



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
14.06.2023 Patentblatt 2023/24

(21) Anmeldenummer: **21214156.8**

(22) Anmeldetag: **13.12.2021**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
G08G 1/015 ^(2006.01) **E01F 11/00** ^(2006.01)
G07B 15/04 ^(2006.01) **G08G 1/02** ^(2006.01)
G08G 1/042 ^(2006.01) **G08G 1/048** ^(2006.01)
G08G 1/056 ^(2006.01)

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
G08G 1/015; E01F 11/00; G07B 15/04; G08G 1/02;
G08G 1/042; G08G 1/048; G08G 1/056;
G08G 1/017

(84) Benannte Vertragsstaaten:
AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB
GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO
PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

(71) Anmelder: **PhySens GmbH**
38104 Braunschweig (DE)

(72) Erfinder:
• **Ostazewski, Katharina**
38239 Salzgitter (DE)
• **Struckmann, Henriette**
38162 Cremlingen (DE)
• **Heinisch, Philip**
29525 Uelzen (DE)

(74) Vertreter: **Gramm, Lins & Partner**
Patent- und Rechtsanwälte PartGmbB
Frankfurter Straße 3 C
38122 Braunschweig (DE)

(54) **VERFAHREN ZUM IDENTIFIZIEREN VON FAHRZEUGEN UND FAHRZEUG-IDENTIFIKATIONSVORRICHTUNG**

(57) Verfahren zum Identifizieren von Fahrzeugen, mit den Schritten (i) Erfassen von Magnetometerdaten von (a) einem ersten Magnetometer, (b) einem zweiten Magnetometer, (c) einem dritten Magnetometer, (d) einem vierten Magnetometer, (e) einem fünften Magnetometer und (f) zumindest einem sechsten Magnetometer, (g) wobei zumindest drei Magnetometer entlang einer ersten Geraden angeordnet sind und einen ersten magnetischen Zeilensensor bilden, (h) wobei zumindest drei

Magnetometer entlang einer zweiten Geraden angeordnet sind und einen zweiten magnetischen Zeilensensor bilden, wobei die zweite Gerade entlang der ersten Geraden verläuft, sodass ein Magnetfelddatensatz erhalten wird, der zumindest ein in zumindest zwei Dimensionen orts aufgelöstes, vom Fahrzeug hervorgerufenen Magnetfeld beschreibt, und (ii) Identifizieren eines Fahrzeugtyps und/oder eines Fahrzeugs anhand des Magnetfelddatensatzes.

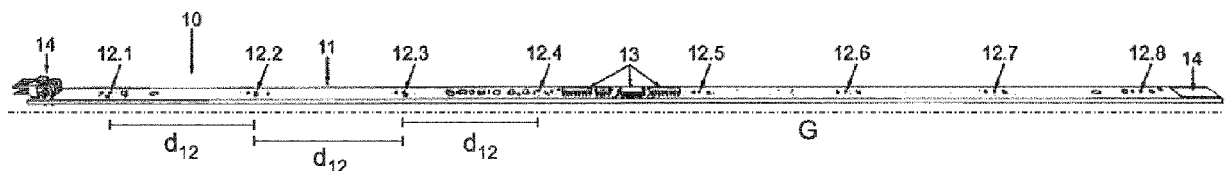


Fig. 1

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur berührungslosen Identifikation von Fahrzeugen. Gemäß einem zweiten Aspekt betrifft die Erfindung eine Fahrzeug-Identifikationsvorrichtung zum Identifizieren von Fahrzeugen, mit (a) einem ersten Magnetometer zum Erfassen von Erstmagnetometerdaten, (b) einem zweiten Magnetometer zum Erfassen von Zweitmagnetometerdaten, (c) einem dritten Magnetometer zum Erfassen von Drittmagnetometerdaten, (d) einem vierten Magnetometer zum Erfassen von Viertmagnetometerdaten, (e) einem fünften Magnetometer zum Erfassen von Fünftmagnetometerdaten, (d) zumindest einem sechsten Magnetometer zum Erfassen von Sechstmagnetometerdaten und (e) einer Auswerteschaltung zum automatischen Erfassen der Magnetometerdaten und Identifizieren eines Fahrzeugs oder Fahrzeugtyps anhand der Magnetometerdaten,

[0002] Vorrichtungen zur Identifikation von Kraftfahrzeugen basieren üblicherweise auf einer optischen Erkennung von Nummernschildern oder anderen charakteristischen optischen Merkmalen. Eine weitere Möglichkeit besteht in dem drahtlosen Auslesen von am Fahrzeug befestigten Funk-Transpondern. Solche Systeme finden Anwendung z.B. zur Mauterfassung, bei Parkplätzen, Parkhäusern oder auch in der Logistik und zum Flottenmanagement.

[0003] Optische Systeme haben den Nachteil, dass eine ausreichende natürliche oder künstliche Beleuchtung vorhanden sein muss. Selbst mit zusätzlichen Beleuchtungseinrichtungen kann es bei ungünstigen Lichtverhältnissen zu Fehldetektionen kommen.

[0004] Die Identifikation von Fahrzeugen auf Basis von Funk-Transpondern ist zwar unabhängig von Licht- oder Wetterverhältnissen, erfordert aber das Anbringen eines entsprechenden Transponders am Fahrzeug. Während bei der optischen Identifikation beispielsweise von Kraftfahrzeugen bereits vorhandene Merkmale wie Nummernschilder zur Identifikation zum Einsatz kommen können, sind entsprechende Transponder zumeist nicht werkseitig am Fahrzeug verbaut.

[0005] Beide beschriebenen Systeme können durch Diebstahl oder Kopieren von Kennzeichen oder Transpondern getäuscht werden.

