



(12) **Patentschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2009 052 047.3**  
(22) Anmeldetag: **05.11.2009**  
(43) Offenlegungstag: **12.05.2011**  
(45) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung: **16.01.2014**

(51) Int Cl.: **F02D 19/08 (2006.01)**  
**F02D 45/00 (2006.01)**  
**F02C 9/40 (2013.01)**  
**F02C 7/22 (2013.01)**

Innerhalb von neun Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:  
**Airbus Operations GmbH, 21129, Hamburg, DE**

(74) Vertreter:  
**Maiwald GmbH Patentanwälte, 80335, München, DE**

(72) Erfinder:  
**Schwarze, Malte, 59071, Hamm, DE;**  
**Westenberger, Andreas, 21614, Buxtehude, DE**

(56) Ermittelter Stand der Technik:

DE	29 15 701	A1
DE	10 2006 056 355	A1
DE	695 05 232	T2
GB	2 113 424	A
US	5 023 797	A
EP	1 595 789	A1

(54) Bezeichnung: **Regeleinheit und Verfahren zum Regeln der Versorgung eines Fahrzeugs mit mehreren Treibstoffen**

(57) Hauptanspruch: Regeleinheit (2) zum Regeln der Versorgung eines mindestens eine Verbrennungskraftmaschine (26) aufweisenden Fahrzeugs mit mehreren Treibstoffen, aufweisend

– mindestens ein Eingabemittel (4) zum Zuführen von Optimierungsparametern, Treibstoffparametern und Operationsdaten mit Daten von Operationsphasen einer von dem Fahrzeug durchzuführenden Mission;

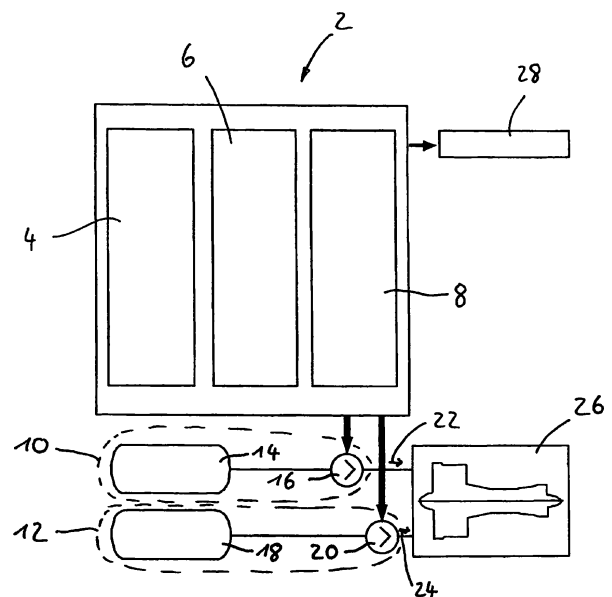
– mindestens eine Speichereinheit (8) zum Speichern der Optimierungsparameter, der Treibstoffparameter und der Operationsdaten; und

– mindestens eine Recheneinheit (6), wobei die Regeleinheit (2) dazu eingerichtet ist,

– mit mindestens einer ersten Zufuhreinrichtung (10) zum Zuführen eines ersten Treibstoffs an die Verbrennungskraftmaschine (26) und mit mindestens einer zweiten Zufuhreinrichtung (12) zum Zuführen eines zweiten Treibstoffs an die Verbrennungskraftmaschine (26) verbunden zu werden;

– einen ersten Massenstrom (22) von zugeführtem ersten Treibstoff und einen zweiten Massenstrom (24) von zugeführtem zweiten Treibstoff zu steuern; und

– mittels der Recheneinheit (6) das Verhältnis von erstem Massenstrom (22) und zweitem Massenstrom (24) für eine oder mehrere Operationsphasen des Fahrzeugs zum Erfüllen der Optimierungsparameter unter Berücksichtigung der Treibstoffparameter zu bestimmen, in der Speichereinheit (8) zu speichern und bei der Durchführung der Operationsphasen durch Steuern des ersten Massenstroms (22) und des zweiten Massenstroms (24) umzusetzen.



**Beschreibung**

## TECHNISCHES GEBIET

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Regeleinheit zum Regeln der Versorgung eines Fahrzeugs mit mehreren Treibstoffen, ein Verfahren zum Regeln der Versorgung eines Fahrzeugs mit mehreren Treibstoffen sowie ein Fahrzeug, das dazu eingerichtet ist, mit mehreren Treibstoffen betrieben zu werden.

## HINTERGRUND DER ERFINDUNG

**[0002]** Konventionelle Treibstoffe auf Kohlenwasserstoffbasis, wie etwa Kerosin, stellen heutzutage das Rückgrat der Treibstoffversorgung in der Luftfahrt dar. Es ist jedoch verständlich, dass bestehende fossile Ressourcen von Natur aus beschränkt sind, so dass damit gerechnet werden muss, in Zukunft Treibstoffe wie Kerosin nicht mehr zu akzeptablen Preisen oder in ausreichenden Mengen erhalten und verwenden zu können. Als Folge dieser Entwicklung ist unumgänglich, dass alternative Treibstoffe in der Luftfahrt Einzug halten. Bis jedoch derartige alternative Treibstoffe flächendeckend zur Verfügung gestellt werden können, ist damit zu rechnen, dass weltweit an verschiedenen Orten mehrere Treibstoffarten nur in unterschiedlichen Mengen bereitgestellt werden können, nämlich Treibstoffe auf Kohlenwasserstoffbasis und alternative, zukünftige Treibstoffe. Bis eine vollständige Verfügbarkeit alternativer Treibstoffe gegeben ist, könnte es für eine Übergangsphase vorteilhaft sein, dass Flugzeuge und andere Fahrzeuge im allgemeinen dazu ausgelegt sind, mit zwei verschiedenen Treibstoffsorten betrieben werden können.

**[0003]** Im Stand der Technik sind lediglich zwei Flugzeuge bekannt, die dahingehend modifiziert wurden, dass neben Kerosin ein alternativer Treibstoff einsetzbar ist. In einer umgerüsteten B-57 als Demonstrator und in einer umgerüsteten Tupolev Tu-155 ebenfalls als Demonstrator wurden Triebwerke so umgestellt, dass ausgewählte Versuchstriebwerke jeweils vollständig mit Wasserstoff (LH<sub>2</sub>) oder Flüssiggas (LNG) betrieben werden konnten. Die umgerüstete Tu 155 etwa weist drei Triebwerke auf, von denen zwei ausschließlich mit Kerosin betrieben werden, während das dritte Triebwerk als Versuchstriebwerk ausschließlich entweder für die Verwendung mit flüssigem Wasserstoff oder mit zusätzlicher Umrüstung für die Verwendung mit Erdgas geeignet ist. Systemseitig war eine Anwendung von zwei unterschiedlichen Treibstoffen für sämtliche verwendeten Triebwerke ohne eine vorherige Zurückrüstung oder dergleichen bei keinem der Versuchstriebwerke möglich.

**[0004]** DE 695 05 232 T2 offenbart eine Anlage zum Mischen von Brennstoffen an Bord eines Fahrzeugs, bei der Referenzbrennstoffe mit bekannter Oktanzahl

für Kolbenmotoren gemischt werden, um eine bestimmte Oktanzahl zu erreichen.

**[0005]** DE 10 2006 056 355 A1 zeigt eine Antriebsvorrichtung zum Betrieb mit mehreren Kraftstoffen für ein Flugzeug, wobei unterschiedliche Treibstoffe in einer oder mehreren Verbrennungskraftmaschinen eines Flugzeugs eingesetzt werden, um Emissionen zu optimieren.

**[0006]** DE 29 15 701 A1 offenbart ein Avioniksystem zum Bestimmen von Flugwirtschaftlichkeitsdaten. Ziel ist, einen wirtschaftlichsten Flugweg zwischen Start und Landung zu verfolgen.

**[0007]** GB 2 113 424 A ist auf einen möglichst wirtschaftlichen Betrieb eines Schiffes gerichtet, der von vielen Parametern abhängig ist, die neben Wartungskosten auch kraftstoffspezifische Parameter umfassen.

**[0008]** US 5 023 797 A bezieht sich auf einen möglichst wirtschaftlichen Flug eines Hubschraubers zur Reichweitenmaximierung.

**[0009]** EP 1 595 789 A1 bezieht sich auf eine Vorrichtung bzw. ein Verfahren zum Bestimmen der optimalen Menge an Zusatzkraftstoff für ein Fahrzeug zum Einhalten von spezifischen Betriebsbedingungen.

## ZUSAMMENFASSUNG DER ERFINDUNG

**[0010]** Es könnte dementsprechend ein Bedarf an einem Fahrzeug bestehen, das dazu eingerichtet ist, mit zwei unterschiedlichen Treibstoffen betrieben werden zu können. Es sollte mit einem derartigen Flugzeug möglich sein, sowohl einen üblichen auf Kohlenwasserstoffbasis hergestellten Treibstoff wie etwa Kerosin zu verwenden als auch einen alternativen und für zukünftige Flugzeuge nutzbaren Treibstoff, wie etwa Flüssiggas, Erdgas, Wasserstoff oder dergleichen.

