



(10) **DE 10 2022 004 321 A1** 2023.01.05

(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2022 004 321.1**

(22) Anmeldetag: **21.11.2022**

(43) Offenlegungstag: **05.01.2023**

(51) Int Cl.: **G07C 5/08 (2006.01)**

(71) Anmelder:  
**Mercedes-Benz Group AG, 70372 Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:  
**Novy, Alexander, 71083 Herrenberg, DE; Wolf, Florian, 64283 Darmstadt, DE**

Mit Einverständnis des Anmelders offengelegte Anmeldung gemäß § 31 Abs. 2 Ziffer 1 PatG

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

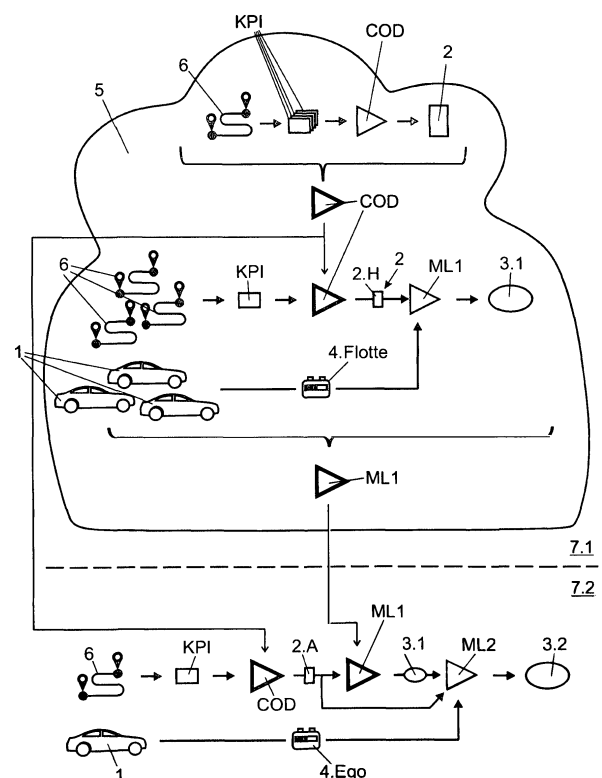
(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Verbrauchsschätzung von Elektrofahrzeugen und dessen Verwendung zum Ermitteln einer Navigationsroute**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verbrauchsschätzung von Elektrofahrzeugen (1), wobei einem mit historischen Fahrtinformationen (2.H) trainiertem ersten Maschinenlernmodell (ML1) als Eingangsdaten aktuelle Fahrtinformationen (2.A) bereitgestellt werden und das erste Maschinenlernmodell (ML1) als Ausgangsdaten eine erste Verbrauchsschätzung (3.1) elektrischer Antriebsenergie für eine durch die aktuellen Fahrtinformation (2.A) charakterisierte aktuelle Fahrt mit einem Elektrofahrzeug (1) ermittelt. Das erfindungsgemäße Verfahren ist dadurch gekennzeichnet, dass

- ein zweites Maschinenlernmodell (ML2) vorgesehen ist, welches die aktuellen Fahrtinformationen (2.A) und die erste Verbrauchsschätzung (3.1) als Eingangsdaten einliest und daraus eine zweite Verbrauchsschätzung (3.2) ermittelt;
- das Elektrofahrzeug (1) seinen tatsächlichen Energieverbrauch (4.Ego) erhebt und das zweite Maschinenlernmodell (ML2) den erhobenen tatsächlichen Verbrauch (4.Ego) zum Trainieren einliest;

- das zweite Maschinenlernmodell (ML2) zum Ermitteln der zweiten Verbrauchsschätzung (3.2) eine Gewichtung zwischen der ersten Verbrauchsschätzung (3.1) und einem selbst ermittelten vorläufigen Verbrauch (3.Individual) vornimmt; und

- das zweite Maschinenlernmodell (ML2) die Gewichtung mit fortschreitendem Training anpasst, wobei mit fortschreitendem Training der Gewichtungsanteil der ersten Verbrauchsschätzung (3.1) reduziert und der Gewichtungsanteil des vorläufigen Verbrauchs (3.Individual) erhöht wird.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Verbrauchsschätzung von Elektrofahrzeugen nach der im Oberbegriff von Anspruch 1 näher definierten Art sowie die Verwendung eines solchen Verfahrens zum Ermitteln einer Navigationsroute.

**[0002]** Elektrofahrzeuge, also Fahrzeug mit einem zumindest teilelektrifizierten Antriebsstrang, insbesondere rein batterieelektrisch angetriebene Fahrzeuge, verfügen typischerweise aktuell noch nicht über die Reichweite von Verbrennerfahrzeugen. Zudem ist das Durchführen von Ladevorgängen an einer Ladestation vergleichsweise zeitaufwändig. Für eine komfortable Fahrzeugnutzung ist daher eine wohldurchdachte Einsatzplanung eines entsprechenden Fahrzeugs notwendig, um Zwangspausen zum Durchführen von Ladevorgängen zu unpassenden Zeitpunkten zu vermeiden.