[0006] Die WO 2013/044389 A1 beschreibt ein Verfahren zur Identifikation von Fahrzeugen mithilfe vektorwertiger Magnetfeldmessungen mit mindestens einem oder mehreren, senkrecht zur erwarteten Fahrtrichtung zueinander beabstandeten Magnetometer. Zur Identifikation wird ein skaleninvariantes Dipolmodell für die magnetische Signatur eines Fahrzeugs genutzt. Die Genauigkeit der Identifikation hängt dabei von der Güte der Magnetfeldapproximation ab. Eine Dipolnäherung ist, insbesondere im Nahfeld, jedoch nur eine grobe Näherung für das komplexe Magnetfeld eines Fahrzeugs, welches sich aus mehreren magnetisierten Komponenten verschiedener Geometrien zusammensetzt. Daher ist insbesondere eine bewusste Manipulation durch das Anbringen von einfachen Permanentmagneten am Fahrzeug möglich, die das gewünschte Dipolfeld erzeugen. Weiterhin können dadurch die magnetischen Signaturen nur individuell betrachtet werden, sodass Informationen durch räumlich aufgelöste Magnetfeldmessungen nicht genutzt werden. Insbesondere ist das Verfahren so ausgelegt, dass es auch mit nur einem vektorwertigen Magnetometer funktionieren soll. Das System ist weiterhin nicht invariant gegenüber einer schrägen Überfahrt.

[0007] Die WO 2019/155324 beschreibt ein System aus mindestens zwei entlang der erwarteten Fahrtrichtung platzierten Magnetometer, das mithilfe der Kreuzkorrelation die Geschwindigkeit eines überfahrenden Fahrzeugs bestimmt. Ähnliche Ansätze sind in der US 6 208 268 und US 2013 057264 beschrieben. Diese Systeme können jedoch weder Fahrzeugtypen noch individuelle Fahrzeuge identifizieren oder zuverlässig unterscheiden.

[0008] Einige Systeme sind auch in der Lage, eine Schätzung der Fahrzeugklasse (z.B. LKW, PKW) zu liefern, z. B. mit dem Zweck, Fehldetektionen durch Störungen oder andere magnetische Gegenstände auszuschließen oder Geschwindigkeitsmessungen abhängig von der Art des Fahrzeugs durchzuführen.

[0009] Die WO 2013/189985 beschreibt ein Verfahren, welches mit einem vektorwertigen Magnetometer die Fahrzeugklasse und die Geschwindigkeit des vorbeifahrenden Fahrzeugs bestimmen kann. Dazu wird zumindest ein Teil des zeitlich aufgelösten Magnetfeldsignals $B(t)$ mit Referenzsignalen in einer Datenbank verglichen.

[0010] Bei der Identifizierung von Fahrzeugen anhand einer magnetischen Signatur sind insbesondere das Strecken bzw. Stauchen der Signatur aufgrund unterschiedlicher Überfahrtgeschwindigkeiten von Fahrzeugen problematisch, sowie die Verzerrung der Signatur durch eine schräge Überfahrt. Die zusätzlich benötigten Informationen wurden bei bisherigen Systemen über externe Sensorik, z. B. Radare, Lichtschranken oder Drucksensoren bereitgestellt.

[0011] Daher benötigen bisherige magnetfeldbasierte Systeme zur Identifikation von Fahrzeugen entweder mathematische Modelle, basierend auf einer Modellierung der durch ein Fahrzeug erzeugten magnetischen Signatur, oder sie nutzen eine reduzierte Menge an invarianten charakteristischen Eigenschaften, z. B. Minima und Maxima der Signatur, für einen Vergleich. Sowohl bei dem modellbasierten Ansatz als auch bei der reduzierten Menge an charakteristischen Eigenschaften kommt es aufgrund der getroffenen Annahmen oder dem zu geringen Informationsgehalt zu Doppeldeutigkeiten bzw. Ungenauigkeiten bei der Identifizierung. Aufgrund dieser Doppeldeutigkeiten und Ungenauigkeiten ist insbesondere bei Kenntnis der Modellierungsverfahren, welche zumeist im Rahmen von Patentschriften oder Zulassungsverfahren veröffentlicht werden, potentiell auch eine gezielte Manipulation möglich.

[0012] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, Nachteile im Stand der Technik zu vermindern.

[0013] Die Erfindung löst das Problem durch ein gattungsgemäßes Verfahren, bei dem zum Erfassen der Magnetfelddaten (a) zumindest drei Magnetometer entlang einer ersten Geraden angeordnet sind und einen ersten magnetischen Zeilensensor bilden, und (b) zumindest drei Magnetometer entlang einer zweiten Geraden angeordnet sind und einen zweiten magnetischen Zeilensensor bilden, wobei die zweite Gerade entlang der ersten Geraden verläuft, verwendet werden. Durch das Erfassen der Magnetfelddaten wird ein Magnetfelddatensatz erhalten, der zumindest ein in zumindest zwei Dimensionen orts aufgelöstes, vom Fahrzeug hervorgerufenen Magnetfeld beschreibt. Zudem umfasst das Verfahren den Schritt des Identifizierens eines Fahrzeugtyps anhand des Magnetfelddatensatzes.

[0014] Gemäß einem zweiten Aspekt löst die Erfindung das Problem durch eine gattungsgemäße Fahrzeug-Identifikationsvorrichtung, bei der (h) zumindest drei Magnetometer entlang einer ersten Geraden angeordnet sind und einen ersten magnetischen Zeilensensor bilden, (i) zumindest drei Magnetometer entlang einer zweiten Geraden angeordnet sind und einen zweiten magnetischen Zeilensensor bilden. Die zweite Gerade verläuft vorzugsweise entlang der ersten Gerade. Die die Magnetfelddaten beschreiben eine zeitliche Änderung eines statischen Magnetfelds, das von einem über die Magnetometer hinwegfahrenden Fahrzeug erzeugt wird. Die Auswerteschaltung ist dabei ausgebildet zum automatischen Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens.

[0015] Erfindungsgemäß ist zudem ein Bauwerk mit (a) einer Fahrbahn für Fahrzeuge, wobei die Fahrbahn eine Fahrbahn-Fahrtrichtung hat, und (b) einer Fahrzeug-Identifikationsvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, die angeordnet ist zum Identifizieren eines Fahrzeugtyps von auf der Fahrbahn fahrenden Fahrzeugen. Die Fahrzeug-Identifikationsvorrichtung kann dabei oberhalb der Fahrbahn, unterhalb der Fahrbahn oder in die Fahrbahn eingelassen angeordnet sein.