**[0011]** Es könnte ebenso ein Bedarf an einer Regeleinheit bestehen, die dazu eingerichtet ist, ein Fahrzeug mit zwei unterschiedlichen Treibstoffen auf eine möglichst optimale Weise zu versorgen.

**[0012]** Ferner könnte ein Bedarf an einem Verfahren zum Optimieren der Versorgung eines Fahrzeugs mit mehreren Treibstoffen bestehen, so dass abhängig von Betriebsbedingungen und Optimierungsparametern stets eine optimale Leistung des Fahrzeugs bereitgestellt werden kann und vorgegebene Missionsparameter erfüllt werden können.

**[0013]** Der Bedarf könnte durch eine Regeleinheit zum Regeln der Versorgung eines Fahrzeugs mit mehreren Treibstoffen gemäß dem unabhängigen

Anspruch 1, durch ein Flugzeug gemäß dem unabhängigen Anspruch 6 oder durch ein Verfahren gemäß dem unabhängigen Anspruch 7 gedeckt werden. Vorteilhafte Weiterbildungen sind den Unteransprüchen zu entnehmen.

**[0014]** Die notwendigen technischen Voraussetzungen für den Betrieb zweier unterschiedlicher Treibstoffsysteme sind in vielen Fahrzeugen mit Verbrennungskraftmaschinen gegeben. In modernen Kraftfahrzeugen können mit nur relativ geringen Modifikationen mehrere unterschiedliche Treibstoffe wie Benzin, Flüssiggas (LPG) und Erdgas (CNG) in einem üblichen Ottomotor verwendet werden. Teilweise werden aufgrund steigender Treibstoffkosten auch Kraftfahrzeuge dahingehend umgerüstet, dass sie zwei Treibstofftanks aufweisen und gesteuert durch einen Schalter im Fahrzeuginnen zwischen der Verwendung der beiden Treibstoffe umschalten können, beispielsweise zwischen Benzin und LPG. Bei modernen Verkehrsflugzeugen, die für die Schubzeugung Gasturbinen einsetzen, können durch kleinere Modifikationen und die Integration geeigneter Einspritzvorrichtungen mehrere Treibstoffsorten in einer Brennkammer verbrannt werden.

**[0015]** Der Kerngedanke der vorliegenden Erfindung liegt jedoch nicht in der generellen Verwendbarkeit mehrerer Treibstoffsorten, sondern in der Schaffung eines Umfelds zur möglichst optimierten Verwendung zweier oder mehrerer Treibstoffsorten in einem Fahrzeug, wobei die Optimierung mit unterschiedlichen Daten zu spezifischen Eigenschaften der zu verwendenden Treibstoffe und vorgegebenen Optimierungsparametern erzielt werden kann, wobei letztere abhängig von den zu bewältigenden Operationsphasen einer geplanten Mission sind, die mit mehreren unterschiedlichen Treibstoffen durchgeführt wird.

**[0016]** Beim Beispiel des Flugzeugs bleibend besteht eine Mission aus mehreren Flugphasen, die den Start, den Steigflug, den Reiseflug, den Sinkflug, optional den Warteflug, die Landung und Bewegungen auf dem Rollfeld („Taxiing“) umfasst. Jede dieser Flugphasen unterscheidet sich von der anderen in zentralen Punkten, wie etwa der geflogenen Geschwindigkeit, der Gleitzahl, Klappenstellungen, der Leistungseinstellung der Triebwerke und somit der Effektivität, bei der das Flugzeug betrieben wird. Diese unterschiedlichen Parameter führen je nach Flugphase zu unterschiedlichen Treibstoffverbräuchen. Die Masse des Flugzeugs zum Ende einer jeden Flugphase ist abhängig von der bisher verbrauchten Treibstoffmasse, welche wiederum abhängig von dem spezifischen Gewicht des verwendeten Treibstoffs und der Masse am Anfang der Flugphase ist. In jeder nachfolgenden Flugphase, die unter oben genannten veränderten Bedingungen geflogen wird, ist der Treibstoffverbrauch wiederum abhängig von der anfänglichen Masse des Flugzeugs und der

Massenabnahme in dieser nachfolgenden Flugphase. Auf diese Weise hat jede vorherige Flugphase nach dem Prinzip der Rückkopplung stets Auswirkungen auf jede nachfolgende Flugphase.

**[0017]** Nach alledem kommen einige unterschiedliche Optimierungsparameter in Frage, nach denen die Zufuhr mit mehreren Treibstoffen optimiert werden könnte:

a) Ein Optimierungsparameter könnte darauf gerichtet sein, den Beladungszustand in die Optimierung mit einzubeziehen, der einen Einfluss auf die leistungsoptimierte Verwendung der verschiedenen Treibstoffe hat. Durch eine unterschiedliche Massenabnahme des Flugzeugs je nach Verwendung der Treibstoffe könnte zumindest in gewissen Grenzen das Gewicht des Flugzeugs und damit die Flächenbelastung des Flugzeugs geregelt werden. Auch hat das Gewicht insbesondere direkten Einfluss auf den induzierten Widerstand. Weiterhin existieren für bestimmte Geschwindigkeitszustände im Reiseflug für unterschiedliche Flugzeugtypen jeweils optimale Flächenbelastungen, bei denen ein sehr treibstoffeffizienter Flug durchgeführt werden kann. Durch die Verwendung eines auf den Beladungszustand gerichteten Optimierungsparameters könnte das Flugzeug in einem derartigen optimalen Zustand die Reiseflugphase beginnen, diesem besonders nahe kommen oder diesen Zustand besonders lange halten, indem bereits vor Eintritt dieser Flugphase die Massenabnahme des Flugzeugs über die Verwendung der verschiedenen Treibstoffe entsprechend berechnet wird und die Treibstoffzufuhr während der gesamten Mission entsprechend optimal darauf eingestellt wird.

b) Ein anderer Optimierungsparameter könnte darin liegen, über die optimale Zufuhr der verschiedenen Treibstoffe zumindest in Grenzen den Schwerpunkt des Flugzeugs zu regeln, was durch unterschiedliche Lagen der verschiedenen Treibstofftanks und deren zeitlich unterschiedliche Entleerung ermöglicht wird. So ist es im Reiseflug etwa besonders effizient, mit einer weiter zum Flugzeugheck gerichteten Schwerpunktslage zu fliegen, während bei Start und Landung aus Sicherheitsgründen eine eher vordere Schwerpunktslage gewählt werden sollte.

c) Ein weiterer Optimierungsparameter könnte eine Wettervorhersage und/oder Informationen über aktuelle Wetterlagen mit einbeziehen, da Windabweichungen, Temperaturabweichungen in der Höhe, andere meteorologische Gegebenheiten oder Notwendigkeiten, wie Umleitungen, dazu führen können, geplante Routen zu verlassen. Durch eine darauf gerichtete Optimierung kann durch die vorliegende Erfindung dennoch eine leistungsoptimierte Verwendung der beiden Treibstoffe erfolgen.

d) Ein noch weiterer Optimierungsparameter könnte darin liegen, die Verfügbarkeit von verschiedenen Treibstoffsorten beispielsweise an Start- und Zielflughäfen zu berücksichtigen. Wie vorangehend geschildert besteht die Wahrscheinlichkeit, dass während einer Übergangszeit an unterschiedlichen Orten unterschiedliche Mengen von verschiedenen Treibstoffen verfügbar sind. So könnte etwa ein mitgeführter alternativer Treibstoff auf einem Hinflug zu einem Zielort zurückgehalten werden, da am Zielort dieser alternative Treibstoff noch nicht verfügbar ist und aktuelle Ereignisse, etwa eine aktuelle Windsituation, die Verwendung der neuartigen Treibstoffsorte auf einem Rückflug als vorteilhafter erscheinen lässt.

e) Außerdem könnte ein weiterer Optimierungsparameter darin liegen, dass etwa ein alternativer Treibstoff für bestimmte Flugphasen in bestimmten Ländern noch nicht zugelassen ist und eine ausreichende Menge des herkömmlichen Treibstoffs für vorhersagbare Flugphasen bereitgehalten werden muss.

f) Zudem könnte ein Optimierungsparameter zur Minimierung eines Treibstoffverbrauchs für die gesamte Mission gegeben sein.

g) Weiterhin könnte ein Optimierungsparameter auf eine Maximierung der mit dem Fahrzeug realisierbaren Reichweite gerichtet sein. Das Verhältnis der Treibstoffmassenströme könnte beispielsweise so gewählt werden, dass in längeren Operationsphasen, etwa im Reiseflug eines Flugzeugs, möglichst zuerst der mitgeführte Treibstoff verwendet wird, der ein höheres spezifisches Gewicht aufweist, um eine Energieeinsparung aufgrund der schnelleren Reduktion der Fahrzeugmasse und damit eine Erhöhung der Reichweite zu erwirken.

