

(12) **Patentschrift**

(21) Anmeldenummer: A 731/2003 (51) Int. Cl.⁸: G05B 13/04 (2006.01)
 (22) Anmeldetag: 2003-05-13
 (43) Veröffentlicht am: 2006-05-15

(73) Patentanmelder:
 AVL LIST GMBH
 A-8020 GRAZ (AT)

(72) Erfinder:
 SCHÖGGL PETER DR.
 HITZENDORF (AT)
 LIST HELMUT
 GRAZ (AT)

(54) **VERFAHREN ZUR OPTIMIERUNG VON FAHRZEUGEN**

(57) Die Erfindung betrifft Verfahren zur Optimierung von Fahrzeugen und von Motoren zum Antrieb solcher Fahrzeuge mit folgenden Schritten:

- Durchführen von Messungen aus dem realen Betrieb des Fahrzeuges (10) auf der Straße oder einem Rollenprüfstand oder des Motors (21) auf einem Motorenprüfstand (19) auf der Basis eines Satzes anfänglicher Einstellparameter (E_{i0});
- Parametrisieren eines Simulationsmodells (11), das das Fahrzeug (10) bzw. den Motor (19) abbildet, um rechnerisch eine Prognose über die durch die Messungen erzielten Messwerte (M_{ik}) ermitteln zu können;
- Simulation des Fahrzeuges (10) unter Verwendung des Simulationsmodells (11), wobei auch mindestens ein Fahrbarkeitsindex (DR) berechnet wird, der sich aufgrund einer empirisch ermittelten Funktion aus mehreren Messwerten ergibt und der die Fahrbarkeit des Fahrzeuges (10) in einem bestimmten Fahrzustand angibt;
- Optimierung der Einstellung des Fahrzeuges (10) während der obigen Simulation durch rechnerische Veränderung von Einstellparametern (E_{ik}), wobei mindestens ein Fahrbarkeitsindex (DR) in

die Zielfunktion oder die Randbedingungen der Optimierung eingeht.

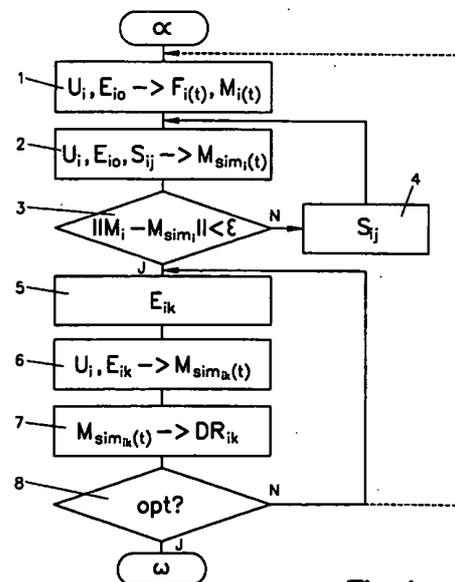


Fig.1

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Optimierung von Fahrzeugen und von Motoren zum Antrieb solcher Fahrzeuge. Von der vorliegenden Erfindung werden selbstverständlich auch Subsysteme wie der Antriebsstrang oder elektronische Motorsteuerungseinheiten umfasst.

5 Bei modernen Kraftfahrzeugen ist die Optimierung der Einstellung ein schwieriges Gebiet, da die Anzahl der Freiheitsgrade außerordentlich hoch ist. Dies betrifft sowohl die Abstimmung von Rennfahrzeugen, die primär dazu dienen soll, maximale Wettbewerbsfähigkeit, d.h. beste Rundenzeit bei fahrbarer Abstimmung, zu erreichen, als auch die Einstellung von Serienfahrzeugen im Hinblick auf Komfort, Fahrbarkeit, Kraftstoffverbrauch und Abgasemissionen. Die Schwierigkeit der Abstimmung resultiert aus der Tatsache, dass eine Vielzahl von Einstellparametern variiert werden kann, sich die Änderung von Einstellparametern in komplexer Weise üblicherweise in mehreren Aspekten eine Änderung des Verhaltens des Kraftfahrzeuges verursacht. Die Optimierung der Einstellung wird daher in der Praxis zumeist von qualifizierten Technikern durchgeführt, die aufgrund umfangreicher Erfahrung in der Lage sind, die Folgen von bestimmten Änderungen in der Einstellung abzuschätzen und die gewünschte Optimierung durchzuführen. Dennoch müssen im Zuge einer solchen Optimierung im Zuge eines iterativen Prozesses umfangreiche Fahrversuche unternommen werden, um die erzielten Zwischenergebnisse zu verifizieren und gegebenenfalls zu korrigieren. Der Fahrerfeedback wird in geeigneter Weise herangezogen, um die durchzuführenden Abstimmungsmaßnahmen zu entscheiden.

