

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 50204/2018 (51) Int. Cl.: **G06F 17/50** (2006.01)
 (22) Anmeldetag: 09.03.2018 **G01M 17/00** (2006.01)
 (43) Veröffentlicht am: 15.08.2019

(56) Entgegenhaltungen:
 AT 501214 A1
 US 2017193138 A1
 DE 10046742 A1
 EP 1770618 A1

(71) Patentanmelder:
 AVL List GmbH
 8020 Graz (AT)

(72) Erfinder:
 Pfister Felix Dr. Ing.
 8010 Graz (AT)
 Geneder Stefan
 85290 Geisenfeld (DE)
 Schick Bernhard Prof.
 87448 Waltenhofen (DE)

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

(54) **Verfahren zum Bestimmen eines Fahrzeugparameters eines Fahrzeugdatensatzes eines Fahrzeugs und Verwendung des Fahrzeugparameters an einem Prüfstand**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen des Wertes zumindest eines Fahrzeugparameters eines Fahrzeugdatensatzes eines Fahrzeugs, einer Teilkomponente oder eines Teilsystems eines Fahrzeugs, sowie die Verwendung eines ermittelten Fahrzeugparameters zur Parametrierung eines Simulationsmodells (23) einer Simulation (6) zur Durchführung eines Prüfversuchs auf einem Prüfstand (10). Dazu wird aus den Fahrzeugparametern des Fahrzeugdatensatzes aufgabenabhängig eine erste Anzahl von Parametern als Eingangsdaten bzw. Eingangsparameter (E_i) und eine zweite, vorzugsweise zur ersten Anzahl komplementäre Anzahl von Parametern als Ausgangsdaten bzw. Ausgangsparameter (A_j) festgelegt und eine Fahrzeugdatenbank (1), in der für eine im Sinne der Modellbildung hinreichende Anzahl von validierten Fahrzeugen jeweils Werte der Eingangsparameter (E_i) und Werte der Ausgangsparameter (A_j) in Form von Fahrzeugdatensätzen gespeichert werden, wird verwendet, um eine Abhängigkeit der Ausgangsparameter (A_j) von der Anzahl der Eingangsparameter (E_i) in Form einer Anzahl von Abbildungsmodellen (M_x) zu identifizieren (Systemidentifikation, Modellbildung), und anhand dieser Anzahl der Abbildungsmodelle (M_x) und von vorgegebenen Werten der Eingangsparameter (E_i) der Wert der Anzahl der Ausgangsparameter (A_j) als Parameter des Fahrzeugdatensatzes bestimmt.

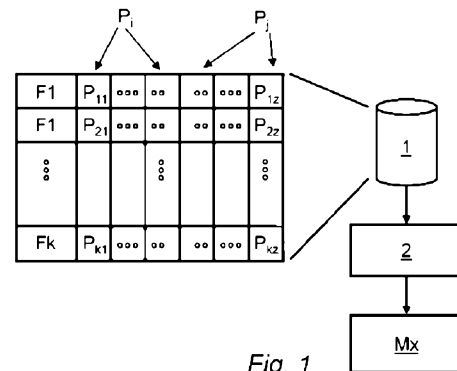


Fig. 1

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen des Wertes zumindest eines Fahrzeugparameters eines Fahrzeugdatensatzes eines Fahrzeugs, einer Teilkomponente oder eines Teilsystems eines Fahrzeugs, sowie die Verwendung eines ermittelten Fahrzeugparameters zur Parametrierung eines Simulationsmodells (23) einer Simulation (6) zur Durchführung eines Prüfversuchs auf einem Prüfstand (10). Dazu wird aus den Fahrzeugparametern des Fahrzeugdatensatzes aufgabenabhängig eine erste Anzahl von Parametern als Eingangsdaten bzw. Eingangsparameter (E_i) und eine zweite, vorzugsweise zur ersten Anzahl komplementäre Anzahl von Parametern als Ausgangsdaten bzw. Ausgangsparameter (A_j) festgelegt und eine Fahrzeugdatenbank (1), in der für eine im Sinne der Modellbildung hinreichende Anzahl von validierten Fahrzeugen jeweils Werte der Eingangsparameter (E_i) und Werte der Ausgangsparameter (A_j) in Form von Fahrzeugdatensätzen gespeichert werden, wird verwendet, um eine Abhängigkeit der Ausgangsparameter (A_j) von der Anzahl der Eingangsparameter (E_i) in Form einer Anzahl von Abbildungsmodellen (M_x) zu identifizieren (Systemidentifikation, Modellbildung), und anhand dieser Anzahl der Abbildungsmodelle (M_x) und von vorgegebenen Werten der Eingangsparameter (E_i) der Wert der Anzahl der Ausgangsparameter (A_j) als Parameter des Fahrzeugdatensatzes bestimmt.

Fig.1

Verfahren zum Bestimmen eines Fahrzeugparameters eines Fahrzeugdatensatzes eines Fahrzeugs und Verwendung des Fahrzeugparameters an einem Prüfstand

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Bestimmen des Wertes zumindest eines Fahrzeugparameters eines Fahrzeugdatensatzes eines Fahrzeugs, einer Teilkomponente oder eines Teilsystems eines Fahrzeugs, sowie die Verwendung eines ermittelten Fahrzeugparameters in einer Simulation der Durchführung eines Prüfversuchs auf einem Prüfstand.

Bei der Entwicklung eines Fahrzeugs entsteht eine Vielzahl von teilweise redundanten Parametern, die das Fahrzeug und alle seine Teilkomponenten näher beschreiben. Solche Parameter werden im Folgenden allgemein Fahrzeugparameter genannt. Solche Fahrzeugparameter sind z.B. Abmessungen, Getriebeart, Leistung, Verbrauch, Luftwiderstandswerte, Parameter der Aufhängung, des Antriebs, des Bremssystems, usw. Die Fahrzeugparameter umfassen auch Parameter, die das Fahrzeug grundlegend beschreiben und die an sich einfach zugänglich sind. Solche Parameter werden auch häufig als Konstruktionsparameter bezeichnet und umfassen Parameter wie das Baujahr des Fahrzeugs, eine Fahrzeugklasse, Angaben zur Geometrie des Fahrzeugs, eine Masse, Angaben zur Antriebsart, Angaben zum Getriebe, usw. Des Weiteren können auch Metadaten wie die Marke des Fahrzeugs und/oder ein bestimmtes Fahrzeugmodell Konstruktionsparameter sein.

Daneben gibt es noch Messdaten zum Fahrzeug, die ebenfalls Fahrzeugparameter darstellen. Sofern es sich bei den Messdaten um charakteristische Werte, d.h. das Verhalten des Fahrzeugs beschreibend, handelt, spricht man häufig auch von charakteristischen Kennwerten, bekannte Beispiele sind z.B. die Ausrollkurve, ein Normverbrauch, die Rundenzeiten am Nürburgring, etc.

Hierzu ist anzumerken, dass die Fahrzeugparameter nicht Parameter des gesamten Fahrzeugs enthalten müssen, sondern auch nur Parameter einer Teilkomponente oder eines Teilsystems des Fahrzeugs umfassen können, wie z.B. Parameter des Antriebsstranges, des Verbrennungsmotors, des Antriebsaggregats bei Hybridfahrzeugen, des Bremssystems, usw. Trotzdem wird in weiterer Folge auch hier und ohne Einschränkung von Fahrzeugparametern gesprochen.

Bei der Entwicklung von Fahrzeugen oder Fahrzeugkomponenten, wie Antriebsstränge, Antriebssysteme, Antriebsaggregate, usw., wird immer stärker auf Simulationen zurückgegriffen. Die Vorteile einer Simulation liegen auf der Hand: Mittels Simulationen können verschiedene Einflüsse auf das Fahrzeug oder die Fahrzeugkomponente simuliert werden, ohne ein reales Fahrzeug oder eine reale Fahrzeugkomponente zu benötigen. Damit können teure Prototypen und aufwendige Versuche an Prüfständen sowie reale Fahrversuche eingespart

werden, so dass die Entwicklungskosten sowie die Entwicklungszeit reduziert werden können. Insbesondere aktuelle Tendenzen in der Gesetzgebung in Richtung „Real-Driving-Emissions“ bedingen Aufwände bei der Fahrzeugentwicklung, die die Vorteile von Simulationen unterstreichen. Vor allem in frühen Entwicklungsstadien haben sich Simulationen durchgesetzt. Solche Simulationen benötigen natürlich geeignete Simulationsmodelle für das Fahrzeug oder die Fahrzeugkomponente. Diese sind mittlerweile in hoher Güte vorhanden. Solche Simulationsmodelle umfassen Simulationsparameter, mit denen das Simulationsmodell an eine bestimmte Ausprägung des Fahrzeugs oder eines Fahrzeugteilsystems angepasst wird. Vor einer Simulation sind die Simulationsmodelle daher über die Simulationsparameter zu parametrisieren. Dabei können Simulationsparameter unter Umständen mit Fahrzeugparametern identisch sein. Die Güte der Simulation wird dabei, neben dem Simulationsmodell selbst, direkt durch die Güte der Simulationsparameter und der anderen benötigten Fahrzeugparameter beeinflusst. Das beste Simulationsmodell liefert schlechte Simulationsdaten, wenn die Simulationsparameter des Simulationsmodells oder die benötigten Fahrzeugparameter falsch oder schlecht parametrisiert wurden.

In der Entwicklung eines Fahrzeugs, einer Fahrzeugkomponente und eines Teilsystems eines Fahrzeugs wird die Gesamtheit der Fahrzeugparameter und der Simulationsparameter häufig als Fahrzeugdatensatz bezeichnet. Das Problem dabei ist, dass zu Beginn der Entwicklung eines Fahrzeugs aber natürlich nur wenige Parameter des Fahrzeugdatensatzes bekannt sind. In der Praxis stellt die richtige Parametrisierung der Parameter des Fahrzeugdatensatzes, also die Vergabe von konkreten Werten für die verschiedenen Parameter, aber durchaus ein Problem dar. Dabei treten insbesondere die folgenden Problemfelder auf:

Vor allem im frühen Entwicklungsstadium besteht das Problem, dass Simulationen durchgeführt werden müssen, aber sich viele Parameter des Fahrzeugdatensatzes, insbesondere Simulationsparameter, erst später im Laufe der Entwicklung ergeben, da die Fahrzeugentwicklung, z.B. die Konstruktion der Fahrzeugkarosserie oder des Antriebsaggregats, und die Validierung (z.B. durch Simulation) der Eigenschaften des Fahrzeugs, z.B. des Kraftstoffverbrauchs, üblicherweise parallel stattfinden („Simultaneous Engineering“ bzw. „Cross Enterprise Engineering“). Simulationsingenieure müssen deshalb oftmals geeignete Abschätzungen treffen, um fehlende Parameter des Fahrzeugdatensatzes mit vernünftigen Werten zu parametrisieren. Dabei liegen den Entwicklern häufig nur unvollständige Informationen über das Fahrzeug bzw. das Fahrzeugteilsystem vor, d.h. sie haben nur Kenntnis von einer Auswahl von Parametern. Das sind meistens einfache Konstruktionsparameter, wie z.B. Fahrzeugaufbau, Fahrzeugabmessungen, Motornennleistung, usw. Genauere Fahrzeugparameter, wie z.B. Steifigkeit und Dämpfung der Federung, usw., Messdaten oder charakteristische Kennwerte sind in der Regel nicht verfügbar. Diese fehlenden Parameter des Fahrzeugda-

tensatzes sind jedoch zur Parametrisierung, aber auch zur Plausibilisierung und Validierung des Fahrzeugdatensatzes notwendig. In späteren Entwicklungsstadien sind die notwendigen Parameter des Fahrzeugdatensatzes zwar in der Regel grundsätzlich vorhanden, allerdings aufgrund organisatorischer Randbedingungen (z.B. andere Abteilung, anderes Unternehmen) für die Simulationsingenieure oftmals trotzdem nicht oder nur schwer verfügbar.