h) Schließlich könnte ein noch weiterer Optimierungsparameter darin liegen, die geringstmöglichen klimarelevanten Emissionsauswirkungen über die gesamte Mission hin zu erzielen. Hierbei ist anzumerken, dass Emissionen aus Flugzeugtriebwerken in ihrer klimaschädlichen Auswirkung eine starke Abhängigkeit von der aktuellen Flughöhe aufweisen. Bei einem derartigen Optimierungsparameter soll die Verwendung verschiedener Treibstoffe derart angepasst werden, dass in Abhängigkeit der Höhe der Treibstoff oder eine geeignete Mischung aus mehreren Treibstoffen mit geringstmöglichen klimarelevanten Auswirkungen verspricht, wobei zu dieser Optimierung in der Vorrichtung ein Modell einer klimarelevanten Abhängigkeit eines jeden bei der Verbrennung der beiden Treibstoffe anfallenden Schadstoffes in Abhängigkeit der Höhe definiert werden könnte. Als Folge einer derartigen Optimierung könnte während des Starts und in niedrigen Flughöhen die Verwendung beispielsweise von  $\text{LH}_2$  von der Emissionswirkung wesentlich günstiger sein als etwa Kerosin. Im Reiseflug in großen Hö-

hen dagegen könnte etwa der Einsatz von Kerosin in dieser Hinsicht vorteilhafter erscheinen. Es kann sich aber auch um ein Mischungsverhältnis aus beiden Treibstoffen handeln.

**[0018]** Es ist nicht beabsichtigt, die Optimierungsparameter auf die vorangehend getätigte nicht abschließende Auflistung zu beschränken. Vielmehr können die von a) bis h) dargelegten Parameter auch beliebig miteinander kombiniert werden und andere, hier nicht aufgelistete Optimierungsparameter könnten ebenfalls mit einbezogen werden.

**[0019]** Bei deutlich unterschiedlichen Treibstoffen, wie etwa Kerosin als erste Treibstoffsorte und flüssiger Wasserstoff  $\text{LH}_2$  als zweite Treibstoffsorte, beträgt das massenspezifische Energieverhältnis etwa 1:2,8. Dies bedeutet, dass bei der Verwendung von flüssigem Wasserstoff nur 0,36 kg verwendet werden müssen, um dieselbe Energiewirkung zu erzielen, die bei der Einspritzung von einem Kilogramm Kerosin erfolgt. Damit fällt auch eine Massenabnahme des Flugzeugs im Flug pro Zeiteinheit oder über eine bestimmte zurückgelegte Strecke je nach Verwendung der Treibstoffsorte sehr unterschiedlich aus. Diese Massenabnahme im Flug hat jedoch einen weitreichenden Einfluss auf die Flugleistungen des Flugzeugs, z. B. auf den Treibstoffverbrauch oder auf die maximal erzielbare Reichweite. Allerdings muss an dieser Stelle bedacht werden, dass zum Mitführen von flüssigem Wasserstoff erheblich größere Aufwendungen zu betreiben sind, wie bei der Verwendung von Kerosin, da der Wasserstoff üblicherweise in kryogener Form mitgeführt werden muss und die dafür notwendigen Geräte und der Tank ein höheres Gewicht aufweisen als ein herkömmlicher Kerosintank.

**[0020]** Durch geschickte Regelung der Treibstoffzufuhr kann also unter Ausnutzung der verschiedenen massenspezifischen Energien der Treibstoffe ein deutlicher Leistungsvorteil über die gesamte Mission erreicht werden. Dieser kann unabhängig davon noch größer ausfallen, wenn ein bestimmter Anteil der Treibstoffe während der Mission nicht verwendet wird, etwa da dieser für eine Folgemission bestimmt ist oder als Reserve vorgesehen wird. Zudem kann durch aktuelle Ereignisse während des Flugs, z. B. durch veränderte Winde, der durch ein angepasstes Treibstoffmanagement erreichbare Leistungsvorteil kleiner oder auch größer ausfallen.

**[0021]** Eine erfindungsgemäße Regeleinheit koordiniert demnach die vorteilhafte Verwendung der verschiedenen Treibstoffsorten über die gesamte Mission, berücksichtigt dabei die verschiedenen Flugphasen und regelt dann nach der erfolgten Optimierung die Zufuhr der verschiedenen Treibstoffe in das oder die Verbrennungskraftmaschinen oder setzt deren Energieanteil am gesamten Treibstoffmassenstrom

in Form eines Mischungsverhältnisses beider Treibstoffe fest.

**[0022]** Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung ist die erfindungsgemäße Regeleinheit zum Regeln der Versorgung eines mindestens eine Verbrennungskraftmaschine aufweisenden Fahrzeugs mit mehreren Treibstoffen mit mindestens einem Eingabemittel zum Zuführen von Optimierungsparametern, Treibstoffparametern und Operationsdaten, mindestens einer Speichereinheit zum Speichern der Optimierungsparameter, der Treibstoffparameter und der Operationsdaten sowie mit mindestens einer Recheneinheit ausgestattet. Die erfindungsgemäße Regeleinheit ist ferner dazu eingerichtet, mit mindestens einer ersten Zufuhreinrichtung zum Zuführen eines ersten Treibstoffs an die Verbrennungskraftmaschine und mit mindestens einer zweiten Zufuhreinrichtung zum Zuführen eines zweiten Treibstoffs an die Verbrennungskraftmaschine verbunden zu werden, einen ersten Massenstrom von zugeführtem ersten Treibstoff und einen zweiten Massenstrom von zugeführtem zweiten Treibstoff zu steuern und mittels der Recheneinheit das Verhältnis von erstem Massenstrom und zweitem Massenstrom für Operationsphasen des Fahrzeugs zum Erfüllen der Optimierungsparameter unter Berücksichtigung der Treibstoffparameter zu bestimmen, in der Speichereinheit zu speichern und bei der Durchführung der Operationsphasen durch Steuern des ersten Massenstroms und des zweiten Massenstroms umzusetzen. Das Verbinden beinhaltet dabei die Möglichkeit der Einwirkung der erfindungsgemäßen Regeleinheit auf die erste und die zweite Zufuhreinrichtung, so dass die erfindungsgemäße Regeleinheit den Betrieb einer Zufuhreinrichtung initiieren oder beenden kann und die Menge der an eine Verbrennungskraftmaschine zugeführten Treibstoffen zu bestimmen.

**[0023]** In einer ersten Vorgehensweise kann ein Verhältnis von erstem Treibstoffmassenstrom zu zweitem Treibstoffmassenstrom eingestellt werden, das die gleichzeitige Verwendung beider Treibstoffarten in einem Mischungsverhältnis zulässt, beispielsweise während eines Übergangs zwischen zwei Operationsphasen oder beispielsweise während eines Warteflugs, um die mögliche Flugzeit zu verlängern. In einer anderen Vorgehensweise werden ausschließlich die eine Treibstoffsorte oder die andere Treibstoffsorte verwendet, abhängig von der jeweiligen Operationsphase und den Optimierungsparametern.

**[0024]** Eine parallele Verwendung zweier unterschiedlicher Treibstoffe könnte etwa dadurch realisiert sein, dass bei der Verwendung von Verbrennungskraftmaschinen derart modifizierte Brennkammern vorgesehen sind, in die mehrere Treibstoffsorten durch eigenständige Zufuhröffnungen, Einspritzsysteme oder dergleichen eingeleitet werden können. Die Brennkammer könnte für jede einzusetzen-

de Treibstoffsorte beispielsweise einen geeigneten Einspritzbereich aufweisen, so dass die Verbrennungen mehrerer unterschiedlicher Treibstoffe nicht miteinander interferieren.

**[0025]** Die erfindungsgemäße Regeleinheit ist ferner dazu eingerichtet, beispielsweise über ein Dateneinlesemodul oder dergleichen, Daten über die verfügbare Masse an erstem Treibstoff und zweitem Treibstoff zu erhalten sowie Informationen über deren massenspezifische Energie bzw. deren Heizwert. Hieraus wird die erfindungsgemäße Regeleinheit dazu befähigt, den Triebwerken einen notwendigen Treibstoffstrom zuzuführen, der zu einer ausreichenden Bereitstellung von Schubenergie durch die Verbrennungskraftmaschine führt. Dabei kann die erfindungsgemäße Regeleinheit den ersten Treibstoff oder den zweiten Treibstoff alternativ oder parallel zueinander an die Verbrennungskraftmaschine liefern.

**[0026]** Bevorzugt ist die erfindungsgemäße Regeleinheit weiterhin dazu eingerichtet, Daten über die geplante Operation ebenfalls beispielsweise über das Dateneinlesemodul zu erhalten, so dass abhängig von vorgegebenen Optimierungsparametern eine optimale Zufuhr der Treibstoffe eingestellt wird.

