

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum  
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum  
18. Mai 2012 (18.05.2012)

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer  
**WO 2012/062723 A2**

(51) Internationale Patentklassifikation:  
**B61L 25/02** (2006.01)

chen (DE). **HEINE, Christoph** [DE/DE]; Schneeglöckchenstr. 92a, 80995 München (DE).

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2011/069592

(74) **Anwalt: MATTUSCH, Gundula**; c/o Knorr-Bremse AG, Moosacher Str. 80, 80809 München (DE).

(22) Internationales Anmeldedatum:  
8. November 2011 (08.11.2011)

(81) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:  
10 2010 050 899.3  
10. November 2010 (10.11.2010) DE

(71) **Anmelder** (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von US): **KNORR-BREMSE SYSTEME FÜR SCHIENENFAHRZEUGE GMBH** [DE/DE]; Moosacher Str. 80, 80809 München (DE).

(72) **Erfinder; und**

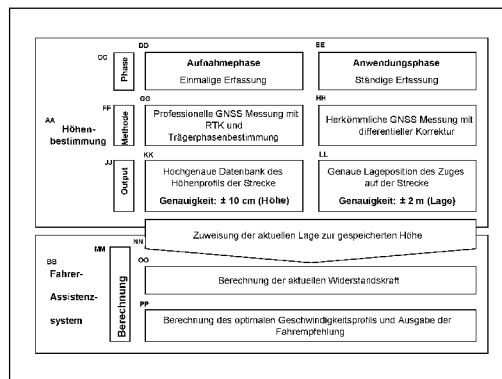
(75) **Erfinder/Anmelder** (nur für US): **NOCK, Marco** [DE/DE]; Beethovenstr. 19, 85622 Feldkirchen (DE).  
**BÜHLER, Joachim** [DE/DE]; Hornstr. 8, 80797 Mün-

(84) **Bestimmungsstaaten** (soweit nicht anders angegeben, für jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AL, AT, BE, BG, CH,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) **Title:** METHOD FOR DETERMINING THE ALTITUDE PROFILE OF A SECTION OF TRACK

(54) **Bezeichnung:** VERFAHREN ZUR HÖHENPROFILBESTIMMUNG EINER FAHRSTRECKE



Figur 1

- Fig. 1:
- AA Determination of altitude
- BB Driver assistance system
- CC Phase
- DD Recording phase
- EE Application phase
- FF Method
- JJ Output
- GG Professional GNSS measurement with RTK and determination of carrier phase
- HH Conventional GNSS measurement with differential correction
- JJ Output
- KK High-precision database of the altitude profile of the section of track  
Accuracy :  $\pm 10$  cm (altitude)
- LL Precise position of the train on the section of track  
Accuracy :  $\pm 2$  m (position)
- MM Calculation
- NN Assignment of the current position to the stored altitude
- OO Calculation of the current resistance force
- PP Calculation of the optimum speed profile and outputting of the driving recommendation

(57) **Abstract:** A method for determining the altitude profile of a section of track of a rail vehicle has the method steps of: acquiring position data and altitude data by means of a receiver, installed in the rail vehicle, of a global navigation satellite system (GNSS) when the section of track is travelled along at least once, increasing the accuracy of the altitude data obtained by means of the GNSS by determining the carrier phase of the signals of the navigation satellite or satellites, increasing the accuracy of the altitude data which is obtained by means of the GNSS by differential correction of the altitude data with the aid of an RTK network, and calculating the variation in the altitude profile of the section of track by processing the position data and altitude data acquired in the preceding steps.

(57) **Zusammenfassung:** Ein Verfahren zur Höhenprofilbestimmung einer Fahrstrecke eines Schienenfahrzeuges weist die Verfahrensschritte Erfassen von Positions- und Höhendaten durch einen im Schienenfahrzeug installierten Empfänger eines globalen Navigationssatellitensystems (GNSS) bei mindestens einmaligem Abfahren der Fahrstrecke, Erhöhen der Genauigkeit der über das GNSS erhaltenen Höhendaten durch Bestimmung der Trägerphase der Signale des oder der Navigationssatelliten, Erhöhen der Genauigkeit der über das GNSS erhaltenen Höhendaten durch differentielle Korrektur der Höhendaten unter Zuhilfenahme eines RTK-Netzwerkes und Berechnen des Höhenprofilverlaufes der Fahrstrecke durch Verarbeiten der in den vorangegangenen Schritten erfassten Positions- und Höhen-

