

(12) **Österreichische Patentanmeldung**

(21) Anmeldenummer: A 1166/2011
 (22) Anmeldetag: 11.08.2011
 (43) Veröffentlicht am: 15.09.2012

(51) Int. Cl. : **G01B 21/30** (2006.01)

(56) Entgegenhaltungen:
 EP 1635163 A2

(73) Patentanmelder:
 ÖSTERREICHISCHES FORSCHUNGS- UND
 PRÜFZENTRUM ARSENAL GESELLSCHAFT
 M.B.H
 A-1210 WIEN (AT)

(54) **VERFAHREN ZUR ERMITTLUNG VON STRASSENPARAMETERN**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung von Parametern (p) betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit eines Straßenbereichs (1) mit einem Fahrzeug (2), wobei das Fahrzeug (2) eine Anzahl von kinetischen oder kinematischen Sensoren (S), aufweist. Erfindungsgemäß ist vorgesehen,

a) dass mit dem Fahrzeug (2) in einem Kalibrierungsschritt - eine vorgegebene Anzahl von Fahrten die Messwerte der jeweiligen Sensoren (21) aufgenommen werden oder

b) dass mittels eines Optimierungsverfahrens eine Parameteridentifikationsfunktion (f) zur Ermittlung eines oder mehrerer Parameter (p) der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit des Referenzstraßenbereichs (11) ermittelt wird, wobei die Parameteridentifikationsfunktion (f) auf die von den Sensoren (S) ermittelten Messwerte (x) angewandt wird und derart festgelegt wird, dass als Ergebnis der Parameteridentifikationsfunktion (f) der jeweilige vorab ermittelte Parameter (p) der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit des Referenzstraßenbereichs (11) erzielt wird,

c) dass das Fahrzeug (2) nach dem Kalibrierungsschritt über zu beurteilenden Straßenbereich (1) bewegt wird, und

d) dass die Parameteridentifikationsfunktion (f) auf die Messwerte angewandt wird und die Parameteridentifikationsfunktion (f) auf die Messwerte angewandt wird.

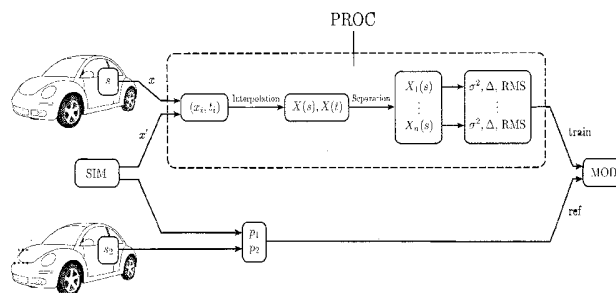


Fig. 1



Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung von Parametern (p) betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit eines Straßenbereichs (1) mit einem Fahrzeug (2), wobei das Fahrzeug (2) eine Anzahl von kinetischen oder kinematischen Sensoren (S), aufweist.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen,

- a) dass mit dem Fahrzeug (2) in einem Kalibrierungsschritt
 - eine vorgegebene Anzahl von Fahrten die Messwerte der jeweiligen Sensoren (21) aufgenommen werden oder
- b) dass mittels eines Optimierungsverfahrens eine Parameteridentifikationsfunktion (f) zur Ermittlung eines oder mehrerer Parameter (p) der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit des Referenzstraßenbereichs (11) ermittelt wird, wobei die Parameteridentifikationsfunktion (f) auf die von den Sensoren (S) ermittelten Messwerte (x) angewandt wird und derart festgelegt wird, dass als Ergebnis der Parameteridentifikationsfunktion (f) der jeweilige vorab ermittelte Parameter (p) der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit des Referenzstraßenbereichs (11) erzielt wird,
- c) dass das Fahrzeug (2) nach dem Kalibrierungsschritt über zu beurteilenden Straßenbereich (1) bewegt wird, und
- d) dass die Parameteridentifikationsfunktion (f) auf die Messwerte angewandt wird und die Parameteridentifikationsfunktion (f) auf die Messwerte angewandt wird.

(Fig. 1)

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Ermittlung von Parametern betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit eines Straßenbereichs gemäß dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1.

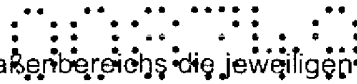
Aus dem Stand der Technik ist eine Vielzahl von Verfahren bekannt, mit denen die konkrete Oberflächenbeschaffenheit einer Fahrbahn ermittelt werden kann. Um eine Messung von Straßen bzw. Fahrbahnen vornehmen zu können, werden die jeweiligen Sensoren zur Ermittlung der zu ermittelnden Parameter auf einem Fahrzeug angeordnet und mit dem Fahrzeug über die Straße bewegt. Im Zuge der Fahrt des Fahrzeugs über die Fahrbahn können einzelne Parameter ermittelt werden. Weiters verfügt das Fahrzeug über ein Positionsbestimmungsgerät, etwa ein GPS-Gerät, mit dem eine Zuordnung der einzelnen ermittelten Parameter der Fahrbahn zu den jeweiligen geographischen möglich ist.

Hierbei besteht der wesentliche Nachteil, dass die Zusammenhänge zwischen den einzelnen ermittelten Messwerten und den sich hieraus ergebenden Parametern nur sehr schwer zu bestimmen sind. Aufgabe der Erfindung ist es, diesen Nachteil zu beseitigen und ein Messverfahren bereitzustellen, das diesen Nachteil nicht aufweist. Durch Aufbereitung, Aggregation und Merkmalsextraktion (feature extraction) von spezifischen Sensordaten bzw. Messwerten aus Fahrzeugen sollen Straßenparameter identifiziert werden.

Die Erfindung löst diese Aufgabe bei einem Verfahren der eingangs genannten Art mit den kennzeichnenden Merkmalen des Patentanspruchs 1. Erfindungsgemäß ist bei einem Verfahren eine Anzahl von kinetischen oder kinematischen Sensoren, vorzugsweise Beschleunigungssensoren für die Messung der Beschleunigung in unterschiedliche Richtungen, und/oder Radumdrehungsmesssensoren und/oder Betätigungssensoren für Gaspedal und/oder Bremse des Fahrzeugs und/oder Sensoren zur Bestimmung des Lenkradwinkels und/oder der ermittelten Fahrtgeschwindigkeit, aufweist, vorgesehen,

a) dass mit dem Fahrzeug in einem Kalibrierungsschritt

- eine vorgegebene Anzahl von Fahrten über eine oder mehrere Referenzstraßenbereiche durchgeführt wird, wobei die jeweiligen Parameter der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit des Referenzstraßenbereichs vorab ermittelt werden und anschließend beim Befahren der Referenzstraßenbereiche die Messwerte der jeweiligen Sensoren aufgenommen werden oder
- im Zuge einer Fahrdynamiksimulation auf einem vorgegebenen virtuellen Straßenbereich mit vorgegebenen Parametern betreffend die geometrische



Oberflächenbeschaffenheit des virtuellen Straßenbereichs die jeweiligen sich ergebenden Messwerte ermittelt werden,

b) dass mittels eines Optimierungsverfahrens eine Parameteridentifikationsfunktion zur Ermittlung eines oder mehrerer Parameter der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit des Referenzstraßenbereichs ermittelt wird,

wobei die Parameteridentifikationsfunktion auf die von den Sensoren ermittelten Messwerte und/oder auf davon abgeleitete Werte angewandt wird und die Parameteridentifikationsfunktion derart festgelegt wird, dass als Ergebnis der Parameteridentifikationsfunktion der jeweilige vorab ermittelte Parameter der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit des Referenzstraßenbereichs mit möglichst geringer Abweichung erzielt wird,

c) dass das Fahrzeug nach dem Kalibrierungsschritt über einen bezüglich seiner geometrischen Parameter zu beurteilenden Straßenbereich bewegt wird und die von den Sensoren ermittelten Messwerte aufgenommen werden, und

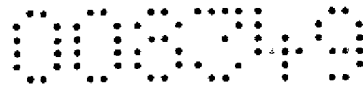
d) dass die Parameteridentifikationsfunktion auf die Messwerte und/oder auf davon abgeleitete Werte angewandt wird und das Ergebnis oder die Ergebnisse der Auswertung der Parameteridentifikationsfunktion als Parameter der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit des Straßenbereichs herangezogen werden.

Hierdurch ergibt sich eine effiziente und genaue Bestimmung der einzelnen Parameter mit einem einfach durchzuführenden Verfahren.

Eine besonders vorteilhafte Weiterbildung der Erfindung sieht vor, dass die Messwerte, Sensoren mittels dem ABS- oder ESP-System des Fahrzeugs zugeordneten Sensoren ermittelt werden. Hierbei entfällt die Notwendigkeit, das Verfahren zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens mit zusätzlichen Sensoren zu versehen.

Zusätzlich oder alternativ kann mittels Beschleunigungssensoren zur Bestimmung der Beschleunigung in unterschiedliche Richtungen ermittelt werden. Aus diesen Messwerten ist eine besonders gute und genaue Ermittlung von Oberflächeneigenschaften wie z. B. der Längs- und Querneigung des jeweiligen Straßenabschnitts erzielbar.

Zusätzlich oder alternativ können zum selben Zweck weiters Radumdrehungsmesssensoren und/oder Betätigungssensoren für Gaspedal und/oder Bremse des Fahrzeugs ermittelt und zur Bestimmung der Oberflächeneigenschaften des Fahrbahnabschnitts herangezogen werden. Zum selben Zweck können auch zusätzlich oder alternativ auch Sensoren zur Bestimmung des Lenkradwinkels und/oder der Fahrtgeschwindigkeit, herangezogen werden.



Um eine zeitliche Zuordnung der einzelnen Messwerte zueinander zu ermöglichen, kann vorgesehen sein, dass zwischen der Aufnahme von zwei Messwerten jeweils eine vorgegebene Zeit liegt oder das Fahrzeug eine vorgegebene Wegstrecke zurücklegt.

Alternativ oder zusätzlich kann vorgesehen sein, dass, insbesondere bei einer Anzahl von unterschiedlichen Sensoren, die Messwerte in vorgegebenen, gegebenenfalls voneinander unterschiedlichen, Intervallen aufgenommen werden, wobei anschließend eine Interpolation der einzelnen Messwerte vorgenommen wird, und wobei die zwischen zwei Zeitpunkten, an denen die so ermittelte Interpolierende der Messwerte ausgewertet und für die weitere Verarbeitung zur Verfügung gehalten wird, eine bestimmte vorgegebene Zeit liegt oder das Fahrzeug eine vorgegebene Wegstrecke zurücklegt.

Um die Einflüsse der zu bestimmenden Oberflächenparameter auf die sich zeitlich ändernden Messgrößen besser berücksichtigen zu können, kann vorgesehen sein, dass eine Vielzahl von zeitlich hintereinander aufgenommenen Messwerten der einzelnen Sensoren ermittelt wird und dass dem Optimierungsverfahren und/oder der hieraus ermittelten Parameteridentifikationsfunktion jeweils eine Anzahl von hintereinander aufgenommenen Messwerten zugrunde gelegt wird.