**[0003]** Grundvoraussetzung zur Planung von Ladestopps ist eine Vorhersage des erwartenden Ladezustands der Traktionsbatterie des Elektrofahrzeugs. Um diesen zu präzisieren ist es erforderlich den Verbrauch des Elektrofahrzeugs abzuschätzen. Der Verbrauch hängt, wie auch bei Verbrennerfahrzeugen, von intrinsischen Parametern wie dem Beladungszustand des Fahrzeugs, der Bereifung, der Fahrweise und dergleichen ab sowie extrinsischen Parametern, wie die geplante Navigationsroute, Witterungseinflüsse, dem Verkehrsaufkommen und dergleichen. Aus dem Stand der Technik sind diverse Methoden zur Vorhersage des Verbrauchs von Elektrofahrzeugen bekannt. Diese basieren meist auf einem Bottom-Up-Approach und versuchen aus feingranularen Informationen wie Wetterdaten, den aktuellen Straßenbedingungen, dem aktuellen Verkehrsaufkommen, dem internen Verbrauch des Fahrzeugs durch beispielsweise die Klimaanlage, der Anzahl mitreisender Passagiere und dergleichen eine möglichst genaue Vorhersage über auf den einzelnen Streckenabschnitten einer geplanten Navigationsroute anzuwendenden Geschwindigkeitsprofilen durchzuführen. Diese Geschwindigkeitsprofile werden dann von einem physikalischen Modell und/oder einem Maschinenlernmodell eingelesen, um den Energieverbrauch des Fahrzeugs abzuschätzen. Ein solches Verfahren ist beispielsweise aus der WO 2021/244632 A1 bekannt. Das Verfahren beschreibt das Sammeln historischer Fahrdaten von Elektrofahrzeugen, die in einem Maschinenlernmodell zur Vorhersage des Verbrauchs eines Elektrofahrzeugs eingelesen werden. Mittels einer Markov-Monte Carlo Methode werden dabei Wahrscheinlichkeiten zum Wechsel der Betriebsbedingungen des Fahrzeugs ermittelt, also insbesondere die von der fahrzeugführenden Person gewählte Fortbewegungsgeschwindigkeit, um einen besonders genauen Verbrauch abzuschätzen.

**[0004]** In der Entwicklung solcher physikalischen bzw. Maschinenlernmodelle werten die Fahrzeughersteller typischerweise mit den einzelnen Fahrzeugen einer Fahrzeugflotte generierte Metadaten aus, was aufgrund der enormen Datenmenge eine zufriedenstellende Vorhersagegüte für die unterschiedlichsten Einsatzfälle ermöglicht.

**[0005]** Bei einer ausreichend umfassenden Datenlage sind besagte physikalische Modelle und/oder Maschinenlernmodelle, entsprechende Entwicklung bzw. Training vorausgesetzt, also dazu in der Lage akkurate Vorhersagen zu treffen. Nachteilig ist dabei jedoch das Erfordernis, besagte umfassende Datenlage als Eingangsgrößen bereitzustellen. Damit sich ein auf ein „Standard-Fahrzeug“ optimiertes Maschinenlernmodell auf das eigene Fahrzeug anpasst, also auf das eigene Fahrzeug angelernt wird, ist es entsprechend notwendig ein zeitaufwändiges Training basierend auf sehr vielen individuellen Fahrdaten durchzuführen. Entsprechend braucht das eigene Fahrzeug vergleichsweise lange, um eine korrekte Verbrauchsschätzung durchführen zu können.

**[0006]** Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde ein verbessertes Verfahren zur Verbrauchsschätzung von Elektrofahrzeugen anzugeben, welches gegenüber bekannten Verfahren eine verbesserte Vorhersagegüte für das eigene Fahrzeug aufweist und dabei besonders recheneffizient arbeitet.

**[0007]** Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe durch ein Verfahren zur Verbrauchsschätzung von Elektrofahrzeugen mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen sowie die Verwendung eines solchen Verfahrens zum Ermitteln einer Navigationsroute ergeben sich aus den hiervon abhängigen Ansprüchen.

**[0008]** Ein gattungsgemäßes Verfahren zur Verbrauchsschätzung von Elektrofahrzeugen, wobei einem mit historischen Fahrtinformationen trainiertem ersten Maschinenlernmodell als Eingangsdaten aktuelle Fahrtinformationen bereitgestellt werden und das erste Maschinenlernmodell als Ausgangsdaten eine erste Verbrauchsschätzung elektrischer Antriebsenergie für eine durch die aktuellen Fahrtinformationen charakterisierte aktuelle Fahrt mit einem Elektrofahrzeug ermittelt, wird erfindungsgemäß dadurch weitergebildet, dass

- ein zweites Maschinenlernmodell vorgesehen ist, welches die aktuellen Fahrtinformationen und die erste Verbrauchsschätzung als Eingangsdaten einliest und daraus eine zweite Verbrauchsschätzung ermittelt;
- das Elektrofahrzeug seinen tatsächlichen Energieverbrauch erhebt und das zweite

Maschinenlernmodell den nach dem Beenden der aktuellen Fahrt vom Elektrofahrzeug erhobenen tatsächlichen Verbrauch zum Trainieren einliest;

- das zweite Maschinenlernmodell zum Ermitteln der zweiten Verbrauchsschätzung eine Gewichtung zwischen der ersten Verbrauchsschätzung und einem selbst ermittelten vorläufigen Verbrauch vornimmt; und
- das zweite Maschinenlernmodell die Gewichtung mit fortschreitendem Training anpasst, wobei initial zu 100% auf die erste Verbrauchsschätzung und zu 0% auf den vorläufigen Verbrauch gewichtet wird und mit fortschreitendem Training der Gewichtungsanteil der ersten Verbrauchsschätzung reduziert und der Gewichtungsanteil des vorläufigen Verbrauchs erhöht wird.

**[0009]** Das erfindungsgemäße Verfahren nutzt also zwei Maschinenlernmodelle zur Verbrauchsschätzung. Bei einem neuen Fahrzeug liegt die Gewichtung vollständig auf der ersten Verbrauchsschätzung des ersten Maschinenlernmodells, welches eine akzeptable allgemeingültige Vorhersagegüte aufgrund des auf Flottendaten basierten Trainings aufweist. Somit lässt sich der Verbrauch des eigenen Fahrzeugs bereits zu Beginn dessen Nutzungsdauer mit einer ausreichenden Genauigkeit vorhersagen. Da sich die Betriebsweise des eigenen Fahrzeugs jedoch von einer durchschnittlichen „Standardbetriebsweise“ von Flottenfahrzeugen unterscheidet, wird es generell zu Abweichungen zum tatsächlichen Verbrauch kommen. Das zweite Maschinenlernmodell wird während der Nutzungsdauer des eigenen Fahrzeugs beständig trainiert und wird somit in die Lage versetzt, immer zuverlässiger den tatsächlichen Verbrauch des eigenen Elektrofahrzeugs vorherzusagen. Bei zunehmender Nutzungsdauer wird der Gewichtungsanteil an der Vorhersage der Verbrauchsschätzung vom ersten Maschinenlernmodell zum zweiten Maschinenlernmodell verschoben, sodass die Vorhersagegüte aufgrund des Trainings basierend auf eigenen individuellen Fahrdaten immer zuverlässiger wird.

