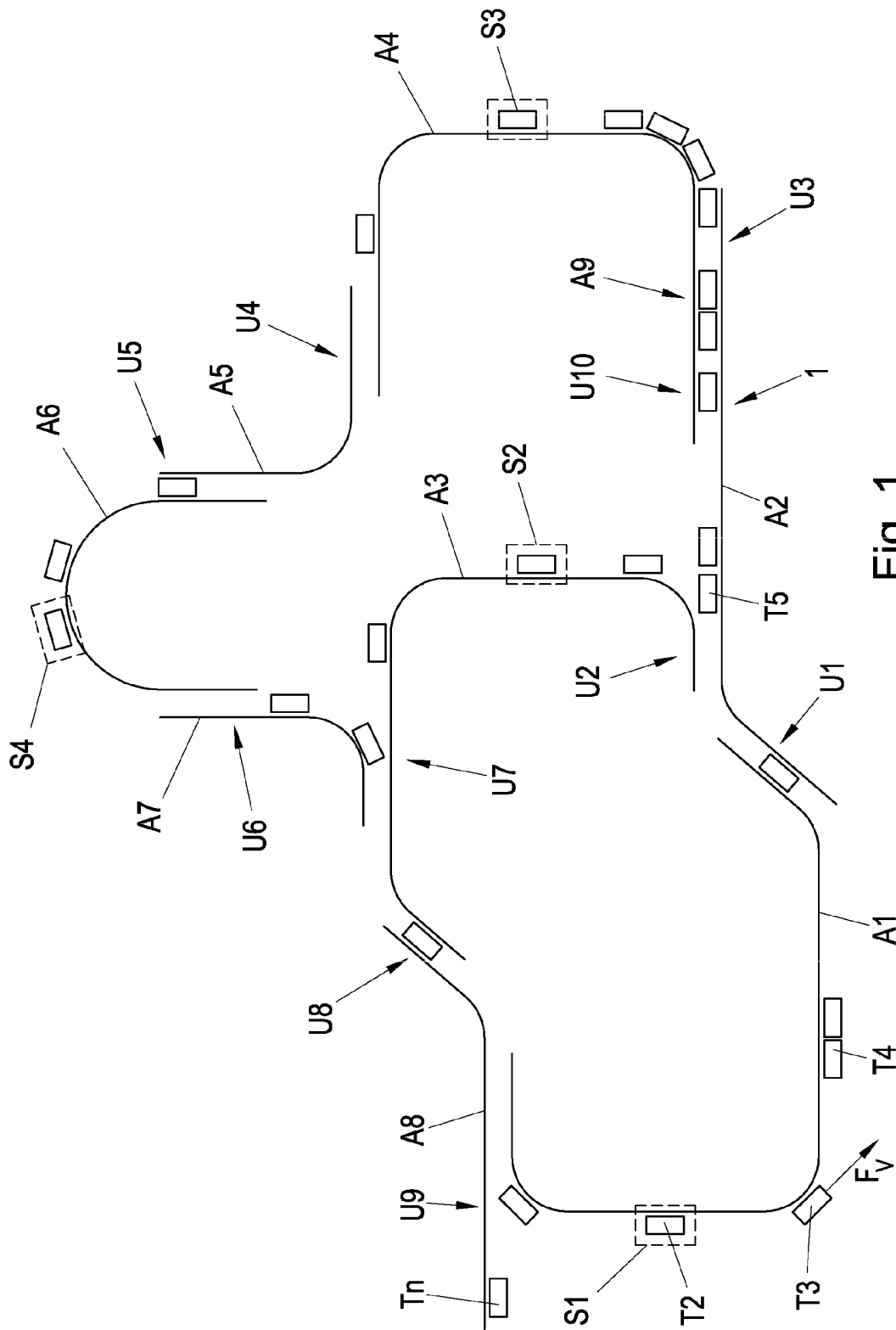


Fig. 1

2/7

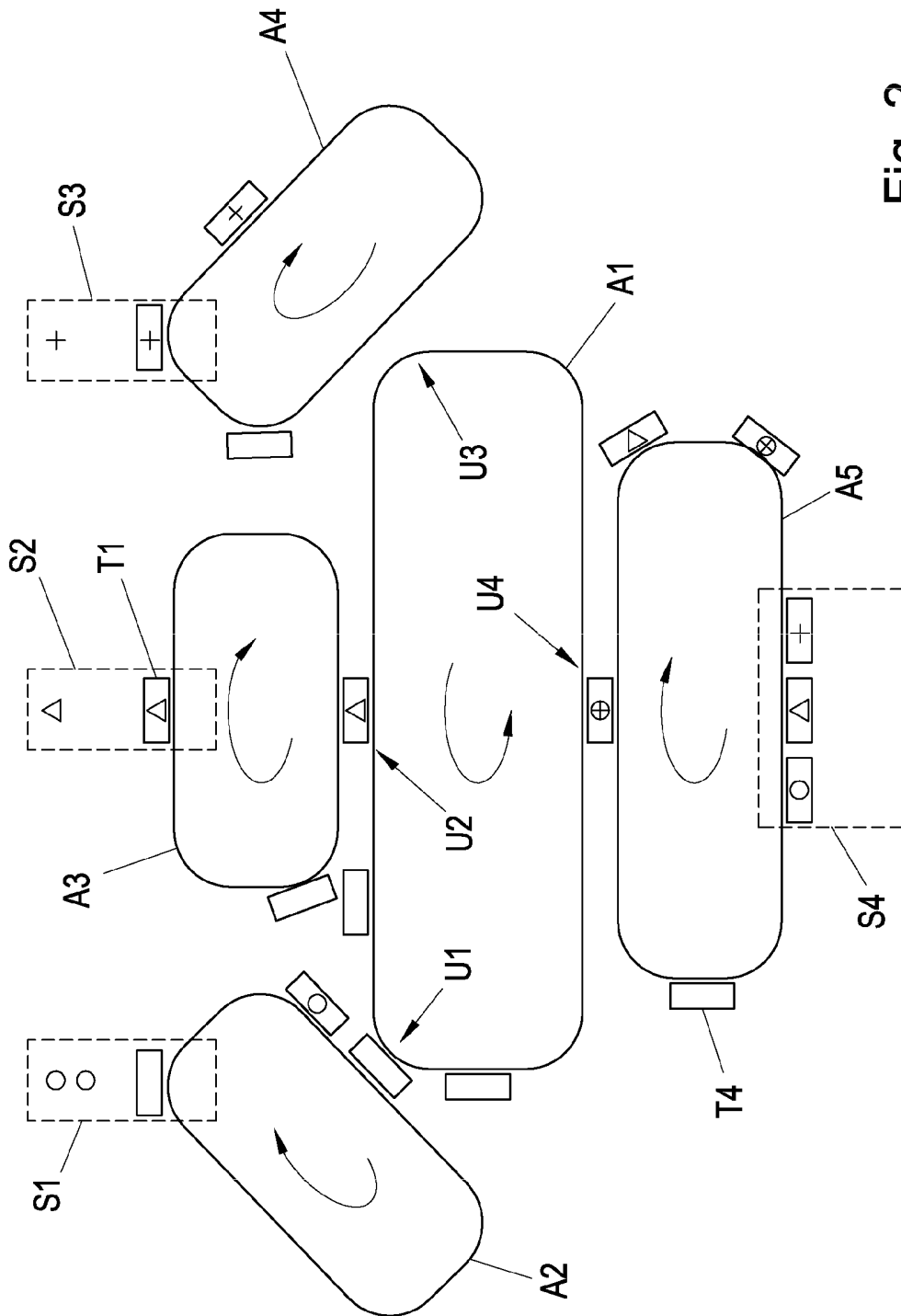