Oftmals ist es in der Praxis auch so, dass bestimmte Komponenten des Fahrzeugs, wie z.B. ein Getriebe, nicht vom Fahrzeughersteller selbst entwickelt werden, sondern von Dritten im Auftrag des Fahrzeugherstellers. Für die Entwicklung sind aber weitergehende Informationen des Gesamtsystems (Fahrzeug bzw. Fahrzeugteilsystems) notwendig, um die Komponente zu entwickeln (z.B. die Festlegung der Getriebestufen) sowie die gewünschten Eigenschaften validieren zu können (z.B. die Simulation des Beschleunigungsverhaltens). Den Drittentwicklern liegen daher meist auch nur unvollständige Informationen vor.

Wenn Parameter des Fahrzeugdatensatzes aus anderer Quelle (z.B. andere Abteilung oder anderes Unternehmen) stammen, besteht auch häufig das Problem, dass nicht sichergestellt werden kann, dass diese Parameter zum einen korrekt sind, d.h. keine willkürlichen Annahmen sind, und zum anderen vom richtigen Fahrzeug stammen. Eine Überprüfung von erhaltenen Parametern des Fahrzeugdatensatzes ist aber schwierig und oftmals unmöglich.

Ein weiterer wesentlicher Punkt ist, dass oftmals keine Messdaten des Fahrzeugs vorhanden sind, mit der eine Parametrisierung der Parameter des Fahrzeugdatensatzes validiert werden kann. Die Validierung der Entwicklungsparameter ist aber wichtig, da damit jederzeit überprüft werden kann, ob ein Entwicklungsschritt, beispielsweise eine bestimmte Simulation mit einem Simulationsmodell, mit den eingegebenen Parametern sinnvolle Werte liefert.

Nicht zuletzt besteht ein weiteres Problem darin, dass zwar zu einem Fahrzeug verschiedene Parameter des Fahrzeugdatensatzes vorliegen können, dass diese aber für die Parametrisierung des Simulationsmodells auf bestimmte Simulationsparameter, die beispielsweise keine physikalische Entsprechung haben, abgebildet werden müssen. Eine derartige Abbildung ist oftmals notwendig, weil die vorhandenen Fahrzeugparameter nicht den benötigten Simulationsparametern entsprechen. Eine entsprechende Abbildungsvorschrift ist dem Simulationsingenieur oft nicht bekannt. Zum anderen kann es sein, dass eine derartige Abbildung nicht so einfach möglich ist.

Derzeit nutzen Simulationsingenieure zum Parametrisieren der Parameter des Fahrzeugdatensatzes, die unbekannt sind, hauptsächlich Standardwerte, z.B. Fachbücher wie das Fahrwerkshandbuch, Tabellenbücher, sowie Lehrbücher, oder Daten von Fahrzeugen, die sie schon simuliert haben, oder Daten von ähnlichen Fahrzeugen, die der Hersteller der Si-

5
10
15
20
25
30
35
40
45
50
55
60
65
70
75
80
85
90
95
100
105
110
115
120
125
130
135
140
145
150
155
160
165
170
175
180
185
190
195
200
205
210
215
220
225
230
235
240
245
250
255
260
265
270
275
280
285
290
295
300
305
310
315
320
325
330
335
340
345
350
355
360
365
370
375
380
385
390
395
400
405
410
415
420
425
430
435
440
445
450
455
460
465
470
475
480
485
490
495
500

mulationsmodelle mitliefert. Dieses Vorgehen hat natürlich das Problem, dass die Qualität der Parameter des Fahrzeugdatensatzes stark davon abhängt, ob zumindest die wesentlichen Fahrzeugparameter und/oder wesentlichen Simulationsparameter, d.h. die Simulationsparameter, die einen wesentlichen Einfluss auf das Simulationsmodell haben, nahe am richtigen Wert liegen. Zudem muss berücksichtigt werden, dass sich durch den technischen Fortschritt Zusammenhänge und Parameterwerte verändern. So hat sich z.B. durch Downsizing das Leistungsgewicht von Verbrennungsmotoren erhöht; des Weiteren haben sich die cw-Werte von Fahrzeugen stetig verbessert.

In diesem Zusammenhang ist aus der DE 100 46 742 A1 ein Verfahren für ein Fahrzeugentwurfssystem bekannt, bei dem Modellier- und Berechnungsprogramme aus unterschiedlichen Fachgebieten zusammengeführt sind. Dabei arbeiten diese alle auf einer gemeinsamen Datenbasis. Zuerst wird dabei die Geometrie des Fahrzeugs konfiguriert. Danach wird eine Steifigkeitsberechnung durchgeführt und nachfolgend anhand von Korrelationsbeziehungen Fahrzeugparameter wie Fahrzeuggewicht, Schwerpunktlage, Achslastverteilung, Massenträgheiten und aerodynamische Beiwerte ermittelt. In einer Fahrleistungsrechnung werden dann noch die Geschwindigkeit, die Beschleunigung und die Steifigkeit des Fahrzeugs, sowie der Verbrauch bei vorgegebenen Fahrzyklen bestimmt. Auf diese Weise kann ausgehend von einigen festgelegten Geometrieparametern ein erster Fahrdatensatz ermittelt werden. Das Verfahren greift dabei auf vorgegebene bzw. bekannte Korrelationsbeziehungen zurück. Das Verfahren ist damit sehr eingeschränkt anwendbar und kann auch nur festgelegte Parameter des Fahrzeugdatensatzes aus anderen festgelegten Parametern des Fahrzeugdatensatzes (Geometrie) ermitteln. Für eine flexible Ermittlung von Parametern des Fahrzeugdatensatzes ist dieses Verfahren daher nicht geeignet.

Es ist nun eine Aufgabe der gegenständlichen Erfindung, ein Verfahren anzugeben, das es erlaubt, beliebige Fahrzeugparameter des Fahrzeugdatensatzes eines Fahrzeugs auf einfache Weise und in für die Entwicklung ausreichend hoher Qualität zu bestimmen, um diese unter anderem für die Durchführung eines Prüfversuchs mit einer Fahrzeugsimulation am Prüfstand nutzen zu können.

Diese Aufgabe wird mit dem eingangs erwähnten Verfahren erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass aus den Fahrzeugparametern des Fahrzeugdatensatzes aufgabenabhängig eine erste Anzahl von Eingangsparemetern und eine zweite, vorzugsweise zur ersten Anzahl komplementäre, Anzahl von Ausgangsparemetern festgelegt werden und eine Fahrzeugdatenbank, in der für eine im Sinne der Modellbildung hinreichende Anzahl von validierten Fahrzeugen jeweils Werte der Eingangsparemetern und Werte der Ausgangsparemetern in Form von Datensätzen (Fahrzeug, Teilkomponenten-, oder Teilsystemdatensätzen) gespeichert werden, verwendet wird, um eine Abhängigkeit der Ausgangsparemetern von der Anzahl der

Eingangsparameter in Form einer Anzahl von Abbildungsmodellen zu identifizieren – der sogenannten Systemidentifikation bzw. Modellbildung – und anhand dieser Anzahl der Abbildungsmodelle und von vorgegebenen Werten der Eingangsparameter der Wert der Anzahl der Ausgangsparameter als Parameter des Datensatzes bestimmt wird. Günstigerweise wird dabei der Wert der Anzahl der Ausgangsparameter mit zugehörigen statistischen Kenngrößen (z.B. Vertrauensbereich) bestimmt und als Parameter des Datensatzes verwendet.

Unter Verwendung von Daten aus einer Fahrzeugdatenbank, die sowohl Fahrzeug-, Teilkomponenten- als auch Teilsystemdaten aufweist, können also noch nicht bekannte Parameter ermittelt und für die Entwicklungs- bzw. Simulationstätigkeiten verwendet werden. Dabei können also z.B. von einem Benutzer gewählte Eingangsparameter verwendet werden um die – dem Benutzer unbekannt – Ausgangsparameter und damit einen vollständigen Datensatz zu generieren. Dabei kann die erste Anzahl von Eingangsparametern, die für die Identifizierung der Abbildungsmodelle verwendet wurde, teilweise oder vollständig herangezogen werden – wenn weniger als die erste Anzahl Eingangsparameter verwendet wird, kann es dabei eventuell Schwierigkeiten dabei geben, auch alle Ausgangsparameter zu bestimmen.

Die Fahrzeugdatenbank wird dabei während der Bearbeitung auch durch die Ergebnisse des erfindungsgemäßen Verfahrens zunehmend erweitert, die Abbildungsmodelle können damit adaptiert und verbessert werden. Dementsprechend wird die Generierung mit zunehmender Datenmenge immer genauer. Eine realitätsnahe Entwicklung, aussagekräftige Beurteilung des aktuellen Entwicklungsstandes und rechtzeitiges Erkennen von Fehlern und späteren Problemstellen ist möglich. Bei den mit dem Verfahren ermittelten Parametern handelt es sich insbesondere um Ausgangsparameter, die anhand der Abbildungsmodelle und der ausgewählten/vorgegebenen Eingangsparameter definiert werden. Als statistische Kenngrößen kommen dabei z.B. der Vertrauensbereich, das Bestimmtheitsmaß bzw. das angepasste Bestimmtheitsmaß oder die Modellsignifikanz zur Anwendung.

Vorteilhafterweise wird zusätzlich zumindest eine Abhängigkeit eines zusätzlichen Ausgangsparameters von einer Anzahl der Eingangsparameter in Form einer bekannten Berechnungsvorschrift modelliert.

In einer weiteren Variante der Erfindung wird der ermittelte Datensatz – bzw. der anhand der ermittelten Parameter erstellte Datensatz – mit einem vorgegebenen Datensatz verglichen und das Vergleichsergebnis wird ausgegeben, wobei vorzugsweise eine Plausibilitätsprüfung zwischen dem ermittelten und dem vorgegebenen Datensatz vorgenommen wird. Die Ausgabe des Vergleichs der Datensätze kann dabei in Form von Abweichungen, einem Qualitätswert oder einfach als Ergebnis ausgegeben werden und ermöglicht eine weitere

technische Beurteilung der Entwicklungsqualität. Plausibilität liegt beispielsweise vor, wenn Werte der Parameter in einem bestimmten Maß übereinstimmen; das Maß kann dabei je nach Anwendung gewählt werden – z.B. 20% bei ADAS oder 5% bei Verbrauchswerten.

5 Günstigerweise werden als Abbildungsmodelle Polynommodelle oder Neuronale Netze verwendet, die durch Regression und/oder Training ermittelt werden. Dabei wird ein Teil der Datensätze für die Modellbildung, der andere Teil zur Bestimmung von statistischen Kenngrößen zur Bestimmung der Modellqualität ermittelt (z.B. Bestimmtheitsmaß bzw. die anderen weiter oben genannten Kenngrößen).