**[0010]** Je nach Einsatzzweck und Anwendungsszenario kann mit fortschreitendem Training der Zeitpunkt zu dem das Gewichtungsverhältnis zwischen der ersten Verbrauchsschätzung und dem vorläufigen Verbrauch geändert wird, unterschiedlich gewählt werden. Beispielsweise kann das Verhältnis angepasst werden nach einer bestimmten festgelegten oder adaptiven Anzahl mit dem Fahrzeug durchgeführten Fahrten, nach dem Verstreichen einer bestimmten Zeitdauer, nach dem Zurücklegen einer bestimmten mit dem Fahrzeug zurückgelegten Fahrstrecke, nach dem Erreichen einer bestimmten Vor-

hersagekonfidenz des zweiten Maschinenlernmodells oder dergleichen.

**[0011]** Die als Eingangsdaten verwendeten Fahrtinformationen charakterisieren zumindest die mit dem Fahrzeug zurückgelegte bzw. zurückzulegende Strecke. Hierzu können unterschiedliche Kennwerte verwendet werden wie beispielsweise eine Streckenabschnittslänge mit korrespondierendem Tempolimit bzw. erwarteter Fortbewegungsgeschwindigkeit. Der Detaillierungsgrad kann beliebig fein gewählt werden. So kann beispielsweise eine erwartete Fortbewegungsgeschwindigkeit abgeschätzt werden aus dem Streckenverlauf, der Steigung, und dergleichen. Zudem können äußere Randbedingungen wie das Vorhandensein von Ampeln, ein aktuelles Verkehrsaufkommen, Wetterinformationen, die Fahrweise der fahrzeugführenden Person des Fahrzeugs, die Zuladung des Fahrzeugs, im Fahrzeug eingeschaltete Verbraucher und dergleichen berücksichtigt werden. Die Fahrtinformationen stellen somit Informationen dar, die eine jeweilige mit dem Elektrofahrzeug durchgeführte Fahrt charakterisieren und werden auch als sogenannte Feature-Map bezeichnet.

**[0012]** Als Maschinenlernmodell kommen alle gängigen Modelle in Frage, wie beispielsweise tiefe neuronale Netze, auch als Deep Neural Networks (DNN) bezeichnet. Zur Beschleunigung des Trainings des zweiten Maschinenlernmodells können ergänzend Methoden des Transferlernens, auch als Transfer Learning bekannt, angewendet werden.

**[0013]** Eine vorteilhafte Weiterbildung des Verfahrens sieht vor, dass das zweite Maschinenlernmodell final zu 0% auf die erste Verbrauchsschätzung und zu 100% auf den vorläufigen Verbrauch gewichtet. Dies ermöglicht eine besonders genaue Verbrauchsschätzung für das eigene Fahrzeug, da nach dem ausreichenden Training des zweiten Maschinenlernmodells ausschließlich dieses zur Vorhersage des Verbrauchs genutzt wird.

**[0014]** „Final“ meint in diesem Zusammenhang das ausreichende Training des zweiten Maschinenlernmodells. Das „ausreichende Training“ kann durch die Entwickler in Abhängigkeit unterschiedlicher Kriterien festgelegt werden. Zumindest ist das zweite Maschinenlernmodell dann jedoch dazu in der Lage eine genauere Verbrauchsschätzung für das eigene Fahrzeug durchzuführen als bei einer alleinigen Verwendung des ersten Maschinenlernmodells. Das zweite Maschinenlernmodell kann initial gänzlich untrainiert sein, oder auch vortrainiert sein, beispielsweise analog zum ersten Maschinenlernmodell.

**[0015]** Entsprechend einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens ändert das zweite Maschinenlernmodell das Gewichtungsverhältnis zwischen der ersten Verbrauchsschätzung und dem

vorläufigen Verbrauch linear. Dies bedeutet, dass mit fortschreitender Nutzungsdauer des eigenen Fahrzeugs bei einer Änderung des Gewichtungsverhältnisses dieses von Änderung zu Änderung immer im gleichen Ausmaß geändert wird. Dies stellt eine besonders einfache Vorgehensweise zum Anpassen des Gewichtungsverhältnisses dar. Generell kommt es jedoch auch in Betracht das Gewichtungsverhältnis nach einem anderen Vorgehen zu ändern, beispielsweise basierend auf einer Wurzelfunktion, Logarithmusfunktion, Exponentialfunktion oder Potenzfunktion, also im Vergleich zu einer linearen Vorgehensweise progressiver bzw. degressiver. Entsprechend könnte das Gewichtungsverhältnis während einer im Vergleich frühen Nutzungsdauer des Fahrzeugs langsam geändert werden und mit fortschreitendem Training des zweiten Maschinenlernmodells und somit fortschreitender Nutzungsdauer immer stärker geändert werden, bis letztendlich das Zielverhältnis, also beispielsweise 0% erste Verbrauchsschätzung und 100% vorläufiger Verbrauch, erreicht ist.