Fig. 2

3/7

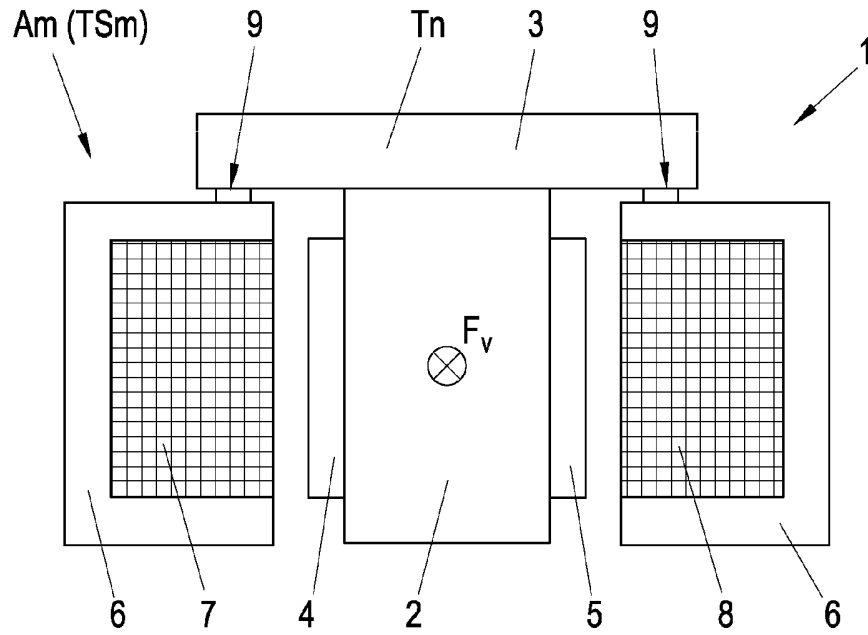


Fig. 3