Um einen Vergleich zwischen den einzelnen Verlaufsgößen der Messwerte in Bezug auf den zurückgelegten Weg zu ermöglichen, kann vorgesehen sein, dass eine wegbasierte Messwertverlaufsfunktion erstellt wird, die die jeweils ermittelten Messwerte in Relation zu der zurückgelegten Wegstrecke angibt, und dass die wegbasierte Messwertverlaufsfunktion dem Optimierungsverfahren der hieraus ermittelten Parameteridentifikationsfunktion zugrunde gelegt wird.

Um einen Vergleich zwischen den einzelnen Verlaufsgößen der Messwerte in Bezug auf die Zeit zu ermöglichen, kann vorgesehen sein, dass eine zeitbasierte Messwertverlaufsfunktion erstellt wird, die die jeweils ermittelten Messwerte in Relation zu der seit einem Bezugszeitpunkt vergangenen Zeitintervall angibt, und dass die zeitbasierte Messwertverlaufsfunktion dem Optimierungsverfahren der hieraus ermittelten Parameteridentifikationsfunktion zugrunde gelegt wird.

Zur vorteilhaften Umrechnung einer zeitbasierten Messwertverlaufsfunktion in eine wegbasierte Messwertverlaufsfunktion kann vorgesehen sein, dass die Fahrtgeschwindigkeit für jeden der Aufnahmezeitpunkte der Messwerte ermittelt wird und,

bis 30%, insbesondere 10% bis 12%, mit dem jeweils vorangehenden Aufnahmeintervall und/oder Wegstreckenabschnitt überlappen.

Um Einflüsse von am Rand der Messverlaufsfunction zu vermeiden bzw. zu unterdrücken, kann vorgesehen sein, dass Anteile der zeitbasierten und/oder wegbasierten Messwertverlaufsfunction, die sich am Rand des von der Messwertverlaufsfunction erfassten jeweiligen zeitlichen und/oder räumlichen Aufnahmebereichs befinden, gedämpft und/oder abgeschwächt werden.

Zur Abschwächung von Randeffekten bei der Verarbeitung der Messwertverlaufsfunction kann vorgesehen sein, dass ein Tukey-Fenster $w(n)$ der Form

$$w(n) = \begin{cases} 1, & 0 \leq |n| \leq \alpha \frac{N}{2} \\ \frac{1}{2} \left(1 + \cos \left(\pi \frac{n - \alpha \frac{N}{2}}{2(1 - \alpha) \frac{N}{2}} \right) \right), & \alpha \frac{N}{2} \leq |n| \leq \frac{N}{2} \end{cases}$$

verwendet wird, wobei N der Anzahl der zur Erstellung der Messwertverlaufsfunction herangezogenen Messwerte entspricht und α die Flankensteigung bezeichnet und auf einen Wert zwischen 0,15 und 0,55 festgelegt wird, und dass jedem der Messwerte je nach der Reihenfolge seiner Ermittlung in der jeweiligen Messwertverlaufsfunction ein Index n von 0 bis $N-1$ zugeordnet wird und dass der jeweilige Messwert mit dem jeweiligen Wert der Tukey-Funktion $w(n)$ gewichtet wird.

Um den zeitlichen und örtlichen Versatz der Vorder- und Hinterräder des Fahrzeugs zu berücksichtigen, kann vorgesehen sein, dass Messdaten, die das Verhalten der hinteren Räder des Fahrzeugs betreffen, insbesondere die Messdaten der Radumdrehungssensoren, um den jeweiligen Abstand zwischen der Vorderachse und der Hinterachse des Fahrzeugs verschoben werden und Messdaten bei deren Aufnahme sich das jeweilige Vorder- oder Hinterrad auf ein und denselben Punkt auf dem Straßenbereich befunden haben, in der jeweiligen Messwertverlaufsfunction jeweils denselben Aufnahmezeitpunkt und/oder demselben Messpunkt zugeordnet werden.

Um die Auswirkungen von hochfrequent auftretenden Fehlern sowie von konstanten Überlagerungen der Messwerte zu vermeiden, kann vorgesehen werden, dass die jeweilige wegbasierte Messwertverlaufsfunction einer Bandpassfilterung unterzogen wird, wobei die untere Grenze des Bandpassfilters zwischen 40 und 100 Meter Wellenlänge und die obere Grenze des Bandpassfilters zwischen 0,3 und 5 Meter Wellenlänge liegt, und/oder

dass die jeweilige zeitbasierte Messwertverlaufs-funktion einer geschwindigkeitsabhängigen, adaptiven Bandpassfilterung unterzogen wird, wobei die untere Grenze des Bandpassfilters zwischen 40 und 100 Meter Wellenlänge und die obere Grenze des Bandpassfilters zwischen 0,3 und 5 Meter Wellenlänge liegt.

Hierbei kann insbesondere vorgesehen sein, dass als Bandpass-Filter ein Butterworth-Filter, insbesondere von dritter Ordnung, verwendet wird. Ein solcher Filter ist einfach zu implementieren und weist eine vorteilhafte Filtercharakteristik auf.

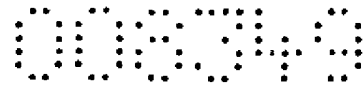
Zur weiteren Verringerung von Einflüssen von auftretenden Artefakten auf das Messergebnis sowie zur Erhöhung der Genauigkeit des Messergebnisses kann vorgesehen sein, dass die jeweilige weg- oder zeitbasierte Messwertverlaufs-funktion einer Rauschunterdrückung unterzogen wird, wobei Amplitudenanteile der Messwertverlaufs-funktion, deren Anteil unterhalb eines vorgegebenen Schwellenwerts liegt, vollständig unterdrückt werden.

Vorteilhafterweise werden die einzelnen Verfahrensschritte in der folgenden Reihenfolge durchgeführt:

- a) Bandpassfilterung der wegbasierten Messwertfunktion,
- b) Umwandlung der wegbasierten Messwertfunktion in eine zeitbasierte Messwertfunktion und
- c) Rauschunterdrückung.

Um die Auswirkungen von Fehlern zu vermeiden, kann vorgesehen sein, dass die Messwerte, die Messwertverlaufs-funktionen, in denen die Messwerte (X_1, \dots, X_N) , insbesondere für Lenkbewegungen, Schaltvorgänge, Bremsvorgänge, Beschleunigungen, einen vorgegebenen Schwellenwert überschreiten, von der Ermittlung der Straßenparameter und/oder von der Verwendung für die Kalibrierung ausgeschlossen werden.

Hierbei kann insbesondere vorgesehen sein, dass Messwerte oder Messwertverlaufs-funktionen oder daraus abgeleitete Werte, in denen ein Lenkeinschlag von 20° überschritten wird oder in denen eine Brems- oder Kupplungs-betätigung stattfindet oder die Betätigung des Gaspedals einen vorgegebenen Wert übersteigt, von der Ermittlung der Straßenparameter sowie von der Verwendung für die Kalibrierung ausgeschlossen werden.



Zur Vereinfachung und Beschleunigung der Kalibrierung und der Messung kann vorgesehen sein, dass bei der Ermittlung der Straßenparameter sowie bei der Kalibrierung für die ermittelten Messwerte einer oder mehrere der folgenden abgeleiteten Werte ermittelt werden:

- a) die Spannweite als Differenz zwischen dem maximalen und dem minimalen in den Messwerten oder der Messwertverlaufsfunktion auftretenden Messwert **und/oder**
- b) der quadratische Mittelwert der Messwerte gemäß der Formel

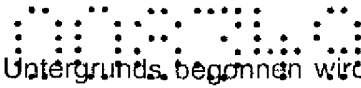
$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}, \text{ und/oder}$$

- c) die Varianz der Messwerte gemäß der Formel $\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2$.

Um eine genaue Kalibrierung sowie eine ressourcensparende Ermittlung der Parameter betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit eines Straßenbereichs, kann vorgesehen sein, dass dem Optimierungsverfahren ein Multi-Layer-Perceptron zugrunde gelegt wird und im Zuge des Optimierungsverfahrens die Gewichtungen des Multi-Layer-Perceptrons an die jeweils vorgegebenen Parameter der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit für die, gegebenenfalls virtuellen, Referenzstraßenbereiche angepasst werden.

Eine vorteilhafte Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens wird anhand der folgenden Zeichnungen näher ausgeführt.

Fig. 1 zeigt schematisch die Ermittlung der Messwerte, deren Weiterverarbeitung und die Kalibrierung bzw. das Training eines neuronalen Netzes anhand von zur Verfügung stehenden Parametern. **Fig. 2** zeigt die Ermittlung der zu ermittelnden Parameter nach der Kalibrierung. **Fig. 3** zeigt die Korrektur der hinteren Raddrehzahlen um den Radstand. **Fig. 4** zeigt die Anwendung eines Filters, der Rauschen, dessen Amplitude einen bestimmten Schwellenwert nicht übersteigt, eliminiert bzw. unterdrückt. **Fig. 5** zeigt die Charakteristik eines Tukey-Fensters. **Fig. 6** zeigt das beim vorliegenden Ausführungsbeispiel der Erfindung verwendete neuronale Netz zur Modellierung der inversen Fahrdynamik-Modells. **Fig. 7** zeigt zwei unterschiedliche Vergleichsergebnisse zwischen mit zusätzlichen Maßnahmen ermittelten Straßenparametern und den mit dem dargestellten Verfahren ermittelten Straßenparametern.



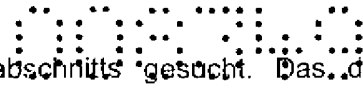
Bevor mit der Bestimmung der Beschaffenheit des Untergrunds begonnen wird, werden im bevorzugten Ausführungsbeispiel der Erfindung Referenzmessungen durchgeführt. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Verfahrens wird ein handelsüblicher PKW mit einem ABS-System oder ESP-System herangezogen, der über eine vorab bekannte Referenzstrecke bewegt wird. Das ABS- oder ESP-System des PKW umfasst eine Vielzahl von unterschiedlichen spezifischen Sensoren S , die in fortlaufenden Intervallen konkrete Sensordaten in Form von Messwerte x liefern. So liefern die Sensoren S des ABS- oder ESP-Systems des Fahrzeugs im vorliegenden Fall Beschleunigungswerte des Fahrzeugs in Längs- und Querrichtung, d.h. in Fahrtrichtung und horizontal quer zur Fahrtrichtung sowie gegebenenfalls in vertikaler Richtung. Weitere Sensoren S liefern die Drehzahlen der einzelnen vier Räder, den Aktivitätsstatus, d.h. die Position, des Brems- und Kupplungspedals, den Lenkradwinkel sowie die ermittelte Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs.

In einem ersten alternativen Ausführungsbeispiel kann anstelle der im ABS- oder ESP-System vorgesehenen Sensoren S eine Anzahl weiterer Sensoren S im Fahrzeug zur Bestimmung der vorstehend genannten Messwerte x montiert werden.

