

Verfahren zum energieoptimierten Betrieb eines flurgebundenen und auf Gummireifen verfahrbaren Schwerlast-Transportfahrzeugs mit einem elektrischen Fährantrieb

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Betrieb eines flurgebundenen Schwerlast-
5 Transportfahrzeuges, insbesondere eines fahrerlosen Schwerlast-
Transportfahrzeuges, mit einem elektrischen Fährantrieb, der mindestens zwei
Elektromotoren umfasst.

Aus dem aktuellen Prospekt der Gottwald Port Technology GmbH mit dem Titel
10 „Gottwald Lift AGV“ ist ein flurgebundenen und fahrerloses Schwerlast-
Transportfahrzeug für ISO-Container bekannt. Das Schwerlast-Transportfahrzeug hat
ein Leergewicht von etwa 34 t und eine Nutzlast von 60 t, so dass im
Beladungszustand ein Gesamtgewicht von etwa 94 t erreicht wird. Das als
Vierradfahrzeug ausgebildete Transportfahrzeug besteht im Wesentlichen aus einem
15 Fahrzeugrahmen mit einer Vorder- und einer Hinterachse, an deren gegenüber
liegenden Ende jeweils ein bereiftes Rad gelagert ist. Von dem Fahrzeugrahmen wird
eine ebene, heb- und senkbare Plattform getragen, die zur Aufnahme der zu
transportierenden ISO-Container dient. Das Schwerlast-Transportfahrzeug wird von
einem dieselektrischen Antrieb mit einem Verbrennungsmotor, einem
20 Drehstromgenerator und einem ersten Elektromotor und einem zweiten Elektromotor
angetrieben. Der erste Elektromotor treibt die Vorderachse und der zweite
Elektromotor die Hinterachse an. Zwischen der Vorderachse und der Hinterachse
sowie unter dem Fahrzeugrahmen ist Raum für die Aufhängung von Schaltschränken
und die Anordnung des Verbrennungsmotors vorhanden.

25 Hiervon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zu Grunde, bei
einem flurgebundenen Schwerlast-Transportfahrzeug den Gesamtwirkungsgrad des
elektrischen Fährantriebs, insbesondere des gesamten Antriebstranges, zu
verbessern.

30 Erfindungsgemäß wird bei einem Verfahren zum Betrieb eines flurgebundenen und
auf Gummireifen verfahrbaren Schwerlast-Transportfahrzeuges, insbesondere eines
fahrerlosen Schwerlast-Transportfahrzeuges, mit einem elektrischen Fährantrieb, der
mindestens zwei Elektromotoren umfasst, eine Verbesserung des
35 Gesamtwirkungsgrades des elektrischen Fährantriebs dadurch erreicht, dass über

- eine Antriebssteuerung die mindestens zwei Elektromotoren kennfeldoptimiert den Betriebsbedingungen des Schwerlast-Transportfahrzeuges und dessen Leistungsanforderung folgend betrieben werden. Durch die kennfeldoptimierte Ansteuerung wird der Energieverbrauch des elektrischen Fährantriebs deutlich
- 5 gesenkt. Durch die vorliegende Erfindung wird insbesondere vermieden, dass die Elektromotoren der Schwerlast-Transportfahrzeuges, die auf maximale Leistung für den Betrieb im beladenen Zustand ausgelegt sind, häufig nur mit geringen Leistungsanforderungen betrieben werden.
- 10 Im Zusammenhang mit der vorliegenden Erfindung wird bevorzugt unter einem Schwerlast-Transportfahrzeug ein Fahrzeug verstanden, dessen Nutzlast je Achsline größer oder gleich 10t ist. Derartige Schwerlast-Transportfahrzeuge sind insbesondere für den Transport von ISO-Containern geeignet.
- 15 In vorteilhafter Weise ist vorgesehen, dass über die Antriebssteuerung mindestens einer der mindestens zwei Elektromotoren in Abhängigkeit von den gegebenen Betriebsbedingungen des Schwerlast-Transportfahrzeuges und dessen Leistungsanforderung während des laufenden Betriebes zu- und abgeschaltet wird. Hierdurch wird eine weitere Verbesserung des Gesamtwirkungsgrades des
- 20 elektrischen Fährantriebs erreicht.
- Im Zusammenhang mit der Kennfeldansteuerung sind die Elektromotoren als Drehstrommotoren, insbesondere als Asynchronmotoren, ausgebildet, die über Wechselrichter mit Vektorregelung oder DTC (direct torque control) angesteuert
- 25 werden.
- Besonders vorteilhaft ist, dass über die Antriebssteuerung und die Wechselrichter die Beschleunigung, die Drehzahl und der Wirk- und Blindstrom der Elektromotoren erfasst werden und dadurch die Belastung der Elektromotoren bestimmt wird.
- 30 In besonderer Ausgestaltung ist vorgesehen, dass bei einem Parallelbetrieb der Elektromotoren und einer Feststellung einer Belastung der Elektromotoren unter einer vorgegebenen Mindestbelastung mindestens einer der Elektromotoren abgeschaltet wird sowie dass bei einem Minderbetrieb der Elektromotoren und einer Feststellung
- 35 einer Belastung der Elektromotoren über eine vorgegebene Maximalbelastung der im