[0016] Im Rahmen der vorliegenden Beschreibung wird unter einem Magnetometer insbesondere ein Dünnschicht-Magnetometer verstanden. Unter einem Dünnschicht-Magnetometer werden Sensoren zur Erfassung des Magnetfelds verstanden, deren für das Magnetfeld sensitive Struktur schichtförmig ist. Insbesondere basiert ein Dünnschicht-Magnetometer auf dem GMR (giant magnetoresistance)-, AMR (anisotroper magnetoresistiver)- oder TMR (magnetischer Tunnelwiderstands)-Effekt. Vorteilhaft ist dabei die durch die Verwendung von Dünnschicht-Magnetometern ermöglichte geringe Bauhöhe, bei gleichzeitig hohen Abtastraten und geringen Messunsicherheiten.

[0017] Vorzugsweise ist zumindest ein Magnetometer, zumindest eine Mehrzahl der Magnetometer und besonders bevorzugt sind alle Magnetometer, ausgebildet zum Messen von zumindest zwei, insbesondere von drei, Komponenten des Magnetfelds. Vorzugsweise beträgt eine Abtastrate mehr als 50 Hz, insbesondere mehr als 75 Hz, und/oder höchstens 100 Kilohertz.

[0018] Vorzugsweise hat zumindest ein Magnetometer, hat zumindest eine Mehrzahl der Magnetometer, und haben besonders bevorzugt alle Magnetometer eine Auflösung von 1000 Nanotesla oder besser, vorzugsweise 100 Nanotesla oder besser.

[0019] Unter dem Merkmal, dass die Magnetometer entlang einer Geraden angeordnet sind, wird insbesondere verstanden, dass es vorteilhaft, nicht aber notwendig ist, wenn die Magnetometer im streng mathematischen Sinne auf einer Geraden liegen. Es ist möglich, dass die tatsächliche Lage der Magnetometer von der Ideallage abweicht, beispielsweise um höchstens 20 cm, insbesondere höchstens 15 cm, vorzugsweise höchstens 10 Zentimeter.

[0020] Unter dem Merkmal, dass mindestens sechs Magnetometer vorhanden sind, wird insbesondere verstanden, dass es günstig, nicht aber notwendig ist, dass weitere Magnetometer vorhanden sind. Eine größere Anzahl an Magnetometern erhöht die räumliche Auflösung, steigert aber gleichzeitig die Kosten und Komplexität des Aufbaus. Im allgemeinen Fall werden n Magnetometer verwendet, insbesondere mit $n < 300$.

[0021] Jedes Magnetometer misst Magnetfelddaten, die ein von einem Fahrzeug bewirktes Magnetfeld am Ort des Magnetometers zeitabhängig beschreiben. Das Magnetfeld kann durch magnetisierte Teile des Fahrzeugs hervorgerufen werden. Alternativ oder zusätzlich kann das Magnetfeld durch eine Veränderung des Erdmagnetfelds durch nicht magnetisierte, aber ferromagnetische Bestandteile hervorgerufen werden.

[0022] Da das Erdmagnetfeld in der Regel als homogen angenommen werden kann, beschreiben die Magnetfelddaten somit zeitabhängig den jeweiligen momentanen Einfluss der Magnetisierung und/oder der Suszeptibilität des über das jeweilige Magnetfeld hinwegfahrenden Fahrzeugs auf das Magnetfeld am Ort des Magnetometers.

[0023] Unter den Fahrzeugen werden insbesondere Landfahrzeuge verstanden, beispielsweise Personenkraftwagen und Lastkraftwagen.

[0024] Die vom Magnetometer erfassten Magnetfelder sind zwar zeitabhängig, haben aber keine Trägerfrequenz. In anderen Worten sind die Magnetometer keine Empfänger elektromagnetischer Wellen, die von einem Sender aktiv gesandt wurden.

[0025] Vorzugsweise befinden sich mindestens drei der zumindest sechs Magnetometer mit einem Abstand zwischen 2 cm und 20 cm zueinander näherungsweise längs zur Fahrtrichtung und die übrigen Magnetometer dazu mit einem Abstand von typisch zwischen 0.01 m und 1 m parallel in bzw. gegen die Fahrtrichtung verschoben. Die räumlich getrennten Magnetometer bilden damit zwei zueinander verschobene magnetische Zeilensensoren, die zusammen eine Messeinheit darstellen.

[0026] Vorzugsweise sind die Zeilensensoren dieser Messeinheit in einem gemeinsamen Gehäuse angeordnet, um

einen konstanten und bekannten Abstand zueinander zu gewährleisten. Diese Messeinheit wird in, auf oder über dem Untergrund, insbesondere einer Fahrbahn, montiert.

[0027] Unter einem Fahrzeugtyp wird insbesondere eine Gruppe von Fahrzeugen gleicher Außengeometrie und/oder eines gleichen Intervalls zulässiger Gesamtmasse verstanden. Beispielsweise kann ein Fahrzeugtyp durch all diejenigen Fahrzeuge gebildet sein, die eine Strecke passieren dürfen. Vorzugsweise werden nicht nur Fahrzeugtypen, sondern einzelne Fahrzeuge anhand des Magnetfelddatensatzes identifiziert.

[0028] Unter der Auswerteschaltung wird insbesondere eine elektronische Schaltung verstanden, die automatisch, das heißt ohne menschlichen Eingriff, anhand des Magnetfelddatensatzes den Fahrzeugtyp und/oder ein Fahrzeug identifiziert. Das Identifizieren des Fahrzeugtyps und/oder des Fahrzeugs umfasst vorzugsweise das Berechnen einer magnetischen Signatur aus dem Magnetfelddatensatz. Eine magnetische Signatur ist ein Datensatz, der die magnetischen Eigenschaften eines Fahrzeugs so kodiert, dass eine eindeutige, insbesondere eine eineindeutige, Zuordnung des Datensatzes zum Fahrzeug möglich ist.

[0029] Das Identifizieren des Fahrzeugtyps und/oder des Fahrzeugs umfasst vorzugsweise zudem das Vergleichen der berechneten magnetischen Signatur mit gespeicherten Referenz-Signaturen und das Bestimmen eines Ähnlichkeitsparameters. Kodiert dieser Ähnlichkeitsparameter eine hinreichend hohe Ähnlichkeit, wird das Fahrzeug, als dasjenige Fahrzeug identifiziert, dem die Referenz-Signatur zugeordnet ist.