In einem zweiten alternativen Ausführungsbeispiel kann für die Kalibrierung anstelle eines tatsächlichen Fahrzeugs eine Fahrdynamiksimulation SIM herangezogen werden. Hierbei werden anhand der Abmessungen des Fahrzeugs, dessen Materialbeschaffenheit, sowie dessen Motor-, Dämpfungs-, Feder- und Bremseigenschaften die jeweiligen Messwerte x bei Vorgabe bestimmter Fahrmanöver mittels der Simulation errechnet. Die aus der Fahrdynamiksimulation ermittelten und den Messwerten x entsprechenden Werte x' werden im folgenden der Einfachheit halber ebenfalls als Messwerte x bezeichnet, wenngleich diesen keine Messung sondern Ergebnisse einer simulierten Messung zugrunde liegen.

Für die tatsächliche Vermessung von Straßenabschnitten (**Fig. 2**) wird auch in diesem Ausführungsbeispiel ein Fahrzeug mit Sensoren S verwendet, die gegebenenfalls dem ABS- oder ESP-System zugeordnet sind. Lediglich die Kalibrierung kann mittels Fahrdynamiksimulation SIM durchgeführt werden.

Ganz grundsätzlich wird im Zuge der Kalibrierung ein inverses Fahrdynamikmodell ermittelt und erstellt, d. h. es wird ein Zusammenhang zwischen den mittels der Sensoren S ermittelten Messwerten x , den ebenfalls als Messwerten x bezeichneten ermittelten Betätigungshandlungen des Fahrzeugs (Bremsen, Lenken, Betätigung des Gaspedals)



und der Beschaffenheit des jeweiligen Straßenabschnitts gesucht. Das durch die Kalibrierung zu ermittelnde inverse Fahrdynamikmodell MOD soll bei Vorgabe der ermittelten Messwerte x sowie bei Kenntnis der Betätigungshandlungen die Beschaffenheit des jeweiligen Straßenabschnitts ermitteln. Im folgenden wird der Untergrund durch konkrete Parameter p , p_1 , p_2 , ... betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit eines Straßenbereichs, etwa die Längsneigung p_1 , die Querneigung p_2 usw. beschrieben. Eine wesentliche Vereinfachung wird dadurch erzielt, dass neben den mit den Sensoren S ermittelten Messwerten x auch die Betätigungshandlungen des Fahrzeugs als Messwerte x als bekannt zur Verfügung stehen.

Während einer Anzahl von zu Kalibrierzwecken ausgeführten Kalibrierungsfahrten oder Kalibrierungssimulationen wird das Fahrzeug auf der Referenzstrecke auf einer Vielzahl unterschiedlicher der Referenzstrecke zugehöriger Referenzstraßenabschnitte bewegt, wobei die zu ermittelnden Straßenparameter p , p_1 , p_2 , ... für diese Referenzstraßenabschnitte vorab bekannt bzw. mit anderen Verfahren ermittelt worden sind. Wird zur Kalibrierung ein Fahrzeug verwendet, wird der betreffende Straßenabschnitt vorab vermessen und sämtliche zu ermittelnden Straßenparameter p , p_1 , p_2 , ... vorab oder mit separaten Messeinheiten S_2 ermittelt. Wird zur Kalibrierung eine Simulation verwendet, können die jeweiligen Straßenparameter p , p_1 , p_2 , ... betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit des Straßenbereichs aus den Simulationsvorgaben entnommen bzw. errechnet werden.

Das folgende Vorgehen zur Weiterverarbeitung der Messwerte ist in **Fig. 1** und **Fig. 2** mit PROC bezeichnet und wird sowohl für im Zuge der Kalibrierung als auch bei der Vermessung durchgeführt und wird im folgenden unter einem erläutert:

Die einzelnen Messwerte x der Sensoren S werden laufend bzw. zu wiederkehrenden Zeitpunkten aufgezeichnet, wobei jedem Messwert x ein Zeitstempel t_i zugeordnet wird, der den jeweiligen Messzeitpunkt oder das jeweilige Messintervall angibt. Die Aufzeichnung von Messwerte x erfolgt in der Regel zeitgesteuert. Je nach Sensor S oder Simulation SIM können die Zeitintervalle, die zwischen den einzelnen Messungen liegen regelmäßig oder unregelmäßig sein.

Nach der Aufnahme der Messwerte x und der Zuordnung von Messwerten x und Messzeitpunkten wird jeder Zeitstempel t_i aufgrund der vorliegenden ermittelten Fahrgeschwindigkeit des Fahrzeugs in einen Wegwert s_i umgerechnet. Hierfür werden die



aus der Geschwindigkeitsmessung ermittelten Messwerte x als Geschwindigkeitswerte v_i herangezogen. Vorteilhafterweise werden sämtliche Wegwerte s_i in Metern, sämtliche Zeitstempel t_i in Sekunden und sämtliche Geschwindigkeitswerte v_i in m/s (Metern pro Sekunde) angegeben. Mittels der folgenden Formel kann iterativ die während des i -ten Zeitpunkts zurückgelegte Strecke ermittelt werden.

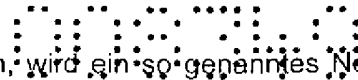
$$s_i = s_{i-1} + v_i(t_i - t_{i-1})$$

Auf diese Weise kann für jeden Messwert x jeweils eine diesem zugehörige zurückgelegte Wegstrecke s_i ermittelt werden, die eindeutig den Ort oder die Position des Referenzstraßenabschnitts angibt, an dem die jeweilige Messung stattgefunden hat.

Durch Interpolation über die Zeit t oder den zurückgelegten Weg s kann aus den einzelnen Messwerten X eine zeitbasierte Messwertverlaufsfunktion $X(t)$ sowie eine wegbasierte Messwertverlaufsfunktion $X(s)$ gebildet werden. Für jeden Sensor S kann auf diese Art eine eigene zeitbasierte und wegbasierte Messwertverlaufsfunktion $X(t)$, $X(s)$ erstellt werden.

Beim Überfahren eines (Referenz-)Straßenabschnitts mit einer Fahrbahnunebenheit zeigen die wegbasierten Messwertverlaufsfunktionen $X(s)$, hier die vordere und hintere Raddrehzahlen, ähnliche Signalverläufe, jedoch mit einer bestimmten Verzögerung. Diese Verzögerung entspricht im Wegbereich genau dem Wert des Radstands Δr , d.h. dem Abstand zwischen Vorderachse und Hinterachse. Die wegbasierten Messwertverlaufsfunktionen $X_{in}(s)$ der Raddrehzahlen der beiden hinteren Raddrehzahlmesser werden, wie in **Fig. 3** dargestellt, um diesen Wert korrigiert, sodass die beiden rechten bzw. linken Raddrehzahlen nach der Korrektur, somit an derselben Position, ähnliche Messwertverlaufsfunktionen $X_{out}(s)$ zeigen.

Auf die so ermittelten Messwertverlaufsfunktionen $X(s)$ wird ein Bandpassfilter mit der minimalen Wellenlänge von 0,5 m und einer maximalen von 50 m angewendet, es werden unerwünschte Frequenzanteile der Signale entfernt. Dieses Band entspricht dem typischen Wellenlängenbereich von Längsunebenheiten einer Fahrbahn. Für diesen Schritt werden alle Messwertverlaufsfunktionen $X(s)$ in den Frequenzbereich transformiert. Auf das transformierte Messwertsignal wird ein Butterworth-Filter dritter Ordnung angewandt. Die beiden Grenzfrequenzen entsprechen dem Kehrwert der minimalen und maximalen Wellenlänge, die Sampling-Frequenz des Filters entspricht dem Kehrwert des Wegintervalls. Nach der Filterung liegt das Messwertsignal im Zeitbereich vor.



Um nicht relevante Amplitudenanteile zu eliminieren, wird ein so genanntes Noise Gate angewandt, welches üblicherweise in der Audiotechnik zur Rauschelimination eingesetzt wird. Hierbei wird ein Schwellenwert T vorgegeben, unterhalb dessen sämtliche Werte der Messwertverlaufsfunktionen $X(s)$ auf Null gesetzt werden. **Fig. 3** zeigt die Vorgehensweise bei der Rauschelimination und stellt ein Eingangssignal $X_{in}(t)$, den Schwellenwert T sowie das Ausgangssignal $X_{out}(t)$ dar. Der Schwellenwert Θ für die Längs- und Quereschleunigung beträgt $0,04 \text{ m/s}$ und für die Raddrehzahlen $0,07 \text{ rad/s}$. Das angepasste Signal wird nach der folgenden Vorschrift ermittelt:

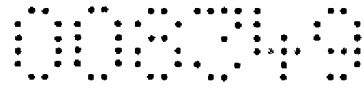
$$X_{out}(t) = \begin{cases} X_{in}(t) > |\Theta|: & X_{in}(t) \\ X_{in}(t) \leq |\Theta|: & 0 \end{cases}$$

Dem Optimierungsverfahren bzw. der Parameteridentifikationsfunktion f wird eine Vielzahl von aus den Messwerten x erstellten Messwertverlaufsfunktionen $X(s)$, $X(t)$ zugrunde gelegt, deren jeweiliges zeitliches oder räumliches Aufnahmeintervall gleich groß. Im Zuge der Aufnahme werden für jeweils ein Aufnahmeintervall Messwerte x herangezogen, während deren Aufnahme jeweils dieselbe Wegstrecke von 30 Metern zurückgelegt worden ist. Die einzelnen Aufnahmebereiche überlappen einander, wobei der Überlappungsbereich eine Ausdehnung von etwa 8 Metern aufweist. Die im Überlappungsbereich befindlichen Messwerte x werden entsprechend ihrer Position mit einem Tukey-Fenster, siehe **Fig. 4**, das links und rechts einen Überlappungsbereich von jeweils 8 Metern aufweist, gewichtet. Signalverläufe im Übergangsbereich werden somit noch berücksichtigt, jedoch mit steigendem Abstand geringer gewichtet (siehe **Fig. 5**). Die Koeffizienten des Tukey-Fensters werden wie folgt berechnet:

$$w(n) = \begin{cases} 1, & 0 \leq |n| \leq \alpha \frac{N}{2} \\ \frac{1}{2} \left(1 + \cos \left(\pi \frac{n - \alpha \frac{N}{2}}{2(1 - \alpha) \frac{N}{2}} \right) \right), & \alpha \frac{N}{2} \leq |n| \leq \frac{N}{2} \end{cases}$$

wobei w der Fensterfunktion des Turkey-Fensters entspricht, N der Anzahl der Messwerte x im Fenster entspricht und α der Steigung der Flanke entspricht, wobei die Fensterfunktion für den Fall $\alpha=0$ rechteckig ist und für den Fall $\alpha=1$ einem Hanning-Fenster entspricht. Im vorliegenden Ausführungsbeispiel wird eine Fensterfunktion mit $\alpha=0,35$ verwendet.