**[0016]** Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des Verfahrens sieht ferner vor, dass die Elektrofahrzeuge einer Fahrzeugflotte während ihrer Nutzung für jeweilig durchgeführte Fahrten die respektiven Fahrtinformationen und die respektiven tatsächlichen Verbräuche an eine zentrale Recheneinrichtung übertragen und die zentrale Recheneinrichtung fortwährend das erste Maschinenlernmodell auf Basis der übermittelten Fahrtinformationen und korrespondierender tatsächlicher Verbräuche trainiert. Bei der zentralen Recheneinrichtung kann es sich beispielsweise um einen Cloudserver, auch als Backend bezeichnet, handeln. Die zentrale Recheneinrichtung kann beispielsweise vom Fahrzeughersteller betrieben werden. Dieses Vorgehen erlaubt eine noch genauere Verbrauchsschätzung für das Elektrofahrzeug, auch zu Beginn dessen Nutzungsdauer, bei der der Schwerpunkt der Gewichtung auf der Vorhersagegüte des ersten Maschinenlernmodells liegt. Mit anderen Worten wird das erste Maschinenlernmodell auf der zentralen Recheneinrichtung verwaltet und gepflegt. Über die Zeit lässt sich somit die Vorhersagegüte des ersten Maschinenlernmodells verbessern und für eine noch größere Anzahl unterschiedlicher Einsatzszenarios zur Steigerung der Vorhersagegüte anwenden. Das Vorgehen zum Weitertrainieren des ersten Maschinenlernmodells kann dabei analog zum initialen Anlernen in der Entwicklung ausgestaltet sein.

**[0017]** Von der zentralen Recheneinrichtung aus kann dann das fortwährend weitertrainierte erste Maschinenlernmodell an die einzelnen Fahrzeuge der Fahrzeugflotte rückübermittelt werden. Hierdurch lässt sich das auf den einzelnen Fahrzeugen vorgehaltene erste Maschinenlernmodell aktualisieren.

**[0018]** Entsprechend einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ermittelt ein jeweiliges Elektrofahrzeug die Route einer geplanten Fahrt, analysiert ein Analysemodul die Route zum Bestimmen von zumindest einer jeweiligen Route beschreibenden Schlüsselkennzahlen und liest die Schlüsselkennzahlen in ein Kodierungsmodul ein und ermittelt daraus die Fahrtinformationen. Die Schlüsselkennzahlen werden auch als Key-Performance-Indicator (KPI) bezeichnet. Das Analysemodul kann dabei in ein jeweiliges Elektrofahrzeug integriert sein, Teil der zentralen Recheneinrichtung sein oder auch extern von einem Dienstleistungsanbieter wie einem Routendienstleister eingesetzt werden. Mit Hilfe des Analysemoduls lassen sich die Schlüsselkennzahlen aus der Route extrahieren. Die Schlüsselkennzahlen enthalten zumindest Informationen, die die jeweilige vom Elektrofahrzeug befahrene Route beschreiben. Generell kommt es auch in Betracht Schlüsselkennzahlen für weitere Informationen wie beispielsweise das aktuelle Verkehrsaufkommen, Wetterbedingungen und dergleichen mit in den Analysevorgang einzubeziehen. Dadurch, dass lediglich Schlüsselkennzahlen und keine vollständige Routeninformationen bzw. weitere ergänzende Informationen übertragen und analysiert werden, lässt sich der Umfang der auszuwertenden und entsprechend zu übertragenden Datenmenge reduzieren. Dies stellt zudem gleichzeitig eine Anonymisierungsmethode dar, wodurch das Rückverfolgen einzelner Fahrzeuge bzw. Fahrzeughalter unmöglich wird. Dies verbessert den Datenschutz bei der Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

**[0019]** Die Schlüsselkennzahlen werden daraufhin vom Kodierungsmodul eingelesen und verarbeitet. Das Kodierungsmodul ermittelt dann die besagten Fahrtinformationen. Das Kodierungsmodul kann ebenfalls auf der zentralen Recheneinrichtung und/oder in den jeweiligen Elektrofahrzeugen der Fahrzeugflotte implementiert sein.

**[0020]** Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens sieht dabei vor, dass das Kodierungsmodul auf der zentralen Recheneinrichtung zentral verwaltet wird. „Zentral verwaltet“ meint in diesem Zusammenhang das Vorhalten auf der zentralen Recheneinrichtung und beständiges Weiterentwickeln des Kodierungsmoduls, sodass dieses noch zutreffender aus den Eingangsdaten passende Schlüsselkennzahlen ableitet. Das so beständig aktualisierte Kodierungsmodul lässt sich dann von der zentralen Recheneinrichtung an die einzelnen Elektrofahrzeuge der Fahrzeugflotte verteilen. Hierdurch lassen sich die in die Fahrzeuge eingebrachten Kodierungsmodule aktualisieren. Das Kodierungsmodul kann auf festen Regeln basieren und/oder auch Methoden des maschinellen Lernens einsetzen, wie künstliche Intelligenz.

**[0021]** Entsprechend einer weiteren vorteilhaften Ausgestaltung des Verfahrens werden das erste Maschinenlernmodell und das zweite Maschinenlernmodell beide in einem jeweiligen Elektrofahrzeug ausgeführt, insbesondere auf derselben fahrzeuginternen Recheneinheit. Hierdurch wird ein jeweiliges Elektrofahrzeug der Fahrzeugflotte dazu in die Lage versetzt selbstständig den eigenen erwartenden Verbrauch abzuschätzen. Dementsprechend müssen keine Informationen aus dem Fahrzeug heraus transferiert und an externe Datenverarbeitungseinrichtungen übertragen werden, was den Datenschutz zusätzlich verbessert. Besagte Maschinenlernmodelle können jedoch vergleichsweise rechenaufwändig sein und somit eine leistungsstarke Rechenhardware erfordern, um das gesuchte Ergebnis in einer zufriedenstellenden Zeitdauer berechnen zu können. Zudem besteht das Risiko, dass ein im Fahrzeug vorgehaltenes erstes Maschinenlernmodell veraltet und somit ein eigentlich zur Verfügung stehendes Potenzial zur Erhöhung der Vorhersagegenauigkeit ungenutzt bleibt.