10 Um zu verhindern, dass unpassende Parameter verwendet werden und die Entwicklungsarbeiten negativ beeinflussen werden in einer Variante der Erfindung die Abweichungen zwischen gespeicherten Werten und daraus mittels Abbildungsmodellen berechneten Werten minimiert, indem falsch vorgegebene Eingangsparameter und/oder unplausible Datensätze identifiziert und nicht berücksichtigt/verwendet werden. Vorzugsweise werden für die Eingangsparameter anhand der Datensätze der Fahrzeugdatenbank Konfidenzbereiche definiert und neue Eingangsparameter als falsch identifiziert, wenn ihre Werte außerhalb der
15 Konfidenzbereiche liegen. Beispielsweise können Fein-, Mittel- und Grobbereiche in Form von Über- und Unterschreitungen in Prozent bzw. Absolutwerten definiert werden. Wenn die vorgegebenen Werte der Eingangsparameter den kleinsten Wert in der Datenbank um einen vorgegebenen Prozentsatz unterschreiten und den größten Wert überschreiten (z.B. um
20 25%), liegt ein falsch vorgegebener Parameter vor; die Limits von akzeptablen Kenngrößen sowie die erlaubten Abweichungen können dabei anwendungsbezogen definiert werden.

Um Fehlereinflüsse durch die Datensätze möglichst auszuschließen wird den Datensätzen der Fahrzeugdatenbank zumindest teilweise zumindest ein Qualitätsindikator zugewiesen. Dieser kann beispielsweise als Zahlenwert ausgeführt sein, ein hoher Indikator wird bei besonders genauer Messung vergeben – wenn z.B. eine Messgenauigkeit +/- 5% sichergestellt
25 werden kann. Eine hohe Qualität wird dann stärker in der Bildung der Abbildungsmodelle berücksichtigt und erlaubt ein insgesamt genaueres Ergebnis.

In einer weiteren Variante der Erfindung werden zur Ermittlung eines mit dem oben beschriebenen Verfahren ermittelten Datensatzes die Werte der Eingabeparameter eines vorgegebenen Datensatzes einer Teilmenge der in der Fahrzeugdatenbank gespeicherten validierten Datensätze verwendet. Aufgabenabhängig können auch nur Teilmengen der Datenbank bzw. von Datensätzen der Datenbank herangezogen werden – beispielsweise kann
30 eine Einschränkung der Datensätze auf Jahreszahlen, Gewichtsklassen oder Ausstattungsvarianten erfolgen.

Erfindungsgemäß kann zumindest ein nach dem Verfahren ermittelter Fahrzeugparameter als Simulationsparameter zum Parametrieren eines Simulationsmodells zum Simulieren eines Fahrzeugs oder eines Teilsystems des Fahrzeugs für die Durchführung eines Prüfversuchs mit einem Prüfling und einer damit verbundenen Belastungsmaschine auf einem Prüfstand verwendet werden, wobei der Prüfversuch zumindest teilweise mit der Simulation gesteuert wird. Damit kann auf einfache Weise eine Simulation parametrieren werden, ohne genaue vorherige Kenntnis bestimmter Simulationsparameter. Damit wird auch sichergestellt, dass die unbekannt Simulationsparameter plausibel parametrieren werden. Damit können auch Simulationen durchgeführt werden, die gemäß Stand der Technik bis jetzt nicht möglich waren, weil ein Parametrieren - also Konfigurieren – in frühen Entwicklungsphasen aufgrund mangelnder Daten nicht möglich war.

Vorteilhafterweise liefert die Durchführung des Prüfversuchs am Prüfstand einen charakteristischen Kennwert des Prüflings, der mit einem entsprechenden ermittelten Fahrzeugparameter verglichen wird, um die Simulation zu validieren. Das ermöglicht auch eine unmittelbare Validierung der ermittelten Simulationsparameter und eine damit einhergehende Rückmeldung, ob den ermittelten Fahrzeugparametern vertraut werden kann oder nicht.

Die gegenständliche Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren 1 bis 7 näher erläutert, die beispielhaft, schematisch und nicht einschränkend vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung zeigen. Dabei zeigt

- Fig.1 ein Blockdiagramm einer ersten Variante des erfindungsgemäßen Verfahrens,
- Fig.2 ein Blockdiagramm einer zweiten Variante des Verfahrens,
- Fig.3 ein Blockdiagramm einer dritten Variante des Verfahrens,
- Fig.4 eine Eingabemaske für eine Benutzerschnittstelle,
- Fig.5 ein Blockdiagramm einer weiteren Variante des Verfahrens,
- Fig.6 eine Vorrichtung zur Ausführung des erfindungsgemäßen Verfahrens und
- Fig.7 einen erfindungsgemäßen Prüfstand zur Durchführung eines Prüfversuchs mit einer Simulation.

Die gegenständliche Erfindung geht davon aus, dass es eine Fahrzeugdatenbank gibt, in der bekannte Parameter des Fahrzeugdatensatzes von verschiedenen Fahrzeugen hinterlegt sind. Diese Daten können für jedes Fahrzeug verschiedene Fahrzeugparameter und Simulationsparameter umfassen.

Wie bereits eingangs ausgeführt, können die Fahrzeugparameter Konstruktionsparameter, Messdaten zum Fahrzeug und charakteristische Kennwerten umfassen. Konstruktionsparameter sind Fahrzeugparameter, die das Fahrzeug (oder auch nur ein Teilsystem oder eine

Teilkomponente davon) grundlegend beschreiben und die an sich einfach, auch öffentlich, zugänglich sind. Messdaten und charakteristische Kennwerten, beispielweise Parameter wie die Federsteifigkeit der Radaufhängung, ein Rollwiderstand, eine maximal übertragbare Reifkraft, die Ausrollkurve, ein Normverbrauch, etc., sind typischerweise öffentlich nicht, oder
5 nur schwer, zugänglich.

Als Konstruktionsparameter werden insbesondere das Baujahr des Fahrzeugs, die Fahrzeugklasse, ein Geometrieparameter, ein Massenparameter, ein Antriebsparameter, ein Antriebsartparameter, ein Reifenparameter und ein Getriebeparameter angesehen. Weiter können auch Metadaten wie die Marke des Fahrzeugs und/oder ein bestimmtes Fahrzeugmodell
10 ein Konstruktionsparameter sein.

Die Fahrzeugklasse beschreibt beispielsweise ob das Fahrzeug ein Kleinwagen, Mittelklassewagen, Obere Mittelklassewagen, Oberklassewagen, Luxusklassewagen, Sportwagen, Geländewagen, eine Geländelimousine (SUV), eine Großraumlimousine, usw., ist. Als Geometrieparameter werden Angaben zur Geometrie des Fahrzeugs angesehen, also beispielsweise die Länge, die Breite, der Radstand, die Spurbreite, oder der Fahrzeugüberhang vorne.
15 Ein Massenparameter beschreibt beispielsweise die Leermasse des Fahrzeugs. Der Antriebsparameter umfasst Parameter die den Antrieb des Fahrzeugs beschreiben, wie beispielsweise die maximale Leistung, ggf. bei einer bestimmten Drehzahl, oder das maximale Drehmoment, ggf. bei einer bestimmten Drehzahl. Mit dem Antriebsartparameter kann zwischen Vorderradantrieb, Hinterradantrieb, Allradantrieb, Hybridantrieb, usw. unterschieden
20 werden. Mit dem Reifenparameter wird der Reifen näher beschrieben, d.h. die Reifenkennzeichnung, z.B. 185/65 R 15, oder der Reifendurchmesser. Der Getriebeparameter ist beispielsweise die Anzahl der Getriebestufen oder die Getriebespreizung (Verhältnis von größter zu kleinster Übersetzung) oder andere.

Diese Fahrzeugdatenbank kann einmalig aufgebaut werden und kann natürlich laufend mit neuen oder aktualisierten Fahrzeugparametern ergänzt und erweitert werden. Daten, also insbesondere Parameter des Fahrzeugdatensatzes, für die Fahrzeugdatenbank können beispielsweise aus zugänglichen Datenblättern eines Fahrzeugs (wie z.B. dem Typenschein), aus Fahrzeugkatalogen, aus Autozeitschriften, aus Messungen oder aus Berechnungen oder
30 Simulationen anhand anderer bekannter Daten gewonnen werden. Gleichfalls können auch Daten aus früheren Entwicklungen in die Fahrzeugdatenbank Eingang finden. Dabei ist es nicht erforderlich, dass zu jedem Fahrzeug in der Fahrzeugdatenbank alle möglichen Parameter bekannt und eingetragen sind.

Erfindungsgemäß werden nun anhand der in der Fahrzeugdatenbank gespeicherten Parameter des Fahrzeugdatensatzes Abhängigkeiten zwischen einer ersten Gruppe einer Anzahl
35

$i=1, \dots, n$ von Parametern P_i des Fahrzeugdatensatzes, als Eingangsparameter E_i bezeichnet, und einer zweiten Gruppe einer Anzahl $j=1, \dots, m$ von Parametern P_j des Fahrzeugdatensatzes, als Ausgangsparameter A_j bezeichnet, untersucht. Dabei wird für zumindest einen Eingangsparameter die Abhängigkeit zu mehreren verschiedenen Ausgangsparametern untersucht und die Abhängigkeit durch ein Abbildungsmodell abgebildet. In der Fahrzeugdatenbank sind dabei Datensätze für Fahrzeuge/Fahrzeugteilsystem/Fahrzeugteilkomponenten in Sinne einer Modellbildung hinreichenden Anzahl von validierten Fahrzeugen, Fahrzeugteilsystemen und Fahrzeugteilkomponenten gespeichert bzw. werden laufend ergänzt. Den Datensätzen kann dabei zumindest teilweise ein Qualitätsindikator zugewiesen werden, wenn sie beispielsweise aus validierten Quellen oder speziell durchgeführten Messungen stammen. Ein hoher Wert für den Qualitätsindikator kann dabei bedeuten, dass der Datensatz aus einer besonders genauen Messung stammt. Datensätze hoher Qualität können dabei stärker in die Bildung von Abbildungsmodellen einfließen.

Dabei ist es natürlich sinnvoll, wenn sich die Eingangsparameter und die Ausgangsparameter nicht überschneiden. Bevorzugt sind die Eingangsparameter komplementär, also unterschiedlich zu den Ausgangsparametern. Wenn ein Parameter des Fahrzeugdatensatzes gleichzeitig ein Eingangsparameter und ein Ausgangsparameter ist, dann könnte man einen direkten Zusammenhang Eingangsparameter = Ausgangsparameter aufstellen, und die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens wäre in diesem Fall nicht wirklich sinnvoll.

Ein Abbildungsmodell ist ein mathematisches Modell, das aus dem zumindest einen Eingangsparameter E_i einen oder mehrere Ausgangsparameter A_j berechnet. Ein solches mathematisches Modell kann ein Polynommodell, ein neuronales Netz, ein lineares Modellnetzwerk, eine mathematische Funktion, usw. sein, das durch Regression und /oder Training ermittelt wird. Dabei kann ein Teil der Datensätze für die Modellbildung, andere Teile zur Bestimmung von statistischen Kenngrößen zur Ermittlung der Modellqualität (z.B. Bestimmungsmaß) verwendet werden. Die mathematischen Modelle beschreiben in der Regel Abhängigkeiten zwischen den zumindest einen Eingangsparameter E_i und den einen oder mehreren Ausgangsparametern A_j , die keine physikalische Entsprechung haben. Ein solches Abbildungsmodell kann dabei durchaus auch gleichzeitig mehrere Ausgangsparameter A_j in Abhängigkeit von mehreren (aber zumindest einen) Eingangsparametern E_i ermitteln.