Nach der Durchführung dieses Verfahrensschritts stehen für einzelne Fahrbahnabschnitte oder Straßenabschnitte von einer Länge von 30 Metern jeweils einzelne Messwertverlaufsfunktionen $X_{1..n}(s)$ zur Verfügung. Jedem Straßenabschnitt ist für jeden der ermittelten unterschiedlichen Messwerte jeweils eine Messwertverlaufsfunktion $X(s)$ zugeordnet.

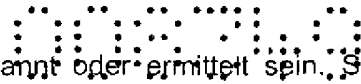


Für jeden Fahrbahnabschnitt und für jeden Messwert mit Ausnahme der Stellung des Brems- und Kupplungspedals wird eine Anzahl von statistischen Parametern ermittelt, nämlich die Spannweite Δ der Amplitudenwerte, der quadratische Mittelwert RMS der Amplitudenwerte sowie die Varianz σ^2 der Amplitudenwerte. Somit kann jedem Fahrbahnabschnitt jeweils eine geringe Anzahl von Werten Δ , RMS, σ^2 zugeordnet werden.

Im nächsten, optionalen Verfahrensschritt werden Messwertverlaufsfunktionen $X(s)$, $X(t)$ aus Fahrbahnabschnitten verworfen, bei denen abrupte Bremsvorgänge sowie Lenkbewegungen und Schaltvorgänge festgestellt wurden. Diese Vorgänge verfälschen die Messwertverlaufsfunktionen $X(s)$, $X(t)$ und lassen keine eindeutige Identifizierung der Parameter p , p_1 , p_2 , ... zu. Deshalb werden nur Messwertverlaufsfunktionen $X(s)$, $X(t)$ aus denjenigen Fahrbahnabschnitten beibehalten, welche die nachstehend genannten Kriterien erfüllen, die übrigen Fahrbahnabschnitte werden verworfen. Die im vorliegenden Ausführungsbeispiel der Erfindung verwendeten Kriterien legen fest, dass ein Fahrbahnabschnitt sowie dessen Messwertverlaufsfunktionen $X(s)$, $X(t)$ dann verworfen werden, wenn eine derart große Betätigung des Lenkrads erfolgt ist, dass eine Drehung des Lenkrads um mehr als 20 Grad erfolgt ist. Weiters werden Fahrbahnabschnitte dann verworfen, wenn das Bremspedal oder das Kupplungspedal - wenn auch nur geringfügig - betätigt wurden.

Bis zu dem vorstehend genannten Verfahrensschritt können sowohl das Kalibrierungsverfahren als auch das Messverfahren auf gleiche Weise ausgeführt werden. Im folgenden wird das weitere Vorgehen bei der Kalibrierung näher erläutert:

In den folgenden Schritten wird ein neuronales Netz konkreten Ermittlung der Parameter p , p_1 , p_2 , ... betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit eines Straßenbereichs verwendet. Dieses neuronale Netz liefert nach dem Abschluss eines Trainingsprozesses für eine Anzahl von vorgegebenen Eingangswerten, im vorliegenden Fall für die von den Messwerten x abgeleiteten statistischen Größen Δ , RMS, σ^2 die jeweiligen Parameter p , p_1 , p_2 , ... betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit, etwa die Längs- und Querneigung der Straße, die Welligkeit des Untergrunds usw. Um das Training durchführen zu können, werden für die im Zuge der Kalibrierungsmessung befahrenen Straßenabschnitte konkrete, auf alternativem Wege ermittelte Werte für die jeweiligen Parameter p , p_1 , p_2 , ... betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit benötigt. Diese können für die im Zuge der



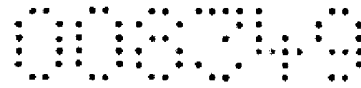
Kalibrierung befahrene Referenzstrecke vorab bekannt oder ermittelt sein. Sofern die Kalibrierung anhand einer Simulation durchgeführt wird, können diese Parameter p , p_1 , p_2 , ... aus den Simulationsdaten abgeleitet werden bzw. stehen bereits vorab durch das verwendete Straßenmodell zur Verfügung.

Für die Erkennung von Unebenheiten wird in diesem Ausführungsbeispiel als Referenzwert für die Fahrbahnebenheit die Spannweite des bewerteten Längsprofils BLP verwendet. Das bewertete Längsprofil BLP wird aus den Messdaten abgeleitet, die in diesem Ausführungsbeispiel mit einem separaten mobilen Messlabor RoadSTAR ermittelt worden sind, und wie bereits vorstehend beschrieben, für die einzelnen Fahrbahnabschnitte separat bestimmt. Diese Messdaten umfassend die einzelnen Werte des bewerteten Längsprofils sind jeweils einzelnen GPS-Koordinaten zugeordnet.

Im folgenden wird ein bevorzugtes Vorgehen zur räumlichen Übereinstimmung oder Überlagerung oder Zuordnung einzelner Werte des bewerteten Längsprofils BLP zu einer einem Straßenabschnitt zugeordneten aus den Messwerten x abgeleiteten statistischen Größe Δ , RMS, σ^2 dargestellt. Aufgrund von Ungenauigkeiten des GPS-Systems sind die räumlichen Zuordnungen der einzelnen Werte fehlerhaft. Dieser Fehler kann, wie im Folgenden beschrieben, minimiert werden:

Gleicht die Laufmeterdistanz (die zurückgelegte Wegstrecke) zwischen zwei gemessenen GPS-Koordinaten der Distanz zwischen deren nächsten Referenzkoordinaten, so sind die zwei Koordinaten genau. Diese Hypothese gilt unter der Annahme, dass die Referenzkoordinaten selbst genau (± 0.5 m) sind. In dem hier vorgestellten Verfahren sind die Referenzkoordinaten die vom System RoadSTAR gemessenen Positionen. Weitere Bedingung ist, dass von jedem Segment die Anfangskoordinaten sowie dessen Laufmeterdistanz bekannt sind. Die in der Hypothese angeführten zwei gemessenen GPS-Koordinaten sind die Anfangskoordinaten zweier nacheinander folgenden Segmente. Zu jedem Koordinatenpaar (Longitude und Latitude) dieser Anfangskoordinaten werden mittels der minimalen Euklidischen Distanz die nächsten Referenzkoordinaten aus der Menge aller Referenzkoordinaten gesucht.

Mithilfe des Section-Matching-Algorithmus werden „genaue“ Anfangskoordinaten und somit Segmente identifiziert. Die Toleranzgrenze für die Abweichung einer Segmentlänge von der Soll-Distanz (30m) beträgt 0.5m. Diese Toleranzgrenze kann bei Bedarf erhöht/vermindert werden. Die Anfangskoordinaten der „ungenauen“ Segmente werden anhand der fixen Laufmeterdistanz korrigiert.



Jedem Fahrbahnabschnitt der Referenzstrecke sind vor dem Beginn des Trainingsvorgangs die Parameter p , p_1 , p_2 , ... betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit zugeordnet. Weiters werden jedem Fahrbahnabschnitt jeweils die aus den Messwerten x abgeleiteten statistischen Größen Δ , RMS , σ^2 anhand der GPS-Koordinaten zugeordnet. Das neuronale Netz erhält für den Trainingsvorgang jeweils die aus den Messwerten x abgeleiteten statistischen Größen Δ , RMS , σ^2 als Lerninputs und die Parameter p , p_1 , p_2 , ... betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit als Referenzresultate. Im Zuge des Trainingsvorgangs wird das neuronale Netz derart trainiert bzw. dessen innere Gewichtungen modifiziert, dass bei Vorliegen der aus den Messwerten x abgeleiteten statistischen Größen Δ , RMS , σ^2 am Eingang des neuronalen Netzes die jeweils demselben Referenzstraßenabschnitt zugehörigen Parameter p , p_1 , p_2 , ... betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit am Ausgang des neuronalen Netzes anliegen. Im Zuge der Kalibrierung wird eine Parameteridentifikationsfunktion f bestimmt, mittels derer die einzelnen Parameter p , p_1 , p_2 , ... aufgrund der aus den Messwerten x abgeleiteten statistischen Größen Δ , RMS , σ^2 ermittelt werden:

$$[p, p_1, p_2, \dots] = f(\Delta, RMS, \sigma^2, \dots)$$

Im vorliegenden besonderen Ausführungsbeispiel der Erfindung wird als neuronales Netz ein Multi Layer Perceptron (im Folgenden: MLP) verwendet. Dem MLP werden während der Trainingsphase die statistischen Größen Δ , RMS , σ^2 sowie der zugehörige Parameter betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit – in diesem Fall die Spannweite des Bewerteten Längsprofil $BLP_{p_1, p_2, \dots}$ - präsentiert. Das verwendete neuronale Netz bzw. MLP hat eine versteckte Schicht. Die Topografie eines Netzes (inklusive der Anzahl der Neuronen pro Schicht) zur Identifikation des zugehörigen Parameters ist in **Fig. 6** dargestellt. Als Lernverfahren wird die Levenberg-Marquardt-Backpropagation-Methode angewandt. Diese erfordert zu jedem Eingabemuster eine „korrekte“ Lösung, den Lerninput. Dieser Lerninput ist der tatsächliche zu identifizierende Parameter p , p_1 , p_2 , In dem in **Fig. 1** dargestellten Ausführungsbeispiel wurden die Parameter p , p_1 , p_2 , ... mit dem Messsystem S2 ermittelt. Hierbei handelt es sich um ein mobiles Messlabor RoadSTAR (Maurer, P, Meissner, M, Gruber, J, Foissner, P & Fuchs, M 2002, „Straßenzustandserfassung mit dem RoadSTAR. Messsystem und Genauigkeit“, Research report, Österreichisches Forschungs-und Prüfzentrum Arsenal, Vienna, Austria

Zur Überprüfung des Lernerfolgs wird eine Kreuzvalidierung durchgeführt: Nach jedem Trainingszyklus wird die Performance des MLP überprüft, indem es mit neuen Eingabedaten bzw. -mustern getestet wird. Um Overfitting (Überanpassung) zu



verhindern, wird das Lernen dann abgebrochen, sobald sich der mittlere Fehler des MLP-Outputs in einer bestimmten Anzahl an Trainingszyklen nicht mehr verbessert.

Nach dem Abschluss des Trainingsvorgangs kann das Fahrzeug zur Ermittlung der Parameter betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit eines unbekanntem Straßenbereichs herangezogen werden. Die Ermittlung und Auswertung der Daten erfolgt hierbei wie auch beim Kalibriervorgang und ist in **Fig. 2** mit PROC dargestellt. Am Ende des Verarbeitungsprozesses stehen für jeden der Sensoren S und jeden der Straßenabschnitte jeweils von den Messdaten x abgeleitete statistische Werte Δ , RMS , σ^2 zur Verfügung. Die Parameteridentifikationsfunktion f wird auf die von den Messdaten x abgeleiteten statistischen Werte Δ , RMS , σ^2 angewandt.

Diese abgeleiteten Werte Δ , RMS , σ^2 werden dem trainierten neuronalen Netz zugeordnet, das aufgrund seiner Kalibrierung oder seines Trainings jeweils Parameter p , p_1 , p_2 , ... betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit des unbekanntem Straßenbereichs ermittelt. Diese Werte werden dem jeweiligen Straßenabschnitt zugeordnet.