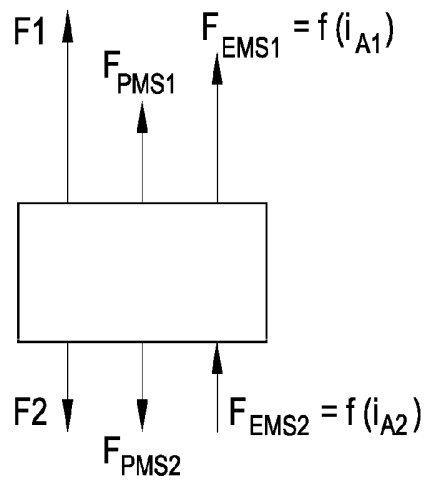


Fig. 5

4/7

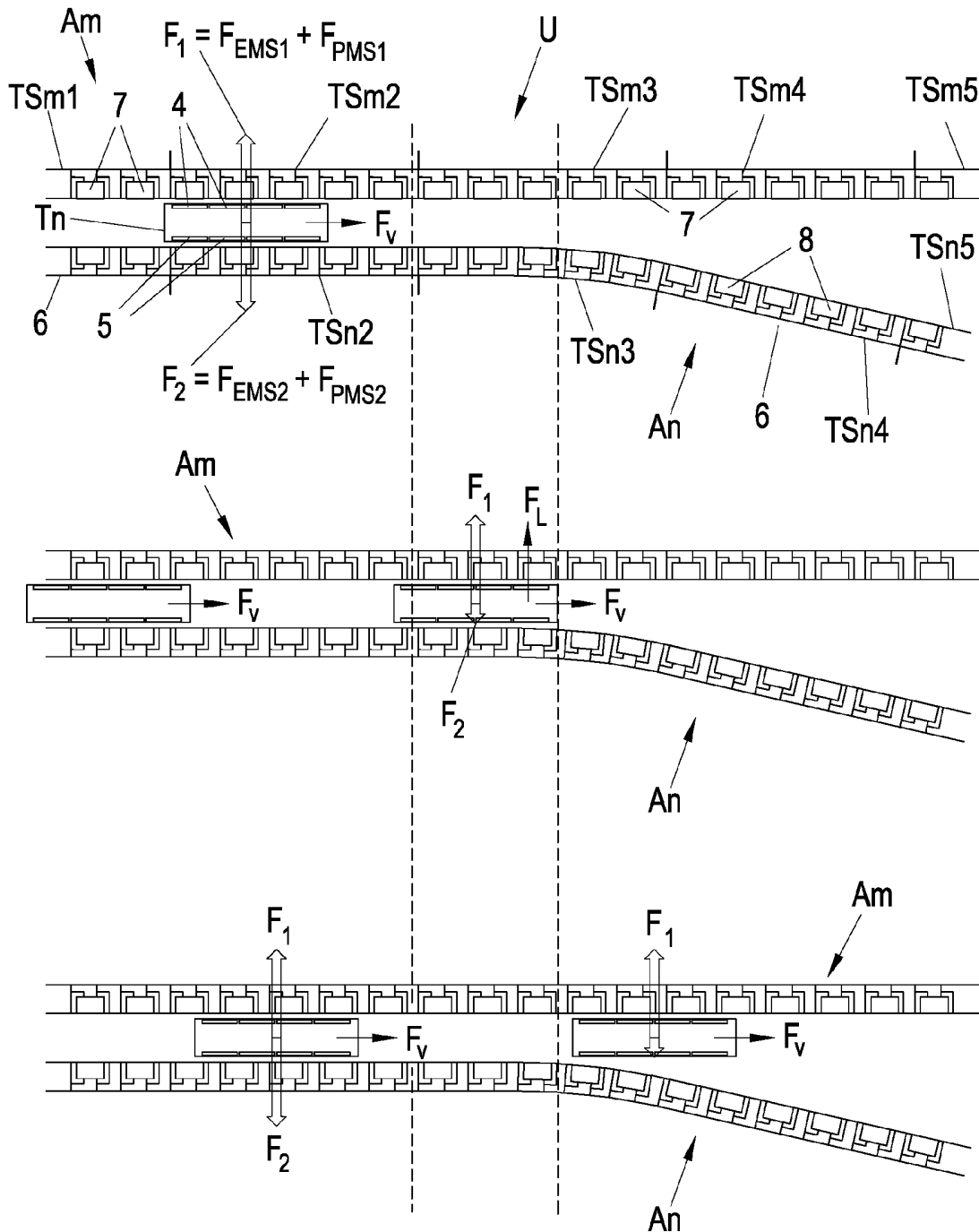