Betrieb befindlichen Elektromotoren mindestens ein weiterer sich in einem Schleppbetrieb befindlicher Elektromotor zugeschaltet wird.

Um den gesamten Antriebsstrang mit möglichst geringen Drehmomentstößen zu belasten, ist vorgesehen, dass ein Zu- und/oder Abschalten der Elektromotoren über die Antriebssteuerung mit einem kontrollierten Momentenübergang zwischen den Elektromotoren gesteuert wird. Hierdurch wird auch das Fahrverhalten des Schwerlast-Transportfahrzeuges nicht negativ beeinflusst und ein stetiger Fährantrieb bleibt gewährleistet.

In besonders vorteilhafter Ausgestaltung ist vorgesehen, dass vor Zuschalten der Elektromotoren die Drehzahl- und/oder Phasenlage der in Minderbetrieb befindlichen Elektromotoren erfasst wird und die Drehzahl- und/oder Phasenlage des zu zuschaltenden Elektromotors hierauf abgestimmt wird.

In einer ersten alternativen Ausgestaltung ist vorgesehen, dass der elektrische Fährantrieb als dieselelektrischer Fährantrieb ausgebildet ist, der einen Verbrennungsmotor und einen Drehstromgenerator umfasst.

In einer hierzu alternativen zweiten Ausgestaltung ist vorgesehen, dass der elektrische Fährantrieb als batterieelektrischer Fährantrieb ausgebildet ist, der eine Traktionsbatterie umfasst.

Nachfolgend wird die Erfindung an Hand eines in einer Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiels näher beschrieben. Es zeigen:

Figur 1 eine schematische Ansicht eines flurgebundenen, auf Gummireifen verfahrenen und fahrerlosen Schwerlast-Transportfahrzeuges von unten und

Figur 2 ein Blockschaltbild eines dieselelektrischen oder batterieelektrischen

Fährantriebs des Schwerlast-Transportfahrzeuges nach Figur 1 und

Figur 3 ein Kennfeld des Wirkungsgrades eines der Elektromotoren des Schwerlast-Transportfahrzeuges gemäß Figur 1.

Die Figur 1 zeigt eine schematische Ansicht eines flurgebundenen, auf Gummireifen verfahrenen und fahrerlosen Schwerlast-Transportfahrzeuges 1. Das als

Vierradfahrzeug ausgebildete Transportfahrzeug 1 besteht im Wesentlichen aus einem Fahrzeugrahmen 2, an dem auf einer gemeinsamen Vorderachse 3a zwei vordere Räder 4a und auf einer gemeinsamen Hinterachse 3b zwei hintere Räder 4b gelagert sind. Die vier Räder 4a, 4b sind mit einer Bereifung, insbesondere luftbefüllten Gummibereifung, versehen. Von dem Fahrzeugrahmen 2 wird eine ebene Plattform getragen, die zur Aufnahme der zu transportierenden Lasten dient. Hierbei ist das Schwerlast-Transportfahrzeug 1 so ausgelegt, dass je Achsline des Schwerlast-Fahrzeugs 1 zu transportierende Lasten mit einem Gewicht von größer oder gleich 10 t transportiert werden können. Es ist selbstverständlich, dass das Schwerlast-Transportfahrzeug 1 mehr als die nur zwei gezeigten Achsen (3a, 3b) aufweisen kann, von denen alle oder ein Teil angetrieben sein können.