Die beschriebene Vorgangsweise benötigt Test- und Versuchsfahrten und eine subjektive Bewertung von Renn- oder Versuchsfahrern. Oftmals sind diese Fahrten aus technischen oder aus Gründen eines vorgegebenen Reglements aber nicht möglich.

25 Es ist bekannt, zur Verringerung von Testfahrten mit realen Fahrzeugen bzw. von Untersuchungen auf Prüfständen, Simulationsmodelle einzusetzen, die zumindest teilweise Optimierungsaufgaben übernehmen können. Beispiele solcher Verfahren sind in der EP 0 877 309 B, der WO 00/32456, US 6,434,454 B oder der EP 0 474 944 B gegeben. Solche Simulationsmodelle können jedoch stets nur Teilaspekte der zu optimierenden Abstimmung beleuchten, wie etwa die optimale Berechnung eines virtuellen Sensors als Datenquelle für die Motorelektronik, wie dies in der oben erwähnten EP 0877 309 B beschrieben ist.

35 Die EP 0 846 945 A beschreibt ein Verfahren, mit dem die Fahrbarkeit eines Fahrzeuges bewertet werden kann. Dabei wird ein Fahrbarkeitsindex verwendet, der aus Messungen an einem realen Fahrzeug abgeleitet werden kann. Mit Hilfe von Simulationsmodellen wird in weiterer Folge ein Prüfstand kalibriert, wodurch die Möglichkeit geschaffen wird, den Fahrbarkeitsindex zu berechnen, auch wenn das reale Fahrzeug nicht verfügbar ist. Eine Optimierung kann durchgeführt werden, indem die am Prüfstand verfügbare Hardware, beispielsweise die Motorsteuerung, abgeändert wird und durch neuerliche Prüfstandsversuche die Auswirkung auf die Veränderung des Fahrbarkeitsindex untersucht werden kann. Die AT 003.030 U beschreibt ein Verfahren, bei dem zusätzlich die Änderungen berücksichtigt werden, die sich aus der Unterschiedlichkeit verschiedener Fahrertypen ergeben. Ansonsten gibt diese Druckschrift dem Fachmann keine Hinweise, die über den Informationsgehalt der oben diskutierten Druckschriften hinausgehen.

Bei den bekannten Verfahren sind die Freiheitsgrade für eine Optimierung des Fahrzeuges naturgemäß beschränkt, und der Aufwand für eine Optimierung ist ungeachtet der bereits erzielten Einsparungen nach wie vor groß.

50 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren anzugeben, das in der Lage ist, nicht nur Teilaspekte der Fahrzeugabstimmung zu beleuchten, sondern in möglichst einfacher Weise eine Gesamtoptimierung durchzuführen. Dabei soll der Einsatz des realen Fahrzeuges so weit als möglich minimiert werden und es soll auch die Bewertung durch erfahrene Testingenieure weitgehend vermieden werden, um einerseits den Aufwand zu verringern und andererseits die

subjektiven Komponenten so weit wie möglich auszuschalten.

Diese Aufgaben werden durch ein Verfahren gelöst, das folgende Schritte aufweist:

- 5 - Durchführen von Messungen aus dem realen Betrieb des Fahrzeuges auf der Straße oder einem Rollenprüfstand oder des Motors auf einem Motorenprüfstand auf der Basis eines Satzes anfänglicher Einstellparameter;
- Parametrisieren eines Simulationsmodells, das das Fahrzeug bzw. den Motor abbildet, um rechnerisch eine Prognose über die durch die Messungen erzielten Messwerte ermitteln zu können;
- 10 - Simulation des Fahrzeuges unter Verwendung des Simulationsmodells, wobei auch mindestens ein Fahrbarkeitsindex berechnet wird, der sich aufgrund einer empirisch ermittelten Funktion aus mehreren Messwerten ergibt und der die Fahrbarkeit des Fahrzeuges in einem bestimmten Fahrzustand angibt;
- 15 - Optimierung der Einstellung des Fahrzeuges während der obigen Simulation durch rechnerische Veränderung von Einstellparametern, wobei mindestens ein Fahrbarkeitsindex in die Zielfunktion oder die Randbedingungen der Optimierung eingeht.