Die Ermittlung von Polynommodellen, oder einer anderen mathematischen Funktion, erfolgt beispielsweise mittels einer bekannten Regressionsanalyse. Hierzu gibt es viele bekannte Methoden, die verwendet werden könnten. Allgemein gesprochen wird ein vorgegebenes Polynom in der allgemeinen Form

$$P(x) = \sum_{i=0}^n a_i x^i = a_0 + a_1 x + a_2 x^2 + \dots + a_{n-1} x^{n-1} + a_n x^n, \quad n \geq 0$$

schen bekannten Daten und dem Berechnungsergebnis des Polynoms zu minimieren. Dabei werden in der Regel die Koeffizienten a_i variiert. Als Fehler kann beispielsweise der mittlere quadratische Fehler herangezogen werden. Es kann dabei auch vorgesehen sein, dass im Rahmen einer Verfeinerung des Polynommodells Modellterme entfernt werden, die statistisch nicht signifikant sind. Gegebenenfalls kann vorher auch eine Transformation der Ausgangsgröße (z.B. Invertierung oder Logarithmierung) zur besseren Abbildung der Abhängigkeiten erfolgen.

Bei der Nutzung von Neuronalen Netzen als Abbildungsmodell erfolgt ein entsprechendes Anlernen des Neuronalen Netzes auf Basis von vorhandenen Daten (Eingangsparameter, Ausgangsparameter) in der Fahrzeugdatenbank. Auch hierzu gibt es eine Fülle von bekannten Strukturen des Neuronalen Netzes und von Methoden zum Training eines Neuronalen Netzes, auf die hier nicht eingegangen wird. Beispielhaft, aber nicht einschränkend, seien hier genannt Backpropagation-Algorithmus, Simulated Annealing, Delta-Regel, usw.

Beim Bestimmen eines Abbildungsmodells in Form eines mathematischen Modells ist es vorteilhaft, wenn ein Teil der verfügbaren Daten aus der Fahrzeugdatenbank nicht zur Modellbildung verwendet wird. Diese nicht verwendeten Daten können dann zum Validieren des ermittelten Abbildungsmodells herangezogen werden. Wenn Datensätze, die nicht zur Modellberechnung verwendet wurden, einen ähnlichen Fehler aufweisen, wie andere Datensätze, die mit dem mathematischen Modell berechnet wurden, kann angenommen werden, dass das mathematische Modell die Daten ausreichend genau beschreibt. So kann auch überprüft werden, ob eine Überanpassung des Abbildungsmodells vorliegt.

Ausgangsparameter können dabei mit zugehörigen statistischen Kenngrößen (z.B. Vertrauensbereich) bestimmt werden und die zugehörigen statistischen Kenngrößen können zusätzlich als Parameter des Datensatzes bestimmt und auch gespeichert werden.

Beispielsweise kann in bekannter Weise der Vertrauensbereich des Abbildungsmodells, genauer gesagt der Vertrauensbereich eines Ausgangsparameters des Abbildungsmodells, berechnet werden. Der Vertrauensbereich ist ein bekannter Begriff aus der Statistik, der mit bekannten Methoden der Statistik berechnet werden kann. Der Vertrauensbereich gibt einen Hinweis darauf, wie sehr einem mit dem Abbildungsmodell ermittelten Ausgangsparameter vertraut werden kann. Das heißt also, dass der Vertrauensbereich, oder eine andere statistische Kenngröße, Auskunft gibt über die Zuverlässigkeit des Modells. Der Vertrauensbereich bezieht sich auf den Mittelwert der Verteilung der y -Werte für einen beliebigen x -Wert im un-

tersuchten Bereich. Der Vertrauensbereich eines Modells bestimmt die Unsicherheit der Ausgangsgröße y_i in den gemessenen Punkten x_i . Für den Vertrauensbereich gilt:

$$\left[\bar{y} - \frac{z \cdot \sigma}{\sqrt{n}}; \bar{y} + \frac{z \cdot \sigma}{\sqrt{n}} \right]$$

mit dem Mittelwert \bar{y} , der Anzahl der Messpunkte n , der Varianz σ^2 und z ($1 - \alpha/2$) als ($1 - \alpha/2$)-Quantil z.B. der Normalverteilung.

Für die Varianz gilt:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum (y_i - \bar{y})^2$$

mit den oben genannten Variablen.

Allgemein ist ein Ausgangsparameter umso vertrauenswürdiger, je enger der zugehörige Vertrauensbereich ist. Weitere ermittelbare statistische Kenngrößen sind z.B. Bestimmtheitsmaß, angepasstes Bestimmtheitsmaß oder Modellsignifikanz.

Mit Hilfe des Bestimmtheitsmaßes r^2 oder des angepassten Bestimmtheitsmaßes r^2_{adj} , als weitere mögliche statistische Kenngröße, wird beispielsweise die Güte der ermittelten Abbildungsmodelle beurteilt. Das Bestimmtheitsmaß r^2 sagt aus, zu welchem Grad das Abbildungsmodell die Abweichungen der Messwerte von einem konstanten Mittelwert erklärt. Es berechnet sich nach dem Zusammenhang

$$r^2 = SS_{reg}/SS_{tot} = 1 - SS_{err}/SS_{tot},$$

wobei SS_{reg} die Summe der quadrierten Abweichungen zwischen den vorhergesagten (mittels Regression berechneten) Werten y_i^* und dem Mittelwert \bar{y} , SS_{tot} die Summe der quadrierten Abweichungen zwischen den Messwerten y_i und dem Mittelwert \bar{y} und SS_{err} die Summe der quadrierten Abweichungen zwischen den einzelnen Messwerten y_i und den berechneten oder vorhergesagten Werten y_i^* darstellt.

SS_{err} ist somit ein Maß für die Variation von $y=P(x)$, die nicht von den Regressionsgleichungen abgebildet wird. Mit dem angepassten Bestimmtheitsmaß r^2_{adj} können neben der Modellberechnungsqualität auch die vorgegeben Freiheitsgrade der Modellgleichung beurteilt werden, d.h. ob die Messwerte nahe dem berechneten Modell liegen und ob ausreichend Messwerte vorhanden sind, um die Modellgleichung bestimmen zu können. Es berechnet sich nach dem Zusammenhang

$$r^2_{adj} = 1 - [(SS_{err}/(n - p)) / (SS_{tot}/(n - 1))]$$

mit n als Anzahl der Messwerte und p als Anzahl der unabhängigen Modell-
Regressionskoeffizienten.

Die herangezogenen Abbildungsmodelle können dabei jederzeit neu ermittelt oder verfeinert
5 werden, beispielsweise wenn neue Daten in die Fahrzeugdatenbank aufgenommen werden.

Zusätzlich zum Abbildungsmodell kann eine Abhängigkeit zwischen der Anzahl der Ein-
gangparameter E_i und einem Ausgangsparameter A_j durch einen physikalischen oder funk-
tionellen Zusammenhang, allgemein als Berechnungsvorschrift bezeichnet, gegeben sein.
Eine Berechnungsvorschrift in Form eines physikalischen Zusammenhangs könnte z.B. die
10 Berechnung einzelner Getriebeübersetzungen aus der Anzahl der Getriebestufen und der
Getriebespreizung sein. Ein funktioneller Zusammenhang kann beispielsweise für den C_w -
Wert in Abhängigkeit von der Fahrzeuglänge und der Fahrzeugart aufgestellt werden. Solche
funktionelle Zusammenhänge können dabei auch Beziehungen abbilden, die nicht ohne wei-
teres physikalisch berechnet werden können, bzw. die keine direkte physikalische Entspre-
15 chung haben, aber bei denen aufgrund der unterschiedlichsten Randbedingungen trotzdem
Zusammenhänge zwischen Eingangparameter E_i und Ausgangsparameter A_j bestehen.
Eine Berechnungsvorschrift ist damit eine bekannte mathematische Funktion, die einen Aus-
gangsparameter A_j in Abhängigkeit einer Anzahl von Eingangparameter E_i berechnet.

Der Schritt der Bestimmung des zumindest einen Abbildungsmodells für zumindest einen
20 Ausgangsparameter A_j , vorzugsweise mehrere Abbildungsmodelle für verschiedene Aus-
gangsparameter A_j , wird anhand der Fig.1 erläutert. In einer Fahrzeugdatenbank 1 sind zu k
verschiedenen Fahrzeugen F_1, F_2, \dots, F_k verschiedene Parameter des Fahrzeugdatensat-
zes hinterlegt. Ein Fahrzeugdatensatz umfasst hierbei z Parameter (Fahrzeugparameter
und/oder Simulationsparameter). Allerdings ist anzumerken, dass in der Fahrzeugdaten-
25 bank 1 nicht zu jedem Fahrzeug F_k auch immer Werte zu allen Parametern P_{kz} des Fahr-
zeugdatensatzes gespeichert sein müssen.

Aus den Parametern P_{kz} des Fahrzeugdatensatzes werden nun die i Eingangparameter E_i
und die j Ausgangsparameter A_j ausgewählt. Als Eingangparameter E_i werden dabei typi-
scherweise einfach verfügbare oder bekannte Fahrzeugparameter herangezogen, also ins-
30 besondere die oben beschriebenen Konstruktionsparameter. Als Ausgangsparameter A_j
werden solche Parameter P_{kz} des Fahrzeugdatensatzes herangezogen, die bestimmt (im
Sinne von prädiziert) werden sollen.

Aus den vorhandenen Daten der Fahrzeugdatenbank 1 wird in einer Modellberechnungsein-
heit 2 für zumindest einen Ausgangsparameter A_j das Abbildungsmodell M_x wie oben be-

schrieben ermittelt, das die Eingangsparameter E_i auf den Ausgangsparameter A_j abbildet. Hierfür werden natürlich sinnvollerweise nur solche Fahrzeugdatensätze aus der Fahrzeugdatenbank 1 verwendet, zu denen auch die gewählten Eingangsparameter E_i und Ausgangsparameter A_j vorhanden sind, da nur dann entsprechende Abhängigkeiten ermittelbar sind. Dabei können natürlich mehrere Abbildungsmodelle M_x für mehrere Ausgangsparameter A_j ermittelt werden. Es ist auch denkbar, dass mit einem Abbildungsmodell M_x gleichzeitig mehrere Ausgangsparameter A_j berechnet werden.

Hierbei ist aber anzumerken, dass nicht alle Abbildungsmodelle M_x die gleichen Eingangsparameter E_i enthalten müssen.

Dazu wird vorzugsweise ein Teil der in der Fahrzeugdatenbank 1 enthaltenen Fahrzeugdatensätze der Fahrzeuge F_k (Trainingsdaten) für die Ermittlung (Training) der Abbildungsmodelle M_x verwendet. Der Rest der in der Fahrzeugdatenbank 1 enthaltenen Fahrzeugdatensätze (Validierungsdaten) kann dann für die Validierung der Abbildungsmodelle M_x verwendet werden. Dazu werden mit den bestimmten Abbildungsmodelle M_x mit den Eingangsparameter E_i der Validierungsdaten die zugehörigen Ausgangsparameter A_j berechnet und der Validierungsfehler zwischen den berechneten Ausgangsparameter A_j und den in den Validierungsdaten gespeicherten Ausgangsparameter bestimmt. Wenn der Validierungsfehler innerhalb eines vorgegebenen Toleranzbereichs liegt, dann gelten die Abbildungsmodelle M_x als validiert.