[0030] Eine eindeutige Zuordnung der Signatur zum Fahrzeug bedeutet, dass jedes Fahrzeug genau eine magnetische Signatur hat. Eine eineindeutige Zuordnung, bedeutet, dass jede magnetische Signatur genau einem Fahrzeug zugeordnet ist. Eine eineindeutige Zuordnung ist eine umkehrbar eindeutige Zuordnung. Es ist möglich, dass eine eindeutige oder eineindeutige Zuordnung im streng mathematischen Sinne vorliegt. Die eindeutige oder eineindeutige Zuordnung ist aber im technischen Sinne zu verstehen und liegt vorzugsweise auch dann vor, wenn eine etwaige Abweichung von der strengen eindeutigen oder eineindeutigen Zuordnung so selten ist, dass sie vernachlässigt werden kann.

[0031] Es ist möglich, nicht aber notwendig, dass die Auswerteschaltung von dem Gehäuse umschlossen ist, das auch die Magnetometer umgibt. Die Auswerteschaltung kann entweder kabelgebunden oder drahtlos mit der Messeinheit verbunden werden.

[0032] Die erfassten die Magnetometerdaten Messergebnissen und/oder eine daraus berechnete magnetische Signatur wird vorzugsweise mit Referenz-Signaturen in einer Datenbank verglichen, um direkt eine Aktion auszulösen, oder zur weiteren Verarbeitung an ein weiteres EDV System (z.B. speicherprogrammierbare Steuerung oder Computer) weiterleitet.

[0033] Die magnetische Signatur von Fahrzeugen wird primär durch verschiedene Bauteile des Fahrzeugs, zumeist durch remanente Magnetisierung, erzeugt. Die meisten üblichen Kraftfahrzeuge, auch moderne Elektrofahrzeuge, besitzen beispielsweise im Fahrwerk, in der Karosserie, in Motoren oder Getrieben zahlreiche magnetisierbare und teilweise magnetisierte Werkstoffe. Diese werden während der Herstellung, insbesondere beim Gießen, Zerspanen oder Umformen, auf verschiedene Arten magnetisiert, wobei der Magnetisierungsvorgang der einzelnen Komponenten von einer hinreichenden Anzahl von Faktoren abhängig ist (Temperatur, magnetisches Hintergrundfeld, magnetische Felder von Maschinen, Art der Bearbeitung etc.), sodass eine nahezu einmalige magnetische Signatur ergibt.

[0034] Es ist theoretisch möglich, dass zwei Fahrzeuge eine identische Signatur aufweisen. Da dieser Fall jedoch sehr unwahrscheinlich ist, wird, wie beim menschlichen Fingerabdruck, von einer einmaligen oder quasi einmaligen Signatur gesprochen.

[0035] Diese quasi einmalige magnetische Signatur des Fahrzeugs wird zur Identifikation verwendet. Zwar hängt das Messergebnis dieser magnetischen Signatur auch von dem Magnetfeld am Ort der Messung ab. Bei geeigneter Wahl des Messorts, der ein homogenes Erdmagnetfeld und keine starken externen Magnetfelder aufweist, ist die Messung der magnetischen Signatur des Fahrzeugs hingegen in hinreichend guter Näherung unabhängig vom Messort.

[0036] Ein Vorteil der Erfindung ist, dass sich die zur Identifikation genutzte magnetische Signatur kaum kopieren oder fälschen lässt, weil sie an die Magnetisierung integraler Bestandteile des Fahrzeugs gebunden ist. Selbst bei genauer Kenntnis einer gewünschten Signatur lassen sich die entsprechenden Teile des Fahrzeugs unter vertretbarem Aufwand nicht ummagnetisieren. In anderen Worten ist es zwar möglich, die magnetische Signatur eines Fahrzeugs zu verändern, es ist aber weitgehend unmöglich, dies so gezielt zu machen, dass eine vorgegebene magnetische Signatur erhalten wird. Dies ist besonders bei Zufahrtskontrollen von Vorteil.

[0037] Durch die Verwendung von Dünnschicht-Magnetometern lassen sich Messeinheiten mit einer typischen Bauhöhe von unter 2 cm realisieren, wobei sich die Länge der Einheit nach der Breite der zu identifizierenden Fahrzeuge und der geforderten Genauigkeit richtet und typischerweise zwischen 2,75 m und 3,75 m beträgt. Durch die geringe Bauhöhe kann die Erfindung, ähnlich zu in der Verkehrstechnik bereits üblichen Induktionsschleifen oder Drucksensoren entweder in der Fahrbahn verlegt werden oder auch direkt auf dem Untergrund, insbesondere der Fahrbahn, montiert werden. Auch eine Montage an Traversen über der Fahrbahn ist möglich.

[0038] Aus den von den Magnetometern aufgenommenen Magnetometerdaten können Magnetfelddaten berechnet werden, die das Magnetfeld unter dem Fahrzeug orts aufgelöst (insbesondere nicht zeitabhängig) beschreiben.

[0039] Die charakteristische magnetische Signatur für eine gegebene Position am Fahrzeug ergibt sich als Ganzes

dabei aus den gemessenen, zeitlich aufgelösten Magnetfelddaten, die von den mindestens sechs Magnetometern aufgenommen werden. Die magnetische Signatur können die Magnetfelddaten sein oder aus den Magnetfelddaten extrahierte Daten, die Charakteristika der Magnetfelddaten beschreiben.

[0040] Beim Passieren der quer zum Fahrweg befindlichen Messeinheit durch ein Fahrzeug wird die magnetische Signatur des Fahrzeugs gescannt. Anfang und Ende des Fahrzeugs werden dabei vorzugsweise an dem charakteristischen Verlauf der magnetischen Feldstärke detektiert.

[0041] Durch die bekannten Positionen der Zeilensensoren zueinander kann für beide ein einheitliches auf die Zeilensensoren bezogenes Koordinatensystem k_1 verwendet werden. Um die magnetische Signatur zu erhalten, werden die Magnetfelddaten in ein auf das Fahrzeug bezogenes Koordinatensystem k_2 umgerechnet. Dadurch wird die Ausrichtung des Fahrzeugs relativ zu den Zeilensensoren eliminiert. Eine etwaige Verkipfung der Zeilensensoren relativ zur Fahrbahn ist bei der Montage auf oder in der Fahrbahn bedingt durch die Beschaffenheit der Fahrbahn stark begrenzt. Bei Montage der Magnetometer oberhalb der Fahrbahn kann es hingegen zu größeren Abweichungen in der vertikalen Verkipfung kommen. In beiden Fällen können diese konstanten Abweichungen durch ein gemäß einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehenes Kalibrieren eliminiert werden.