**[0022]** Dementsprechend sieht eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Verfahrens ferner vor, dass das erste Maschinenlernmodell fahrzeugextern und das zweite Maschinenlernmodell fahrzeugintern ausgeführt wird, insbesondere das erste Maschinenlernmodell auf einer fahrzeugexternen zentralen Recheneinrichtung und das zweite Maschinenlernmodell auf einer fahrzeuginternen Recheneinheit. Dies erfordert zwar das Übermitteln von Informationen aus dem Fahrzeug heraus an die zentrale Recheneinrichtung, jedoch lässt sich somit gewährleisten, dass immer das aktuellste erste Maschinenlernmodell, also das am besten trainierte Maschinenlernmodell, genutzt wird und zudem verfügt die zentrale Recheneinrichtung über eine besonders leistungsstarke Hardwarekonfiguration, sodass zum einen ein schnelles Berechnen der gesuchten Größen möglich ist und zum anderen die fahrzeugintegrierte Hardware einfacher ausgestaltet werden kann.

**[0023]** Erfindungsgemäß wird ein im Vorigen beschriebenes Verfahren derart verwendet, dass eine Navigationseinheit die zweite Verbrauchsschätzung zum Ermitteln einer Navigationsroute für ein jeweiliges Elektrofahrzeug berücksichtigt. Bei der Navigationseinheit kann es sich beispielsweise um ein fahrzeugintegriertes Navigationssystem oder auch ein mobiles Navigationssystem, welches kommunikativ mit einer Recheneinheit des Fahrzeugs gekoppelt ist, handeln. Der Navigationseinheit wird die zweite Verbrauchsschätzung bereitgestellt, welche aufgrund der verbesserten Vorhersagegüte noch zuverlässiger den sich tatsächlich einstellenden Verbrauchswert trifft. Dies ermöglicht es der Navigationseinheit die Planung von Navigationsrouten zu verbessern, sodass eine auch noch genauere

Reichweitenvorhersage für das jeweilige Elektrofahrzeug vorgenommen werden kann. Liegt beispielsweise ein entsprechendes Fahrtziel in der Nähe zu dem Punkt auf der Navigationsroute, an dem der Energievorrat der Traktionsbatterie des Elektrofahrzeugs droht, ein kritisches Level zu unterschreiten, so lässt sich bei einer genaueren Verbrauchsschätzung des Elektrofahrzeugs zuverlässiger ermitteln, ob besagtes Navigationsziel noch erreicht werden kann oder nicht.

**[0024]** Bevorzugt plant dabei die Navigationseinheit unter Berücksichtigung der zweiten Verbrauchsschätzung zumindest einen Ladestopp an einer Ladestation entlang der Navigationsroute ein. Aufgrund der verbesserten Verbrauchsschätzung lassen sich Sicherheitspuffer bezüglich des Vorhaltens elektrischer Antriebsenergie in der Traktionsbatterie des Elektrofahrzeugs zum Erreichen von Ladestationen bzw. dem eigentlichen Navigationsziel reduzieren. Dementsprechend ist die Navigationseinheit dazu in der Lage bei unzureichendem Energievorrat eine geeignete Ladestation zum Durchführen eines Ladestopps in die Navigationsroute einzuplanen. Dabei können je nach Verfügbarkeit von Ladestationen auch Umwege in Kauf genommen werden.

**[0025]** Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens zur Verbrauchsschätzung von Elektrofahrzeugen ergeben sich auch aus den Ausführungsbeispielen, welche nachfolgend unter Bezugnahme auf die Figuren näher beschrieben werden.

**[0026]** Dabei zeigen:

**Fig. 1** einen schematischen Ablauf eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Verbrauchsschätzung eines Elektrofahrzeugs;

**Fig. 2** ein Gewichtungsdigramm, zeigend das von einem zweiten Maschinenlernmodell zum Abschätzen des Verbrauchs des Elektrofahrzeugs berücksichtigten Gewichtungsverhältnisses zwischen einer auf einem auf Flottendaten angepassten Vorhersagemodells basierenden Verbrauchsschätzung und einer auf dem eigenen Fahrzeug angepassten Vorhersagemodell basierenden Verbrauchsschätzung gemäß einer ersten Ausführung; und

**Fig. 3** das in **Fig. 2** gezeigte Gewichtungsdigramm gemäß einer alternativen Ausführung.

**[0027]** **Fig. 1** verdeutlicht den Ablauf eines erfindungsgemäßen Verfahrens zur Verbrauchsschätzung von Elektrofahrzeugen 1. Dabei verdeutlicht der obere Teil 7.1 von **Fig. 1** Verfahrensabläufe auf einer zentralen Recheneinrichtung 5 und der untere Teil 7.2 von **Fig. 1** den im eigentlichen Elektrofahrzeug 1 ablaufenden Teil des Verfahrens.

**[0028]** Vor Fahrtbeginn wird die geplante Route 6 des Fahrzeugs 1 ermittelt und daraus sogenannte Schlüsselkennzahlen KPI abgeleitet. Mittels der Schlüsselkennzahlen KPI lässt sich die Route 6 in einer vereinfachten und anonymisierten Art und Weise darstellen bzw. beschreiben. Ein Kodierungsmodul COD liest die Schlüsselkennzahlen KPI ein und leitet daraus aktuelle Fahrtinformationen 2.A ab, welche wiederum als Eingangsdaten für ein erstes Maschinenlernmodell ML1 dienen. In dem in **Fig. 1** gezeigten Ausführungsbeispiel wird das erste Maschinenlernmodell ML1 im Fahrzeug 1 selbst ausgeführt, wie im unteren Teil 7.2 von **Fig. 1** verdeutlicht. Generell könnte dieser Arbeitsschritt jedoch auch in die zentrale Recheneinrichtung 5 ausgelagert sein. Das erste Maschinenlernmodell ML1 dient dazu eine erste Verbrauchsschätzung 3.1 des Fahrzeugs 1 zu ermitteln. Diese wird gemäß des erfindungsgemäßen Verfahrens als Eingangsgröße von einem zweiten Maschinenlernmodell ML2 eingelesen. Das zweite Maschinenlernmodell ML2 liest zusätzlich ebenfalls die aktuellen Fahrtinformationen 2.A ein und ermittelt aus den besagten Eingangsdaten eine zweite Verbrauchsschätzung 3.2.