Zusätzlich können bestimmte Ausgangsparameter A_j auch anhand von bekannten Berechnungsvorschriften in Abhängigkeit der Eingangsparameter E_i berechnet werden. Dazu können in der Modellberechnungseinheit 2 bekannte Berechnungsvorschriften für Abbildungen hinterlegt sein. Diese direkten Abbildungsvorschriften können direkt in die Abbildungsmodelle M_x übernommen werden. Es kann aber auch vorgesehen sein, dass eine bekannte Berechnungsvorschrift auch über eine Benutzerschnittstelle durch einen Benutzer eingegeben wird.

In diesem Ablauf kann auch ein zusätzlicher Überprüfungsschritt vorgesehen werden, wie anhand der Fig.2 beschrieben wird. Darin ist die Auswahl der Eingangsparameter E_i (wobei die Eingangsparameter E_i auch vorgegeben sein können) und Ausgangsparameter A_j an einer geeigneten Benutzerschnittstelle 4a dargestellt. Beispielsweise kann ein Benutzer über die Benutzerschnittstelle 4a die gewünschten Parameter des Fahrzeugdatensatzes an einer Eingabemaske einfach selektieren. Des Weiteren kann vorgesehen sein, dass ein Benutzer über die Benutzerschnittstelle 4a vorbekannte Berechnungsvorschriften zur Modellierung der Abhängigkeit der Ausgangsparameter A_j von den Eingangsparametern vorgeben kann.

Nach der Ermittlung der Abbildungsmodelle M_x in der Modellberechnungseinheit 2 werden an einer weiteren Benutzerschnittstelle 4b, die auch die gleiche Benutzerschnittstelle 4a wie zur Auswahl der der Eingangsparameter E_i und Ausgangsparameter A_j sein kann, die Ergebnisse der oben beschriebenen Validierung und/oder ein Vertrauensbereich der Abbildungsmodelle M_x dargestellt. Konnte ein Abbildungsmodell M_x nicht validiert werden, oder ergibt sich ein zu großer Vertrauensbereich, dann kann vorgesehen sein, dass andere oder zusätzliche Eingangsparameter E_i ausgewählt werden müssen und der Schritt der Ermittlung der Abbildungsmodelle M_x wiederholt werden muss, wie durch den Pfeil zurück dargestellt ist. Dieser Schritt kann auch automatisiert erfolgen, wenn ein Toleranzbereich für einen Validierungsfehler und/oder einen Vertrauensbereich vorgegeben sind. Ansonsten kann das ermittelte Abbildungsmodell M_x verwendet werden.

Im Idealfall werden alle Parameter des Fahrzeugdatensatzes, die nicht Eingangsparameter E_i sind, als Ausgangsparameter A_j angesehen und dazu jeweils ein Abbildungsmodell M_x ermittelt oder eine Berechnungsvorschrift vorgegeben. Damit können bei Vorgabe bestimmter Werte der Eingangsparameter E_i die restlichen Parameter des Fahrzeugdatensatzes anhand der Abbildungsmodelle M_x , bzw. der zusätzlichen Berechnungsvorschriften, bestimmt werden. Auf diese Weise kann also ein ganzer Fahrzeugdatensatz, zumindest aber ein Teil davon, aus einigen wenigen Eingangsparametern E_i erstellt werden. Vorzugsweise werden bei der Ermittlung der Eingangsparameter eine erste Anzahl an Eingangsparametern ausgewählt und für das spätere Ermitteln vollständiger Datensätze ebenfalls diese erste Anzahl Eingangsparameter teilweise oder vollständig vorgegeben.

Mit den derart ermittelten Abbildungsmodellen M_x können nun ausgehend von vorgegebenen Eingangsparametern E_i die unbekanntenen Werte der über die Abbildungsmodelle M_x , und gegebenenfalls über die Berechnungsvorschriften, verknüpften Ausgangsparameter A_j bedtet werden, wie anhand von Fig.3 beschrieben wird. Dazu können die Werte der Eingangsparameter E_i an einer Benutzerschnittstelle 4c (eventuell die Benutzerschnittstelle 4a oder 4b von oben) über eine Eingabemaske 3 eingegeben werden, wie beispielhaft in Fig.4 dargestellt, oder auch automatisch aus einem vorliegenden Datenfile geladen werden. Im beschriebenen Ausführungsbeispiel umfasst die Eingabemaske 3 als Fahrzeugparameter das Baujahr P_{BY} des Fahrzeugs, die Fahrzeugklasse P_{VC} , eine Parametergruppe von Geometrieparametern P_G des Fahrzeugs, eine Parametergruppe von Massenparametern P_M des Fahrzeugs, eine Parametergruppe von Antriebsparametern P_D des Fahrzeugs, eine Parametergruppe von Antriebsartparametern P_{DT} des Fahrzeugs, eine Parametergruppe von Reifenparametern P_T des Fahrzeugs, eine Parametergruppe von Getriebeparametern P_{GB} des Fahrzeugs, eine Fahrzeugmarke P_B , ein Fahrzeugmodell P_{Mo} und eine Lenkübersetzung P_L . Die Eingabemaske 3 umfasst dabei alle möglichen Eingangsparameter

parameter E_i , die in den genannten Parametergruppen logisch gruppiert sind. In jeder Parametergruppe kann jeweils eine Vielzahl von Fahrzeugparametern enthalten sein. Die Eingangparameter E_i können über diese Eingabemaske 3 wie in Fig.4 dargestellt eingegeben werden, wobei nicht alle Eingabefelder der Eingabemaske 3 gefüllt werden müssen. D.h., es müssen nicht alle Werte der Eingangparameter E_i gesetzt werden.

Über die Abbildungsmodelle M_x , zumindest ein Abbildungsmodell M_x , werden dann die zugehörigen Ausgangparameter A_j berechnet. Die Ausgangparameter A_j können dabei allgemeine Fahrzeugparameter wie beispielsweise Konstruktionsparameter KP, Simulationsparameter SP und Messdaten bzw. charakteristische Kennwerte MP umfassen, wobei diese Einteilung für die Erfindung unerheblich ist. Es können auch weitere der oben beschriebenen Parameter berechnet werden. Die Ausgangparameter A_j können dann auch in den Fahrzeugdatensatz in der Fahrzeugdatenbank 1 übernommen werden.

Damit kann anhand von einigen wenigen Eingangparameter E_i als Vorgabewerte ein ganzer Fahrzeugdatensatz, zumindest ein Teil davon, ermittelt werden, mit dem dann die Entwicklung des Fahrzeugs oder eines Teils davon begonnen oder fortgesetzt werden kann. Aufgrund der Möglichkeit der Validierung und/oder der Vertrauensbereiche der Abbildungsmodelle M_x kann dabei von einer ausreichenden Genauigkeit der Parameter des Fahrzeugdatensatzes ausgegangen werden. Dazu ist es auch möglich, den Schritt der Ermittlung der Abbildungsmodelle M_x jederzeit zu wiederholen, wenn man im Zuge der Entwicklung bestimmte Parameter des Fahrzeugdatensatzes erhält oder wenn sich dabei Parameter des Fahrzeugdatensatzes ändern. Damit kann die Genauigkeit der Schätzung der unbekannt

Mit Fig.7 wird ein an sich bekannter Prüfstand 10 für einen Prüfling 12 und einer damit, beispielsweise mittels einer Prüfstandswelle 11, verbundenen Belastungsmaschine 15, beispielsweise ein Dynamometer, dargestellt. Die Belastungsmaschine 15 erzeugt die Last für den Prüfling 12 für den durchzuführenden Prüflauf. Der Prüfling 12 ist im gezeigten Ausführungsbeispiel ein Verbrennungsmotor und der Prüfstand 10 damit ein Motorprüfstand. Selbstverständlich könnte der Prüfling 12 aber auch ein gesamtes Fahrzeug oder ein beliebiges Teilsystem des Fahrzeugs, wie z.B. ein Antriebsstrang, ein Elektromotor, eine Antriebsbatterie, ein Steuergerät, usw., sein, und der Prüfstand 10 ein dazu passender Prüfstand, wie z.B. ein Rollenprüfstand, ein Antriebsstrangprüfstand, ein Elektromotorenprüfstand, ein Hardware-in-the-Loop-Prüfstand, usw. Im Falle einer Batterie als Prüfling 12 wäre die Belastungsmaschine 15 elektrisch, z.B. in Form eines elektrischen Batterietesters. Geeignete Belastungsmaschinen 15 für verschiedene Prüflinge 12 sind hinlänglich bekannt und verfügbar, weshalb hier nicht näher darauf eingegangen werden muss.

Am Prüfstand 10 ist eine Prüfstandautomatisierung in Form einer Prüfstandautomatisierungseinheit 20 (Hardware und Software) vorgesehen, die die am Prüfstand 10 durchzuführende virtuelle Erprobungsfahrt (=Prüflauf) steuert und dazu alle benötigten Einrichtungen (also insbesondere die benötigte Aktuatorik) des Prüfstandes 10 gemäß den Vorgaben des Prüflaufs ansteuert. Die Prüfstandautomatisierungseinheit 20 kann dabei insbesondere auch den Prüfling 12 und die Belastungsmaschine 15 durch Vorgabe benötigter Sollwerte oder Stellgrößen steuern. Die Belastungsmaschine 15 wird am Prüfstand 10 oftmals von einem eigenen Belastungsmaschinenregler 14, der wiederum von der Prüfstandautomatisierungseinheit 20 gemäß den Vorgaben des Prüflaufs Sollwerte empfängt, geregelt, um am Prüfling 12 beispielsweise gewisse, häufig transiente, Belastungsmomente M oder gewisse, häufig transiente, Drehzahlen n einzuregeln. Der Belastungsmaschinenregler 14 kann auch in der Prüfstandautomatisierungseinheit 20 als Software und/oder Hardware integriert sein.

Zur Durchführung des Prüflaufs sind am Prüfstand 10 in der Regel Messeinrichtungen 13, hier beispielsweise eine Drehzahlmesseinrichtung 16 und/oder eine Momentenmesseinrichtung 17 vorgesehen, die entsprechende Istwerte des Prüflings 12 und/oder der Belastungsmaschine 15, beispielsweise das Belastungsmoment M_{ist} und die Drehzahl n_{ist} des Prüflings 12, als Messgrößen messen und der Prüfstandautomatisierungseinheit 20 zur Verfügung stellen. Selbstverständlich können für andere Prüflinge 12, bzw. Prüfstandtypen, auch andere oder zusätzliche Messgrößen, wie beispielsweise ein elektrischer Strom oder eine elektrische Spannung, gemessen und der Prüfstandautomatisierungseinheit 20 zugeführt werden.