In **Fig. 7** sind die im voranstehend dargestellten Ausführungsbeispiel der Erfindung ermittelten Ergebnisse den Ergebnissen einer konventionell durchgeführten Messung gegenübergestellt. Ziel war die Ermittlung des Parameters „Spannweite des Bewerteten Längsprofils BLP“. Im oberen Diagramm handelt es sich um die Ergebnisse der Kreuzvalidierung mit den Trainingsdaten, und im unteren Diagramm um die Ergebnisse der Kreuzvalidierung mit einem unbekanntem Testdatensatz, welcher nicht Teil des Trainingsdatensatzes war. Wie aus der Darstellung ersichtlich, weichen die erfindungsgemäß ermittelten Kurven nicht stark von den tatsächlich gemessenen Oberflächeneigenschaften des Straßenabschnitts ab.

1. Verfahren zur Ermittlung von Parametern (p) betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit eines Straßenbereichs (1) mit einem Fahrzeug (2), wobei das Fahrzeug (2) eine Anzahl von kinetischen oder kinematischen Sensoren (S), vorzugsweise Beschleunigungssensoren für die Messung der Beschleunigung in unterschiedliche Richtungen, und/oder Radumdrehungsmesssensoren und/oder Betätigungssensoren für Gaspedal und/oder Bremse des Fahrzeugs (2) und/oder Sensoren zur Bestimmung des Lenkradwinkels und/oder der ermittelten Fahrtgeschwindigkeit, aufweist, dadurch gekennzeichnet,
- a) dass mit dem Fahrzeug (2) in einem Kalibrierungsschritt
- eine vorgegebene Anzahl von Fahrten über eine oder mehrere Referenzstraßenbereiche (11) durchgeführt wird, wobei die jeweiligen Parameter der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit des Referenzstraßenbereichs (11) vorab ermittelt werden und anschließend beim Befahren der Referenzstraßenbereiche (11) die Messwerte der jeweiligen Sensoren (21) aufgenommen werden oder
 - im Zuge einer Fahrdynamiksimulation auf einem vorgegebenen virtuellen Straßenbereich (11') mit vorgegebenen Parametern (p) betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit des virtuellen Straßenbereichs (1) die jeweiligen sich ergebenden Messwerte (x) ermittelt werden,
- b) dass mittels eines Optimierungsverfahrens eine Parameteridentifikationsfunktion (f) zur Ermittlung eines oder mehrerer Parameter (p) der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit des Referenzstraßenbereichs (11) ermittelt wird, wobei die Parameteridentifikationsfunktion (f) auf die von den Sensoren (S) ermittelten Messwerte (x) und/oder auf davon abgeleitete Werte (Δ , RMS, σ^2) angewandt wird und die Parameteridentifikationsfunktion (f) derart festgelegt wird, dass als Ergebnis der Parameteridentifikationsfunktion (f) der jeweilige vorab ermittelte Parameter (p) der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit des Referenzstraßenbereichs (11) mit möglichst geringer Abweichung erzielt wird,
- c) dass das Fahrzeug (2) nach dem Kalibrierungsschritt über einen bezüglich seiner geometrischen Parameter (p) zu beurteilenden Straßenbereich (1) bewegt wird und die von den Sensoren (S) ermittelten Messwerte (x) aufgenommen werden, und
- d) dass die Parameteridentifikationsfunktion (f) auf die Messwerte und/oder auf davon abgeleitete Werte (Δ , RMS, σ^2) angewandt wird und das Ergebnis oder die Ergebnisse der Auswertung der Parameteridentifikationsfunktion (f) als Parameter (p) der

geometrischen Oberflächenbeschaffenheit des Straßenbereichs (1) herangezogen werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Messwerte (x), Sensoren (S) mittels dem ABS- oder ESP-System des Fahrzeugs (2) zugeordneten Sensoren (S) und/oder mittels Beschleunigungssensoren zur Bestimmung der Beschleunigung in unterschiedliche Richtungen und/oder Radumdrehungsmesssensoren und/oder Betätigungssensoren für Gaspedal und/oder Bremse des Fahrzeugs (2) und/oder Sensoren zur Bestimmung des Lenkradwinkels und/oder der ermittelten Fahrtgeschwindigkeit, ermittelt werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Aufnahme von zwei Messwerten (x) jeweils eine vorgegebene Zeit (Δt) liegt oder das Fahrzeug eine vorgegebene Wegstrecke (Δs) zurücklegt und/oder dass, insbesondere bei einer Anzahl von unterschiedlichen von unterschiedlichen Sensoren (S), die Messwerte (x) in vorgegebenen, gegebenenfalls voneinander unterschiedlichen, Intervallen aufgenommen werden, wobei anschließend eine Interpolation der einzelnen Messwerte vorgenommen wird, und wobei die zwischen zwei Zeitpunkten, an denen die so ermittelte Interpolierende der Messwerte (x) ausgewertet und für die weitere Verarbeitung zur Verfügung gehalten wird, eine bestimmte vorgegebene Zeit (Δt) liegt oder das Fahrzeug eine vorgegebene Wegstrecke (Δs) zurücklegt.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vielzahl von zeitlich hintereinander aufgenommenen Messwerten ($X_1 \dots X_n$) der einzelnen Sensoren (21) ermittelt wird und dass dem Optimierungsverfahrens und/oder der hieraus ermittelten Parameteridentifikationsfunktion (f) jeweils eine Anzahl von hintereinander aufgenommenen Messwerten ($X_1 \dots X_n$) zugrunde gelegt wird.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine wegbasierte Messwertverlaufsfunktion ($X(s)$) erstellt wird, die die jeweils ermittelten Messwerte (x) in Relation zu der zurückgelegten Wegstrecke (s) angibt, und dass die wegbasierte Messwertverlaufsfunktion ($X(s)$) dem Optimierungsverfahren der hieraus ermittelten Parameteridentifikationsfunktion (f) zugrunde gelegt wird.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine zeitbasierte Messwertverlaufsfunktion erstellt wird ($X(t)$), die die jeweils ermittelten



Messwerte (x) in Relation zu der seit einem Bezugszeitpunkt, vergangenen, Zeitintervall angibt, und

dass die zeitbasierte Messwertverlaufsfunktion ($X(t)$) dem Optimierungsverfahren der hieraus ermittelten Parameteridentifikationsfunktion (f) zugrunde gelegt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass

a) eine Umrechnung von einer zeitbasierten Messwertverlaufsfunktion ($X(t)$) in eine wegbasierte Messwertverlaufsfunktion ($X(s)$) oder

b) eine Umrechnung einer wegbasierten Messwertverlaufsfunktion ($X(s)$) in eine zeitbasierte Messwertverlaufsfunktion ($X(t)$) durchgeführt wird, indem

die Fahrtgeschwindigkeit (V) für jeden der Aufnahmezeitpunkte der Messwerte (x) ermittelt wird und, insbesondere durch Integration der Geschwindigkeit (v) über die Zeit (t) sowie gegebenenfalls durch Interpolation, für jeden Aufnahmezeitpunkt (t_1, \dots, t_N) die bis zu diesem Zeitpunkt ermittelte Wegstrecke (S_1, \dots, S_N) in Bezug auf einen vorgegebenen Bezugspunkt (B) ermittelt wird und anschließend

a) an die Stelle des jeweiligen Aufnahmezeitpunkts (t_1, \dots, t_N) der zeitbasierten Messwertverlaufsfunktion ($X(t)$) die dem jeweiligen Aufnahmezeitpunkts (t_1, \dots, t_N) zugeordnete zurückgelegte Wegstrecke (S_1, \dots, S_N) gesetzt wird, oder

b) an die Stelle der jeweils zurückgelegten Wegstrecke (S_1, \dots, S_N) der wegbasierten Messwertverlaufsfunktion ($X(s)$) der der jeweiligen Wegstrecke (S_1, \dots, S_N) zugeordnete Aufnahmezeitpunkt (t_1, \dots, t_N) gesetzt wird.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dem Optimierungsverfahren oder der Parameteridentifikationsfunktion (f) Messwerte (x) oder eine daraus erstellte Messwertverlaufsfunktion $X(s)$, $X(t)$ zugrunde gelegt werden, deren jeweiliges zeitliches Aufnahmeintervall gleich groß ist oder dass Messwerte (x) herangezogen werden, während deren Aufnahme jeweils dieselbe Wegstrecke, von insbesondere etwa 10 m bis 50 m, insbesondere von 25 m bis 35 m, zurückgelegt worden ist.

9. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die zeitlichen Aufnahmeintervalle zwischen 2 und 1000ms betragen und/oder dass der Abstand zwischen zwei Streckenpunkten, zu denen ein Messwert erfasst wird, 0,01 m bis 0,2 m beträgt.

10. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die insbesondere für die Erstellung der zeitbasierten und/oder wegbasierten

Messwertverlaufsfunction (X(s), X(t)) herangezogenen zeitlichen Aufnahmeintervalle und/oder die während der jeweiligen Aufnahme zurückgelegten Wegstreckenabschnitte jeweils um 5% bis 30%, insbesondere 10% bis 12%, mit dem jeweils vorangehenden Aufnahmeintervall und/oder Wegstreckenabschnitt überlappen.

11. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, insbesondere nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass Anteile der zeitbasierten und/oder wegbasierten Messwertverlaufsfunction (X(s), X(t)), die sich am Rand des von der Messwertverlaufsfunction (X(s), X(t)) erfassten zeitlichen und/oder räumlichen Aufnahmebereichs befinden, gedämpft und/oder abgeschwächt werden.

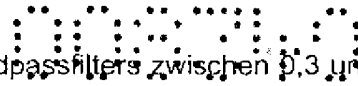
12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass zur Abschwächung der Messwertverlaufsfunction (X(s), X(t)) ein Tukey-Fenster $w(n)$ der Form

$$w(n) = \begin{cases} 1, & 0 \leq |n| \leq \alpha \frac{N}{2} \\ \frac{1}{2} \left(1 + \cos \left(\pi \frac{n - \alpha \frac{N}{2}}{2(1 - \alpha) \frac{N}{2}} \right) \right), & \alpha \frac{N}{2} \leq |n| \leq \frac{N}{2} \end{cases}$$

verwendet wird, wobei N der Anzahl der zur Erstellung der Messwertverlaufsfunction (X(s), X(t)) herangezogenen Messwerte entspricht und α die Flankensteigung bezeichnet und auf einen Wert zwischen 0,15 und 0,55 festgelegt wird, und dass jedem der Messwerte je nach der Reihenfolge seiner Ermittlung in der jeweiligen Messwertverlaufsfunction ein Index n von 0 bis N-1 zugeordnet wird und dass der jeweilige Messwert ($X_1 \dots X_N$) mit dem jeweiligen Wert der Tukey-Funktion $w(n)$ gewichtet wird.

13. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Messdaten ($X_1 \dots X_N$), die das Verhalten der hinteren Räder des Fahrzeugs (2) betreffen, insbesondere die Messdaten ($X_1 \dots X_N$) der Radumdrehungssensoren, um den jeweiligen Abstand zwischen der Vorderachse und der Hinterachse des Fahrzeugs (2) verschoben werden und Messdaten ($X_1 \dots X_N$) bei deren Aufnahme sich das jeweilige Vorder- oder Hinterrad auf ein und denselben Punkt auf dem Straßenbereich (1) befunden haben, in der jeweiligen Messwertverlaufsfunction (X(s), X(t)) jeweils denselben Aufnahmezeitpunkt (t) und/oder demselben Messpunkt zugeordnet werden.

14. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die jeweilige wegbasierte Messwertverlaufsfunction X(s) einer Bandpassfilterung



unterzogen wird, wobei die untere Grenze des Bandpassfilters zwischen 0,3 und 5 Meter Wellenlänge und die obere Grenze des Bandpassfilters zwischen 40 und 100 Meter Wellenlänge liegt, und/oder

dass die jeweilige zeitbasierte Messwertverlaufsfunktion einer geschwindigkeits-abhängigen, adaptiven Bandpassfilterung unterzogen wird, wobei die untere Grenze des Bandpassfilters zwischen 40 und 100 Meter Wellenlänge und die obere Grenze des Bandpassfilters zwischen 0,3 und 5 Meter Wellenlänge liegt.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass als Bandpass-Filter ein Butterworth-Filter, insbesondere von dritter Ordnung, verwendet wird.

16. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die jeweilige weg- oder zeitbasierte Messwertverlaufsfunktion ($X(s)$ oder $X(t)$) einer Rauschunterdrückung unterzogen wird, wobei Amplitudenanteile der Messwertverlaufsfunktion ($X(s)$, $X(t)$), deren Anteil unterhalb eines vorgegebenen Schwellenwerts (T) liegt, vollständig unterdrückt werden.

17. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Bandpassfilterung der wegbasierten Messwertfunktion, insbesondere nach einem der Ansprüche 14 oder 15, durchgeführt wird, die wegbasierte Messwertfunktion $X(s)$ anschließend, insbesondere nach Anspruch in eine zeitbasierte Messwertfunktion ($X(t)$) umgewandelt wird und anschließend eine Rauschunterdrückung, insbesondere nach Anspruch 16 durchgeführt wird.

18. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass Messwerte ($X_1...X_N$), Messwertverlaufsfunktion, an $X(t)$, $X(s)$ oder daraus abgeleitete Werte (Δ , RMS, σ^2), in denen die Messwerte ($X_1...X_N$), insbesondere für Lenkbewegungen, Schaltvorgänge, Bremsvorgänge, Beschleunigungen, einen vorgegebenen Schwellenwert (U) überschreiten, von der Ermittlung der Straßenparameter (p) sowie von der Verwendung für die Kalibrierung ausgeschlossen werden.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass Messwerte ($X_1...X_N$), Messwertverlaufsfunktionen ($X(t)$, $X(s)$) oder daraus abgeleitete Werte (Δ , RMS, σ^2), in denen ein Lenkeinschlag von 20° überschritten wird oder in denen eine Brems- oder Kupplungsbetätigung stattfindet oder die Betätigung des Gaspedals einen vorgegebenen Wert übersteigt, von der Ermittlung der Straßenparameter sowie von der Verwendung für die Kalibrierung ausgeschlossen werden.

20. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung der Straßenparameter (p) sowie für die Kalibrierung für die ermittelten Messwerte einer oder mehrere der folgenden abgeleitete Werte (Δ , RMS, σ^2) ermittelt werden:

- a) die Spannweite (Δ) als Differenz zwischen dem maximalen und dem minimalen in den Messwerten ($X_1 \dots X_N$) oder der Messwertverlaufsfunktion ($X(s)$, $X(t)$) auftretenden Messwert (x) und/oder
- b) der quadratische Mittelwert (RMS) der Messwerte (x) gemäß der Formel

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}, \text{ und/oder}$$

- c) die Varianz (σ^2) der Messwerte (x) gemäß der Formel

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2.$$

21. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dem Optimierungsverfahren ein Multi-Layer-Perceptron zugrunde gelegt wird und im Zuge des Optimierungsverfahrens die Gewichtungen des Multi-Layer-Perceptrons an die jeweils vorgegebenen Parameter (p) der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit für die, gegebenenfalls virtuellen, Referenzstraßenbereiche (11) angepasst werden.

22. Datenträger, auf dem ein Computerprogramm zur Durchführung eines Verfahrens gemäß einem der voranstehenden Ansprüche abgespeichert ist.