[0042] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Verfahren daher den Schritt des automatischen Kompensierens eines Einflusses eines Gierwinkels α zwischen einer Soll-Fahrtrichtung und einer Ist-Fahrtrichtung eines Fahrzeugs, dessen Einfluss auf das von den Zeilensensoren erfasste Magnetfeld erfasst wird. Eine Möglichkeit zum Kompensieren des Gierwinkels α wird weiter unten beschrieben.

[0043] Vorzugsweise besitzt die Fahrbahn eine Leitmarkierung, beispielsweise eine Fahrbahnmarkierung oder seitliche Leitbauwerke, die so angeordnet sind, dass die Fahrzeuge im Wesentlichen rechtwinkelig zu den Zeilensensoren fahren. Unter dem Merkmal, dass die Fahrzeuge im Wesentlichen senkrecht nicht zu den Zeilensensoren fahren, wird insbesondere verstanden, dass es möglich, nicht aber notwendig ist, dass die Fahrzeuge im streng mathematischen Sinne senkrecht zu den Zeilensensoren fahren. Insbesondere sind Abweichungen von beispielsweise plus $\pm 5^\circ$ tolerabel.

[0044] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Verfahren den Schritt eines Erfassens von Magnetometerdaten von zumindest drei Magnetometern, die entlang einer dritten Geraden angeordnet sind und einen dritten magnetischen Zeilensensor bilden, wobei die dritte Gerade entlang der ersten Geraden verläuft. In anderen Worten können drei, vier, fünf oder mehr Zeilensensoren nebeneinander entlang der Fahrbahn platziert werden. Zur Erfüllung der erfindungsgemäßen Identifikation von Fahrzeugen reichen bereits zwei Zeilensensoren aus.

[0045] Vorzugsweise umfasst das Verfahren die folgenden Schritte: (i) Erfassen einer magnetischen Starrteil-Signatur von nicht-rotierenden Komponenten des Fahrzeugs aus dem Magnetfelddatensatz und (ii) Identifizieren eines Fahrzeugtyps, insbesondere nur anhand der magnetischen Starrteil-Signatur. Es hat sich herausgestellt, dass das Identifizieren eines Fahrzeugs anhand der magnetischen Signatur mit besonders hoher Genauigkeit möglich ist, wenn nur die magnetische Starrteil-Signatur verwendet wird.

[0046] *Erfindungsgemäß ist zudem ein Verfahren zum Identifizieren von Fahrzeugen, mit den Schritten (a) Erfassen von Magnetfelddaten von mindesten sechs Magnetometern, sodass ein Magnetfelddatensatz erhalten wird, der zumindest ein in zumindest zwei Dimensionen orts aufgelöstes, vom Fahrzeug hervorgerufenen Magnetfeld beschreibt, und (b) Identifizieren eines Fahrzeugtyps und/oder eines Fahrzeugs anhand des Magnetfelddatensatzes, wobei das Identifizieren des Fahrzeugtyps und/oder des Fahrzeugs die folgenden Schritte umfasst: (i) Erfassen einer magnetischen Starrteil-Signatur von nicht-rotierenden Komponenten des Fahrzeugs aus dem Magnetfelddatensatz und (ii) Identifizieren eines Fahrzeugtyps, insbesondere nur anhand der magnetischen Starrteil-Signatur. Es ist dann vorteilhaft, nicht aber notwendig, dass, wie in Anspruch 1 ausgeführt, jeweils zumindest drei Magnetometer entlang jeweils einer Geraden angeordnet sind.*

[0047] *Erfindungsgemäß ist zudem eine Fahrzeug-Identifikationsvorrichtung zum Identifizieren von Fahrzeugen, mit zumindest 6 Magnetometern zum jeweiligen Erfassen von Magnetfeld Daten, wobei die Magnetfelddaten eine zeitliche Änderung eines statischen Magnetfelds beschreiben, und einer Auswerteschaltung, die ausgebildet ist zum automatischen Durchführen eines erfindungsgemäßen Verfahrens. Es ist vorteilhaft, nicht aber notwendig, dass jeweils 3 Magnetometer entlang einer Geraden angeordnet sind und jeweils einen Zeilensensor bilden.*

[0048] Starrteile sind zumeist die Komponenten des Fahrzeugs, die bei Fahrt des Fahrzeugs nicht rotieren. Insbesondere sind die Räder keine Starrteile. Der Grund hierfür ist, dass die magnetische Signatur der Räder vom Drehwinkel des jeweiligen Rads abhängt. Dieser ist jedoch zufällig. Wenn die magnetische Signatur auch solche Anteile hat, die von der Magnetisierung der Räder abhängt, kann bereits eine unterschiedliche Drehwinkelstellung der Räder dazu führen, dass Fahrzeuge falsch oder nicht identifiziert werden.

[0049] Vorzugsweise umfasst das Erfassen der magnetischen Starrteil-Signatur den Schritt des Ermitteln derjenigen Bereiche in den Magnetfelddaten, in denen das von den zumindest zwei Zeilensensoren gemessene Magnetfeld innerhalb einer vorgegebenen Fehlertoleranz ausschließlich durch eine Translation eines festen Magnetfeldwerts mit einer Fahrzeuggeschwindigkeit beschreibbar ist, sodass Starrteil-Bereiche erhalten werden.

[0050] Überquert das Fahrzeug den ersten Zeilensensor, so wird seine magnetische Signatur gescannt. Überquert das Fahrzeug den zweiten Zeilensensor, so haben sich die Starrteile des Fahrzeugs um eine Strecke weiterbewegt, die

in guter Näherung dem Abstand der beiden Zeilensensoren entspricht. Ein Punkt auf einer Lauffläche eines Rades hingegen hat einen Weg zurückgelegt, der sowohl positiv wie auch negativ von diesem Abstand abweichen kann. Die von den beiden Zeilensensoren gescannten magnetischen Signaturen stimmen daher nur in den Starrteil-Bereichen - im Rahmen der Messgenauigkeit - überein.