**[0029]** Initial, also zum Beginn der Lebensdauer des Elektrofahrzeugs 1, ist das zweite Maschinenlernmodell ML2 noch nicht auf das eigentliche Elektrofahrzeug 1 trainiert. Das zweite Maschinenlernmodell ML2 kann untrainiert sein oder aber auf ein „Standardfahrzeug“ optimiert sein, analog zum ersten Maschinenlernmodell ML1. Zum Trainieren des zweiten Maschinenlernmodells ML2 übermittelt das eigene Elektrofahrzeug 1 nach einer jeweiligen Fahrt den tatsächlichen während der Fahrt angefallenen eigenen Verbrauch 4.Ego an das zweite Maschinenlernmodell ML2. Hierdurch wird nach und nach die Vorhersagegüte des zweiten Maschinenlernmodells ML2 verbessert.

**[0030]** Erfindungsgemäß ist es vorgesehen, dass das zweite Maschinenlernmodell ML2 eine Gewichtung zwischen der ersten Verbrauchsschätzung 3.1 und einem durch das zweite Maschinenlernmodell ML2 selbst ermittelten vorläufigen Verbrauch 3. Individual (siehe die **Fig. 2** und **Fig. 3**) durchführt. Zu Beginn der Lebensdauer des Elektrofahrzeugs 1 liegt die Gewichtung dabei vollständig auf der durch das erste Maschinenlernmodell ML1 ermittelten ersten Verbrauchsschätzung 3.1 und wird mit fortschreitender Nutzungsdauer des Elektrofahrzeugs 1 und damit Trainings des zweiten Maschinenlernmodells ML2 zunehmend hin zum vorläufigen Verbrauch 3. Individual verschoben.

**[0031]** Dies hat den Effekt, dass der Verbrauch des Elektrofahrzeugs 1 nach dessen Auslieferung an den Kunden bereits vergleichsweise gut abgeschätzt werden kann, mit zunehmender Nutzungsdauer jedoch immer genauer vorhergesagt werden kann.

**[0032]** Mittels des Kodierungsmoduls COD lässt sich der Umfang an Informationen zur Beschreibung der mit dem Elektrofahrzeug 1 zurückgelegten Fahrt minimieren. Der obere Teil 7.1 von **Fig. 1** verdeutlicht dabei die Entwicklung bzw. das Training des Kodierungsmoduls COD auf der zentralen Recheneinrichtung 5. Auf Basis von Simulationen und/oder real im Feld mit den einzelnen Elektrofahrzeugen 1 einer Fahrzeugflotte durchgeführten Fahrten werden die jeweiligen Routen 6 der jeweiligen Fahrten mittels eines Analysemoduls analysiert, um daraus besagte Schlüsselkennzahlen KPI zu ermitteln. Die Schlüsselkennzahlen KPI beschreiben zumindest die eigentliche Route 6 charakterisierende Informationen. Ergänzend können auch Informationen enthalten sein, die Randbedingungen beschreiben wie beispielsweise das beim Durchführen der jeweiligen Fahrt vorliegende Verkehrsaufkommen, Witterungsverhältnisse, im Fahrzeug genutzte Verbraucher und dergleichen. Die Schlüsselkennzahlen KPI werden durch das Kodierungsmodul COD komprimiert und als Fahrtinformationen 2 aufbereitet. Die Fahrtinformationen 2 werden auch als sogenannte Feature-Map bezeichnet. Das ausreichend entwickelte bzw. angelernte Kodierungsmodul COD ist in **Fig. 1** mit einem dicken schwarzen Rahmen versehen und wird von der zentralen Recheneinrichtung 5 für die weitere Verwendung bereitgestellt.

**[0033]** Der obere Teil 7.1 in **Fig. 1** verdeutlicht zudem das Antrainieren des ersten Maschinenlernmodells ML1 basierend auf Flottendaten. So führen die Elektrofahrzeuge 1 einer Fahrzeugflotte eine Vielzahl unterschiedlicher Fahrten durch, die jeweils durch die gezeigten Routen 6 charakterisiert sind. Wie oben bereits ausgeführt, ermittelt das Kodierungsmodul COD hieraus Fahrtinformationen 2. Zum Trainieren des ersten Maschinenlernmodells ML1 werden dabei in der Vergangenheit durchgeführte Fahrten analysiert und somit historische Fahrtinformationen 2.H als Eingangsgröße eingelesen. Die Elektrofahrzeuge 1 der Flotte übermitteln nach der jeweiligen Fahrt ihren tatsächlichen Verbrauch 4.Flote an die zentrale Recheneinrichtung 5, die den tatsächlichen Verbrauch 4.Flote als Eingangsgröße dem ersten Maschinenlernmodell ML1 zum Trainieren bereitstellt. Hierdurch wird nach und nach die Vorhersagegüte für die unterschiedlichsten Fahrzeugkonfigurationen und Einsatzrandbedingungen zur Vorhersage einer besonders allgemeingültigen ersten Verbrauchsschätzung 3.1 verbessert.

**[0034]** Das erste Maschinenlernmodell ML1 kann zudem nach dem initialen Training fortwährend durch die zentrale Recheneinrichtung 5 verwaltet und weitertrainiert werden. So übermitteln die einzelnen Elektrofahrzeuge 1 der Flotte weiterhin die jeweiligen Daten an die zentrale Recheneinrichtung 5, die das Training des ersten Maschinenlernmodells ML1 weiterführt.

**[0035]** Das so trainierte erste Maschinenlernmodell ML1, gekennzeichnet durch einen dicken Rahmen, wird dann zur Anwendung an die jeweiligen Elektrofahrzeuge 1 übertragen.