Wesentlich an der vorliegenden Erfindung ist die Verwendung von Fahrbarkeitsindizes oder
20 sogenannten Driveability-Variablen. Solche Fahrbarkeitsindizes sind Werte, die sich als Funktion aus mehreren messbaren Variablen ergeben und die die Fahrbarkeit des Fahrzeuges in bestimmten Schlüsselsituationen, die auch als Triggerbedingungen bezeichnet werden, wiedergeben. Die Definition dieser Funktionen erfolgt dabei auf empirischem Weg, indem Bewertungen, die von einer Vielzahl von Testfahrern abgegeben werden, mit den berechneten Funktionswerten verglichen werden, wobei die Funktionen so lang verändert und adaptiert werden bis
25 eine optimale Übereinstimmung zwischen den Funktionswerten und den tatsächlich vorliegenden Bewertungen erreicht wird. Die vorliegende Erfindung beruht auf der Erkenntnis, dass eine Optimierung des Fahrverhaltens bevorzugt nicht anhand von einzelnen Messwerten erfolgt, sondern eben die Fahrbarkeitsindizes mit einbezieht. Auch wenn es beispielsweise für einen
30 Rennwagen durchaus naheliegend erscheint, eine Optimierung auf die erzielbare Rundenzeit durchzuführen, da dies das offensichtliche Maß für die Qualität des Rennwagens ist, so hat sich doch herausgestellt, dass praxisnähere Ergebnisse und letztlich erfolgreichere Strategien erreichbar sind, sofern Fahrbarkeitsindizes in die Optimierung eingehen. Dies bedeutet, dass ein Optimierungsproblem vorliegt, das eine Zielfunktion aufweist (beispielsweise die Rundenzeit),
35 sowie eine Vielzahl von Randbedingungen. Die Randbedingungen können reglementbedingte Beschränkungen sein, wie etwa minimales Fahrzeuggewicht oder Beschränkungen hinsichtlich der Fahrzeugabmessungen, Aerodynamik und dergleichen, die können technisch physikalischer Natur sein, wie etwa Belastbarkeitsgrenzen des verwendeten Materials oder maximal zulässiger Reifenverschleiß, Kraftstoffverbrauch oder Minimalwerte für verschiedene Fahrbarkeitsindizes, die vorgeschrieben werden. Hier kann beispielsweise die Fahrbarkeit des Motors in Teillast oder bei Eingriff der Traktionskontrolle einen bestimmten Grenzwert überschreiten müssen, wobei bei Rennwagen dieser Wert für Rennen oder Training unterschiedlich sein kann. Weiters kann das Handling-Verhalten des Fahrzeuges in verschiedenen Bereichen der Strecke (Beschleunigen, Bremsen, Kurveneingang, Kurvenmitte, Kurvenausgang, und dgl.) objektiv
45 bewertet und als Randbedingung vorgegeben werden. Alternativ dazu ist es auch möglich, ein Optimierungsproblem zu definieren, bei dem eine maximal zulässige Rundenzeit als Randbedingung vorgegeben wird und beispielsweise ein Gesamtfahrbarkeitsindex, der sich aus mehreren einzelnen Fahrbarkeitsindizes ergibt, optimiert wird.

50 Die vorliegende Erfindung geht einen wesentlichen Schritt weiter als der stand der Technik, da es nunmehr möglich ist, eine Optimierung durchzuführen, bei der Einstellparameter rein rechnerisch variiert werden, so dass der wesentliche Teil des Optimierungsverfahrens völlig oder weitgehend rechnerisch durchgeführt werden kann.

55 Es ist grundsätzlich möglich, die oben beschriebene Optimierung weitgehend fahrerneutral

durchzuführen, das heißt, dass die vom Fahrer beeinflussbaren Variablen, wie etwa Lenkwinkel oder Gaspedalstellung passend angenommen werden, um eine Simulation zu ermöglichen. Bevorzugt ist es jedoch, das Verhalten des Fahrers explizit zu modellieren und in einem eigenen Fahrermodell abzulegen. Ein solches Fahrermodell wird dabei in sinnvoller Weise auf die zur Verfügung stehenden Fahrer einzeln abgestimmt, sofern es sich um Anwendungen im Rennsport handelt. Für Serienfahrzeuge können alternativ dazu verschiedene Fahrertypen definiert und durch ein Simulationsmodell dargestellt werden. Wesentlich an jeglicher Art des Fahrermodells ist dabei, dass das Verhalten des Fahrers vom Verhalten des Fahrzeugs abhängt. Auch in diesem Bereich hat sich gezeigt, dass Fahrbarkeitsindizes besonders gut geeignet sind, um diese Abhängigkeiten darzustellen und im Simulationsmodell abzubilden. Darüber hinaus hat es sich in ähnlicher Weise, wie beim Fahrzeug selbst als nützlich und sinnvoll herausgestellt, Fahrerbewertungsindizes zu definieren, die das Verhalten und die Qualität des Fahrers repräsentieren.

Für den Optimierungsschritt können verschiedene Optimierungsverfahren verwendet werden, die geeignet sind, komplexe Optimierungsaufgaben, wie sie hier vorliegen, zu bewältigen. Grundsätzlich kann dabei eine modellbasierte Optimierungsstrategie verwendet werden, die auch als "Full Factorial"-Verfahren bezeichnet wird. Dabei werden bei der Simulation die veränderbaren Parameter so lange variiert, bis man ein Optimum erreicht hat oder man dem Optimum in ausreichendem Ausmaß nahegekommen ist. Für die Optimierung selbst werden dabei keine besonderen Kenntnisse der Natur des Systems verwendet.