Fig. 4

5/7

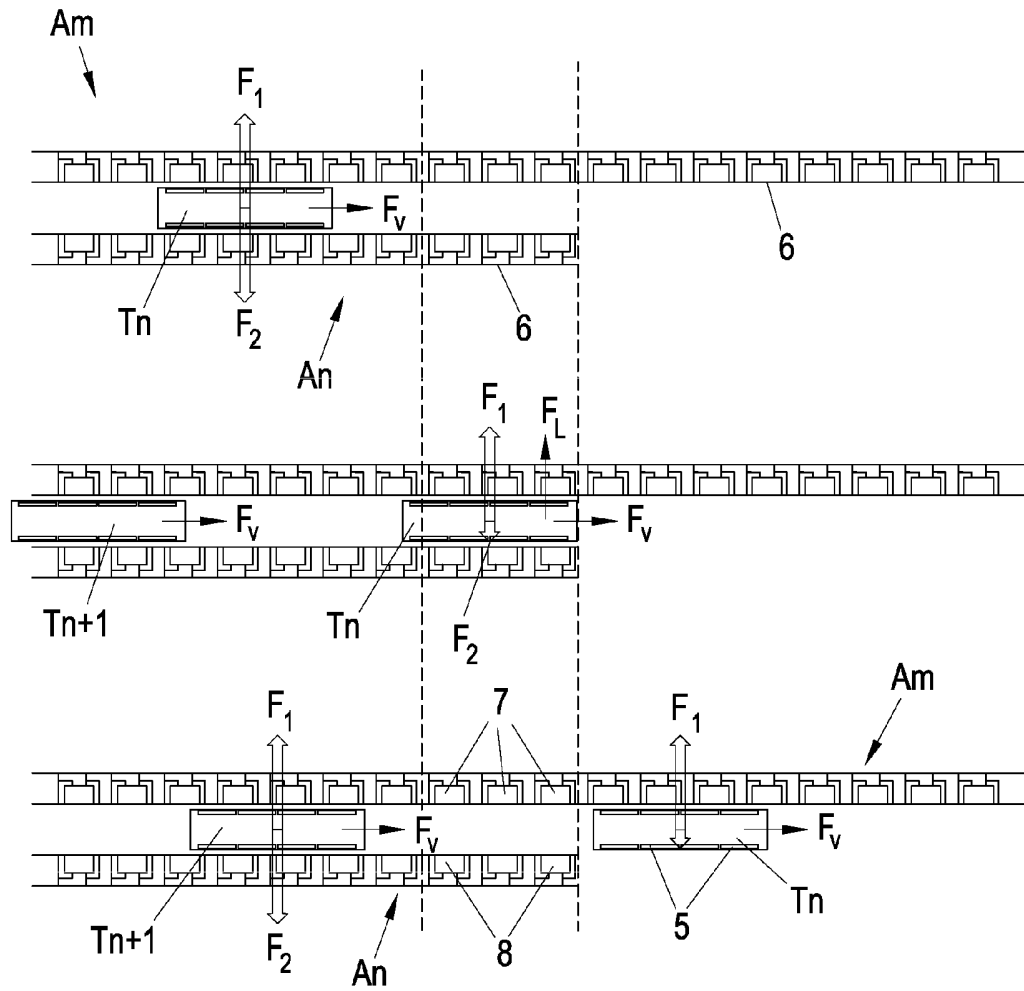


Fig. 6