Es ist ersichtlich, dass in Längsrichtung L des Schwerlast-Transportfahrzeuges 1 gesehen an dem Fahrzeugrahmen 2 und zwischen der Vorderachse 3a und der Hinterachse 3b eine Energieversorgungseinheit 5 angeordnet ist, die als dieselektrischer Antrieb mit einem Verbrennungsmotor ausgebildet sein kann, und einen ersten vorderen Elektromotor 6a und einem zweiten hinteren Elektromotor 6b mit Energie versorgt. Der vordere Elektromotor 6a ist in Längsrichtung L des Schwerlast-Transportfahrzeuges 1 gesehen zentral und im Bereich der Vorderachse 3a unter dem Fahrzeugrahmen 2 befestigt und treibt ausgangsseitig über ein erstes vorderes Verteilgetriebe 3c die beiden vorderen Räder 4a an. Der hintere Elektromotor 6b ist in Längsrichtung L des Schwerlast-Transportfahrzeuges 1 gesehen ebenfalls zentral und im Bereich der Hinterachse 3b unter dem Fahrzeugrahmen 2 befestigt und treibt ausgangsseitig über ein zweites hinteres Verteilgetriebe 3d die beiden hinteren Räder 4b an.

Unter einer ist entweder mit einem Verbrennungsmotor, einem Drehstromgenerator und einem Generatorsteller zu verstehen oder batterieelektrischer Antrieb mit einer Traktionsbatterie.

30

Bei einer Ausgestaltung der Energieversorgungseinheit 5 als dieselektrischer Antrieb ist ein Verbrennungsmotor 6a, insbesondere Dieselmotor, vorgesehen, dessen erzeugte mechanische Energie mit Hilfe eines Drehstromgenerators und eines Generatorstellers, in elektrische Energie in Form eines Gleichstroms umgewandelt. Der Generatorsteller ist hier ein sogenannter Hochsetzsteller.

35

Außerdem ist ersichtlich, dass zwischen der Vorderachse 3a und der Hinterachse 3b Raum für die Aufhängung von Schaltschränken 7 unter dem Fahrzeugrahmen 2 vorhanden ist, um Steuerungskomponenten aufzunehmen.

5

Die Figur 2 zeigt ein Blockschaltbild des dieselektrischen oder batterieelektrischen Fahrentriebs des Schwerlast-Transportfahrzeuges 1 nach Figur 1.

Die Energieversorgungseinheit 5 stellt die benötigte elektrische Energie in Form einer Gleichspannung dem Antriebsstrang zur Verfügung. Als Antriebsstrang werden alle Komponenten des Schwerlast-Transportfahrzeuges 1 verstanden, welche das Drehmoment von den Elektromotoren 6a, 6b auf die Straße übertragen. An dem Gleichspannungszwischenkreis 8 sind über je einen Wechselrichter 10a, 10b die angeschlossenen, über den drehzahlregelt betrieben werden. Die Elektromotoren 6a, 6b sind als Drehstrommotoren, insbesondere als Asynchronmotoren, ausgebildet, die mittels der Wechselrichter 10a, 10b vektor geregelt angesteuert werden.