Alternativ dazu ist es möglich, sogenannte erfahrungsorientierte Optimierungsstrategien oder DOE (Design of Experience)-Strategien einzusetzen. Dabei wird versucht, die Optimierung durch Berücksichtigung von Zusammenhängen zu beschleunigen, die aus der Kenntnis des Verhaltens des simulierten Systems folgen. Die Definition solcher Optimierungsstrategien ist aufwendiger, dafür werden im Allgemeinen schnellere Optimierungsfortschritte erzielt.

Weiters können bei der Suche nach optimalen Einstellwerten durch Linearisierung des Modells in einem Ausgangspunkt rechnerisch Näherungswerte für die optimalen Einstellwerte gewonnen werden, von denen aus eine weitere Optimierung erfolgen kann.

In einer ersten Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird bei den Messungen das Gesamtfahrzeug im realen Betrieb herangezogen, um die erforderlichen Messwerte zu gewinnen. Die Messwerte werden dabei aus einer vollständig realen Situation auf der Straße gewonnen. Ein solches Verfahren ist naturgemäß mit einem relativ hohem Aufwand verbunden. Sofern bereits Daten über Teilsysteme vorliegen, kann der Aufwand daher durch sogenannte "Hardware in the loop"-Verfahren minimiert werden, bei denen Teilsysteme durch Simulationsmodelle ersetzt werden. Dabei sind beispielsweise folgende Konstellationen denkbar:

- das Fahrzeug befindet sich auf einen Rollenprüfstand: dabei müssen beispielsweise aerodynamische Effekte durch ein Simulationsmodell abgebildet werden, auch Einflussgrößen, wie Radaufhängung, Reifen und dergleichen können nicht direkt berücksichtigt werden;
- eine weitere Vereinfachung der Messungen ergibt sich, wenn der Motor des Fahrzeugs auf einem hochdynamischen Prüfstand untersucht wird. Zusätzlich zu den oben beschriebenen Variablen müssen hierbei auch alle mit dem Antriebsstrang zusammenhängenden Variablen simuliert werden;
- für Spezialuntersuchungen kann aber auch ein einzelnes Subsystem, wie etwas das Motorsteuerungsgerät getrennt untersucht werden, wobei sämtliche Variablen, die nicht direkt vom Steuergerät beeinflussbar sind, simuliert werden müssen.

Eine besonders begünstigte Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens liegt vor, wenn nach der Durchführung der Messungen aus dem realen Betrieb des Fahrzeugs Änderungen am Fahrzeug definiert werden und das Simulationsmodell auf Basis des geänderten Fahrzeugs erstellt wird. In vielen Fällen liegen reale Messwerte eines Fahrzeuges auf einer

bestimmten Strecke vor und es besteht die Aufgabe, das erwartete Verhalten eines in der Zwischenzeit leicht modifizierten Fahrzeuges, zu prognostizieren. Auf diese Weise ist es möglich, an einem Fahrzeug geplante Änderungen oder zwar bereits durchgeführte Änderungen, die aber noch nicht auf einer bestimmten Strecke getestet werden konnten, in dem Simulationsmodell zu berücksichtigen und die Auswirkungen dieser Änderungen zu analysieren. Ein besonderer Vorteil besteht dabei darin, dass es nicht nur möglich ist, die direkten Änderungen des ansonsten unveränderten Fahrzeuges im Hinblick auf die Fahrleistungen zu prognostizieren, sondern auch in der Simulation eine Optimierung des abgeänderten Fahrzeugs durch passende Wahl von Einstellparametern anzugeben.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren spielen folgende Variable eine Rolle:

U_i Umweltparameter, wie beispielsweise Fahrbahnbeschaffenheit, Luftdruck. Es handelt sich um externe Parameter, die nicht beeinflussbar sind, jedoch in das Modell eingehen.

E_i Einstellparameter: messbare Größen, die das Kraftfahrzeug charakterisieren und (zumindest prinzipiell) veränderbar sind. Beispiele: Federkennlinien, Motorkennfelder, Getriebeübersetzungen, Fahrzeuggewicht, Luftwiderstand und Ab- bzw. Auftriebswerte des Fahrzeuges

S_i Simulationsparameter: das sind Größen, denen keine messbare Variable entspricht und die für die Einstellung des Simulationsmodells benötigt werden. Beispiele: Reifenkennfelder (wenn nicht bekannt), Elastizität des Antriebsstranges (wenn nicht bekannt)

$F_i(t)$ Fahrerbestimmte Größen, wie etwa Lenkwinkel, Gaspedalstellung. Diese Variablen sind naturgemäß im Zeitablauf veränderlich und deshalb als Funktionen der Zeit angegeben. Über die Fahrzeuggeschwindigkeit könnten diese Parameter auch als Funktionen des Ortes dargestellt werden.