**[0027]** In einer vorteilhaften Weiterbildung ist die erfindungsgemäße Regeleinheit dazu eingerichtet, Daten von einem Schubsteuerungseingabemittel zu erhalten. Durch die erfindungsgemäße Regeleinheit kann das Verhältnis zwischen erstem Massenstrom und zweitem Massenstrom so gestaltet werden, dass sich die geforderte Gesamtenergiemenge aus der Verbrennung des ersten Massenstroms und des zweiten Massenstroms ergibt, wobei sich die geforderte Gesamtenergiemenge nach Anforderung einer Triebwerkssteuereinheit ergeben könnte (in einem Flugzeug des Herstellers AIRBUS beispielsweise durch eine sogenannte FADEC, was für „Full Authority Digital Engine Control“ steht).

**[0028]** Der Bedarf könnte ebenso durch ein Flugzeug mit mindestens einer Verbrennungskraftmaschine, mindestens zwei Treibstofftanks zum Mitführen eines ersten Treibstoffs und eines zweiten Treibstoffs, einer erfindungsgemäßen Regeleinheit und einer ersten Zufuhreinrichtung und einer zweiten Zufuhreinrichtung gedeckt werden. Die erste und die zweite Zufuhreinrichtung können als Einspritzvorrichtungen beispielsweise für eine Brennkammer einer Verbrennungskraftmaschine realisiert werden. Im Falle eines Flugzeugs würde es sich anbieten, unterschiedliche Einspritzvorrichtungen für die jeweiligen Treibstoffsorten optimiert in der Brennkammer einer oder mehrerer Gasturbinen einzusetzen und die Einspritzbereiche voneinander zu separieren, um Interferenzen zwischen zwei Treibstoffarten vorzubeugen.

**[0029]** Die erfindungsgemäße Regeleinheit ist bei dieser Konfiguration dafür verantwortlich, eine Reichweite zu maximieren, für bestimmte Flugphasen zugelassene und nicht zugelassene Treibstoffe entsprechend zu berücksichtigen und auf infrastrukturelle Gegebenheiten an unterschiedlichen Zielflughäfen zu reagieren. Dadurch kann ein Flugzeug bereitgestellt werden, dass hinsichtlich der Verwendung von unterschiedlichen Treibstoffsorten einen leistungsoptimierten Betrieb erlaubt.

**[0030]** Außerdem deckt auch ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Regeln der Versorgung eines mindestens eine Verbrennungskraftmaschine aufweisenden Fahrzeugs mit mehreren Treibstoffen den vorangehend genannten Bedarf.

**[0031]** Die grundlegenden Verfahrensschritte liegen dabei im Zuführen von Optimierungsparametern, Treibstoffparametern und Operationsdaten mit Daten von Operationsphasen einer von dem Fahrzeug durchzuführenden Mission, dem Ermitteln jeweils eines erforderlichen ersten Massenstroms für eine ersten Treibstoff und eines erforderlichen zweiten Massenstroms eines zweiten Treibstoffs für eine Operationsphase, dem Ermitteln jeweils der Endmasse des Fahrzeugs nach Beendigung der Operationsphase mit dem ersten Massenstrom oder dem zweiten Massenstrom, dem Ermitteln jeweils des spezifischen Treibstoffverbrauchs  $c_{TL}$  bei Verwendung des ersten Treibstoffs oder des zweiten Treibstoffs, dem Vergleichen der spezifischen Treibstoffverbräuche, der nachfolgenden Auswahl eines geeigneten Treibstoffs mit geeignetem spezifischen Treibstoffverbrauch nach einer Normierung sowie dem Zuführen des ausgewählten Treibstoffs zu der Verbrennungskraftmaschine.

**[0032]** Die Normierung eines spezifischen Treibstoffverbrauchs unterstützt die direkte Vergleichbarkeit bei der Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens. Eine mögliche Normierung könnte etwa derart erfolgen, dass ein Treibstoffverbrauch eines ersten oder zweiten Treibstoffs, der in Masse pro Zeiteinheit angegeben wird, mit seinem dazugehörigen massenspezifischen Brennwert, der etwa in kJ/kg angegeben ist, multipliziert wird. Damit werden die jeweiligen spezifischen Treibstoffverbrauchswerte von der jeweiligen Dichte der Treibstoffsorten entkoppelt, welche sich im Sinne der Erfindung gerade voneinander unterscheiden. Vielmehr rückt die mit spezifische Energie in den Vordergrund, die einen deutlich universellen Charakter hat. Als Folge besitzen die energiespezifischen Treibstoffverbräuche dieselbe Größenordnung und können im Verfahren direkt miteinander verglichen werden.

**[0033]** Um eine direkte Vergleichbarkeit im Sinne des erfindungsgemäßen Verfahrens zu erreichen

könnten auch andere Verfahren zur Normierung eingesetzt werden.

**[0034]** In einer vorteilhaften Weiterbildung des erfindungsgemäßen Verfahrens können für die Berücksichtigung einer gemischten Zufuhr von erstem und zweitem Treibstoff ferner Iterationsschritte zum Ermitteln eines optimalen Mischungsverhältnisses  $\Phi$  durchgeführt werden, die im Wesentlichen im Ermitteln eines erforderlichen ersten Massenstroms und eines zweiten Massenstroms bei einem ersten Mischungsverhältnis  $\Phi$ , dem Ermitteln einer resultierenden Endmasse des Fahrzeugs und der Berechnung des spezifischen Treibstoffverbrauchs liegen. Durch Ändern des Mischungsverhältnisses  $\Phi$  und eine erneute Durchführung dieser Iterationsschritte kann ein optimales Mischungsverhältnis zum Optimieren des spezifischen Treibstoffverbrauchs nach den vorgegebenen Optimierungsparametern ermittelt werden.

**[0035]** Es versteht sich, dass durch iteratives Durchführen der Berechnungsschritte für sämtliche Operationsphasen des Fahrzeugs eine Gesamtbetrachtung zu verwendender Treibstoffsorten realisiert werden kann.

**[0036]** Weiterhin kann zu Informationszwecken und zur Überwachung der Funktion eine Anzeigeeinheit angesteuert werden.

**[0037]** Eine Berücksichtigung eines parallel oder sequentiell verwendbaren elektrischen Antriebs in die eigentliche Optimierung der Verwendung zweier unterschiedlicher Treibstoffsorten wäre ebenfalls vorteilhaft. Für bestimmte Missionsphasen könnte eine besonders günstige Energie- und Gewichtsbilanz erreicht werden.

**[0038]** Zusätzlich wäre besonders vorteilhaft, die Regeleinheit durch entsprechende Signal- oder Dateneingänge mit Treibstofftanksensoren verbinden zu können, so dass der Füllstand von Treibstofftanks stets bekannt ist und dadurch Eingabe- bzw. Betankungsfehler nahezu ausgeschlossen werden könnten. Eine Adaption des erfindungsgemäßen Verfahrens könnte dahingehend durchgeführt werden, dass bei der Optimierungsbetrachtung immer nur die mitgeführte Treibstoffmenge und der an einem Zielort verfügbare Treibstoff berücksichtigt werden.

**[0039]** Schließlich deckt ein Fahrzeug mit mindestens zwei Treibstoffsystemen für mindestens zwei unterschiedliche Treibstoffe, mindestens einer Verbrennungskraftmaschine und mindestens einer Regelungseinheit mit vorangehend genannten technischen Merkmalen den vorangehend genannten Bedarf.

## KURZE BESCHREIBUNG DER FIGUREN

**[0040]** Weitere Vorteile und Anwendungsmöglichkeiten der vorliegenden Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung der Ausführungsbeispiele und den Figuren. Dabei bilden alle beschriebenen und/oder bildlich dargestellten Aspekte für sich und in beliebiger Kombination den Gegenstand der Erfindung auch unabhängig von ihrer Zusammensetzung in den einzelnen Ansprüchen oder deren Rückbeziehungen. In den Figuren stehen weiterhin gleiche Bezugszeichen für gleiche oder ähnliche Objekte.

**[0041]** Fig. 1 zeigt eine schematische Ansicht einer erfindungsgemäßen Regeleinheit.

**[0042]** Fig. 2 zeigt ein erfindungsgemäßes Flugzeug.

**[0043]** Fig. 3a und Fig. 3b zeigen eine schematische blockbasierte Darstellung eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

DETAILLIERTE BESCHREIBUNG  
EXEMPLARISCHER AUSFÜHRUNGSFORMEN

**[0044]** Fig. 1 zeigt schematisch eine erfindungsgemäße Regeleinheit **2**, die mit einem Eingabemittel **4** und einer Recheneinheit **6** ausgestattet ist. Das Eingabemittel **4** ist dazu eingerichtet, zahlreiche Daten zu erfassen und für die weitere Verarbeitung zur Verfügung zu stellen. Gespeicherte Daten können in einer Speichereinheit **8** abgelegt werden.

**[0045]** Die erfindungsgemäße Regeleinheit **2** ist mit einer ersten Zufuhreinrichtung **10** und einer zweiten Zufuhreinrichtung **12** verbunden, wobei die erste Zufuhreinrichtung **10** einen ersten Treibstofftank **14** und eine erste Einspritzpumpe **16** aufweist und die zweite Zufuhreinrichtung **12** einen zweiten Treibstofftank **18** und eine zweite Einspritzpumpe **20** aufweist.