23. Computerprogramm zur Durchführung eines Verfahrens gemäß einem der Ansprüche 1 bis 21.

Wien, am 11. August 2011

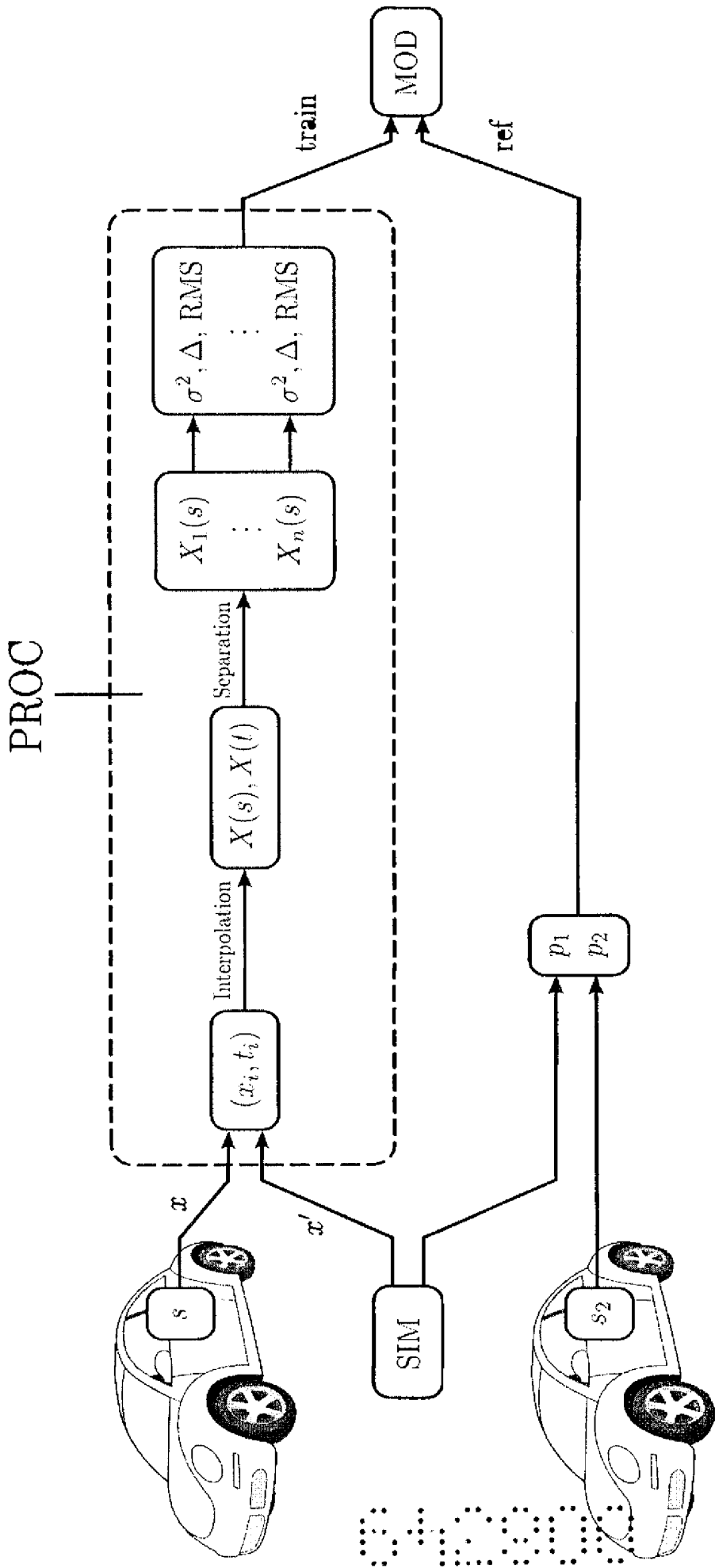


Fig. 1

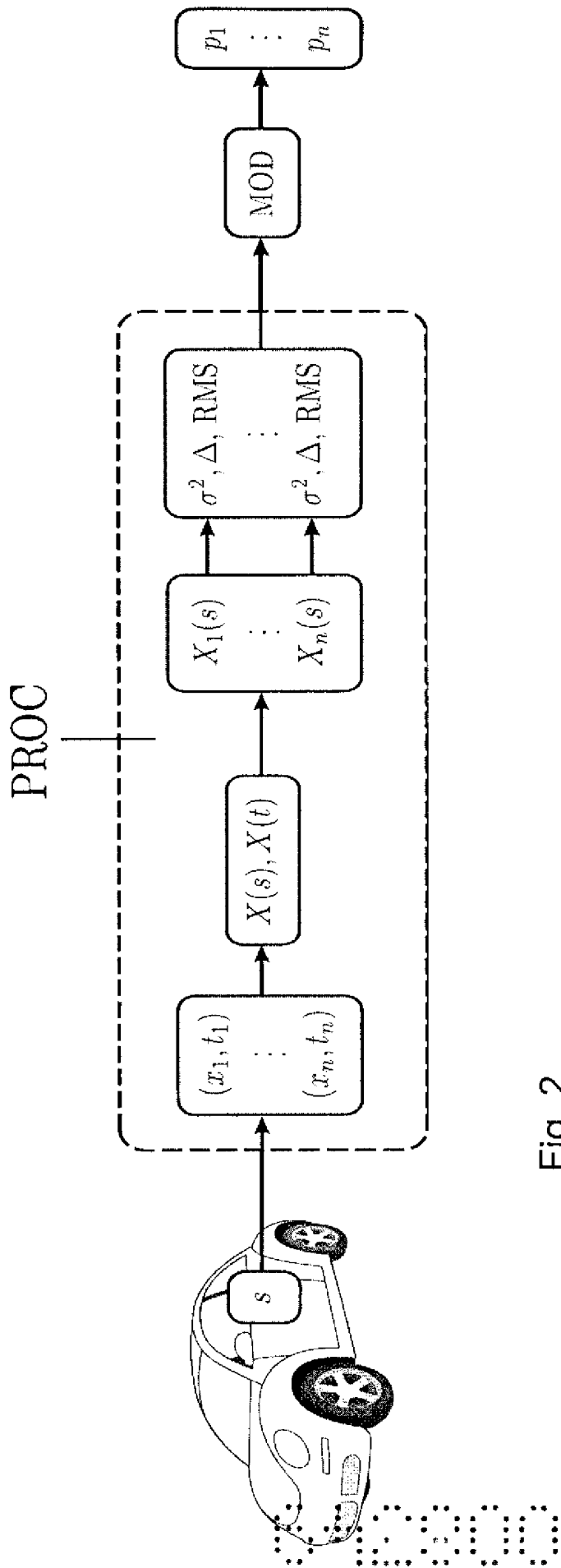


Fig. 2

005349

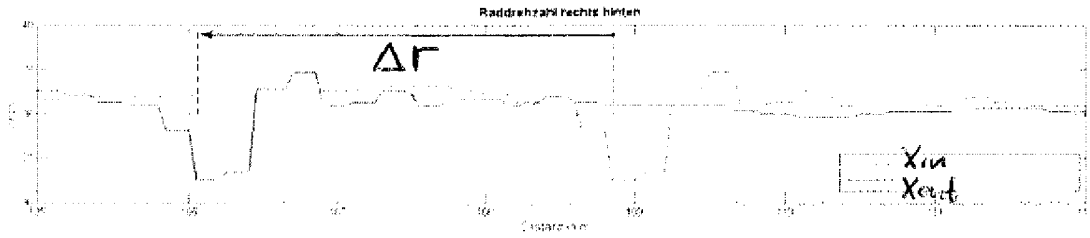


Fig. 3

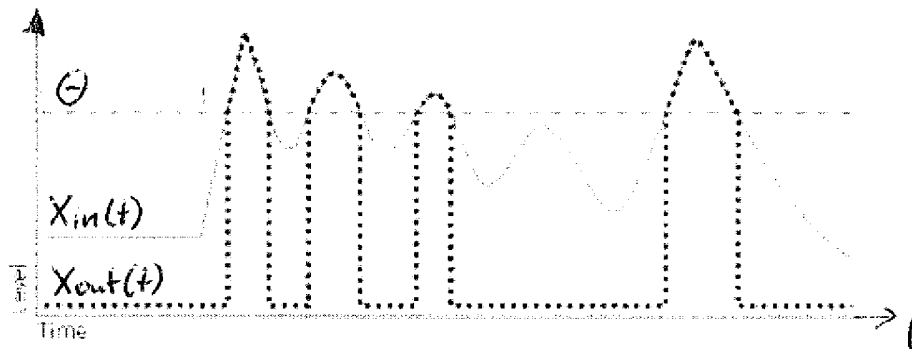


Fig. 4

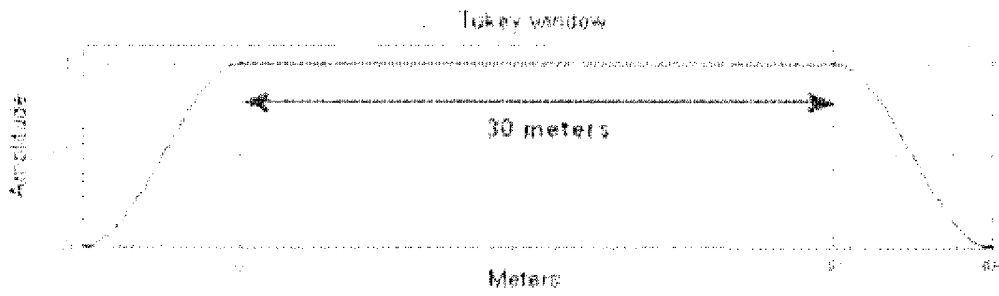


Fig. 5

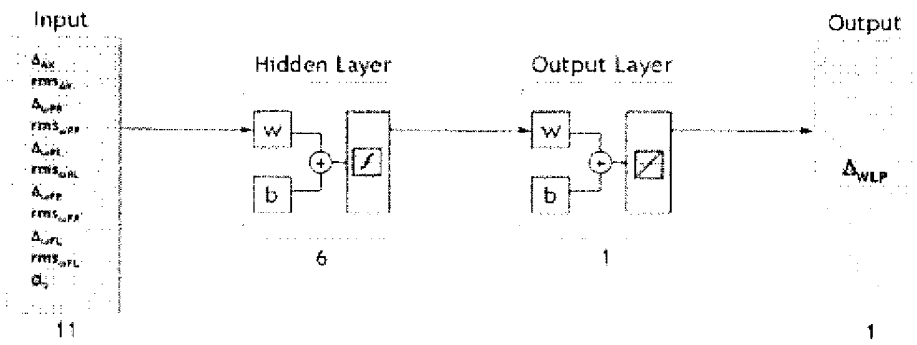
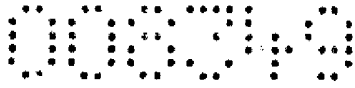


Fig. 6

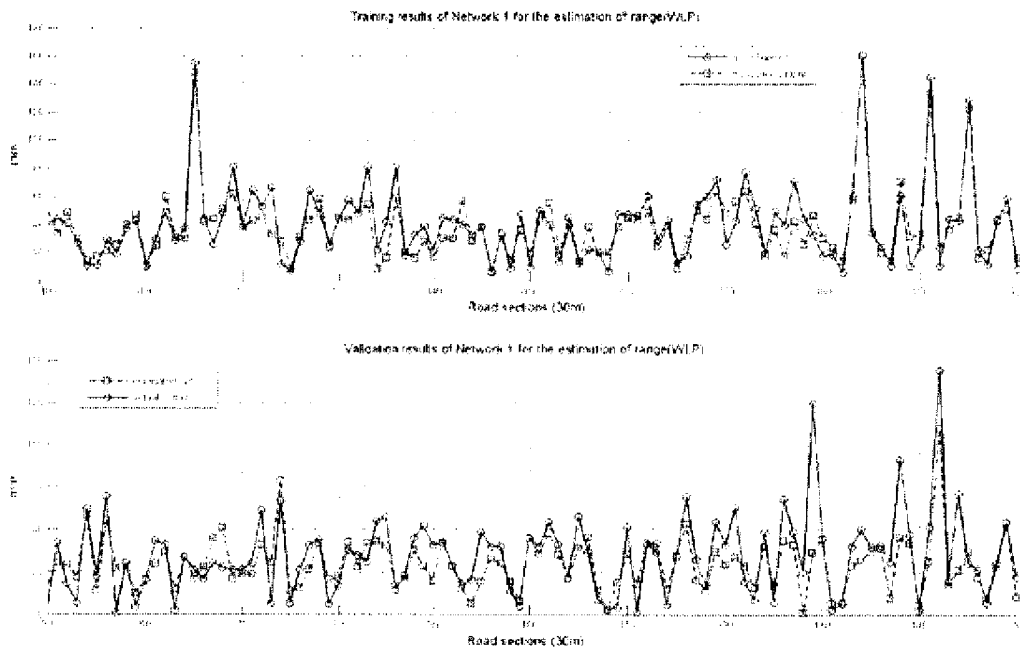


Fig. 7



Patentansprüche:

1. Verfahren zur Ermittlung von Parametern (p) betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit eines Straßenbereichs (1) mit einem Fahrzeug (2), wobei das Fahrzeug (2) eine Anzahl von kinetischen oder kinematischen Sensoren (S), vorzugsweise Beschleunigungssensoren für die Messung der Beschleunigung in unterschiedliche Richtungen, und/oder Radumdrehungsmesssensoren und/oder Betätigungssensoren für Gaspedal und/oder Bremse des Fahrzeugs (2) und/oder Sensoren zur Bestimmung des Lenkradwinkels und/oder der ermittelten Fahrtgeschwindigkeit, aufweist, dadurch gekennzeichnet,

a) dass mit dem Fahrzeug (2) in einem Kalibrierungsschritt

- eine vorgegebene Anzahl von Fahrten über eine oder mehrere Referenzstraßenbereiche (11) durchgeführt wird, wobei die jeweiligen Parameter der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit des Referenzstraßenbereichs (11) vorab ermittelt werden und anschließend beim Befahren der Referenzstraßenbereiche (11) die Messwerte der jeweiligen Sensoren (21) aufgenommen werden oder

- im Zuge einer Fahrdynamiksimulation auf einem vorgegebenen virtuellen Straßenbereich (11') mit vorgegebenen Parametern (p) betreffend die geometrische Oberflächenbeschaffenheit des virtuellen Straßenbereichs (1) die jeweiligen sich ergebenden Messwerte (x) ermittelt werden,

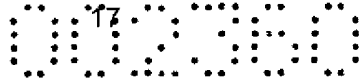
b) dass mittels eines Optimierungsverfahrens eine Parameteridentifikationsfunktion (f) zur Ermittlung eines oder mehrer Parameter (p) der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit des Referenzstraßenbereichs (11) ermittelt wird,

wobei die Parameteridentifikationsfunktion (f) auf die von den Sensoren (S) ermittelten Messwerte (x) und/oder auf davon abgeleitete Werte (Δ , RMS, σ^2) angewandt wird und die Parameteridentifikationsfunktion (f) derart festgelegt wird, dass als Ergebnis der Parameteridentifikationsfunktion (f) der jeweilige vorab ermittelte Parameter (p) der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit des Referenzstraßenbereichs (11) mit möglichst geringer Abweichung erzielt wird,

c) dass das Fahrzeug (2) nach dem Kalibrierungsschritt über einen bezüglich seiner geometrischen Parameter (p) zu beurteilenden Straßenbereich (1) bewegt wird und die von den Sensoren (S) ermittelten Messwerte (x) aufgenommen werden, und

d) dass die Parameteridentifikationsfunktion (f) auf die Messwerte und/oder auf davon abgeleitete Werte (Δ , RMS, σ^2) angewandt wird und das Ergebnis oder die Ergebnisse der Auswertung der Parameteridentifikationsfunktion (f) als Parameter (p) der

NACHGEREICHT



geometrischen Oberflächenbeschaffenheit des Straßenbereichs (1) herangezogen werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Messwerte (x) mittels der dem ABS- oder ESP-System des Fahrzeugs (2) zugeordneten Sensoren (S) und/oder mittels Beschleunigungssensoren zur Bestimmung der Beschleunigung in unterschiedliche Richtungen und/oder Radumdrehungsmesssensoren und/oder Betätigungssensoren für Gaspedal und/oder Bremse des Fahrzeugs (2) und/oder Sensoren zur Bestimmung des Lenkradwinkels und/oder der ermittelten Fahrtgeschwindigkeit, ermittelt werden.