$M_i(t)$ Messwerte, die das Verhalten des Fahrzeugs charakterisieren, und die sowohl real messbar als auch vom Simulationsmodell berechenbar sind. Beispiele: Längsbeschleunigung, Querschleunigung, Motortemperatur. Die vom Simulationsmodell berechneten fiktiven Messwerte können als Funktion der Umweltparameter, der Simulation der Einstellparameter, der Simulationsparameter und der fahrerbestimmten Größen, sowie der übrigen Messerwerte dargestellt werden:

$$M_{sim_i}(t) = f(U_i, E_i, S_i, F_i(t), M_{sim_i}(t))$$

DR_i Fahrbarkeitsindizes für bestimmte Fahrmanöver und/oder Streckenteile. Die DR_i werden aufgrund von vorher ermittelten empirischen Daten aus dem $M_i(t)$ bzw. dem $M_{sim_i}(t)$ berechnet.

In der Folge wird die Erfindung anhand der in den Fig. dargestellten Ausführungsvarianten näher erläutert. Es zeigen: Fig. 1 ein Flussdiagramm zur Erklärung des erfindungsgemäßen Verfahrens und Fig. 2 ein Blockdiagramm, das wesentlichen Komponenten bei der Durchführung der Erfindung darstellt.

Die einzelnen Schritte des Flussdiagramms von Fig. 1 werden nun folgendermaßen erklärt:

➤ *Schritt 0: Beginn.*

➤ *Schritt 1: reale Runde:* ein Fahrzeug mit vorgegebenen Einstellparametern E_{i0} wird auf der realen Rennstrecke oder einem Prüfstand betrieben, wobei $F_i(t)$ und $M_i(t)$ aufgezeichnet

werden. Zusätzlich werden die Umweltparameter U_i beobachtet. Diese reale Runde kann, wie oben ausgeführt, auch mit dem Vorgängermodell des Fahrzeuges gefahren worden sein.

- 5 > *Schritt 2: virtuelle Runde:* mit Hilfe des Simulationsmodells wird am Rechner eine Runde simuliert. In das Simulationsmodell gehen U_i und E_{i0} als vorgegeben ein, weiters beruht die Berechnung auf Simulationsparametern S_{ij} , wobei der Index j die jeweilig Version der Simulationsparameter S_i nach j simulierten Runden bezeichnet. Dies bedeutet, es wird mit einem anfänglichen Satz von Simulationsparametern S_{i0} begonnen, der in weiterer Folge verbessert wird.

10 Variante 1: die fahrerbestimmten Größen $F_i(t)$ werden weitgehend von der realen Runde übernommen.

- 15 Variante 2: Das Fahrermodell ist Teil des Simulationsmodells (oder ein zusätzliches Simulationsmodell, was gleichbedeutend ist), und die fahrerbestimmten Größen $F_i(t)$ werden als $F_{sim_i}(t)$ mitsimuliert (=berechnet).

20 Ergebnis der Simulation ist ein Satz von virtuellen Messwerten $M_{sim_{ij}}(t)$ (und ggf. $F_{sim_{ij}}(t)$) für die simulierte Runde j .

- 25 > *Schritt 3: Abfrage:* ist die Genauigkeit des Simulationsmodells ausreichend? Dies wird grundsätzlich aus dem Unterschied zwischen $M_i(t)$ und $M_{sim_{ij}}(t)$ (und ggf. zwischen $F_i(t)$ und $F_{sim_{ij}}(t)$) ermittelt.

Dabei muss es wohl Bewertungsfunktionen geben, da wahrscheinlich einige Messwerte kritischer sind als andere und daher unterschiedliche Toleranzen vorliegen. Zusätzlich wird die Größe der Dri zur Berechnung der Genauigkeit herangezogen.

- 30 *Bei NEIN: Schritt 4:* Erzeugung eines neuen Satzes von Simulationsparametern S_{ij} und Rückkehr zu Schritt 2. Die Berechnung der neuen S_{ij} kann sicherlich rein mathematisch erfolgen (Optimierungsaufgabe ohne Kenntnis der inneren Systemzusammenhänge) oder es können Kenntnisse über die realen Zusammenhänge verwendet werden. Auch Kombinationen aus beiden sind möglich.

35 *Bei JA: Schritt 5.*

- 40 > *Schritt 5: Virtuelle Veränderung der Fahrzeugeinstellung:* die anfänglichen Einstellparameter E_{i0} werden auf E_{ik} verändert, wobei k ein Zähler für den jeweiligen Optimierungsschritt ist.