Von den Elektromotoren 6a, 6b wird dann die elektrische Energie in mechanische Antriebsenergie zum Vortrieb des Schwerlast-Transportfahrzeuges 1 umgewandelt. Die ersten und zweiten Elektromotoren 6a, 6b sind über einen ersten Wechselrichter 10a und einen zweiten Wechselrichter 10b an den Gleichspannungsspannungskreis 8 angeschlossen. Über die ersten und zweiten Wechselrichter 10a, 10b kann die Frequenz und die Spannung und somit die Drehzahl und das Moment für den ersten Elektromotor 6a und den zweiten Elektromotor 6b der jeweiligen Fahrsituation angepasst werden. Hierdurch kann die Energieübertragung von der Energieversorgungseinheit 5 zu den beiden Elektromotoren 6a, 6b elektronisch gesteuert werden. Hierfür sind die beiden Elektromotoren 6a, 6b und die jeweils zugeordneten beiden Wechselrichter 10a, 10b jeweils steuerungstechnisch mit einer übergeordneten Antriebssteuerung 11 verbunden.

30

Das Schwerlast-Transportfahrzeug 1 wird auch über die beiden Elektromotoren 6a, 6b abgebremst. Die von den beiden Elektromotoren 6a, 6b in den Gleichspannungskreis 8 beim Bremsen zurück gespeiste Energie, wird in einen an den Wechselspannungskreis 8 angeschlossenen Bremschopper und Bremswiderständen 9 geleitet und in Wärme umgewandelt und somit vernichtet.

35

Wie zuvor ausgeführt sind die beiden Elektromotoren 6a, 6b als Drehstrommotoren, insbesondere als Asynchronmotoren, ausgebildet, die über die Wechselrichter 10a, 10b vektor geregelt angesteuert werden. Alle Elektromotoren 6a, 6b werden drehzahl- und momentengeregt betrieben. Die Drehzahl der Elektromotoren 6a, 6b wird
5 entsprechend der geforderten Fahrgeschwindigkeit nachgeführt. Je nach Betriebszustand des Schwerlast-Transportfahrzeug 1, d.h. beispielsweise Leerfahrt, Fahrt mit geringer Beladung oder Fahrt mit Maximalbeladung, Steigungsfahrt, Gefällefahrt oder Kurvenfahrt, werden über die Antriebssteuerung 11 die beiden
10 Wechselrichter 10a, 10b so angesteuert, dass die beiden Elektromotoren 6a, 6b entsprechend ihrem Kennfeld ein ausreichendes Drehmoment zur Verfügung stellen. Bei einem Schwerlast-Transportfahrzeug 1 liegt ein hohes Massenverhältnis von maximal beladenem Schwerlast-Transportfahrzeug 1 zu einem leeren Schwerlast-Transportfahrzeug 1 vor, das ca. 3,5 beträgt. Durch diese verschiedenen
15 Betriebszustände variieren die Leistungs- und Drehmomentanforderungen an die beiden Elektromotoren 6a, 6b sehr stark und es wird nur gelegentlich die Maximalleistung der beiden Elektromotoren 6a, 6b benötigt.

Daher ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die beiden Elektromotoren 6a, 6b
20 mittels der Antriebssteuerung 11 und den den jeweiligen Elektromotoren 6a, 6b zugeordneten Wechselrichtern 10a, 10b kennfeldoptimiert angesteuert werden. Hierbei werden die Elektromotoren 6a, 6b, sofern beide Elektromotoren 6a, 6b im Dualbetrieb beziehungsweise bei mehr als zwei Elektromotoren 6b, 6c in einem Mehrfachbetrieb sind, gleich ausgelastet. Im Rahmen dieser kennfeldoptimierten
25 Ansteuerung ist vorgesehen, dass in Betriebszuständen mit geringer Belastung des Schwerlast-Transportfahrzeuges 1 – wie beispielsweise bei einer Leerfahrt – einer der beiden Elektromotoren 6a, 6b während des laufenden Betriebes abgeschaltet wird. Durch Abschaltung einer der beiden Elektromotoren 6a, 6b ergibt sich etwa eine doppelt so hohe Belastung des antreibenden der beiden Elektromotoren 6a, 6b,
30 dessen Leistung für den Betrieb bei geringerer Leistungsanforderung, hier die Leerfahrt, ausreichend ist. Über die Abschaltung eines der beiden Elektromotoren 6a, 6b kann Energie eingespart werden, ohne den Fahrbetrieb des Schwerlast-Transportfahrzeuges 1 negativ zu beeinflussen. In Bezug auf den in Betrieb verbleibenden Elektromotor 6a, 6b ergibt sich vorteilhafter Weise eine Verschiebung
35 seines Arbeitspunkts in Richtung eines höheren Drehmoments bei gleicher Drehzahl,

was zu einem höheren Wirkungsgrad führt. Durch die Abschaltung eines der beiden Elektromotoren 6a, 6b wird der Energieverbrauch des Schwerlast-Transportfahrzeuges 1 deutlich gesenkt.