WO 2012/062723 A2

CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE,  
IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO,  
RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI,  
CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

**Veröffentlicht:**

— *ohne internationalen Recherchenbericht und erneut zu  
veröffentlichen nach Erhalt des Berichts (Regel 48 Absatz  
2 Buchstabe g)*

---

## Verfahren zur Höhenprofilbestimmung einer Fahrstrecke

---

Die vorliegende Erfindung betrifft ein Verfahren zur Höhenprofilbestimmung einer Fahrstrecke eines Schienenfahrzeugs sowie ein Verfahren zum Betreiben eines Fahrerassistenzsystems eines Schienenfahrzeugs.

5

Solche im Schienenverkehr eingesetzten Fahrerassistenzsysteme dienen in erster Linie dazu, ein Schienenfahrzeug, beispielsweise einen Personen- oder Güterzug, in möglichst energieeffizienter Weise über eine Fahrstrecke zu bewegen. Dazu werden dem Fahrer eines solchen Schienenfahrzeuges über eine Anzeige des Fahrerassistenzsystems die dazu notwendigen Informationen zur Verfügung gestellt. Diese Informationen beinhalten beispielsweise ein Streckenprofil mit einer Darstellung von zulässigen Höchstgeschwindigkeiten sowie der empfohlenen Geschwindigkeiten, Empfehlungen für geeignete Traktions- und Bremshebelstellungen sowie Angaben zum topografischen Verlauf der Strecke. Daher ist es wichtig, über möglichst genaue Daten der Fahrstrecke zu verfügen. Eine wichtige benötigte Information ist das Höhenprofil der Fahrstrecke, aus der die auf das Schienenfahrzeug wirkende Hangabtriebskraft berechnet wird, welche sodann in die Berechnungen zur Ausgabe von Fahrempfehlungen durch das Fahrerassistenzsystem einfließt.

20

Die Güte der von dem Fahrerassistenzsystem betroffenen Annahmen zur Berechnung von Fahrempfehlungen stehen in direkter Korrelation mit der Qualität dieser Fahrstreckendaten, da bereits geringe Steigungsänderungen

von nur 1‰ enorme Abweichungen zwischen dem der Berechnung zugrunde liegenden Modell und der Realität verursachen und somit eine qualifizierte Prognose über den weiteren Verlauf der Fahrt erschweren.

5 Solche Informationen über das Höhenprofil (Gradient) einer Fahrstrecke können in den meisten Fällen direkt bei den Fahrstreckenbetreibern erfragt werden. Die von diesen erhaltenen Daten sind allerdings meist von unbekannter Herkunft und Qualität, oft veraltet und nicht in digitaler Form verfügbar. Die Genauigkeit dieser Daten ist sehr schwer zu bewerten und ihre  
10 generelle Richtigkeit ist nicht gewährleistet. Überdies müssen die Daten in das Fahrerassistenzsystem manuell eingegeben und ggfs. weiterbearbeitet werden, so dass auch der zeitliche Aufwand zur Eingabe der Daten in das Fahrerassistenzsystem sehr hoch ist.

15 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, ein Verfahren zur Höhenprofilbestimmung einer Fahrstrecke bereit zu stellen, die ermöglicht, dass Höhenprofil beliebiger Bahnstrecken sehr genau, schnell und unabhängig von Land und Betreiber zu erfassen, um den individuellen Anpassungsaufwand für die Datenerfassung bei neuen Strecken so gering wie möglich zu halten und  
20 die Leistungsfähigkeit des Fahrerassistenzsystems zu steigern.

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren zur Höhenprofilbestimmung einer Fahrstrecke mit den Merkmalen des Anspruchs 1 sowie durch ein Verfahren zum Betreiben eines Fahrerassistenzsystems mit den Merkmalen des  
25 Anspruchs 9 gelöst.