Zur Durchführung des Prüflaufs ist eine Simulation 6 eines Fahrzeugs oder eines Teils oder einer Komponenten davon vorgesehen, dessen Betrieb gemäß den Vorgaben des Prüflaufs simuliert wird. Hierfür ist ein Simulationsmodell vorgesehen. Die Simulation 6 simuliert beispielsweise eine virtuelle Fahrt eines virtuellen Fahrzeugs entlang einer virtuellen Fahrtstrecke. Dazu wird die am Prüfstand 10 aufgebaute Komponente des Fahrzeugs (z.B. der Verbrennungsmotor als Prüfling 12) am Prüfstand real betrieben. Aus diesem realen Betrieb erhält die Simulation 6 auch Rückmeldung (beispielsweise in Form bestimmter Messwerte) zur Durchführung der Simulation 6. Die Simulation 6 mit dem implementierten Simulationsmodell wird durch eine Simulationseinheit 21 ausgeführt und kann dazu auch Messgrößen aus dem Prüfstand 10 verarbeiten. Die Simulationseinheit 21 kann in der Prüfstandautomatisierungseinheit 20 als Hardware und/oder Software integriert sein, kann aber auch getrennt von der Prüfstandautomatisierungseinheit 20 sein, beispielsweise in Form einer eigenen Simulationshardware und Simulationssoftware. Der Prüflauf wird von einer Prüflaufeinheit 22 vorgegeben. Der Prüflauf ist beispielsweise ein zeitlicher Verlauf bestimmter Größen, wie Fahrzeuggeschwindigkeit, Steigung einer Fahrtstrecke, Kurvenverlauf, usw., und kann beispielsweise von extern vorgegeben werden. Die Prüflaufeinheit 22 kann aber auch mit

Schnittstellen zu Bedienelementen eines Fahrzeugs (Fahrpedal, Lenkrad, Bremspedal, usw.) ausgeführt sein, sodass der Prüflauf, oder ein Teil davon, direkt am Prüfstand 10 durch Bedienerführung vorgegeben werden kann. Mit der Vorgabe des Prüflaufs ergibt sich in der Interaktion des Systems aus Simulation 6, Prüfstand 10, Prüfling 12 und Belastungsmaschine 15 der Prüfversuch, der am Prüfstand 10 ausgeführt wird.

Während der Durchführung des Prüfversuchs werden am Prüfstand 10 oftmals mit Messeinrichtungen 18 auch Messungen am Prüfling 12 durchgeführt, um bestimmte Aussagen über das Verhalten des Prüflings 12 treffen zu können. Typische und oftmals vorgesehene Messung erfassen das Emissionsverhalten eines Verbrennungsmotors, den Verbrauch oder Leistungsbedarf des Prüflings, die erzeugte Leistung des Prüflings, usw. Solche Messungen liefern unter anderem auch Messdaten bzw. charakteristische Kennwerte als Fahrzeugparameter, entweder direkt oder durch eine entsprechende Verarbeitung der Messdaten.

Im in Fig.7 dargestellten Beispiel definiert der Prüflauf die zeitbasierte Vorgabe der Fahrstrecke eines Fahrzeugs in Form der Steigung RG und des Geschwindigkeitsverlaufs v . Dieser Prüflauf wird der Simulationseinheit 21 vorgegeben, in der ein Simulationsmodell, beispielsweise ein Modell eines Fahrzeugs, das entlang einer Fahrstrecke bewegt wird, implementiert ist, das die Simulation 6 ausführt. Auf Basis der aktuellen Motordrehzahl n_{ist} und des aktuellen Drehmoments M_{ist} des Prüflings 12 und den Vorgaben des Prüflaufs errechnet die Simulationseinheit 21 die Gaspedalstellung α_{soll} als Stellgröße für den Verbrennungsmotor als Prüfling 12, sowie das Sollmoment M_{soll} als Sollwert für die Regelung der Belastungsmaschine 15, z.B. im Belastungsmaschinenregler 14. Das Einstellen bzw. Umsetzen der Stellgröße und der Sollwerte am Prüfstand 10 führt zu einem bestimmten Zustand des Prüflings 12. Je nach Prüfstand 10 und Prüfling 12 und Simulation 6 können natürlich auch andere Vorgabegrößen, Stellgrößen und Messgrößen Verwendung finden. Im dargestellten Beispiel ist als Messeinrichtung 18 eine Emissionsmesseinrichtung vorgesehen, um während der Durchführung des Prüflaufs Emissionsgrößen im Abgas des Verbrennungsmotors zu erfassen.

Für die Durchführung der Simulation 6 für den Prüfversuch am Prüfstand 10 ist es notwendig, das Simulationsmodell mit Simulationsparametern SP zu parametrieren. Hierfür kann zumindest ein über ein Abbildungsmodell M_x wie oben beschrieben berechneter Ausgangsparameter A_j als Simulationsparameter SP verwendet werden, um einen Parameter des Simulationsmodell zu bedaten, wie in Fig.3 dargestellt.

Wenn als Ausgangsparameter A_j auch charakteristische Kennwerte MP ermittelt werden, dann können diese optional auch verwendet werden, um ein Ergebnis einer Simulation 6 zu validieren, wie ebenfalls in Fig.3 angedeutet. Das Simulationsmodell 23 wurde für die Simu-

lation 6 mit ermittelten Simulationsparametern SP parametrisiert. Bei der Durchführung des Prüfversuchs am Prüfstand 10 kann sich im Zusammenspiel des Systems aus Simulation 6, Prüfstand 10 mit Prüfling 12 und Belastungsmaschine 15 als Ergebnis ein charakteristischer Kennwert MP_M ergeben. Dieser kann beispielsweise direkt gemessen werden oder kann aus
 5 anderen Ergebnissen oder Messungen des Prüfversuchs abgeleitet werden. Ein solcher charakteristischer Kennwert MP_M , der während des Prüfversuchs ermittelt wurde, kann mit einem charakteristischen Kennwert MP der Ausgangsparameter A_j , beispielsweise ein Normverbrauch oder eine Emissionsgröße, die mit einem Abbildungsmodell Mx berechnet wurden, zur Validierung in einer Vergleichseinheit 19 verglichen werden. Die Vergleichseinheit 19
 10 (Hardware und/oder Software) kann in der Prüfstandautomatisierungseinheit 20 integriert sein, oder kann davon getrennt sein. Sofern die Abweichung in einer für die Anwendung festgelegten akzeptablen Rahmen liegt, können die mit den Abbildungsmodellen Mx ermittelten Simulationsparameter SP als valide betrachtet werden.

Ein Ausgangsparameter A_j und/oder das Ergebnis der Simulation 6, gegebenenfalls gemeinsam mit dem Ergebnis der Validierung, z.B. die Abweichung zwischen dem gemessenen
 15 Kennwert MP_M und dem vorhergesagten charakteristischen Kennwert MP, kann dann in geeigneter Weise als Benutzerrückmeldung an einer geeigneten Ausgabeeinheit 7 ausgegeben werden. Gleichfalls ist es möglich, einen Ausgangsparameter A_j in der Fahrzeugdatenbank 1 zu speichern.

Mit Fig.5 wird noch eine weitere Anwendung der Erfindung beschrieben. Hier werden die
 20 Eingangsparameter E_i an einer Benutzerschnittstelle 4c (z.B. wie in Fig.4 dargestellt) vorgegeben. Anhand der Abbildungsmodelle Mx werden wiederum die Ausgangsparameter A_j , vorzugsweise alle anderen unbekannt Parameter des Fahrzeugdatensatzes, berechnet. Dieser derart ermittelte Fahrzeugdatensatz, aus den Eingangsparametern E_i und den Aus-
 25 gangsparametern A_j , kann mit einem vorgegebenen Fahrzeugdatensatz 8 verglichen werden, um diesen zu validieren. Das Ergebnis der Validierung, z.B. in Form der Abweichungen der einzelnen Ausgangsparameter A_j in den beiden Fahrzeugdatensätzen, kann dann in geeigneter Weise an einer geeigneten Ausgabeeinheit 7 als Benutzerrückmeldung ausgegeben
 30 werden. Auf diese Weise kann einfach und schnell die Plausibilität eines vorhandenen Fahrzeugdatensatzes überprüft werden.

Mit anderen Worten können also die Abweichungen zwischen gespeicherten Werten und daraus mittels Abbildungsmodellen Mx berechneten Werten minimiert werden, indem falsch
 vorgegebene Eingangsparameter E_i und/oder unplausible Datensätze für Fahrzeuge, Teil-
 35 komponenten und Teilsysteme eines Fahrzeugs identifiziert und in weiterer Folge nicht berücksichtigt werden. Dazu können beispielsweise Konfidenzbereiche für Eingangsparameter E_i definiert werden, so dass Parameter als falsch identifiziert werden können, wenn ihre Wer-

te außerhalb dieser Konfidenzbereiche liegen. Wenn beispielsweise die Werte der Eingabeparameter E_i den kleinsten Wert in der Datenbank um einen vorgegebenen Prozentsatz unterschreiten oder den größten Wert überschreiten, liegt ein falscher bzw. falsch vorgegebener Parameter vor. Die zulässige Unter- bzw. Überschreitung kann dabei in Fein-, Mittel- und Grobbereichen definiert werden.

Damit eröffnen sich beispielhaft folgende Anwendungsmöglichkeiten:

- a) Ein Fahrzeughersteller möchte ein neues Fahrzeugmodell entwickeln. Aufgrund einfacher grundlegender Angaben in Form von Eingangsparametern E_i , wie beispielsweise Länge, Breite Höhe des Fahrzeugs, Fahrzeugklasse, kann mittels der Abbildungsmodelle M_x , die auf Basis von Fahrzeugdaten bestehender Fahrzeugmodelle des Fahrzeugherstellers erzeugt wurden, bereits ein erster Fahrzeugdatensatz für das neue Fahrzeugmodell erstellt werden. Mit diesem Fahrzeugdatensatz kann die Entwicklung, beispielsweise anhand von Simulationen begonnen werden. Mit den Abbildungsmodellen M_x kann auch das Verhalten des neuen Fahrzeugmodells prognostiziert werden.
- b) Aus frei recherchierbaren Daten eines bestimmten Fahrzeugs (z.B. Daten aus den Handbüchern und Veröffentlichungen), also aus Eingangsparametern E_i , können anhand von vorhandenen oder ermittelten Abbildungsmodellen M_x anderer Parameter des Fahrzeugdatensatzes (Ausgangsparameter A_j) automatisch generiert werden.
- c) Baut ein Simulationsingenieur für eine Simulation einen Fahrzeugdatensatz auf, können anhand von bekannten Konstruktionsparameter (Eingangsparameter E_i) und der Abbildungsmodelle M_x andere Parameter des Fahrzeugdatensatzes (Ausgangsparameter A_j) ermittelt werden, mit denen eine einfache Plausibilitätsprüfung des aufgebauten Fahrzeugdatensatzes für die Simulation durchgeführt werden kann.
- d) Die Ingenieure an Prüfständen erhalten aus der Simulationsabteilung einen Fahrzeugdatensatz. Mit der Möglichkeit der Validierung des Fahrzeugdatensatzes können sie einfach und schnell überprüfen, ob der Fahrzeugdatensatz valide ist. Es kann so verhindert werden, dass durch fehlerhafte Fahrzeugdatensätze Entwicklungszeit verschwendet wird.