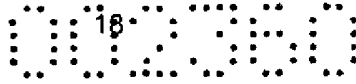
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass zwischen der Aufnahme von zwei Messwerten (x) jeweils eine vorgegebene Zeit (Δt) liegt oder das Fahrzeug eine vorgegebene Wegstrecke (Δs) zurücklegt und/oder dass, insbesondere bei einer Anzahl von unterschiedlichen von unterschiedlichen Sensoren (S), die Messwerte (x) in vorgegebenen, gegebenenfalls voneinander unterschiedlichen, Intervallen aufgenommen werden, wobei anschließend eine Interpolation der einzelnen Messwerte vorgenommen wird, und wobei die zwischen zwei Zeitpunkten, an denen die so ermittelte Interpolierende der Messwerte (x) ausgewertet und für die weitere Verarbeitung zur Verfügung gehalten wird, eine bestimmte vorgegebene Zeit (Δt) liegt oder das Fahrzeug eine vorgegebene Wegstrecke (Δs) zurücklegt.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine Vielzahl von zeitlich hintereinander aufgenommenen Messwerten ($X_1 \dots X_n$) der einzelnen Sensoren (21) ermittelt wird und dass dem Optimierungsverfahrens und/oder der hieraus ermittelten Parameteridentifikationsfunktion (f) jeweils eine Anzahl von hintereinander aufgenommenen Messwerten ($X_1 \dots X_n$) zugrunde gelegt wird.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine wegbasierte Messwertverlaufsfunktion ($X(s)$) erstellt wird, die die jeweils ermittelten Messwerte (x) in Relation zu der zurückgelegten Wegstrecke (s) angibt, und dass die wegbasierte Messwertverlaufsfunktion ($X(s)$) dem Optimierungsverfahren der hieraus ermittelten Parameteridentifikationsfunktion (f) zugrunde gelegt wird.

6. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass eine zeitbasierte Messwertverlaufsfunktion erstellt wird ($X(t)$), die die jeweils ermittelten

NACHGEREICHT



Messwerte (x) in Relation zu der seit einem Bezugszeitpunkt vergangenen Zeitintervall angibt, und

dass die zeitbasierte Messwertverlaufsfunktion ($X(t)$) dem Optimierungsverfahren der hieraus ermittelten Parameteridentifikationsfunktion (f) zugrunde gelegt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass

a) eine Umrechnung von einer zeitbasierten Messwertverlaufsfunktion ($X(t)$) in eine wegbasierte Messwertverlaufsfunktion ($X(s)$) oder

b) eine Umrechnung einer wegbasierten Messwertverlaufsfunktion ($X(s)$) in eine zeitbasierte Messwertverlaufsfunktion ($X(t)$) durchgeführt wird, indem

die Fahrtgeschwindigkeit (V) für jeden der Aufnahmezeitpunkte der Messwerte (x) ermittelt wird und, insbesondere durch Integration der Geschwindigkeit (v) über die Zeit (t) sowie gegebenenfalls durch Interpolation, für jeden Aufnahmezeitpunkt (t_1, \dots, t_N) die bis zu diesem Zeitpunkt ermittelte Wegstrecke (S_1, \dots, S_N) in Bezug auf einen vorgegebenen Bezugspunkt (B) ermittelt wird und anschließend

a) an die Stelle des jeweiligen Aufnahmezeitpunkts (t_1, \dots, t_N) der zeitbasierten Messwertverlaufsfunktion ($X(t)$) die dem jeweiligen Aufnahmezeitpunkts (t_1, \dots, t_N) zugeordnete zurückgelegte Wegstrecke (S_1, \dots, S_N) gesetzt wird, oder

b) an die Stelle der jeweils zurückgelegten Wegstrecke (S_1, \dots, S_N) der wegbasierten Messwertverlaufsfunktion ($X(s)$) der der jeweiligen Wegstrecke (S_1, \dots, S_N) zugeordnete Aufnahmezeitpunkt (t_1, \dots, t_N) gesetzt wird.

8. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dem Optimierungsverfahren oder der Parameteridentifikationsfunktion (f) Messwerte (x) oder eine daraus erstellte Messwertverlaufsfunktion $X(s)$, $X(t)$ zugrunde gelegt werden, deren jeweiliges zeitliches Aufnahmeintervall gleich groß ist oder dass Messwerte (x) herangezogen werden, während deren Aufnahme jeweils dieselbe Wegstrecke, von insbesondere etwa 10 m bis 50 m, insbesondere von 25 m bis 35 m, zurückgelegt worden ist.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die zeitlichen Aufnahmeintervalle zwischen 2 und 1000ms betragen und/oder dass der Abstand zwischen zwei Streckenpunkten, zu denen ein Messwert erfasst wird, 0,01 m bis 0,2 m beträgt.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass die insbesondere für die Erstellung der zeitbasierten und/oder wegbasierten

NACHGEREICHT

Messwertverlaufsfunktion $(X(s), X(t))$ herangezogenen zeitlichen Aufnahmeintervalle und/oder die während der jeweiligen Aufnahme zurückgelegten Wegstreckenabschnitte jeweils um 5% bis 30%, insbesondere 10% bis 12%, mit dem jeweils vorangehenden Aufnahmeintervall und/oder Wegstreckenabschnitt überlappen.

11. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 10, insbesondere nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass Anteile der zeitbasierten und/oder wegbasierten Messwertverlaufsfunktion $(X(s), X(t))$, die sich am Rand des von der Messwertverlaufsfunktion $(X(s), X(t))$ erfassten jeweiligen zeitlichen und/oder räumlichen Aufnahmebereichs befinden, gedämpft und/oder abgeschwächt werden.

12. Verfahren nach Anspruch 10 oder 11, dadurch gekennzeichnet, dass zur Abschwächung der Messwertverlaufsfunktion $(X(s), X(t))$ ein Tukey-Fenster $w(n)$ der Form

$$w(n) = \begin{cases} 1, & 0 \leq |n| \leq \alpha \frac{N}{2} \\ \frac{1}{2} \left(1 + \cos \left(\pi \frac{n - \alpha \frac{N}{2}}{2(1 - \alpha) \frac{N}{2}} \right) \right), & \alpha \frac{N}{2} \leq |n| \leq \frac{N}{2} \end{cases}$$

verwendet wird, wobei N der Anzahl der zur Erstellung der Messwertverlaufsfunktion $(X(s), X(t))$ herangezogenen Messwerte entspricht und α die Flankensteigung bezeichnet und auf einen Wert zwischen 0,15 und 0,55 festgelegt wird, und dass jedem der Messwerte je nach der Reihenfolge seiner Ermittlung in der jeweiligen Messwertverlaufsfunktion ein Index n von 0 bis $N-1$ zugeordnet wird und dass der jeweilige Messwert $(X_1 \dots X_N)$ mit dem jeweiligen Wert der Tukey-Funktion $w(n)$ gewichtet wird.

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass Messdaten $(X_1 \dots X_N)$, die das Verhalten der hinteren Räder des Fahrzeugs (2) betreffen, insbesondere die Messdaten $(X_1 \dots X_N)$ der Radumdrehungssensoren, um den jeweiligen Abstand zwischen der Vorderachse und der Hinterachse des Fahrzeugs (2) verschoben werden und Messdaten $(X_1 \dots X_N)$ bei deren Aufnahme sich das jeweilige Vorder- oder Hinterrad auf ein und denselben Punkt auf dem Straßenbereich (1) befunden haben, in der jeweiligen Messwertverlaufsfunktion $(X(s), X(t))$ jeweils denselben Aufnahmezeitpunkt (t) und/oder demselben Messpunkt zugeordnet werden.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass die jeweilige wegbasierte Messwertverlaufsfunktion $X(s)$ einer Bandpassfilterung unterzogen

wird, wobei die untere Grenze des Bandpassfilters zwischen 0,3 und 5 Meter Wellenlänge und die obere Grenze des Bandpassfilters zwischen 40 und 100 Meter Wellenlänge liegt, und/oder

dass die jeweilige zeitbasierte Messwertverlaufsfunktion einer geschwindigkeits-abhängigen, adaptiven Bandpassfilterung unterzogen wird, wobei die untere Grenze des Bandpassfilters zwischen 40 und 100 Meter Wellenlänge und die obere Grenze des Bandpassfilters zwischen 0,3 und 5 Meter Wellenlänge liegt.

15. Verfahren nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass als Bandpass-Filter ein Butterworth-Filter, insbesondere von dritter Ordnung, verwendet wird.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die jeweilige weg- oder zeitbasierte Messwertverlaufsfunktion ($X(s)$ oder $X(t)$) einer Rauschunterdrückung unterzogen wird, wobei Amplitudenanteile der Messwertverlaufsfunktion ($X(s)$, $X(t)$), deren Anteil unterhalb eines vorgegebenen Schwellenwerts (T) liegt, vollständig unterdrückt werden.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass eine Bandpassfilterung der wegbasierten Messwertverlaufsfunktion, insbesondere nach einem der Ansprüche 14 oder 15, durchgeführt wird, die wegbasierte Messwertverlaufsfunktion $X(s)$ anschließend, insbesondere nach Anspruch 7, in eine zeitbasierte Messwertverlaufsfunktion ($X(t)$) umgewandelt wird und anschließend eine Rauschunterdrückung, insbesondere nach Anspruch 16 durchgeführt wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 5 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass Messwerte ($X_1...X_N$), Messwertverlaufsfunktion, an $X(t)$, $X(s)$ oder daraus abgeleitete Werte (Δ , RMS, σ^2), in denen die Messwerte ($X_1...X_N$), insbesondere für Lenkbewegungen, Schaltvorgänge, Bremsvorgänge, Beschleunigungen, einen vorgegebenen Schwellenwert (U) überschreiten, von der Ermittlung der Straßenparameter (p) sowie von der Verwendung für die Kalibrierung ausgeschlossen werden.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, dass Messwerte ($X_1...X_N$), Messwertverlaufsfunktionen ($X(t)$, $X(s)$) oder daraus abgeleitete Werte (Δ , RMS, σ^2), in denen ein Lenkeinschlag von 20° überschritten wird oder in denen eine Brems- oder Kupplungsbetätigung stattfindet oder die Betätigung des Gaspedals einen vorgegebenen Wert übersteigt, von der Ermittlung der Straßenparameter sowie von der Verwendung für die Kalibrierung ausgeschlossen werden.

NACHGEREICHT

20. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zur Ermittlung der Straßenparameter (p) sowie für die Kalibrierung für die ermittelten Messwerte einer oder mehrere der folgenden abgeleitete Werte (Δ , RMS, σ^2) ermittelt werden:

a) die Spannweite (Δ) als Differenz zwischen dem maximalen und dem minimalen in den Messwerten ($X_1 \dots X_N$) oder der Messwertverlaufsfunktion ($X(s)$, $X(t)$) auftretenden Messwert (x) und/oder

b) der quadratische Mittelwert (RMS) der Messwerte (x) gemäß der Formel

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2}, \text{ und/oder}$$

c) die Varianz (σ^2) der Messwerte (x) gemäß der Formel

$$\sigma^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2.$$

21. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass dem Optimierungsverfahren ein Multi-Layer-Perceptron zugrunde gelegt wird und im Zuge des Optimierungsverfahrens die Gewichtungen des Multi-Layer-Perceptrons an die jeweils vorgegebenen Parameter (p) der geometrischen Oberflächenbeschaffenheit für die, gegebenenfalls virtuellen, Referenzstraßenbereiche (11) angepasst werden.

22. Datenträger, auf dem ein Computerprogramm zur Durchführung eines Verfahrens gemäß einem der voranstehenden Ansprüche abgespeichert ist.

Wien, am 5. März 2012

NACHGEREICHT