Erfindungsgemäß wird das Höhenprofil einer Fahrstrecke dadurch bestimmt, dass die Erfassung von Positions- und Höhendaten durch einen im Schienenfahrzeug installierten Empfänger eines globalen Navigations-  
30 satellitensystems (GNSS) bei mindestens einmaligen Abfahren der Fahrstrecke erfolgt, wobei zur Erhöhung der Genauigkeit der über das GNSS enthaltenen Höhendaten die Trägerphase der Signale des oder der Navigationssatelliten bestimmt wird und das die Höhendaten unter Zuhilfenahme eines RTK-Netzwerkes einer differenziellen Korrektur unterzogen werden und das der  
35 Höhenprofilverlauf der Fahrstrecke in einem weiteren Verfahrensschritt durch Verarbeitung der in den vorangegangenen Schritten erfassten Positions- und Höhendaten berechnet wird. Durch das Mitführen einer solchen Empfängereinheit in dem Schienenfahrzeug, mit welchem die Fahrstrecke abgefahren wird, deren Gradientenverlauf bestimmt werden soll, ist ein einfach

und schnell durchführbares Verfahren bereit gestellt, mit der der Gradientenverlauf einer beliebigen Strecke unabhängig von Betreibern oder Ländern bestimmt werden kann. Das Verfahren ist schnell durchführbar und liefert eine deutlich höhere Genauigkeit, als es mit konventionellen GNSS-Messungen ermöglicht ist. Die schnelle, hochgenaue und vorallem verlässliche Erfassung des Höhenprofils ist der große Vorteil dieses Verfahrens.

In einer vorteilhaften Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Genauigkeit der über das GNSS enthaltenen Höhendaten durch Berücksichtigung der Geoidundulation weiter erhöht. Mit einer solchen Datenkorrektur kann die tatsächliche physikalische Höhe bestimmt werden, welche für die Berechnung der potenziellen Energie des die Fahrstrecke abfahrenden Zuges ausschlaggebend ist.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens werden die Positions- und Höhendaten zumindest auf einer Teilstrecke der Fahrstrecke bei unterschiedlichen Fahrtrichtungen erfasst und anschließend zusammengeführt. Der wesentliche Vorteil dieser Maßnahme besteht darin, dass Datenlücken, die beispielsweise aufgrund mangelnden Empfangs der GNSS-Signale in Tunneln oder bei Straßenunterführungen auftreten, signifikant verkürzt werden. Typisch ist hier beispielsweise, dass das Höhensignal auch bereits bei sehr kurzen Tunneln ganz verschwindet und sich erst einige Zeit hinter dem Tunnel wieder aufbaut. Fügt man nun die Höhendaten von zwei Messungen bei unterschiedlicher Fahrtrichtung zusammen, so entfallen lediglich die Höhendaten innerhalb des Tunnels. Die Höhendaten vor und hinter dem Tunnel liegen nach dem Zusammenfügen der Daten dann vor.

Gemäß einer weiteren vorteilhaften Ausführungsvariante werden die Positions- und Höhendaten zumindest auf einer Teilstrecke der Fahrstrecke bei geringer Fahrgeschwindigkeit oder sogar bei angehaltenem Schienenfahrzeug erfasst. Insbesondere in Streckenabschnitten, bei denen der Höhengradient großen Schwankungen unterliegt, ist es vorteilhaft, die Fahrgeschwindigkeit zu reduzieren, um die Genauigkeit der Messdaten zu erhöhen, da die Güte der erfassten Höhendaten mit zunehmender Fahrgeschwindigkeit abnimmt.

Gemäß einer weiteren bevorzugten Ausführungsvariante des erfindungsgemäßen Verfahrens wird die Erfassung der Höhendaten in nicht äquidistanten Abständen der Fahrstrecke in Abhängigkeit vom Maß der Änderung des

Höhenprofils durchgeführt, wobei die Messabstände mit zunehmender  
Änderung des Höhenprofils kleiner gewählt werden. Insbesondere im Bereich  
großer Änderungen der Höhengradienten, also beispielsweise bei Kuppen oder  
Wannen, sind kleine Schrittweiten sinnvoll. Entsprechend sind bei ebenen oder  
5 mit gleichmäßiger Steigung verlaufenden Streckenabschnitten, bei denen sich  
der Höhengradient nicht ändert, größere Schrittweiten der Messungen sinnvoll,  
um die Datenmenge zu reduzieren und damit die Leistungsfähigkeit des  
Fahrerassistenzsystems zu erhöhen, da redundante Informationen bei der  
Speicherung und Verarbeitung entfallen.