**[0046]** Die Regeleinheit **2** ist damit in der Lage, durch Ansteuern der ersten Zufuhreinrichtung **10** und der zweiten Zufuhreinrichtung **12** einen ersten Massenstrom **22** und einen zweiten Massenstrom **24** an eine Verbrennungskraftmaschine **26** zu leiten. Exemplarisch ist hier lediglich ein einziges Triebwerk als die Verbrennungskraftmaschine **26** dargestellt, es ist jedoch selbstverständlich, dass mehrere Triebwerke etwa durch eine Parallelschaltung mit der ersten Zufuhreinrichtung **10** und der zweiten Zufuhreinrichtung **12** verbunden werden könnten.

**[0047]** Die erfindungsgemäße Regeleinheit **2** kann mit Operationsdaten und Optimierungsparametern sowie Treibstoffparametern versorgt werden, wobei die Operationsdaten Daten über eine durchzuführende Mission aufweisen. Derartige Daten könnten beispielsweise bei Verwendung der erfindungsgemäßen

Regeleinheit **2** in einem Flugzeug den zeitlichen Ablauf des Starts, des Steigflugs, des Reiseflugs, des Landeflugs und der Landung sowie etwaiger Warteflüge, Rollvorgänge am Boden und dergleichen umfassen. Neben sämtlichen zur Bewältigung der einzelnen Operationsphasen erforderlichen Geschwindigkeiten und Flughöhen lassen sich aus den hinterlegten Daten auch Steig- und Sinkflugraten ermitteln bzw. diese liegen bereits vor.

**[0048]** Nach den im einleitenden Teil beschriebenen Kriterien könnten geeignete Optimierungsparameter die durch die Recheneinheit **6** durchgeführte Optimierung dahingehend steuern, dass beispielsweise eine Reichweitenmaximierung, eine Treibstoffverbrauchsminimierung oder dergleichen durch das entsprechende Fahrzeug realisiert werden kann.

**[0049]** Die erfindungsgemäße Regeleinheit **2** ist dazu eingerichtet, aus den Operationsdaten und Optimierungsparametern sowie den Treibstoffparametern zu bestimmen, in welchem Verhältnis ein erster Treibstoff aus dem ersten Treibstofftank **14** und ein zweiter Treibstoff aus dem zweiten Treibstofftank **18** für die durchzuführenden Operationsphasen verwendet werden. Die bestimmten Massenstromverhältnisse werden in der Speichereinheit **8** abgelegt und können während der gesamten Operation abgerufen werden, um während der Operation die Einspritzpumpen **16** und **20** entsprechend zu steuern.

**[0050]** Die erfindungsgemäße Regeleinheit **2** ist nicht darauf beschränkt, vor Durchführung der Operation die einzunehmenden Massenstromverhältnisse zu ermitteln, sondern es kann während der gesamten Operation kontinuierlich oder in regelmäßigen Abständen oder auf Anforderung bei Vorliegen außerplanmäßiger Ereignisse eine neue Optimierung durchgeführt werden.

**[0051]** Es ist für die Information des Fahrzeugführers besonders vorteilhaft, eine Anzeigeeinheit **28** vorzusehen, die beispielsweise die Massenstromverhältnisse für die durchzuführenden Operationsphasen grafisch aufbereitet dem Fahrzeugführer präsentiert, so dass stets Gewissheit über die ordnungsgemäße Funktion der erfindungsgemäßen Regeleinheit **2** vorliegt und der vorläufig geplante Ablauf der Verwendung der Treibstoffe über den Flugphasen dargestellt wird.

**[0052]** Besonders vorteilhaft könnte auch eine Rückkopplung eines Fahrzeugführers mit der erfindungsgemäßen Regeleinheit **2** erfolgen, wenn etwa ein Systemfehler vorliegt, der die Benutzung einer Treibstoffsorte kategorisch ausschließt. Dies kann über eine Rückkopplung der erfindungsgemäßen Regeleinheit **2** mit einem entsprechenden Signal durchgeführt werden, das in das Eingabemittel **4** eingegeben werden kann.

**[0053]** Zwar ist die erfindungsgemäße Regeleinheit **2** als einfacher Baustein dargestellt, es ist für einen Fachmann jedoch verständlich, dass statt einer derartigen Simplex-Anordnung auch eine übliche Duplex- oder Triplex-Anordnung realisiert werden könnte, die eine für kritische Fahrzeugsysteme geforderte Redundanz erfüllen kann.

**[0054]** Fig. 2 zeigt ein Flugzeug **30**, das völlig exemplarisch dargestellt zwei erste Treibstofftanks **14** und zwei zweite Treibstofftanks **18** aufweist, die über Einspritzpumpen **16** und **20** mit Triebwerken **26** verbunden sind. Eine oder mehrere erfindungsgemäßen Regeleinheiten **2** sind ferner mit den Einspritzpumpen **16** und **20** verbunden, um während des Flugs optimale Massenstromverhältnisse für die Triebwerke **26** vorzugeben.

**[0055]** In Fig. 3a und Fig. 3b wird schematisch das erfindungsgemäße Verfahren zum Regeln der Versorgung eines mindestens eine Verbrennungskraftmaschine aufweisenden Fahrzeugs mit mehreren Treibstoffen in einer Blockdarstellung gezeigt.

**[0056]** Das erfindungsgemäße Verfahren könnte beispielhaft mit der Eingabe bzw. dem Zuführen **32** von für die Optimierung notwendigen Parametern beginnen. Diese Parameter könnten grundsätzlich beinhalten:

- Informationen über durchzuführende Umleitungen, die beispielsweise durch eine Luftverkehrskontrolle festgelegt werden („Air Traffic Control“, ATC);
- Informationen über die grundsätzlich während des Flugs aktualisierbare aktuelle Windsituation entlang der geplanten Strecke;
- Informationen über die massen- und/oder volumenspezifische Energie einer ersten Treibstoffsorte;
- Massenspezifische Energie einer zweiten Treibstoffsorte (analog);
- Wegpunkte im dreidimensionalen Raum der Mission, beispielsweise aus einem Avionikgerät zu erhalten;
- Informationen über den aktuell benötigten Schub, typischen oder mittleren Schub jeder bzw. der aktuellen Flugphase;
- Anfangsmasse, abhängig vom Beladungszustand;
- Verfügbare Masse, verfügbares Volumen oder verfügbare Energie der ersten Treibstoffsorte;
- Verfügbarkeit der Treibstoffe am Abflugs- und Endflughafen;
- Reglementierung, die die Verwendung bestimmter Treibstoffsorten für bestimmte Flugphasen einschränkt.

**[0057]** Aktuelle Winddaten könnten insbesondere bei der Verwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens in Flugzeugen zusätzlich zu der Erhebung

vor dem Flug oder zu regelmäßigen Mitteilungen von einer Bodenkontrollstation auch während des Flugs durch flugzeugeigene Meß- und Berechnungseinrichtungen ermittelt/aktualisiert/gestützt werden.

**[0058]** Die nachfolgenden Verfahrensschritte werden für jede wesentliche Flugphase durchgeführt. Exemplarisch wird die Optimierung der Treibstoffsorten einer einzigen Flugphase im folgenden detaillierter beschrieben.

**[0059]** Nach dem Zuführen **32** der für die Optimierung notwendigen Parameter könnten diese in einer Speichereinheit abgelegt werden **34**, so dass daraufhin in der Regeleinheit **2** mittels der Recheneinheit **6** in einem ersten Schritt ein erforderlicher Massenstrom bzw. Energiestrom für eine erste Treibstoffsorte in der betreffenden Flugphase ermittelt wird **36**. Hiernach könnte die verbrauchte Masse der ersten Treibstoffsorte und daraus die Endmasse des Flugzeugs nach Beendigung dieser Flugphase berechnet werden **38**. Anschließend wird der spezifische Treibstoffverbrauch  $c_{TL}$  ermittelt **40**, was beispielhaft mittels folgender Formel geschieht:

$$c_{TL} = \frac{m_T \cdot g}{F \cdot t};$$

wobei  $t$  eine errechnete Dauer der Flugphase ist,  $F$  die Schubkraft und  $m_T$  die Masse des verbrauchten Treibstoffs. Der Index „TL“ bezeichnet hier die Zugehörigkeit zu Turbo-Luftstrahltriebwerken.

**[0060]** Zur Bestimmung dieser Größen ist auch die horizontale Erstreckung („Strecke über Grund“) des Flugzeugs in der Flugphase von besonderer Bedeutung.

**[0061]** Im Anschluss hieran könnte gleichermaßen der notwendige Massenstrom bzw. Energiestrom für die zweite Treibstoffsorte ermittelt werden **42**. Die hieraus resultierende Endmasse des Flugzeugs könnte für diese Treibstoffsorte ebenso berechnet werden **44** wie der hieraus resultierende spezifische Treibstoffverbrauch  $C_{TL}$  berechnet werden könnte **46**.