- 45 > *Schritt 6: Virtuelle Testrunde:* unter Verwendung der neuen Einstellparameter E_{ik} . Wie in Schritt 2 werden simulierte Messwerte berechnet, die ich hier mit $M_{sim_{ik}}(t)$ bezeichnen möchte, da sie nach k Optimierungsschritten vorliegen.

Variante 1: die fahrerbestimmten Größen $F_i(t)$ werden von der realen Runde unverändert übernommen.

- 50 Variante 2: Das Fahrermodell ist Teil des Simulationsmodells (oder ein zusätzliches Simulationsmodell, was gleichbedeutend ist), und die fahrerbestimmten Größen werden mitsimuliert. Besonderer Vorteil hier: das Verhalten der Fahrers ist auf der Basis der DR_{ik} , das sind Fahrbarkeitsindizes (nächster Schritt) besonders leicht und realitätsnah zu prognostizieren.

- 55 > *Schritt 7: Drivability-Berechnung:* Berechnung von DR_{ik} , das sind Fahrbarkeitsindizes nach

k Optimierungsschritten.

- *Schritt 8: Abfrage: Bewertung des Optimierungsfortschrittes: Ist ein ausreichender Fortschritt erreicht?*

5

Bei NEIN: Rückkehr zu Schritt 5.

Bei JA: Ende der Prozedur oder ggf. Rückkehr zu Schritt 1.

10 Die Fahrzeugoptimierung (Schritte 5 bis 8) stellt nichtlineare Optimierungsaufgabe mit einer Zielfunktion und mehreren Randbedingungen dar.

Das Blockdiagramm von Fig. 2 zeigt die wesentlichen beteiligten Komponenten in schematischer Weise.

15

Ein reales Fahrzeug 10 wird auf einer vorgegebenen Strecke betrieben. Anhand von Messwerten wird ein Simulationsmodell 11 parametrisiert, das sich intern in ein Fahrzeugmodell 12, ein Fahrermodell 13 und ein Streckenmodell 14 untergliedern lässt. Das Fahrzeugmodell 12 wiederum kann in Submodelle unterteilt sein, wie etwa ein Fahrdynamik-Modell 15, ein Aerodynamik-Modell 16 und ein Reifen-Modell 17, und nach Bedarf weitere hier nicht dargestellte Submodelle.

20

Mit 18 ist eine real verwendete Traktionskontrolle bezeichnet, die die am Prüfstand nicht real verfügbaren Eingangsgrößen vom Simulationsmodell 11 erhält, wie etwa die Fahrzeuggeschwindigkeit. Die Traktionskontrolle 18 steuert einen hochdynamischen Prüfstand 19 an, der seinerseits die erforderlichen realen Daten, wie etwa Motordrehzahl an die Traktionskontrolle zurückgibt. Der Prüfstand 19 besteht aus einem realen Motor 21, der an eine elektrische Bremse 22 angekoppelt ist.

25

Mit 20 ist die Steuerungselektronik für den Prüfstand 19 bezeichnet, die ihrerseits Daten mit dem Simulationsmodell 11 austauscht. Mit den mit dem Simulationsmodell 11 gewonnenen Daten können die Einstellgrößen des Fahrzeugs 10 verändert und optimiert werden.

30

Aufgrund der geschlossenen Schleife zwischen Simulationsmodell 11, Traktionskontrolle 18, Prüfstand 19 und Steuerungselektronik 20 wird ein solcher Aufbau auch Closed Loop-Modell bezeichnet. Ein solcher Aufbau kann einerseits als nicht vollständig in Software realisiertes Simulationsmodell verwendet werden, um in erfindungsgemäßer Weise das reale Fahrzeug 10 zu simulieren, kann aber andererseits selbst durch Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens vollständig softwaremäßig abgebildet werden, um Prüfstandsuntersuchungen einzusparen oder zu beschleunigen.

35

40

Bei vollständig softwaremäßiger Simulation des Fahrzeugs 10 ist ein hier nicht dargestelltes Submodell, das den Motor abbildet, als Teil des Simulationsmodells 11 erforderlich.

Die vorliegende Erfindung ermöglicht es, die Fahrzeugabstimmung durch Anwendung von Simulationsverfahren zu beschleunigen und qualitativ zu verbessern.