10 Auch die Anpassung der Schrittweite der Gradienteninformationen an die  
Taktung einer Optimierungseinheit des Fahrerassistenzsystems ist vorteilhaft,  
da sich aufgrund der hohen Trägheit des Zuges der Einfluss des Gradienten  
auf die Geschwindigkeit des Zuges verlangsamt auswirkt.

15 Im Normalbetrieb findet im Fahrerassistenzsystem ein immer wiederkehrender  
Ableich zwischen realer und simulierter Fahrt bezüglich Ort und Geschwindig-  
keit in sinnvoll gewählten Intervallen statt. Die Wahl dieser Intervalle  
berücksichtigt die Trägheit des Gesamtsystems, wobei während des  
20 Durchlaufens dieser Intervalle sich die Gradienteninformation als integrale  
Größe auswirkt, was zur Folge hat, dass eine sinnvoll gewählte räumliche  
Auflösung sich vorteilhaft auf die gute Berechnung der Fahrempfehlung  
auswirkt, da die Leistungsfähigkeit des Fahrerassistenzsystems durch die  
optimale Wahl der Messintervalle erhöht wird.

25 Nachfolgend wird eine bevorzugte Ausführungsvariante des  
erfindungsgemäßen Verfahrens anhand der einzigen Figur 1 erläutert.

30 Die einzige Figur 1 zeigt ein Ablaufschema einer Ausführungsvariante des  
erfindungsgemäßen Verfahrens.

35 Die Höhenprofilbestimmung einer Fahrstrecke erfolgt zunächst in einer  
sogenannten Aufnahme phase, bei der das mit dem Empfänger zum Empfang  
von Signalen eines GNSS ausgestattete Schienenfahrzeug die Fahrstrecke  
einmalig abfährt und dabei die Höhenprofildaten der Fahrstrecke erfasst.

Während dieser Aufnahme phase wird eine GNSS-Messung durchgeführt, bei  
der mit Hilfe sogenannter RTK-Netzwerke (RTK = Real Time Kinematic)  
Höhenmessungen mit einer Genauigkeit von bis zu 2 bis 10 cm erreicht

werden. Zur weiteren Erhöhung der Genauigkeit wird zusätzlich die Trägerphase des GNSS-Signals ausgewertet.

5 Da die Erfassung des Höhengradienten der Fahrstrecke vor allem zur Berechnung der auf ein Schienenfahrzeug ausgeübten Hangabtriebskraft genutzt wird, ist insbesondere auch das Schwerepotential eines Punktes auf der Fahrstrecke von besonderer Bedeutung. Daher wird bevorzugt über eine weitere Datenkorrektur auch die Geoidundulation berücksichtigt, welche für die Berechnung der potenziellen Energie des Schienenfahrzeugs  
10 ausschlaggebend ist.

Als Ergebnis dieser hochgenauen Messung erhält man eine hochgenaue Datenbank des Höhenprofils der Fahrstrecke, wobei eine Genauigkeit des Höhenprofils von bis zu 10 cm erreicht wird.

15 Die in dieser Datenbank enthaltenen Werte werden in einem anschließenden Verfahrensschritt der jeweiligen aktuellen Lageposition des Schienenfahrzeuges bzw. des in dem Schienenfahrzeug angeordneten Empfängers zugeordnet. Diese Datenpakete gehen anschließend in die  
20 Berechnung der auf das Schienenfahrzeug wirkenden aktuellen Widerstandskräfte ein. Auf Basis dieser Berechnung kann anschließend eine Berechnung des optimalen Fahrgeschwindigkeitsprofils des Schienenfahrzeugs sowie eine Ausgabe einer Fahrempfehlung für den Lokführer oder Fahrzeugführer des Schienenfahrzeugs durch das Fahrerassistenzsystem  
25 ausgegeben werden.