**[0036]** Die **Fig. 2** und **Fig. 3** verdeutlichen das sich über die Zeit ändernde Gewichtungsverhältnis des zweiten Maschinenlernmodells ML2 zwischen der ersten Verbrauchsschätzung 3.1 und dem vom zweiten Maschinenlernmodell ML2 selbst ermittelnden vorläufigen Verbrauch 3.Individual. Dabei zeigt **Fig. 2** eine lineare Änderung über die Zeit  $t$  und **Fig. 3** eine progressivere bzw. degressivere Änderung. Bei den gezeigten Diagrammen ist auf der Abszisse die Zeit  $t$  aufgetragen und auf der Ordinate der jeweilige Gewichtungsfaktor  $W$  in einer qualitativen Darstellung in beispielhafter Höhe zwischen 0 und 1, wobei 1 für eine vollständige Berücksichtigung und 0 für keine Berücksichtigung steht.

**[0037]** Bei dem in **Fig. 2** gezeigten Ausführungsbeispiel erfolgt die Änderung der Gewichtung mit der Zeit  $t$  linear, was eine besonders einfache Realisierung erlaubt. Gemäß dem in **Fig. 3** gezeigten Ausführungsbeispiel wird zu Beginn des Einsatzes des Elektrofahrzeugs 1 für einen längeren Zeitraum stärker auf das Ergebnis des ersten Maschinenlernmodells ML1 gewichtet und mit zunehmendem Training des zweiten Maschinenlernmodells ML2 dann immer schneller dessen Gewichtung erhöht. Da das zweite Maschinenlernmodell ML2 zu Beginn noch nicht ausreichend trainiert ist, wird so sichergestellt, dass auch im anfänglichen Nutzungszeitraum des Elektrofahrzeugs 1 eine zuverlässige Verbrauchsschätzung ermöglicht wird. Ist das zweite Maschinenlernmodell ML2 zunehmend besser trainiert, so kann der Gewichtungsfaktor für das zweite Maschinenlernmodell ML2 immer stärker erhöht werden, was eine noch genauere Verbrauchsschätzung für das Elektrofahrzeug 1 ermöglicht.

**ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**Zitierte Patentliteratur**

- WO 2021244632 A1 [0003]

## Patentansprüche

1. Verfahren zur Verbrauchsschätzung von Elektrofahrzeugen (1), wobei einem mit historischen Fahrtdaten (2.H) trainiertem ersten Maschinenlernmodell (ML1) als Eingangsdaten aktuelle Fahrtdaten (2.A) bereitgestellt werden und das erste Maschinenlernmodell (ML1) als Ausgangsdaten eine erste Verbrauchsschätzung (3.1) elektrischer Antriebsenergie für eine durch die aktuellen Fahrtdaten (2.A) charakterisierte aktuelle Fahrt mit einem Elektrofahrzeug (1) ermittelt, **dadurch gekennzeichnet**, dass

- ein zweites Maschinenlernmodell (ML2) vorgesehen ist, welches die aktuellen Fahrtdaten (2.A) und die erste Verbrauchsschätzung (3.1) als Eingangsdaten einliest und daraus eine zweite Verbrauchsschätzung (3.2) ermittelt;
- das Elektrofahrzeug (1) seinen tatsächlichen Energieverbrauch (4.Ego) erhebt und das zweite Maschinenlernmodell (ML2) den nach dem Beenden der aktuellen Fahrt vom Elektrofahrzeug (1) erhobenen tatsächlichen Verbrauch (4.Ego) zum Trainieren einliest;
- das zweite Maschinenlernmodell (ML2) zum Ermitteln der zweiten Verbrauchsschätzung (3.2) eine Gewichtung zwischen der ersten Verbrauchsschätzung (3.1) und einem selbst ermittelten vorläufigen Verbrauch (3.Individual) vornimmt; und
- das zweite Maschinenlernmodell (ML2) die Gewichtung mit fortschreitendem Training anpasst, wobei initial zu 100% auf die erste Verbrauchsschätzung (3.1) und zu 0% auf den vorläufigen Verbrauch (3.Individual) gewichtet wird und mit fortschreitendem Training der Gewichtsanteil der ersten Verbrauchsschätzung (3.1) reduziert und der Gewichtsanteil des vorläufigen Verbrauchs (3.Individual) erhöht wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zweite Maschinenlernmodell (ML2) final zu 0% auf die erste Verbrauchsschätzung (3.1) und zu 100% auf den vorläufigen Verbrauch (3.Individual) gewichtet.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet**, dass das zweite Maschinenlernmodell (ML2) das Gewichtungsverhältnis zwischen der ersten Verbrauchsschätzung (3.1) und dem vorläufigen Verbrauch (3.Individual) linear ändert.

4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Elektrofahrzeuge (1) einer Fahrzeugflotte während ihrer Nutzung für jeweilig durchgeführte Fahrten die respektiven Fahrtdaten (2) und die respektiven tatsächlichen Verbräuche (4.Flote) an eine zentrale Recheneinrichtung (5) übertragen und die zentrale Recheneinrichtung (5) fortwährend das erste Maschinenlernmodell (ML1) auf Basis der übermit-

telten Fahrtdaten (2) und korrespondierenden tatsächlichen Verbräuche (4.Flote) trainiert.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet**, dass ein jeweiliges Elektrofahrzeug (1) die Route (6) einer geplanten Fahrt ermittelt, ein Analysemodul die Route (6) zum Bestimmen von zumindest eine jeweilige Route (6) beschreibenden Schlüsselkennzahlen (KPI) analysiert und ein Kodierungsmodul (COD) die Schlüsselkennzahlen (KPI) einliest und daraus die Fahrtdaten (2) ermittelt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Kodierungsmodul (COD) auf einer zentralen Recheneinrichtung (5) zentral verwaltet wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Maschinenlernmodell (ML1) und das zweite Maschinenlernmodell (ML2) beide in einem jeweiligen Elektrofahrzeug (1) ausgeführt werden, insbesondere auf derselben fahrzeuginternen Recheneinheit.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 6, **dadurch gekennzeichnet**, dass das erste Maschinenlernmodell (ML1) fahrzeugextern und das zweite Maschinenlernmodell (ML2) fahrzeugintern ausgeführt wird, insbesondere das erste Maschinenlernmodell (ML1) auf einer fahrzeugexternen zentralen Recheneinrichtung (5) und das zweite Maschinenlernmodell (ML2) auf einer fahrzeuginternen Recheneinheit.