- 5 Die kennfeldoptimierte Ansteuerung der beiden Elektromotoren 6a, 6b erfolgt über die Antriebssteuerung 11, die hierzu über eine Master-Antriebschaltung 11a und eine Slave-Antriebschaltung 11b verfügt. Die Master-Antriebschaltung 11a ist dem ersten Elektromotor 6a zugeordnet und wird als „Master“ bezeichnet, da der zugeordnete Elektromotor 6a während des Fahrbetriebes nicht abgeschaltet wird. Entsprechender
- 10 Weise wird die dem abzuschaltenden Elektromotor 6b zugeordnete Slave-Antriebschaltung 11b als „Slave“ bezeichnet. Grundsätzlich ist es auch möglich, um die Elektromotoren 6a, 6b ausgeglichen zu belasten, die Master- und Slave-Funktionen nach einem vorher bestimmten Muster zu wechseln. Die Master-Antriebschaltung 11a und auch die Slave-Antriebschaltung 11b überwachen den
- 15 jeweils zugeordneten Elektromotor 6a, 6b oder dessen Wechselrichter 10a, 10b über entsprechende erste Sensoren 12a und zweite Sensoren 12b. Über die ersten und zweiten Sensoren 12a, 12b werden die Drehzahlen der Elektromotoren 6a, 6b erfasst. Die Erfassung von Strom, Beschleunigung und/oder Drehmoment der Elektromotoren 6a, 6b erfolgt über die Wechselrichter 10a, 10b. An Hand der Messdaten wird in der
- 20 Master-Antriebschaltung 11a und der Slave-Antriebschaltung 11b eine Auslastung des jeweiligen ersten beziehungsweise zweiten Elektromotors 6a, 6b bestimmt.

- Sollte in der Slave-Antriebschaltung 11b eine Auslastung bestimmt werden, die unter einer voreingestellten Mindest-Auslastung liegt, wird dies dem Wechselrichter 10a
- 25 gemeldet und der zweite Elektromotor 6b über eine in der Slave-Antriebschaltung 11b integrierte Abschalt-Logik ausgeschaltet. Hierfür werden die Impulse zu dem zweiten Wechselrichter 10b gesperrt und somit wird der zweite Elektromotor 6b stromlos in einem sogenannten Schleppbetrieb mitgeschleppt.

- 30 Um zu verhindern, dass durch das Zu- oder Abschalten einer der Elektromotoren 6a, 6b, der Antriebsstrang oder die Antriebssteuerung 11 mit einem Momentenstoss belastet werden, ist vorgesehen, dass die Antriebssteuerung 11 das Abschalten des zweiten Elektromotors 6b mit einem kontrollierten Momentenübergang von dem abzuschaltenden zweiten Elektromotor 6b auf den höher zu beanspruchenden ersten
- 35 Elektromotor 6a steuert. Der abzuschaltende zweite Elektromotor 6b gibt dadurch

seinen Leistungsanteil langsam ab und der höher zu beanspruchende erste Elektromotor 6a übernimmt diesen Leistungsanteil bis der zweite Elektromotor 6b schlussendlich stromlos im Schleppbetrieb mitläuft.