45

Patentansprüche:

50

1. Verfahren zur Optimierung von Fahrzeugen und von Motoren zum Antrieb solcher Fahrzeuge mit folgenden Schritten:
 - Durchführen von Messungen aus dem realen Betrieb des Fahrzeuges (10) auf der Straße oder einem Rollenprüfstand oder des Motors (21) auf einem Motorenprüfstand (19) auf der Basis eines Satzes anfänglicher Einstellparameter (E_{i0});

55

- Parametrisieren eines Simulationsmodells (11), das das Fahrzeug (10) bzw. den Motor (19) abbildet, um rechnerisch eine Prognose über die durch die Messungen erzielten Messwerte (M_{ij}) ermitteln zu können;
 - Simulation des Fahrzeuges (10) unter Verwendung des Simulationsmodells (11), wobei auch mindestens ein Fahrbarkeitsindex (DR) berechnet wird, der sich aufgrund einer empirisch ermittelten Funktion aus mehreren Messwerten ergibt und der die Fahrbarkeit des Fahrzeuges (10) in einem bestimmten Fahrzustand angibt;
 - Optimierung der Einstellung des Fahrzeuges (10) während der obigen Simulation durch rechnerische Veränderung von Einstellparametern (E_{ik}), wobei mindestens ein Fahrbarkeitsindex (DR) in die Zielfunktion oder die Randbedingungen der Optimierung eingeht.
2. Verfahren nach Anspruch 1, *dadurch gekennzeichnet*, dass ein Fahrermodell (13) vorgesehen ist, das das Verhalten des Fahrers modelliert und die vom Fahrer beeinflussbaren Größen (F) in Abhängigkeit vom Fahrzustand berechnet.
 3. Verfahren nach Anspruch 2, *dadurch gekennzeichnet*, dass in das Fahrermodell (13) mindestens ein Fahrbarkeitsindex (DR) als Eingangsgröße eingeht.
 4. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 oder 3, *dadurch gekennzeichnet*, dass das Fahrermodell (13) anhand von mindestens einem Fahrerbewertungsindex parametrisiert wird, der sich aufgrund einer empirisch ermittelten Funktion aus mehreren Messwerten ergibt und der das Fahrverhalten des betreffenden Fahrers in einem bestimmten Fahrzustand bewertet.
 5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, *dadurch gekennzeichnet*, dass beim Parametrisieren des Simulationsmodells (11) mindestens ein Fahrbarkeitsindex (DR) verwendet wird, der sowohl aus den Messungen aus dem realen Betrieb, als auch aus dem Simulationsmodell ermittelt wird.
 6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, *dadurch gekennzeichnet*, dass die Messungen des realen Betriebs unter der teilweisen Verwendung von Simulationsmodellen (11) durchgeführt werden, wobei einzelne Hardware-Komponenten einem realen Betrieb unterworfen werden, während andere Hardware-Komponenten durch Simulationsmodelle ersetzt werden.
 7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, *dadurch gekennzeichnet*, dass nach der Durchführung der Messungen aus dem realen Betrieb des Fahrzeuges (10) Änderungen am Fahrzeug (10) definiert werden und das Simulationsmodell (11) auf Basis des geänderten Fahrzeuges (10) erstellt wird.
 8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, *dadurch gekennzeichnet*, dass eine modellbasierte Optimierungsstrategie für das Parametrisieren des Simulationsmodells (11) eingesetzt wird.
 9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, *dadurch gekennzeichnet*, dass eine erfahrungsorientierte Optimierungsstrategie für das Parametrisieren des Simulationsmodells (11) eingesetzt wird.
 10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass eine modellbasierte Optimierungsstrategie für das Optimieren der Einstellung des Fahrzeuges (10) eingesetzt wird.
 11. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 9, *dadurch gekennzeichnet*, dass eine erfahrungsorientierte Optimierungsstrategie für das Optimieren der Einstellung des Fahrzeuges (10) eingesetzt wird.

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 11, *dadurch gekennzeichnet*, dass sinnvolle Optimierungsstrategien für die Einstellung des Fahrzeugs (10) aus einem linearisierten Optimierungsmodell (11) gewonnen werden.