[0051] Alternativ oder zusätzlich umfasst das Erfassen der magnetischen Starrteil-Signatur die Schritte (i) Ermitteln von zumindest zwei Bereichen, in denen das von den zumindest zwei Zeilensensoren gemessene Magnetfeld nicht innerhalb der vorgegebenen Fehlertoleranz durch eine Translation eines festen Magnetfeldwerts mit einer Fahrzeuggeschwindigkeit beschreibbar ist, sodass zumindest vier Radbereiche erhalten werden, und (ii) danach Berechnen der Starrteil-Bereiche durch Maskieren der Radbereiche aus der orts aufgelösten Magnetisierung. Es ist in anderen Worten möglich, auch diese Bereiche zu bestimmen, die keine Starrteil-Bereiche sind und dann diese Bereiche aus dem Gesamtergebnis zu eliminieren.

[0052] Das Bestimmen der Starrteil-Signatur kann gemäß einer bevorzugten Ausführungsform unter der Randbedingungen erfolgen, dass die Bereiche, die keine Starrteil-Bereiche sind, eine Symmetrieachse haben.

[0053] Vorzugsweise umfasst das Berechnen der magnetischen Starrteil-Signatur die Schritte (i) Berechnen eines Differenzbilds aus einem Erstzeilensensorbild, das die orts aufgelöste Magnetisierung beschreibt, die vom ersten Zeilensensor gemessen wurde, und einem Zweitzeilensensorbild, das die orts aufgelöste Magnetisierung beschreibt, die vom zweiten Zeilensensor gemessen wurde, (ii) Bestimmen eines Binärbilds aus dem Differenzbild mittels eines Schwellenwertfilters, (iii) Bestimmen zumindest einer zusammenhängenden Fläche im Binärbild und (iv) Setzen der zumindest einen zusammenhängenden Fläche als Starrteil-Bereich oder als Radbereich gesetzt wird, hängt von der Wahl des Schwellenwertfilters ab. Die Bereiche, insbesondere Bildpunkte, in denen sich das Erstzeilensensorbild und das Zweitzeilensensorbild kaum unterscheiden, bilden den Starrteil-Bereich.

[0054] Der Schwellenwertfilter ist ein Filter, der einem Bildpunkt des Differenzbilds entweder einen ersten oder einen zweiten Wert zuweist, in der Regel 0 oder 1, je nachdem, wie stark der Bildpunkt von einem mittleren Bildpunkt abweicht. Der mittlere Bildpunkt kann beispielsweise der Median oder der Durchschnitt oder ein anderer Mittelwert aus den übrigen Bildpunkten sein. Ein solcher Schwellenwertfilter ist aus der Bildanalyse gut bekannt. Beispielsweise bewirkt das Anwenden des Schwellenwert Filters eine Flutfüllung.

[0055] Damit das Identifizieren des Fahrzeugs bei unterschiedlichen Fahrgeschwindigkeiten des Fahrzeugs mit geringer Unsicherheit möglich ist, umfasst das Identifizieren des Fahrzeugs anhand der Magnetfelddaten vorzugsweise die folgenden Schritte: (i) Skalieren einer Zeitkomponente der Magnetometerdaten, wobei die Zeitkomponente so gewählt ist, dass sie einem Überfahren des zumindest eine Magnetometers mit einer vorgegebenen Soll-Fahrgeschwindigkeit entspricht, und/oder Normieren einer Signalstärke der Magnetometerdaten, sodass ein skaliertes Magnetfelddatensatz erhalten wird, (ii) Auslesen von Referenz-Magnetfelddatensätzen aus einer Datenbank, die eine Vielzahl an Referenz-Magnetfelddatensätzen unterschiedlicher Fahrzeuge enthält, (iii) für die Referenz-Magnetfelddatensätze jeweils Bestimmen eines Ähnlichkeitsparameters, der eine Ähnlichkeit der skalierten Messfelddaten des Magnetfelddatensatzes mit den Referenz-Magnetfelddaten des Referenz-Magnetfelddatensatzes kodiert, und (iv) Identifizieren eines Fahrzeugs anhand des Ähnlichkeitsparameters. Die Referenz-Magnetfelddatensätze können auch als Referenz-Signaturen bezeichnet werden, die Magnetfelddatensätze als magnetische Signaturen.

[0056] Der Ähnlichkeitsparameter ist eine Zahl, die beschreibt, wie ähnlich die magnetische Signatur des Fahrzeugs der jeweiligen gespeicherten Signatur ist. Liegt der Ähnlichkeitsparameter in einem vorgegebenen Intervall, wird das Fahrzeug als dasjenige Fahrzeug identifiziert, mit dem die Referenz-Magnetfelddaten verknüpft sind.

[0057] Der skalierte Magnetfelddatensatz ist eine magnetische Signatur. Wird - wie gemäß einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen - anhand des skalierten Magnetfelddatensatzes die Starrteil-Signatur berechnet, ist die Starrteil-Signatur die magnetische Signatur. Die Ähnlichkeit der gespeicherten Referenz-Starrteil-Signaturen mit dieser Signatur, die mit dem Ähnlichkeitsparameter kodiert ist, wird bestimmt.

[0058] Das erfindungsgemäße Verfahren und die erfindungsgemäße Fahrzeug-Identifikationsvorrichtung sind besonders vorteilhaft einsetzbar bei der Erfassung, ob ein Fahrzeug die Berechtigung hat, einen Abschnitt der Fahrbahn zu passieren. Beispielsweise besitzt die Fahrbahn einen Abschnitt, der von Fahrzeugen oberhalb einer maximal zulässigen Gesamtmasse nicht befahren werden darf. Es ist dann vorteilhaft, solche Fahrzeuge zu detektieren, deren Masse oberhalb der maximal zulässigen Gesamtmasse liegt. Alternativ oder zusätzlich kann die Fahrbahn zu einem Gebäude, beispielsweise einem Parkhaus führen, zu dem nur berechtigte Fahrzeuge Zufahrt haben sollen. In diesem Fall ist es wünschenswert, dass anhand der magnetischen Signatur nur berechtigte Fahrzeuge durchgelassen werden.