9. Verwendung eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 8, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Navigationseinheit die zweite Verbrauchsschätzung (3.2) zum Ermitteln einer Navigationsroute für ein jeweiliges Elektrofahrzeug (1) berücksichtigt.

10. Verwendung nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Navigationseinheit unter Berücksichtigung der zweiten Verbrauchsschätzung (3.2) zumindest einen Ladestopp an einer Ladestation entlang der Navigationsroute einplant.

Es folgen 2 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

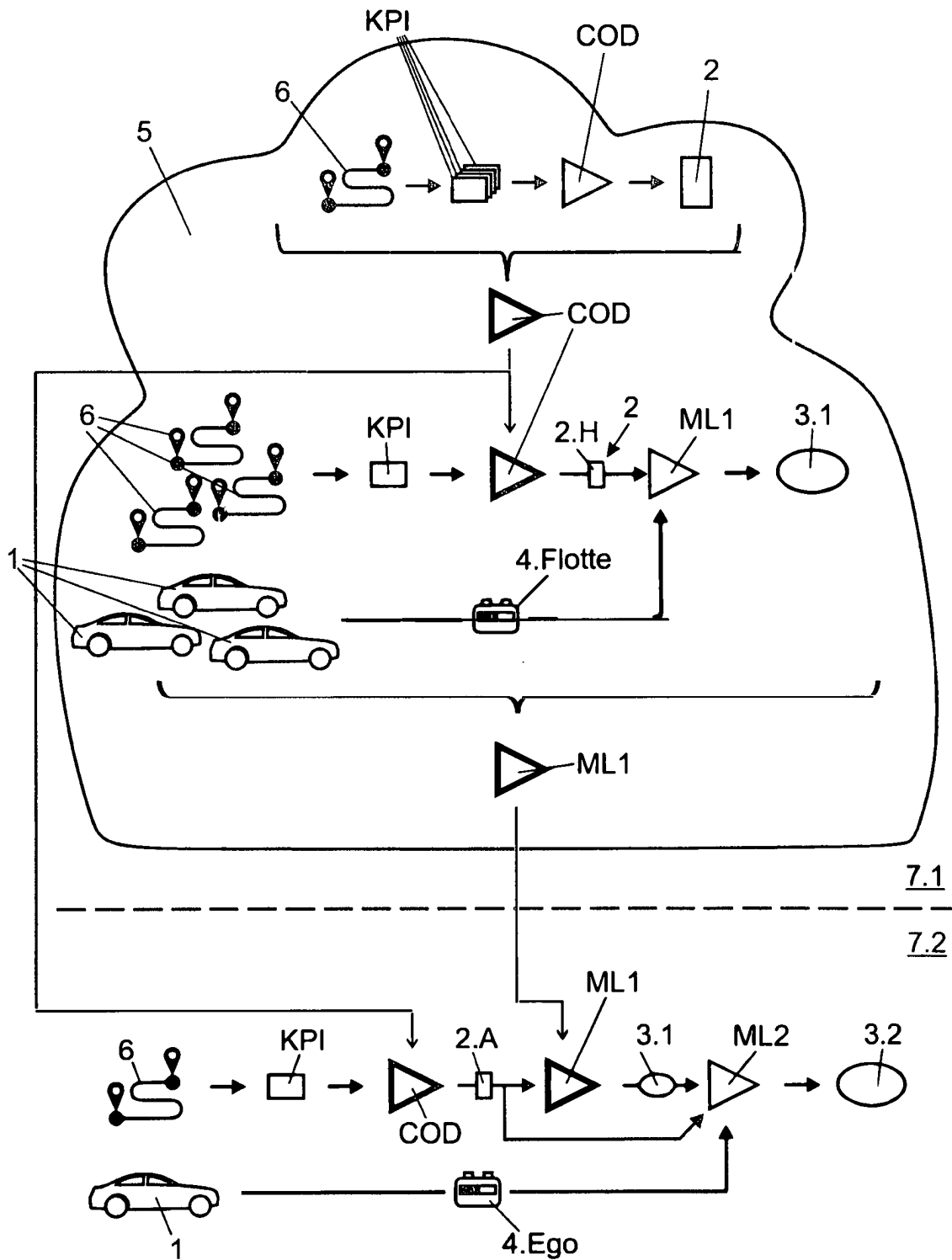


Fig. 1

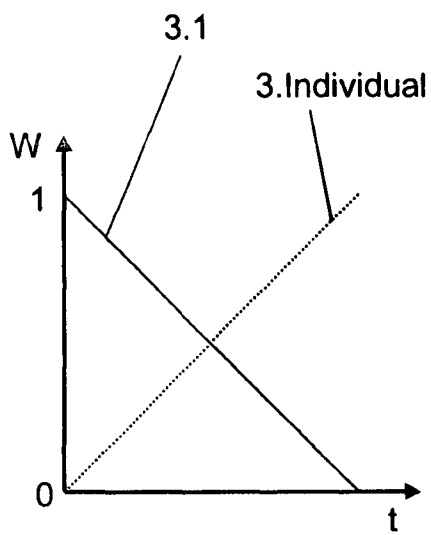


Fig. 2

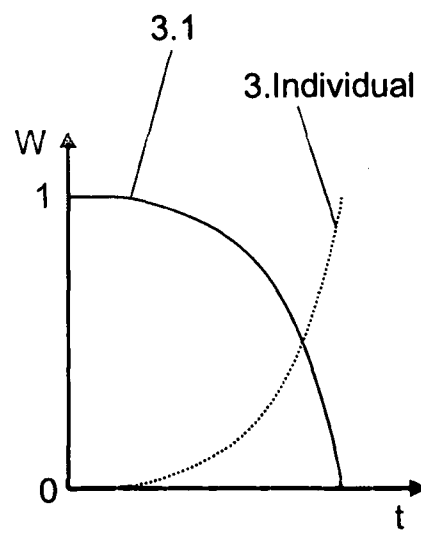


Fig. 3