**[0062]** Diese Verfahrensschritte könnten grundsätzlich für eine beliebige Anzahl von möglichen Treibstoffsorten durchgeführt werden, wobei sich die hier aufgeführte exemplarische Darstellung auf eine erste und eine zweite Treibstoffsorte beschränkt.

**[0063]** Mit einem vorbestimmten Mischungsverhältnis  $\Phi$  aus der ersten Treibstoffsorte und der zweiten Treibstoffsorte werden erforderliche Teilmassenströme bzw. Teilenergieströme für die erste Treibstoffsorte ermittelt **48** und für die zweite Treibstoffsorte ermittelt **50**. Die daraus resultierende Endmasse des Flugzeugs wird berechnet **52**. Auch hieraus wird der spezifische Treibstoffverbrauch  $c_{TL}$  berechnet **54**. Unter



Berücksichtigung der Verfügbarkeit und Reglementierung/Normierung von  $c_{TL}$  wird das Mischungsverhältnis aus folgender Breguet'schen Reichweitenformel optimiert, d. h. es wird nach einem Wert  $\Phi_{opt}$  gesucht:

$$R = \frac{v}{c_{TL,opt}} \cdot \frac{c_A}{c_W} \ln \frac{m_A}{m_E}$$

**[0064]** Im Optimierungsprozess für die einzelnen Flugphasen ist bei Wahl des Gesamtoptimierungszieles „geringer Treibstoffverbrauch“ der Wert für den optimalen spezifischen Treibstoffverbrauch  $c_{TL,opt}$  der möglichst geringer spezifische Treibstoffverbrauch ( $c_{TL,opt}$  ist hier exemplarisch also  $c_{TL,min}$ ). Eine Alternative wäre hierbei die Maximierung der Reichweite (R in obiger Formel) oder eine minimale Beeinträchtigung der Umwelt.

**[0065]** Im letzteren Falle bei der Optimierung zu den geringsten emissionsbedingten Klimaauswirkungen könnte etwa in der Speichereinheit **8** hinterlegt werden, welche Emissionen bei Verwendung eines bestimmten Treibstoffs auftreten. Zusätzlich könnte dort hinterlegt werden, welche klimaschädigende Wirkung eine bestimmte Emission in Abhängigkeit der Flughöhe besitzen könnte. Als „Quantisierungsparameter“ für die klimaschädliche Wirkung bietet sich ein „Global Warming Parameter“ an. Im Verfahren könnte das Höhenband einer jeden Flugphase sowie ihre Dauer berechnet werden. Damit lässt sich die klimaschädliche Wirkung einer Flugphase für eine Treibstoffsorte oder eine andere Treibstoffsorte oder ein Mischungsverhältnis abschätzen. Es wird der Treibstoff mit den geringsten Auswirkungen für die Flugphase ausgewählt.

**[0066]** Es könnten schließlich die spezifischen Treibstoffverbräuche  $c_{TL}$  aus der Verwendung der ersten Treibstoffsorte, der zweiten Treibstoffsorte und eines Gemischs beider Treibstoffsorten nach einer geeigneten Normierung, etwa durch Multiplikation der verschiedenen  $c_{TL}$ -Werte mit dem jeweiligen massenspezifischen Brennwert, miteinander verglichen werden **56**. Aus der Auswahl eines optimalen spezifischen Treibstoffverbrauchs  $c_{TL}$  und damit einer Treibstoffsorte wird der Betrieb der Triebwerke entsprechend eingestellt **58**. Hierzu könnten etwa Treibstoffventile und/oder Treibstoffpumpen **16** und **20** eingestellt werden **60**. Gleichzeitig könnte ein Ausgabemodul einer Anzeigeeinheit angesteuert werden **62**.

**[0067]** Im Optimierungsprozess der Gesamtmission könnte folgendes Vorgehen gewählt werden. Für jede Flugphase wird in Form von Varianten ein spezifischer Treibstoffverbrauch  $c_{TL}$  für eine erste Treibstoffsorte, für eine zweite Treibstoffsorte und speziell in der fortentwickelten Betriebsart auch für mehrere Mischungsverhältnisse  $\Phi$  der ersten Treibstoffsorte und der zweiten Treibstoffsorte berechnet **64**. Da

bei werden jeweils die Verfügbarkeit und eventuelle Reglementierungen der Verwendung dieser Treibstoffsorten berücksichtigt.

**[0068]** Anschließend werden die unterschiedlichen Varianten der betreffenden Flugphase wiederum in verschiedener Zusammensetzung zur Gesamtmission hintereinander gereiht und bilden somit auch mehrere Varianten der Gesamtmission. Diese Varianten könnten miteinander verglichen werden **66** und im Hinblick auf das Gesamtoptimierungsziel (beispielsweise „minimaler Treibstoffverbrauch“) beurteilt werden, wonach die Variante mit dem optimalen spezifischen Gesamtverbrauch (oder einem anderen Optimierungsparameter) ausgewählt wird. Mit ihr steht auch die Treibstoffverwendung oder das Mischungsverhältnis in den einzelnen Flugphasen fest.

**[0069]** Hierbei könnten die einzelnen Flugphasen derart miteinander verbunden sein, dass die Endmasse der vorherigen Flugphase die Anfangsmasse des nachfolgenden Flugabschnitts bildet, analog auch die anfängliche Flughöhe und Fluggeschwindigkeit. Die Ergebnisse der Breguet'schen Reichweitenformel für jede Flugphase könnten anschließend addiert werden, um die insgesamt mögliche Reichweite zu ermitteln.

**[0070]** Die Verwendung eines ausgewählten Treibstoffs oder eines Treibstoffgemischs wird über ein Ausgabe- und Steuermodul in den Flugphasen an Einspritzventile, Treibstoffpumpen und dergleichen zum Ansteuern der beiden voneinander unabhängigen Treibstoffsysteme geführt, so dass sich die gewünschte Treibstoffverwendung bzw. das gewünschte Mischungsverhältnis für die Flugphase einstellt.

**[0071]** Die oben angegebene Breguet'sche Reichweitenformel gilt hier exemplarisch als Beispielalgorithmus, weiter fortgeschrittene Berechnungsalgorithmen sind denkbar.

**[0072]** Bei Propellerflugzeugen wird gewöhnlich statt des Schubes die durch die Propeller verursachte Leistung verwendet. Die Breguet-Formel könnte sich dann zu folgender Form ändern:

$$R = \frac{\eta_A}{c_{pA}} \cdot \frac{c_A}{c_W} \ln \frac{m_A}{m_E},$$

wobei  $c_{pA}$  den spezifischen Treibstoffverbrauch für Propellerflugzeuge darstellen könnte, im Gegensatz zu  $c_{TL}$  für Turbo-Luftstrahl-Triebwerke.  $\eta_A$  ist ein Antriebswirkungsgrad für Propellerflugzeuge.

**[0073]** Die Vergleichbarkeit des spezifischen Treibstoffverbrauches im Rechenverfahren setzt generell eine entsprechende Normierung von  $c_{TL}$  voraus. Hierzu könnte beispielsweise  $c_{TL}$  mit dem Verhältnis der massenspezifischen Brennwerte der Treibstoffe

skaliert werden. Der Parameter  $c_{TL}$  beinhaltet das Gewicht des Treibstoffes, das je nach verwendeter Treibstoffsorte unterschiedlich ausfällt. Die Normierung sorgt dafür, dass sich  $c_{TL}$  auf die verwendete Energie der Flugphase bezieht. Dies führt zu einer universellen Definition und lässt die direkte Vergleichbarkeit der normierten Treibstoffverbrauchswerte zu.

#### Bezugszeichenliste

2	Regeleinheit
4	Eingabemittel
6	Recheneinheit
8	Speichereinheit
10	erste Zufuhreinrichtung
12	zweite Zufuhreinrichtung
14	erster Tank
16	Einspritzpumpe
18	zweiter Tank
20	Einspritzpumpe
22	erster Massenstrom
24	zweiter Massenstrom
26	Verbrennungskraftmaschine (alt. Triebwerk)
28	Anzeigeeinheit
30	Flugzeug
32	Zuführen von Optimierungsparametern
34	Ablegen in Speichereinheit
36	Ermitteln erforderlicher erster Massenstrom
38	Berechnen Endmasse
40	Ermitteln spezifischer Treibstoffverbrauch
42	Ermitteln zweiter Massenstrom
44	Berechnen Endmasse
46	Berechnen spezifischer Treibstoffverbrauch
48	Ermitteln Teilmassenstrom
50	Ermitteln Teilmassenstrom
52	Berechnen Endmasse
54	Berechnen spezifischer Treibstoffverbrauch
56	Normieren und Vergleichen spezifische Treibstoffverbräuche
58	Einstellen Betrieb Triebwerke
60	Einstellen Treibstoffventile und/oder Treibstoffpumpen
62	Ansteuern Anzeigeeinheit
64	Mischungsverhältnis Berechnen