5 Für den Fall, dass sich der erste Elektromotor 6a im Alleinbetrieb befindet beziehungsweise bei mehr als zwei Elektromotoren 6a, 6b nur ein Teil der Elektromotoren sich in einem Minderbetrieb befinden und in der Master-Antriebschaltung 11a eine Auslastung bestimmt wird, die über einer voreingestellten Maximal-Auslastung des ersten Elektromotors 6a im Alleinbetrieb oder der Teil der
10 Elektromotoren im Minderbetrieb liegt, wird dies dem ersten Wechselrichter 10a gemeldet und der zweite Elektromotor 6b über die Slave-Antriebschaltung 11b wieder eingeschaltet. Hierfür werden die Impulse des zweiten Wechselrichters 10b wieder frei gegeben und somit läuft der zweite Elektromotor 6b wieder an, so dass wieder beide Elektromotoren 6a, 6b im Dualbetrieb gleichberechtigt das Schwerlast-
15 Transportfahrzeug 1 antreiben. Eine derartige erhöhte Auslastung kann dadurch zustande kommen, dass das Schwerlast-Transportfahrzeug 1 eine Last aufnimmt. Der Leistungsbedarf an den ersten Elektromotor 6a im Alleinbetrieb steigt dadurch und der Arbeitspunkt des ersten Elektromotors 6a könnte sich zum Einen aus dem optimalen Wirkungsgradbereich im Kennfeld heraus bewegen und zum Anderen
20 könnte er im Extremfall an seine maximale Leistungsgrenze kommen. Das wird erfindungsgemäß kompensiert, indem durch Zuschaltung des stromlos geschalteten zweiten Elektromotor 6b der Arbeitspunkt der beiden Elektromotoren 6a, 6b im kombinierten Kennfeld wieder in einen optimalen Wirkungsgradbereich zurückgeführt wird.

25 Damit durch das Zuschalten des zweiten Elektromotors 6b die Energieversorgungseinheit 5 und/oder der erste Elektromotor 6a nicht schlagartig belastet werden, ist vorgesehen, dass die Antriebssteuerung 11 das Zuschalten des zweiten Elektromotors 6b mit einem kontrollierten Momentenübergang von dem sich
30 im Alleinbetrieb befindlichen ersten Elektromotor 6a auf den zweiten zuzuschaltenden Elektromotor 6b steuert. Der sich im Alleinbetrieb befindliche erste Elektromotor 6a gibt dadurch seinen Leistungsanteil langsam ab und der zuzuschaltende zweite Elektromotor 6b übernimmt diesen Leistungsanteil bis der erste Elektromotor 6a schlussendlich gleichberechtigt antreibt. Außerdem wird beim Zuschalten des
35 stromlosen zweiten Elektromotors 6b eine Entstehung von phasenoppositionellen

Kurzschlussströmen vermieden, indem vor dem Zuschalten des stromlosen zweiten Elektromotors 6d dessen Drehzahl und/oder Phasenlage erfasst und mit Freigabe der Impuls des zweiten Wechselrichters 10b berücksichtigt wird. Zudem wird bei Zuschaltung des zweiten Elektromotors 6b Gleichlauf mit dem im Alleinbetrieb
5 befindlichen ersten Elektromotor 6a geachtet und auf seine Beibehaltung.

Die Figur 3 zeigt beispielhaft ein Wirkungsgradkennfeld der in diesem Fall baugleichen Elektromotoren 6a, 6b eines als Vierradfahrzeug ausgebildeten Schwerlast-Transportfahrzeuges 1 mit zwei Achslinien und zwei Elektromotoren 6a, 6b für den Fahrentrieb. Das Kennfeld zeigt den Wirkungsgrad η des Elektromotors 6a, 6b in Abhängigkeit von seiner Drehzahl in Umdrehungen pro Minute [1/min], die auf
10 der x-Achse aufgetragen ist, und von seinem Drehmoment in Newtonmeter [Nm], das auf der y-Achse aufgetragen ist. Anhand eines Beispiels, das den Betrieb des Schwerlast-Transportfahrzeuges 1 mit einem Elektromotor 6a mit einem Betrieb des Schwerlast-Transportfahrzeuges 1 mit zwei Elektromotoren 6a, 6b vergleicht, werden
15 die Vorteile der Erfindung verdeutlicht.