Eine beispielhafte Realisierung des Verfahrens ist in Fig. 6 dargestellt:

Für die Realisierung des Verfahrens sind zumindest eine Datenhaltungseinheit 100 und eine Prüfstandautomatisierungseinheit 20 notwendig. Die Prüfstandautomatisierungseinheit 20 besitzt beispielsweise eine Applikationseinheit 200, eine Prüflaufeinheit 22 und zumindest eine Simulationseinheit 21. Ferner kann eine Benutzerschnittstelle 4 und eine Ausgabereinheit 7 in Form eines Ein- und Ausgabegeräts vorgesehen sein, beispielsweise zur Paramet-

rierung, Auswertung und zur Darstellung von Ausgangsparametern A_j und/oder Ergebnissen des Prüfversuchs oder der Parameterermittlung. Die einzelnen Einheiten können über eine geeignete Datenschnittstelle 11 miteinander kommunizieren (z.B. Shared Memory, TCP, CAN,...), wobei verschiedene Einheiten auch über unterschiedliche Schnittstellen kommunizieren können. Jede der Einheiten kann des Weiteren zumindest eine geeignete Bedienoberfläche und lokale Speicher aufweisen.

Die Datenhaltungseinheit 100 besitzt die zumindest eine Fahrzeugdatenbank 1, 1' mit den Datensätzen für Fahrzeuge, Teilkomponenten und Teilsysteme der Fahrzeuge. Die Applikationseinheit 200 beinhaltet eine Modellberechnungseinheit 2 zur Ermittlung der Abbildungsmodelle M_x , eine Parameterberechnungseinheit 9 zur Vorhersage von nicht vorhandenen Ausgangsparametern A_j , sowie eventuell auch eine Datenüberprüfungseinheit 10 zur Validierung von Fahrzeugdatensätzen, insbesondere fremden, bzw. von extern vorgegebenen Fahrzeugdatensätzen. Die Simulationseinheit 21 besitzt Simulationsmodelle 23 sowie eine Berechnungseinheit 24 zur Ausführung der Simulationsmodelle 23, welche auch in Echtzeit erfolgen kann. Ein Simulationsmodell 23 weist beispielsweise zumindest eines oder mehrere der folgenden Modelle auf: Fahrzeugmodell, Fahrermodell, Straßen- oder Streckenmodell, Radmodell, Umgebungsmodell. Damit kann eine virtuelle Fahrt eines virtuellen Fahrzeugs mit einem virtuellen Fahrer entlang einer virtuellen Fahrstrecke simuliert werden. In der Datenhaltungseinheit 100 und/oder der Prüfstandautomatisierungseinheit 20, oder Teilkomponenten davon, wie der Applikationseinheit 200 und/oder Simulationseinheit 21, können auch Ein- und Ausgabegeräte 4, 7 vorgesehen sein. Die unterschiedlichen Einheiten können auf unterschiedlicher Hardware oder, zumindest teilweise, auch auf gleicher Hardware ausgeführt sein.

25

Patentansprüche

1. Verfahren zum Bestimmen des Wertes zumindest eines Fahrzeugparameters eines Fahrzeugdatensatzes eines Fahrzeugs, einer Teilkomponente oder eines Teilsystems eines Fahrzeugs, wobei aus den Fahrzeugparametern des Fahrzeugdatensatzes aufgabenabhängig eine erste Anzahl von Eingangsparemetern (E_i) und eine zweite, vorzugsweise zur ersten Anzahl komplementäre, Anzahl von Ausgangsparemetern (A_j) festgelegt werden und eine Fahrzeugdatenbank (1), in der für eine im Sinne der Modellbildung hinreichende Anzahl von validierten Fahrzeugen jeweils Werte der Eingangsparemetern (E_i) und Werte der Ausgangsparemetern (A_j) in Form von bekannten Fahrzeugdatensätzen (Fahrzeug, Teilkomponenten-, oder Teilsystemdatensätzen) gespeichert werden, verwendet wird, um eine Abhängigkeit der Ausgangsparemetern (A_j) von der Anzahl der Eingangsparemetern (E_i) in Form einer Anzahl von Abbildungsmodellen (M_x) zu identifizieren (Systemidentifikation, Modellbildung), und anhand dieser Anzahl der Abbildungsmodelle (M_x) und von vorgegebenen Werten der Eingangsparemetern (E_i) der Wert der Anzahl der Ausgangsparemetern (A_j) als Fahrzeugparameter des Fahrzeugdatensatzes bestimmt wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** zusätzlich zumindest eine Abhängigkeit eines zusätzlichen Ausgangsparemetern (A_j) von einer Anzahl der Eingangsparemetern (E_i) in Form einer bekannten Berechnungsvorschrift modelliert wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** zumindest ein Ausgangsparemetern (A_j) ein Simulationsparameter ist, mit dem zur Durchführung einer Simulation ein Simulationsmodell des Fahrzeugs, einer Fahrzeugkomponente, einer Teilkomponente oder eines Teilsystems eines Fahrzeugs parametrisiert wird.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** der ermittelte Fahrzeugdatensatz mit einem vorgegebenen Fahrzeugdatensatz verglichen wird und das Vergleichsergebnis ausgegeben wird, wobei vorzugsweise eine Plausibilitätsprüfung zwischen dem ermittelten und dem vorgegebenen Fahrzeugdatensatz vorgenommen wird.
5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** als Abbildungsmodelle (M_x) Polynommodelle oder Neuronale Netze verwendet werden, die durch Regression und/oder Training ermittelt werden.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Abweichungen zwischen gespeicherten Werten und daraus mittels Abbildungsmodellen (M_x) berechneten Werten minimiert werden, indem falsch vorgegebene Eingangsparemetern (E_i)

und/oder un plausible Fahrzeugdatensätze identifiziert und nicht berücksichtigt/verwendet werden.

7. Verfahren nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** für die Eingangsparameter (E_i) anhand der Fahrzeugdatensätze der Fahrzeugdatenbank (1) Konfidenzbereiche definiert werden und neue Eingangsparameter (E_i) als falsch identifiziert werden, wenn ihre Werte außerhalb der Konfidenzbereiche liegen.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** den Fahrzeugdatensätzen der Fahrzeugdatenbank (1) zumindest teilweise zumindest ein Qualitätsindikator zugewiesen wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** zur Ermittlung des Fahrzeugdatensatzes die Werte der Eingabeparameter (E_i) eines vorgegebenen Fahrzeugdatensatzes einer Teilmenge der in der Fahrzeugdatenbank gespeicherten validierten Fahrzeugdatensätze verwendet wird.

10. Verwendung zumindest eines nach dem Verfahren nach den Ansprüchen 1 bis 9 ermittelten Fahrzeugparameters als Simulationsparameter (SP) zum Parametrieren eines Simulationsmodells (23) zum Simulieren eines Fahrzeugs oder eines Teilsystems des Fahrzeugs in einer Simulation (6) für die Durchführung eines Prüfversuchs mit einem Prüfling (12) und einer damit verbundenen Belastungsmaschine (15) auf einem Prüfstand (10), wobei der Prüfversuch zumindest teilweise mit der Simulation (6) gesteuert wird.

11. Verwendung nach Anspruch 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Durchführung des Prüfversuchs am Prüfstand (10) einen charakteristischen Kennwert (MP_M) des Prüflings (12) liefert und zumindest ein mit einem Abbildungsmodell (M_x) ermittelter Fahrzeugparameter (MP) der entsprechende charakteristische Kennwert ist und die beiden charakteristischen Kennwerte verglichen werden, um die Simulation (6) zu validieren.

12. Prüfstand zur Durchführung eines Prüfversuchs an einem Prüfling (12), der mit einer Belastungsmaschine (15) verbunden wird, wobei eine Prüfstandautomatisierungseinheit (20) vorgesehen ist, die den Prüfling (12) und die Belastungsmaschine (15) zur Durchführung des Prüfversuchs nach den Vorgaben eines Prüflaufs steuert, wobei ferner eine Simulationseinheit (21) zur Simulation (6) eines Fahrzeugs oder eines Teilsystems des Fahrzeugs mit einem Simulationsmodell (23) vorgesehen ist und die Prüfstandautomatisierungseinheit (20) zur Durchführung des Prüfversuchs ein Ergebnis der Simulation (6) zumindest teilweise für die Steuerung des Prüflings (12) und/oder der Belastungsmaschine (15) verwendet, und wobei zumindest ein Simulationsparameter (SP) des Simulationsmodells (23) ein nach den Ansprüchen 1 bis 9 ermittelter Fahrzeugparameter ist.