[0059] Gemäß einer bevorzugten Ausführungsform umfasst das Verfahren daher die Schritte (i) Erfassen eines Berechtigungsparameters, der mit dem Referenz-Magnetfelddatensatz verknüpft ist, der das Fahrzeug identifiziert und (ii) Abgeben eines Signals an eine Zufahrtsfreigabevorrichtung, sodass diese einen Fahrweg für das Fahrzeug (a) freigibt, wenn der Berechtigungsparameter die Berechtigung dazu kodiert, und (b) nicht freigibt, wenn der Berechtigungsparameter die Berechtigung dazu nicht kodiert. Das Signal ist beispielsweise ein Steuersignal, das eine Zufahrtfreigabevorrichtung ansteuert. Die Zufahrtfreigabevorrichtung ist eine Vorrichtung zum Behindern oder Verhindern der Weiterfahrt,

beispielsweise eine Schranke oder ein Tor.

[0060] Vorzugsweise beschreiben die Magnetfelddaten das Magnetfeld in zumindest zwei Dimensionen, insbesondere in drei Dimensionen. Unter dem Merkmal, dass die Magnetfelddaten das Magnetfeld in zumindest zwei Dimensionen beschreiben, wird insbesondere verstanden, dass zumindest zwei unabhängige Raumkomponenten des Magnetfelds, das ein Vektorfeld ist, gemessen werden. Die Raumkomponenten werden jeweils zeitabhängig gemessen. Die dritte Raumkomponente ist die Normalkomponente, also die Komponente, die senkrecht auf einer Ausgleichsebene durch die Fahrbahn im Bereich der Zeilensensoren steht. Vorzugsweise ist die dritte Raumkomponente zudem die Vertikal-

komponente.

[0061] Zum Messen der Vertikalkomponente besitzt die Fahrzeug-Identifikationsvorrichtung vorzugsweise einen dritten Zeilensensor, der auf einer anderen Höhe angeordnet ist als zumindest einer der anderen Zeilensensoren.

[0062] Vorzugsweise umfasst das Verfahren die Schritte (i) Auslesen einer maximal zulässigen Gesamtmasse des anhand seiner magnetischen Signatur identifizierten Fahrzeugs aus einer Datenbank anhand des Ähnlichkeitsparameters oder des Fahrzeugtyps, und (ii) Senden eines Signal an die Zufahrtsfreigabevorrichtung, das von der Gesamtmasse abhängt und/oder Senden eines Signals, das die Gesamtmasse kodiert, an eine Überwachungsvorrichtung. Ergibt beispielsweise das Auslesen der maximal zulässigen Gesamtmasse des identifizierten Fahrzeugs, dass diese oberhalb einer vorgegebenen Maximal-Gesamtmasse liegt, so wird ein Signal an die Zufahrtfreigabevorrichtung gesendet, das bewirkt, dass die Weiterfahrt des Fahrzeugs blockiert wird. Mit dem erfindungsgemäßen Verfahren kann beispielsweise eine Brücke davor geschützt werden, von zu schweren Fahrzeugen befahren zu werden. Das Signal kann auch ein optisches, akustisches und/oder elektronisches Warnsignal sein. Beispielsweise signalisiert das Signal dem Fahrer des Fahrzeugs, dass eine Weiterfahrt verboten ist oder dass eine Weiterfahrt eingeschränkt möglich ist. Beispielsweise kann das Signal einen Mindestabstand und/oder eine Höchstgeschwindigkeit.

[0063] Je stärker ein Fahrzeug beladen ist, desto tiefer liegt es. In anderen Worten ist der Abstand der Starrteile von der Fahrbahn umso kleiner, je größer die Masse des Fahrzeugs ist. Je kleiner der Abstand der Starrteile von der Fahrbahn ist, desto größer ist das von den Zeilensensoren gemessene Magnetfeld. Vorzugsweise umfasst das Verfahren daher die Schritte (a) Bestimmen eines Signalintensitätsparameters, der eine Stärke des Magnetfelds kodiert, aus den Magnetfelddaten und (b) Bestimmen der Gesamtmasse aus dem Signalintensitätsparameter und dem skalierten Magnetfelddatensatz.

[0064] Eine Abtastfrequenz zumindest eines, insbesondere einer Mehrzahl, vorzugsweise aller, Magnetometer beträgt vorzugsweise zumindest 50 Hertz.

[0065] Für die Mehrzahl der Magnetometer, insbesondere aller Magnetometer, eines Zeilensors gilt vorzugsweise, dass ein Abstand benachbarter Magnetometer höchstens 30 Zentimeter, insbesondere höchstens 20 cm, vorzugsweise höchstens 10 cm, beträgt.

[0066] Eine erfindungsgemäße Fahrzeug-Identifikationsvorrichtung besitzt vorzugsweise eine Uhr zum Bestimmen der Zeit. Es kann sich dabei um die absolute Zeit oder eine Maschinenzeit, beispielsweise gemessen als Zeitinkrement ab einem vorgegebenen Zeitpunkt, handeln.

[0067] Um eine möglichst hohe Identifikationswahrscheinlichkeit zu erhalten, ist es vorteilhaft, die Magnetfelddaten auf eine vorgegebene Soll-Fahrgeschwindigkeit zu normieren. Die so erhaltenen eskalierten Magnetfelddaten sind dann unabhängig von der Schnelligkeit, mit der das Fahrzeug über die Zeilensensoren gefahren ist. Vorzugsweise ist die Auswerte-Schaltung daher ausgebildet zum Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten (i) Bestimmen einer Ist-Fahrzeuggeschwindigkeit aus den Magnetfelddaten von zwei der entlang der Geraden angeordneten Magnetometern, und (ii) Skalieren der Zeitkomponente der Magnetfelddaten des Magnetfelddatensatzes, wobei die Zeitkomponente so gewählt ist, dass sie einem Überfahren des zumindest einen Magnetometers mit der vorgegebenen Soll-Fahrgeschwindigkeit entspricht, anhand der Ist-Fahrzeuggeschwindigkeit.