#### Patentansprüche

1. Regeleinheit (2) zum Regeln der Versorgung eines mindestens eine Verbrennungskraftmaschine (26) aufweisenden Fahrzeugs mit mehreren Treibstoffen, aufweisend

- mindestens ein Eingabemittel (4) zum Zuführen von Optimierungsparametern, Treibstoffparametern und Operationsdaten mit Daten von Operationsphasen einer von dem Fahrzeug durchzuführenden Mission;
- mindestens eine Speichereinheit (8) zum Speichern der Optimierungsparameter, der Treibstoffparameter und der Operationsdaten; und
- mindestens eine Recheneinheit (6), wobei die Regeleinheit (2) dazu eingerichtet ist,

- mit mindestens einer ersten Zufuhreinrichtung (10) zum Zuführen eines ersten Treibstoffs an die Verbrennungskraftmaschine (26) und mit mindestens einer zweiten Zufuhreinrichtung (12) zum Zuführen eines zweiten Treibstoffs an die Verbrennungskraftmaschine (26) verbunden zu werden;
- einen ersten Massenstrom (22) von zugeführtem ersten Treibstoff und einen zweiten Massenstrom (24) von zugeführtem zweiten Treibstoff zu steuern; und
- mittels der Recheneinheit (6) das Verhältnis von erstem Massenstrom (22) und zweitem Massenstrom (24) für eine oder mehrere Operationsphasen des Fahrzeugs zum Erfüllen der Optimierungsparameter unter Berücksichtigung der Treibstoffparameter zu bestimmen, in der Speichereinheit (8) zu speichern und bei der Durchführung der Operationsphasen durch Steuern des ersten Massenstroms (22) und des zweiten Massenstroms (24) umzusetzen.

2. Regeleinheit (2) nach Anspruch 1, wobei die Optimierungsparameter auf eine Maximierung der Reichweite der von dem Fahrzeug zurückzulegenden Mission gerichtet sind.

3. Regeleinheit (2) nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Optimierungsparameter auf eine Minimierung des Treibstoffverbrauchs gerichtet sind.

4. Regeleinheit (2) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Optimierungsparameter auf eine Minimierung der klimaschädlichen Auswirkungen der Emissionen gerichtet sind.

5. Regeleinheit (2) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, die dazu eingerichtet ist, ermittelte Verhältnisse von erstem Massenstrom (22) zu zweitem Massenstrom (24) für die überwiegenden Operationsphasen des Fahrzeugs über eine mit der Regeleinheit (2) verbindbare Anzeigeeinheit (28) darzustellen.

6. Flugzeug (30), aufweisend mindestens ein Triebwerk (26), mindestens einen ersten Treibstofftank (14) zum Mitführen eines ersten Treibstoffs und mindestens einen zweiten Treibstofftank (18) zum Mitführen eines zweiten Treibstoffs, eine erste Zufuhreinrichtung (10), eine zweite Zufuhreinrichtung (12) und eine Regeleinheit (2) zum Regeln der Versorgung des Triebwerks (26) mit einem ersten Treibstoff und einem zweiten Treibstoff gemäß einem der Ansprüche 1 bis 5.

7. Verfahren zum Regeln der Versorgung mindestens einer Verbrennungskraftmaschine (26) eines Fahrzeugs mit mehreren Treibstoffen, aufweisend die Schritte:

- Zuführen (32) von Optimierungsparametern, Treibstoffparametern und Operationsdaten mit Daten von

Operationsphasen einer von dem Fahrzeug durchzuführenden Mission;

- Ermitteln (**36, 42**) jeweils eines erforderlichen ersten Massenstroms (**22**) für einen ersten Treibstoff und eines erforderlichen zweiten Massenstroms (**24**) eines zweiten Treibstoffs für eine Operationsphase;
- Ermitteln (**38, 44**) jeweils der Endmasse des Fahrzeugs nach Beendigung der Operationsphase mit dem ersten Massenstrom (**22**) oder dem zweiten Massenstrom (**24**);
- Ermitteln (**40, 46**) jeweils des spezifischen Treibstoffverbrauchs  $c_{TL}$  bei Verwendung des ersten Treibstoffs oder des zweiten Treibstoffs;
- Normieren und Vergleichen (**56**) der spezifischen Treibstoffverbräuche;
- Auswahl (**58**) eines geeigneten Treibstoffs mit geeignetem spezifischen Treibstoffverbrauch;
- Zuführen des ausgewählten Treibstoffs zu der Verbrennungskraftmaschine.

8. Verfahren nach Anspruch 7, zusätzlich aufweisend die Iterationsschritte:

- Ermitteln (**48, 50**) eines erforderlichen ersten Massenstroms (**22**) und eines zweiten Massenstroms (**24**) bei einem ersten Mischungsverhältnis  $\Phi$ ;
- Ermitteln (**52**) einer resultierenden Endmasse des Fahrzeugs;
- Berechnung (**54**) des spezifischen Treibstoffverbrauchs;
- Ändern (**55**) des Mischungsverhältnisses  $\Phi$  und erneute Durchführung dieser Iterationsschritte zum Optimieren des spezifischen Treibstoffverbrauchs nach Optimierungsparametern.

9. Verfahren nach Anspruch 7 oder 8, zusätzlich aufweisend den Schritt:

- Iteratives Durchführen der Berechnungsschritte für sämtliche oder die wesentlichsten Operationsphasen des Fahrzeugs.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 6 bis 8, ferner aufweisend den Schritt:

- Ansteuern (**62**) einer Anzeigeeinheit.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 10, das nach Beginn der Mission ein- oder mehrmals erneut durchgeführt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 11, wobei die Auswahl (**58**) eines ersten Massenstroms (**22**) und eines zweiten Massenstroms (**24**) unter Berücksichtigung einer Maximierung der Reichweite der von dem Fahrzeug zurückzulegenden Mission durchgeführt wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 12, wobei die Auswahl (**58**) eines ersten Massenstroms (**22**) und eines zweiten Massenstroms (**24**) unter Berücksichtigung einer Minimierung des Treibstoffverbrauchs durchgeführt wird.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 7 bis 13, wobei die Auswahl (**58**) eines ersten Massenstroms (**22**) und eines zweiten Massenstroms (**24**) unter Berücksichtigung einer Minimierung der klimaschädlichen Auswirkungen der Emissionen durchgeführt wird.