Im späteren Normalbetrieb (Anwendungsphase) erfolgt über den oder die im Schienenfahrzeug installierten Empfänger ebenfalls eine Erfassung der Höhe und Position über eine herkömmliche GNSS-Messung, die jedoch zur  
30 Erhöhung der Genauigkeit Daten eines satellitengestützten Differenz-GNSS-Service, beispielsweise des frei verfügbaren europäischen Egnos-Systems, empfängt, wodurch die Genauigkeit der Position des Empfängers gegenüber einer herkömmlichen GNSS-Positionsbestimmung um den Faktor 10 erhöht wird. Als Ergebnis dieser kontinuierlichen Datenerfassung erhält man eine  
35 genaue Lageposition des Zuges auf der Strecke mit einer Genauigkeit von etwa 2 m. Die Lageposition wird dann, wie oben bereits beschrieben, mit den in der Aufnahme phase gespeicherten Höhen zusammengeführt, um dann daraus die aktuelle auf das Schienenfahrzeug ausgeübte Widerstandskraft und daraus

das optimale Geschwindigkeitsprofil berechnet und eine Fahrempfehlung an den Lokführer des Schienenfahrzeugs ausgegeben.

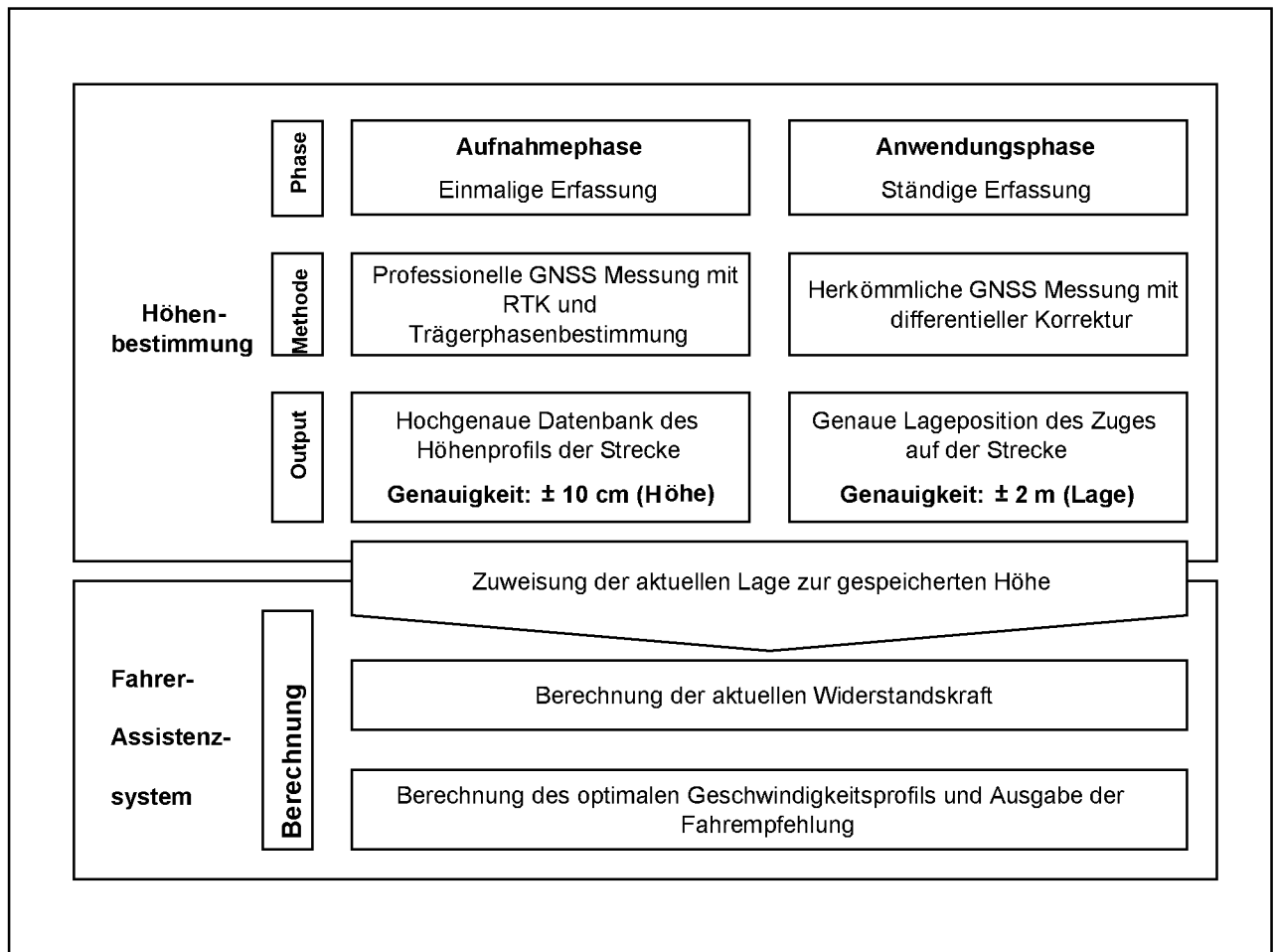
5 Beim Einsatz des Fahrerassistenzsystems im späteren Normalbetrieb werden  
in enger zeitlicher Abfolge reale und empfohlene Fahrweisen bezüglich Ort und  
Geschwindigkeit miteinander verglichen. Unter der Annahme, dass den  
Fahrempfehlungen des Fahrerassistenzsystems gefolgt wird, besteht so die  
Möglichkeit, dass reale Fahrverhalten des Zuges mit dem Fahrverhalten der  
Zugsimulation zu vergleichen. Dadurch besteht die Möglichkeit, die den  
10 Simulationsmodell zugrunde liegende Gradienteninformation an die real  
beobachtete Gradienteninformation anzupassen, wodurch auch die Möglichkeit  
besteht, dass Fahrerassistenzsystem mit einem selbstlernenden Algorithmus  
zu versehen.