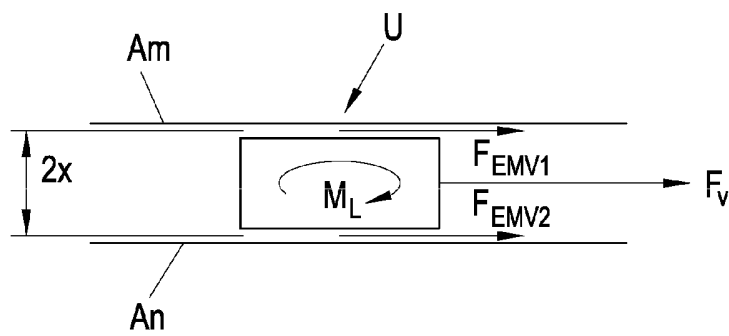


Fig. 7

6/7

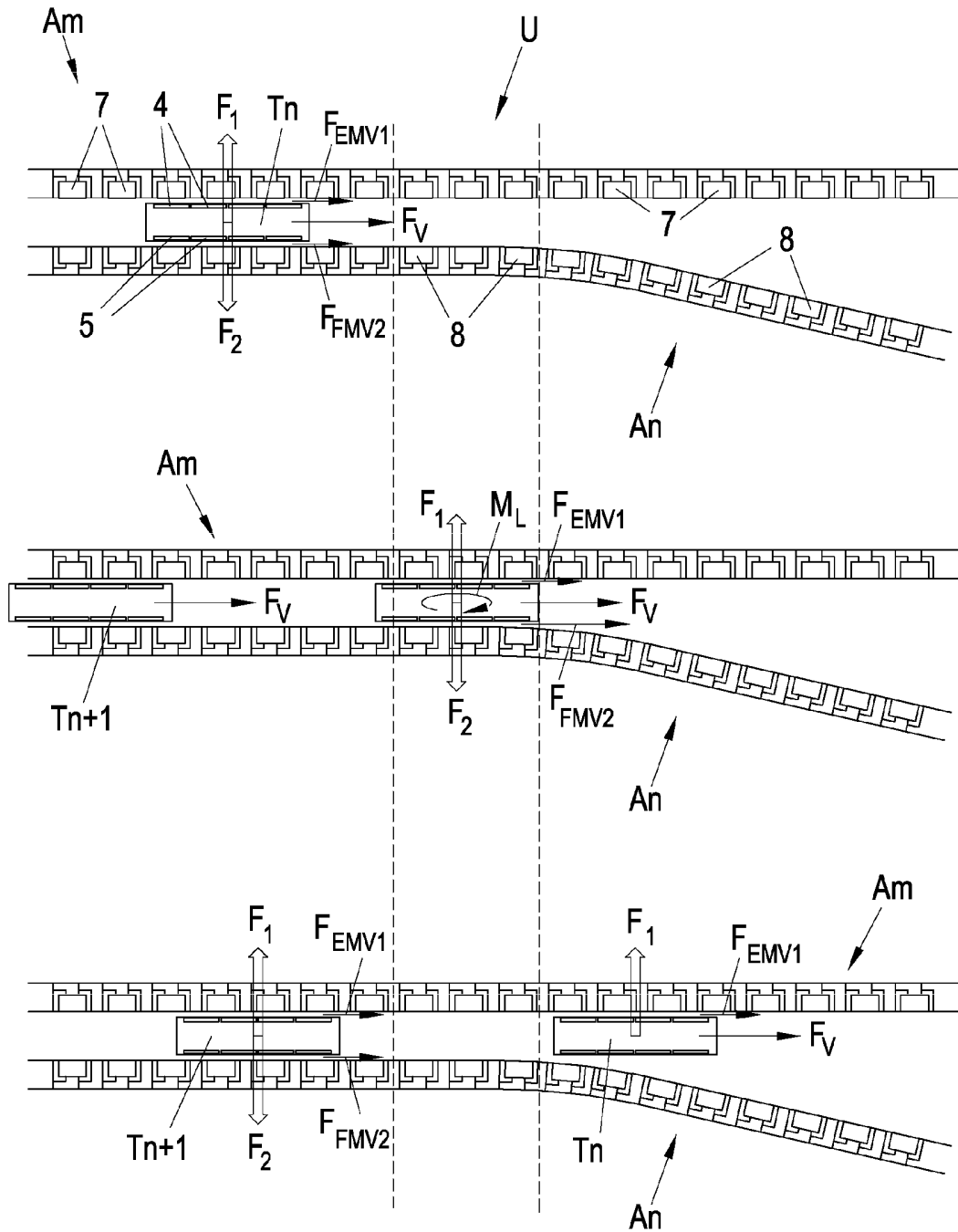


Fig. 8