Eine erste obere Linie M1, die parallel zu der x-Achse verläuft, stellt das von einem Elektromotor 6a zur Verfügung gestellte Drehmoment für den Betrieb des Schwerlast-Transportfahrzeuges 1 dar. Der eine Elektromotor 6b stellt ein Drehmoment M1 zur
20 Verfügung. Eine zweite untere Linie M2, die ebenfalls parallel zu der x-Achse verläuft, stellt jeweils das von den beiden Elektromotoren 6a, 6b zur Verfügung gestellte Drehmoment für den Betrieb des Schwerlast-Transportfahrzeuges 1 dar. Jeder der beiden Elektromotoren 6a, 6b stellt ein Drehmoment M2 zur Verfügung. M1 ist gleich
25 dem Doppelten von M2.

Bei einer Drehzahl des einen Elektromotors 6a oder der beiden Elektromotoren 6a, 6b, die proportional zur Fahrgeschwindigkeit des Schwerlast-Transportfahrzeuges 1 ist, die durch die dritte sowie parallel zur Y-Achse verlaufende Linie c in dem
30 Diagramm gezeigt ist, ergibt sich für den einen Elektromotor 6a ein Wirkungsgrad η von etwa 70% und für die beiden Elektromotoren 6a, 6b jeweils ein Wirkungsgrad η von etwa 50%.

Hieraus ergibt sich, dass durch Abschalten eines der beiden bei gleichem
35 Drehmoment eine Wirkungsgraderhöhung von 20% bei entsprechend gesunkenem

Energieverbrauch erzielt werden kann. Zudem entfallen die Verluste des abgeschalteten Elektromotors 6a, 6b.

Als Einsatzgebiete der beschriebenen Schwerlast-Transportfahrzeuge 1 sind der
5 Umschlag von ISO-Containern im Hafenbereich und im intermodalen Verkehr zwischen Straße und Schiene vorgesehen.

Die vorliegende Erfindung ist an Hand eines flurgebundenen, auf Gummireifen
verfahrbaren und fahrerlosen Schwerlast-Transportfahrzeuges 1 beschrieben
10 worden. Grundsätzlich ist es möglich, mit einem derartigen Schwerlast-Transportfahrzeug 1 schwere Lasten wie beispielsweise ISO-Container, Wechselbehälter, Container, Brammen oder Coils in der Hütten-, Stahl- und Walzwerkstechnik zu transportieren. In einer Ausgestaltung des Schwerlast-Transportfahrzeuges 1 für einen Transport von ISO-Containern kann das Schwerlast-
15 Transportfahrzeuges 1 ein Leergewicht von etwa 35 t haben. Hierzu kommt dann noch das Gewicht des zu transportierenden ISO-Containers, so dass im Beladungszustand ein Gesamtgewicht von etwa 95 t erreicht wird. Das Schwerlast-Transportfahrzeug 1 kann mit einer Plattform zur Aufnahme der zu transportierenden Last oder mit einer Vorrichtung zur Aufnahme oder Abgabe der Last ausgerüstet sein.
20 Des Weiteren ist das Ausführungsbeispiel auf eine Energieversorgungseinheit 5, die zwei Elektromotoren 6a, 6b versorgt, bezogen, die jeweils die Räder 4a, 4b einer Achse 3a, 3b antreiben. Es ist auch ein Einzelradantrieb mit vier Elektromotoren oder eine mehr als zweiachsige Bauweise des Schwerlast-Transportfahrzeuges 1 im Sinne eines Mehrachsfahrzeuges denkbar, womit eine entsprechende Erhöhung der Anzahl
25 der Elektromotoren einhergeht. Auch können mehrere Achsen ohne Antrieb sein oder antriebsmäßig mit einem gemeinsamen Elektromotor verbunden sein. Das Schwerlast-Transportfahrzeug 1 kann anstatt für einen fahrerlosen Betrieb auch mit einer Fahrerkabine für den bemannten Betrieb ausgerüstet sein.