Es folgen 4 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

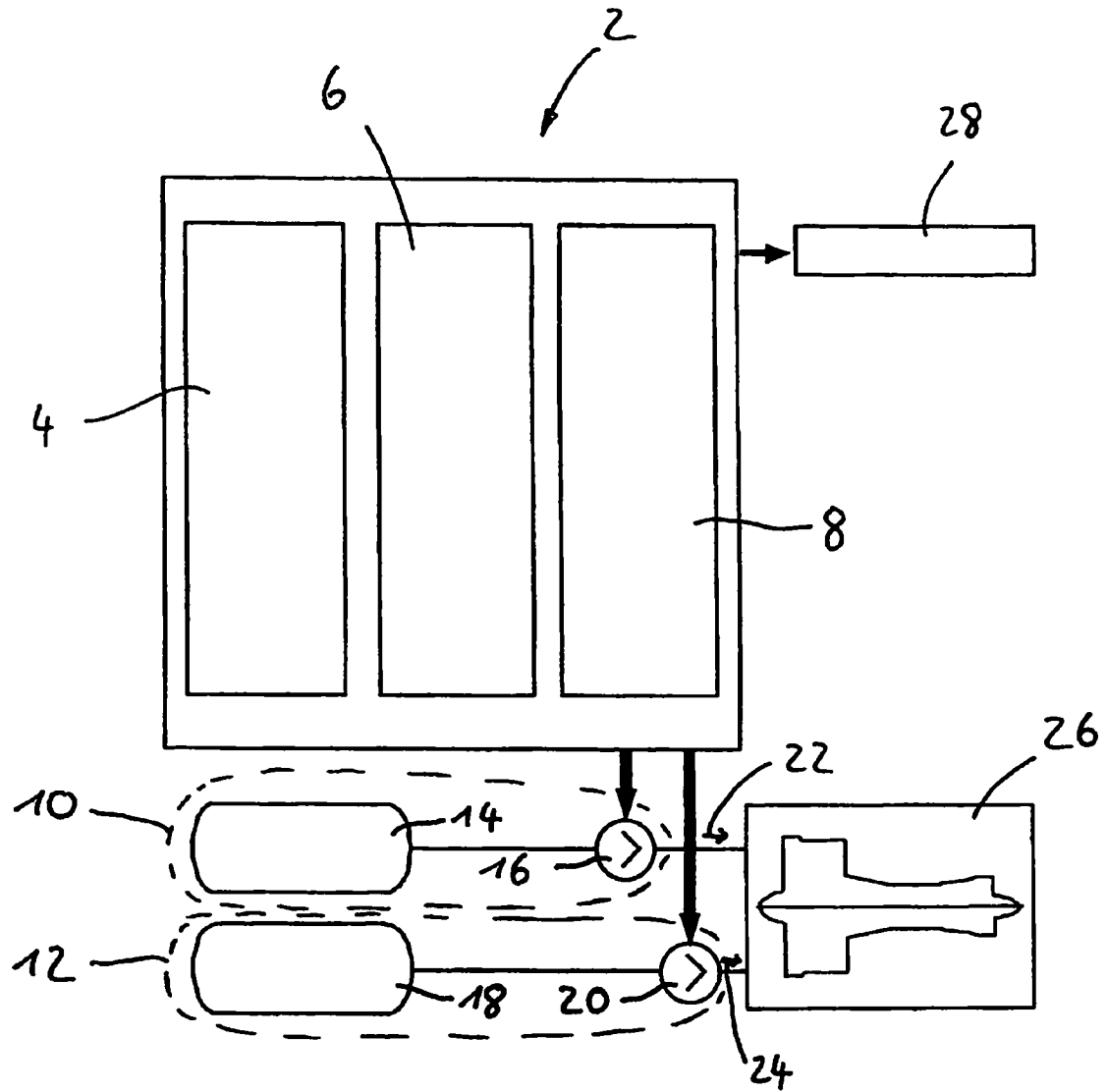


Fig. 1

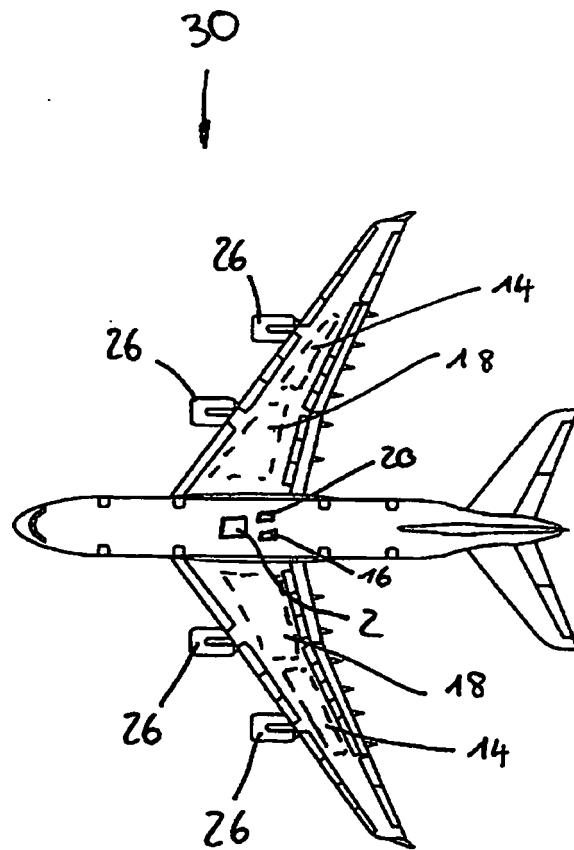


Fig. 2

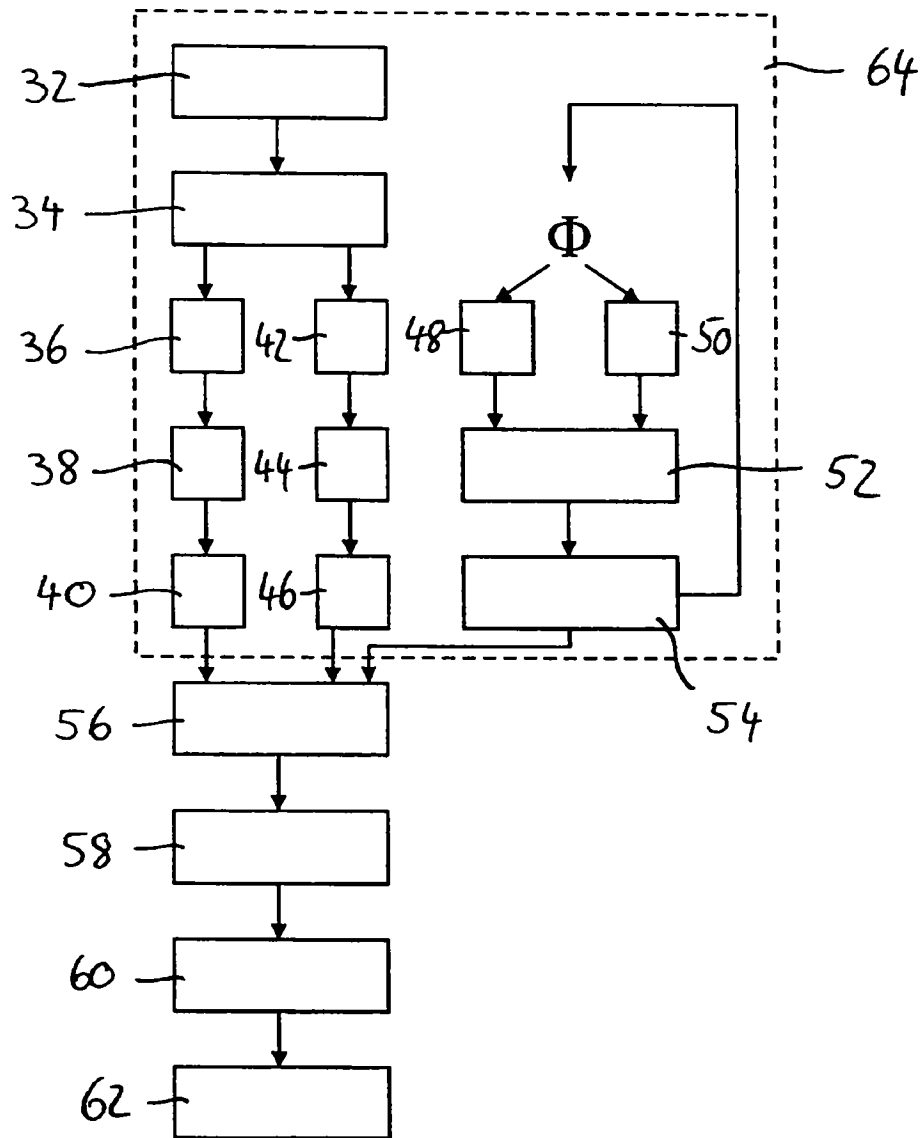


Fig. 3a

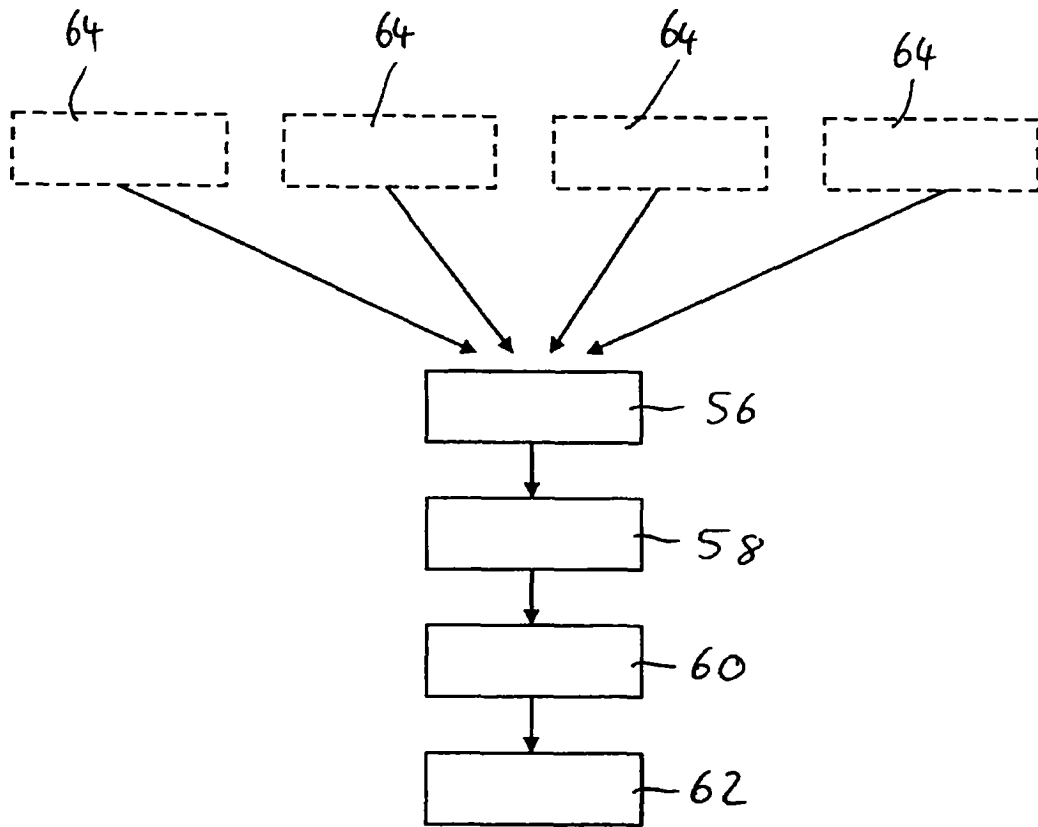


Fig. 3b