5

Hiezu 2 Blatt Zeichnungen

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

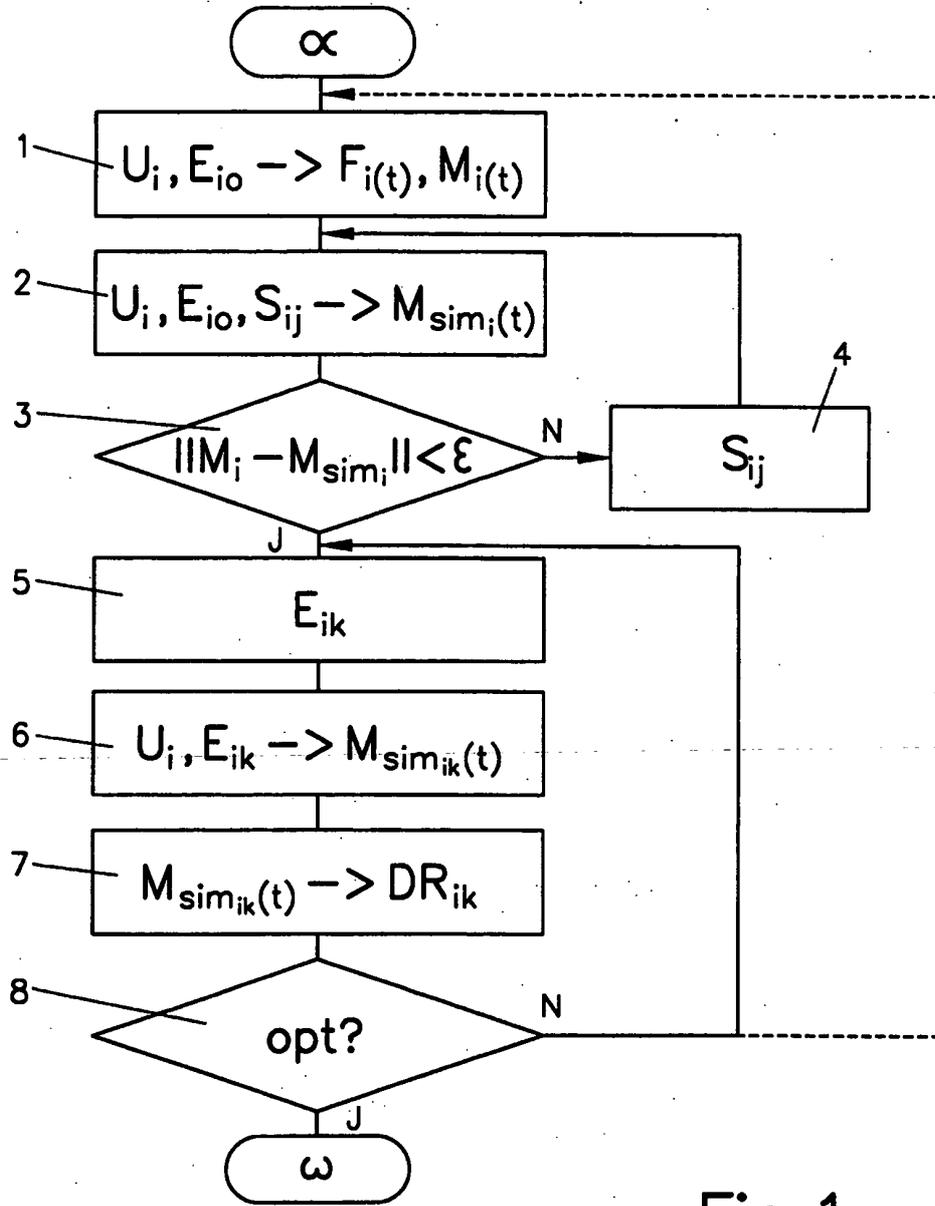


Fig.1

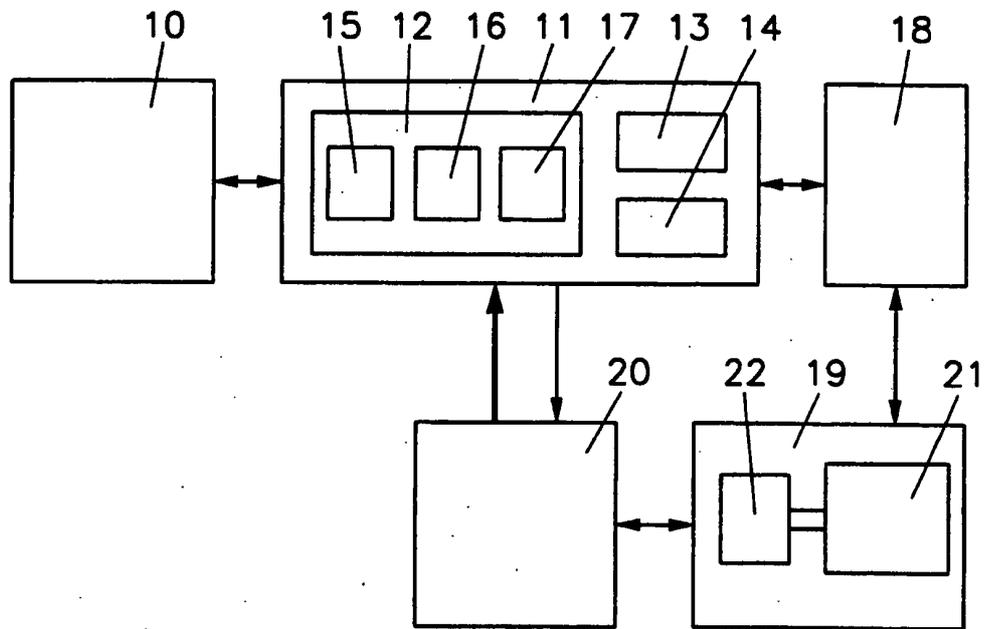


Fig.2