Bezugszeichenliste

- 1 Schwerlast-Transportfahrzeug
- 2 Fahrzeugrahmen
- 5 3a Vorderachse
- 3b Hinterachse
- 3c vorderes Verteilgetriebe
- 3d hinteres Verteilgetriebe
- 4a vordere Räder
- 10 4b hintere Räder
- 5 Energieversorgungseinheit
- 6a erster vorderer Elektromotor
- 6b zweiter hinterer Elektromotor
- 7 Schaltschränke
- 15 8 Gleichspannungskreis
- 9 Bremswiderstände
- 10a erster Wechselrichter
- 10b zweiter Wechselrichter
- 11 Antriebssteuerung
- 20 11a Master-Antriebsschaltung
- 11b Slave-Antriebsschaltung
- 12a erste Sensoren
- 12b zweite Sensoren
- 25 M1 erste Linie
- M2 zweite Linie
- a dritte Linie
- L Längsrichtung

Patentansprüche

1. Verfahren zum Betrieb eines flurgebundenen und auf Gummireifen verfahrbaren
Schwerlast-Transportfahrzeuges, insbesondere eines fahrerlosen Schwerlast-
5 Transportfahrzeuges, mit einem elektrischen Fährantrieb, der mindestens zwei
Elektromotoren umfasst, dadurch gekennzeichnet, dass über eine Antriebssteuerung
(11) die mindestens zwei Elektromotoren (6a, 6b) kennfeldoptimiert den
Betriebsbedingungen des Schwerlast-Transportfahrzeuges (1) und dessen
Leistungsanforderung folgend betrieben werden.
10
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass über die
Antriebssteuerung (11) mindestens einer der mindestens zwei Elektromotoren (6a,
6b) in Abhängigkeit von den gegebenen Betriebsbedingungen des Schwerlast-
Transportfahrzeuges (1) und dessen Leistungsanforderung während des laufenden
15 Betriebes zu- und abgeschaltet wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die als
Drehstrommotoren, insbesondere Asynchronmotoren, ausgebildeten Elektromotoren
(6b, 6c) über Wechselrichter (10a, 10b) mit Vektorregelung oder DTC-(direct torque
20 control) Regelung angesteuert werden.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass über
die Antriebssteuerung (11) und die Wechselrichter (10a, 10b) die Beschleunigung, die
Drehzahl und der Wirk- und Blindstrom der Elektromotoren (6a, 6b) gemessen
25 werden und dadurch die Belastung der Elektromotoren (6a, 6b) bestimmt wird.
5. Verfahren nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem
Parallelbetrieb der Elektromotoren (6a, 6b) und einer Feststellung einer Belastung der
Elektromotoren (6a, 6b) unter einer vorgegebenen Mindestbelastung mindestens
30 einer der Elektromotoren (6a, 6b) abgeschaltet wird.
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass bei einem
Minderbetrieb der Elektromotoren (6a, 6b) und einer Feststellung einer Belastung der
Elektromotoren (6a, 6b) über eine vorgegebene Maximalbelastung der im Betrieb
35 befindlichen Elektromotoren (6a, 6b) ein weiterer sich in einem Schleppbetrieb

befindlicher Elektromotor (6a, 6b) zugeschaltet wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass ein Zu- und/oder Abschalten der Elektromotoren (6a, 6b) über die Antriebssteuerung (11) mit einem
5 kontrollierten Momentenübergang zwischen den Elektromotoren (6a, 6b) gesteuert wird.

8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass vor einem Zuschalten mindestens einer der Elektromotoren (6a, 6b) die Drehzahl und/oder
10 Phasenlage der in Minderbetrieb befindlichen Elektromotoren (6b, 6c) erfasst wird und die Drehzahl und/oder Phasenlage des mindestens einem zu zuschaltenden Elektromotors (6a, 6b) hierauf abgestimmt wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der
15 elektrische Fahrtrieb als dieselelektrischer Fahrtrieb ausgebildet ist, der einen Verbrennungsmotor und einen Drehstromgenerator umfasst.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der elektrische Fahrtrieb als batterieelektrischer Fahrtrieb ausgebildet ist, der eine
20 Traktionsbatterie umfasst.