1/5

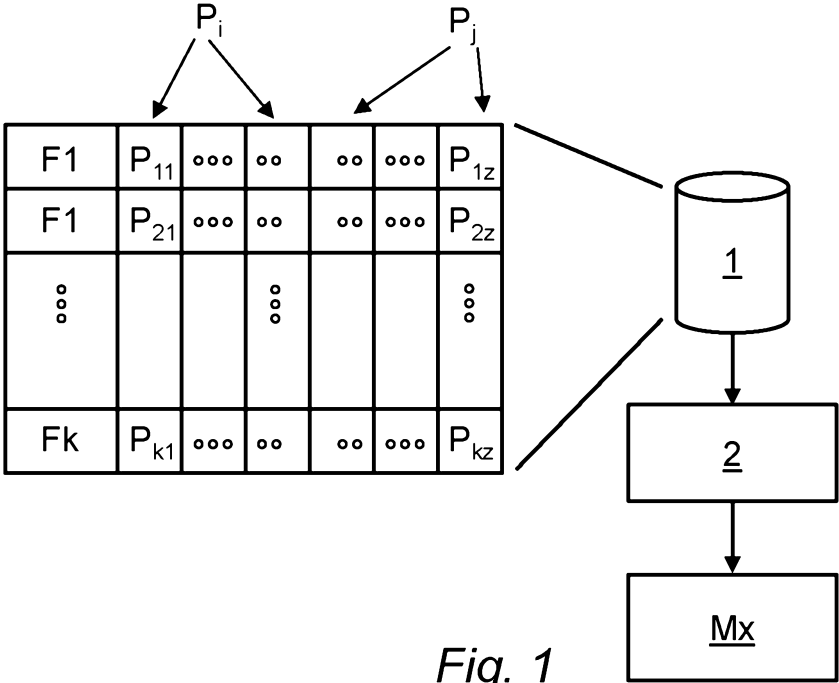


Fig. 1

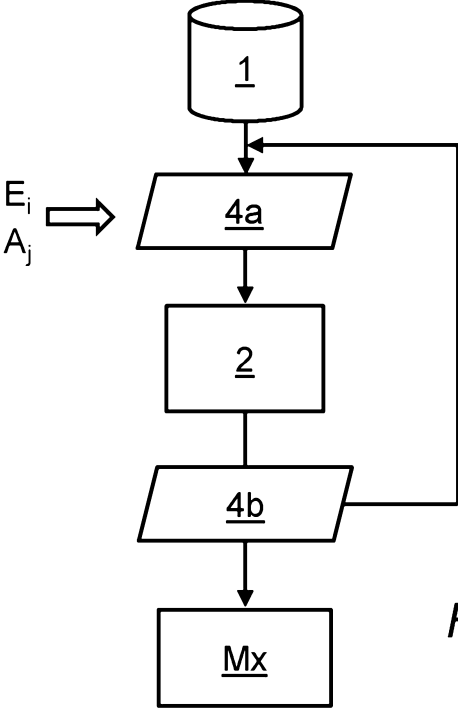


Fig. 2

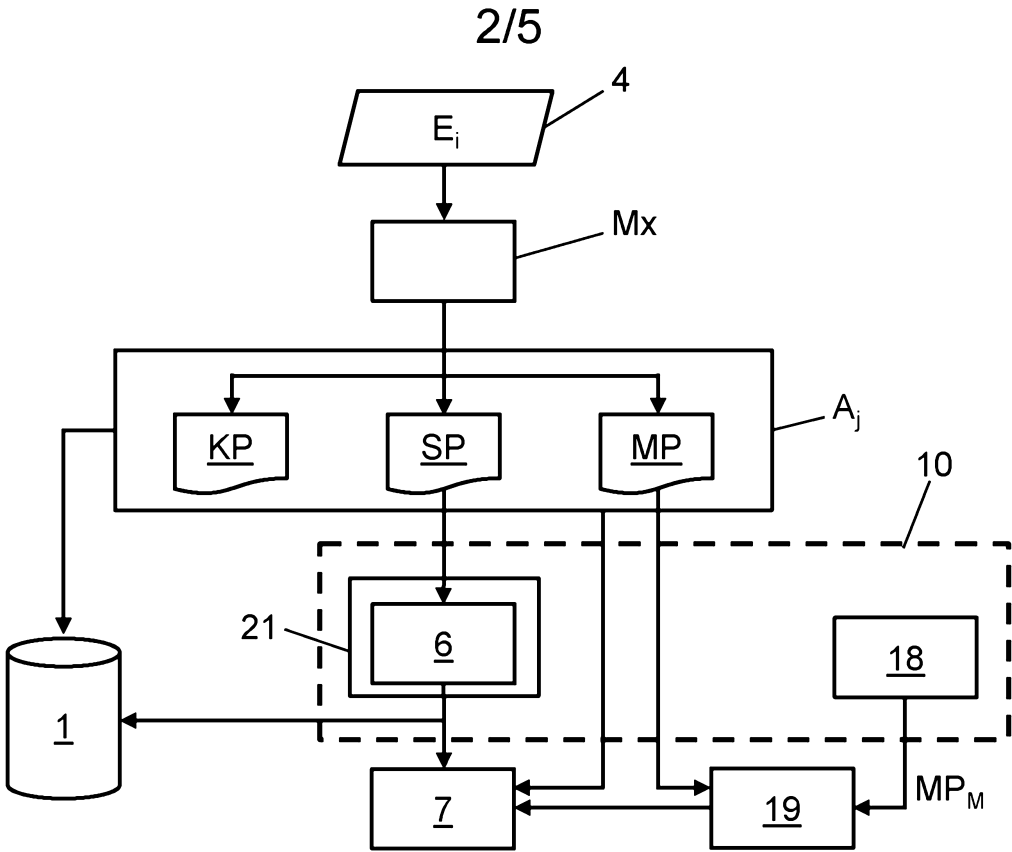


Fig. 3

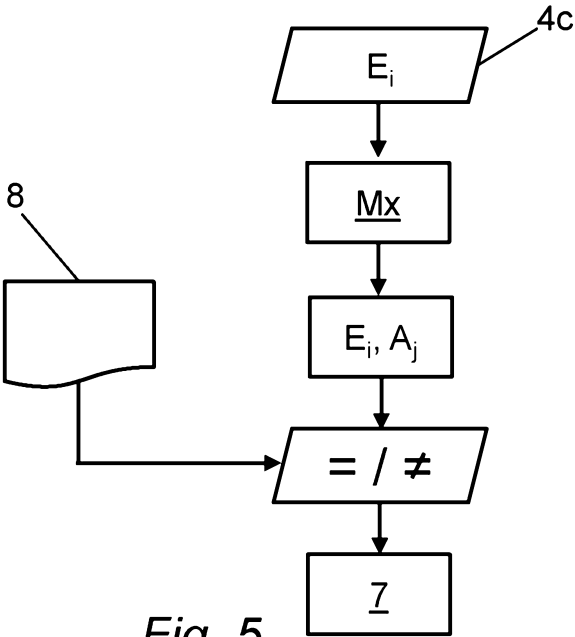


Fig. 5

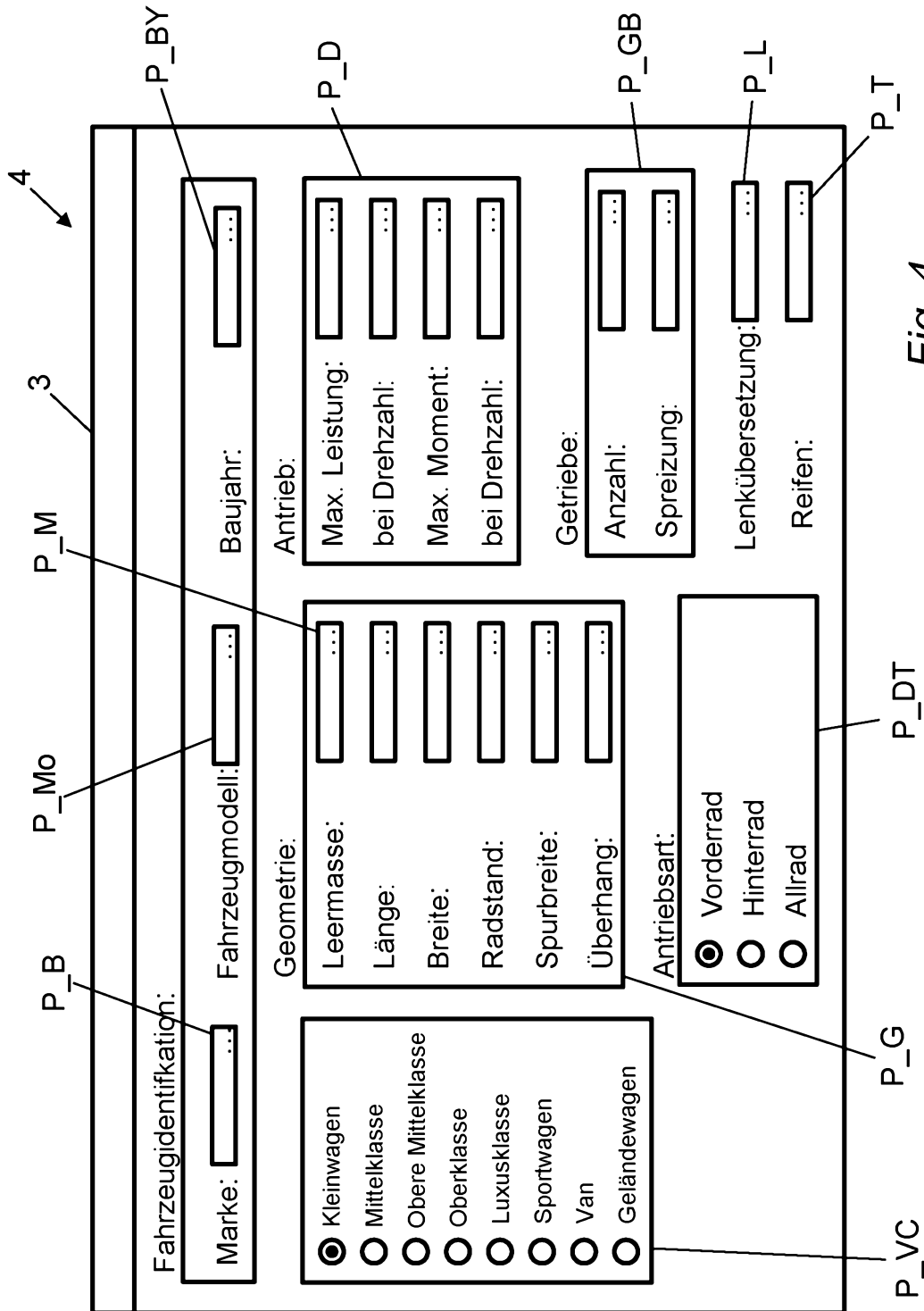


Fig. 4

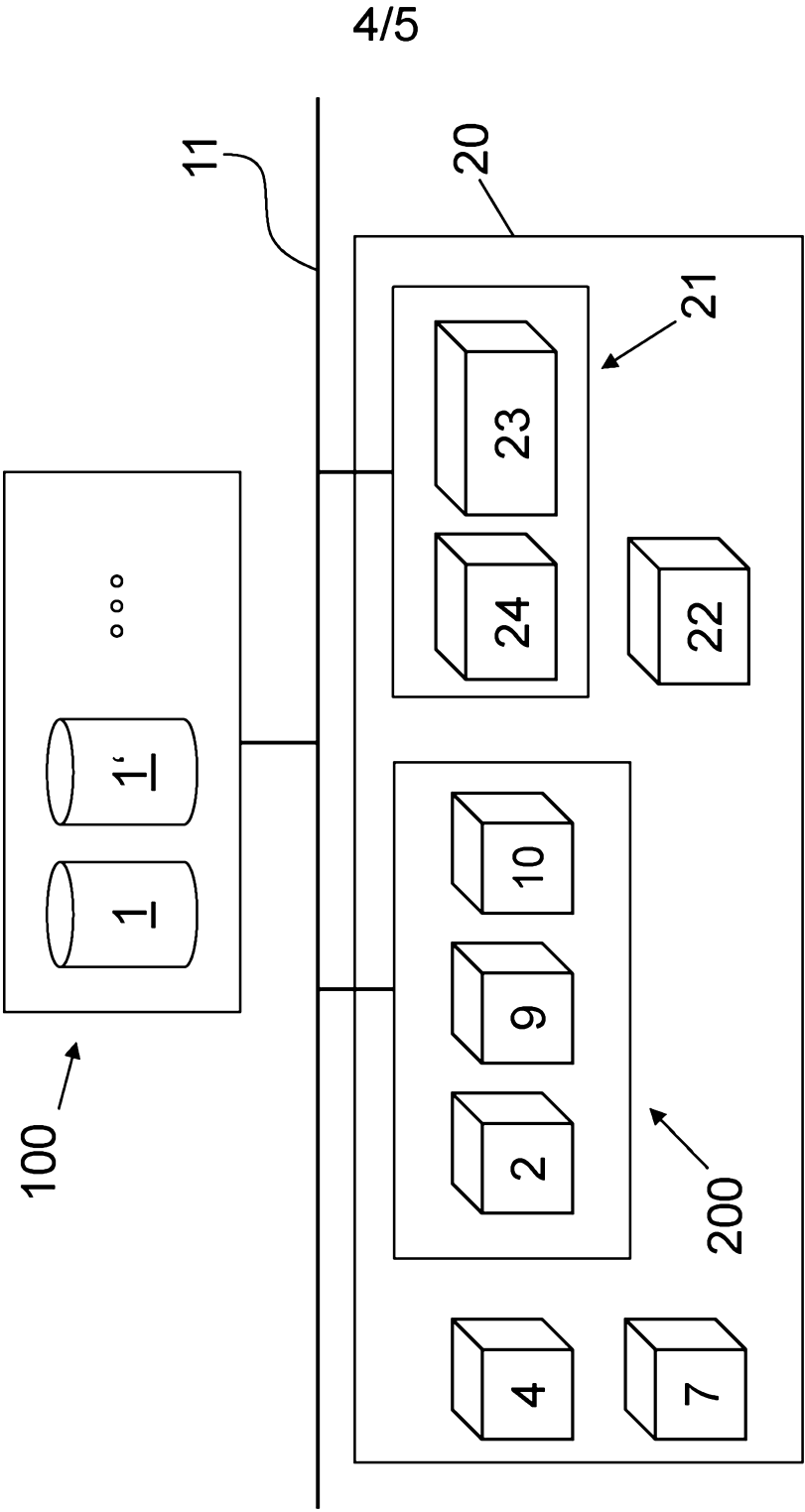


Fig. 6