### Ansprüche

1. Verfahren zur Höhenprofilbestimmung einer Fahrstrecke eines Schienenfahrzeuges, aufweisend die Verfahrensschritte:
  - Erfassen von Positions- und Höhendaten durch einen im Schienenfahrzeug installierten Empfänger eines globalen Navigationssatellitensystems (GNSS) bei mindestens einmaligem Abfahren der Fahrstrecke,
  - Erhöhen der Genauigkeit der über das GNSS erhaltenen Höhendaten durch Bestimmung der Trägerphase der Signale des oder der Navigationssatelliten,
  - Erhöhen der Genauigkeit der über das GNSS erhaltenen Höhendaten durch differentielle Korrektur der Höhendaten unter Zuhilfenahme eines RTK-Netzwerks,
  - Berechnen des Höhenprofilverlaufes der Fahrstrecke durch Verarbeiten der in den vorangegangenen Schritten erfassten Positions- und Höhendaten.
2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei in einem weiteren Verfahrensschritt die Genauigkeit der über das GNSS erhaltenen Höhendaten durch Berücksichtigung der Geoidundulation erhöht wird.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Positions- und Höhendaten zumindest auf einer Teilstrecke der Fahrstrecke bei unterschiedlichen Fahrtrichtungen erfasst und anschließend zusammengeführt werden.
4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Positions- und Höhendaten zumindest auf einer Teilstrecke der Fahrstrecke bei geringer Fahrgeschwindigkeit erfasst werden.
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Höhendaten zumindest auf einer Teilstrecke der Fahrstrecke bei angehaltenem Schienenfahrzeug erfasst werden.
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Erfassung der Höhendaten in äquidistanten Abständen der Fahrstrecke erfolgt.

- 5 7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Erfassung der Höhendaten in nicht äquidistanten Abständen der Fahrstrecke in Abhängigkeit vom Maß der Änderung des Höhenprofils erfolgt, wobei die Messabstände mit zunehmender Änderung des Höhenprofils kleiner gewählt werden.
- 10 8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die erfassten Höhendaten vor der Berechnung des Höhengradienten einer räumlichen Tiefpassfilterung unterzogen werden.
- 15 9. Verfahren zum Betreiben eines Fahrerassistenzsystems eines Schienenfahrzeuges, bei dem zur Ermittlung einer Hangabtriebskraft ein Verfahren gemäß einem der vorstehenden Ansprüche eingesetzt wird, wobei während einer Fahrt durch einen Optimierungseinheit des Fahrerassistenzsystems mit einer bestimmten Taktung ein Vergleich zwischen Soll- und Istwerten verschiedener Daten erfolgt und wobei die Erfassung der Höhendaten in nicht äquidistanten Abständen der Fahrstrecke in Abhängigkeit von der Taktung der Optimierungseinheit erfolgt.
- 20 10. Verfahren nach Anspruch 8, wobei in einem weiteren Verfahrensschritt die Genauigkeit der über das GNSS erhaltenen Höhendaten im normalen Fahrbetrieb durch Berücksichtigung von Korrektursignalen eines Differentialsignale aussendenden GNSS erhöht wird.

25



Figur 1