[0068] Günstig ist es, wenn zumindest die drei entlang einer Geraden angeordneten Magnetometer auf gleicher Höhe angeordnet sind. Unter dem Merkmal, dass die Magnetometer auf gleicher Höhe angeordnet sind, wird insbesondere verstanden, dass es möglich, nicht aber notwendig ist, dass die Magnetometer streng mathematisch auf der gleichen Höhe angeordnet sind. Insbesondere sind Abweichungen von höchstens 30 cm, bzw. höchstens 20 cm, besonders bevorzugt höchstens 10 cm von der idealen Anordnung auf der gleichen Höhe möglich. Die Höhe wird als Abstand zur Ausgleichsebene durch die Fahrbahn im Bereich des entsprechenden Zeilensors bestimmt.

[0069] Vorzugsweise sind zumindest drei Magnetometer auf einer zweiten Höhe angeordnet sind, die sich von der ersten Höhe um eine Höhendifferenz unterscheidet. Die Höhendifferenz beträgt vorzugsweise höchstens 50 cm, insbesondere höchstens 30 cm. Vorzugsweise ist die Höhendifferenz größer als 4 cm, insbesondere größer als 10 cm.

[0070] Ein erfindungsgemäßes Bauwerk weist vorzugsweise eine Zufahrtsfreigabevorrichtung zum Behindern oder Freigeben der Fahrbahn auf. Die Fahrzeug-Identifikationsvorrichtung ist vorzugsweise ausgebildet zum automatischen Ansteuern der Zufahrtsfreigabevorrichtung in Abhängigkeit von einer Durchfahrberechtigung, die von der Identifikation des Fahrzeugs abhängt.

[0071] Im Folgenden wird die Erfindung anhand der beigefügten Zeichnungen näher erläutert. Dabei zeigt

Figur 1 ein einzelnes Zeilensensor-Modul auf einer gemeinsamen Platine 11 mit acht Magnetometern,

Figur 2a die nicht maßstabsgetreue Anordnung von zwei Zeilensensoren in einer Fahrbahn,

5 Figur 2b die Anordnung (nicht maßstabsgetreu) von zwei Zeilensensoren auf einer Fahrbahn,

Figur 3a ein Erstzeilensensorbild, das das von einem Fahrzeug hervorgerufene Magnetfeld zeigt, das vom ersten Zeilensensor gemessen wurde, wobei der Gierwinkel null ist, und

10 Figur 3b das Erstzeilensensorbild bei einem von null verschiedenen Gierwinkel.

[0072] Figur 1 zeigt eine Fahrzeug-Identifikationsvorrichtung 1 mit einem Zeilensensor 10, der im vorliegenden Fall acht, beispielsweise auf einer gemeinsamen Platine 11 angeordneten Magnetometer 12.j ($j = 1, \dots, 8$), hier in Form vektorieller Dünnschicht-Magnetometer. Es können mehr oder weniger Magnetometer 12 vorhanden sein. Die Magnetometer 12.j sind entlang einer ersten Geraden G1 angeordnet. Ein Abstand d_{12} zwischen zwei benachbarten Magnetometern beträgt $d = 5$ cm.

[0073] Die Fahrzeug-Identifikationsvorrichtung 1 besitzt eine Auswertschaltung 13 in Form eines Mikrocontrollers und zugehöriger Logikbausteine, die im vorliegenden Fall ebenfalls auf der Platine angeordnet ist, was aber optional ist.

[0074] Zur Kaskadierung der Sensoren, der Kommunikation mit mindestens einem zweiten Zeilensensor, der Ausgabe der Daten und zur Stromversorgung besitzt der Zeilensensor 10 zumindest eine Steckverbindung 14.

[0075] Figur 2a zeigt die nicht maßstabsgetreue Anordnung von mindestens zwei Zeilensensoren 20.i ($i = 1, 2$) auf einer Fahrbahn 21 in Draufsicht. Ein Fahrzeug 22, im vorliegenden Fall ein Personenkraftwagen, fährt dabei mit einer Geschwindigkeit v über die Zeilensensoren 20.1 und 20.2.

[0076] Figur 2a zeigt ein Koordinatensystem k_1 der Zeilensensoren 20.i, ein auf das Fahrzeug 22 bezogenes Koordinatensystem k_2 und einen Gierwinkel α . Dieser Gierwinkel α existiert zwischen dem Geschwindigkeitsvektor $\vec{v}$ und der Geraden G1 und damit zwischen den Koordinatensystemen k_1 und k_2 .

[0077] Figur 2b zeigt die nicht maßstabsgetreue Anordnung von zwei Zeilensensoren 20.i mit einem Abstand d zueinander auf der Fahrbahn 21 in Seitenansicht. Das Fahrzeug 22 überfährt dabei die Zeilensensoren (20.1, 20.2) in einer Höhe h .

[0078] Jedes Magnetometer 12.j liefert Messdaten, die Magnetometerdaten genannt werden und zeitaufgelöst bis zu drei Komponenten (x-, y-, z-Komponente) eines Magnetfelds $\vec{B}(x,y,z)$ beschreiben.

[0079] Die Gesamtheit der Magnetometerdaten bilden einen Magnetfelddatensatz. Aus diesem ist das Magnetfeld $\vec{B}(x,y,z)$ unter dem Fahrzeug 22 berechenbar.

[0080] Der Aufnahmevorgang wird zu einem Zeitpunkt t_0 ausgelöst. Beispielsweise beginnt der Aufnahmevorgang beim Überschreiten eines Schwellwertes für das gemessene Magnetfeld eines Magnetometers oder aufgrund eines externen Startsignals, beispielsweise aufgrund des Auslösens eines anderen Senders wie einer Lichtschranke, der Teil der Fahrzeug-Identifikationsvorrichtung sein kann. Die Magnetometerdaten der Zeilensensoren 20.i können als Messdatenmatrix, beispielsweise der Form

$$\mathbf{m}^{(i,j)}[t_0 \dots t_{end}, 1 \dots N] = \begin{pmatrix} B_{j,1,t_0}^{(i)} & \dots & B_{j,1,t_{end}}^{(i)} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{j,N,t_0}^{(i)} & \dots & B_{j,N,t_{end}}^{(i)} \end{pmatrix}$$

mit $j \in \{x, y, z\}$ und $\mathbf{m}^{(i,j)} \in \mathbb{R}^{N \times t_{end} - t_0}$ dargestellt werden. Darin ist t_{end} der Endzeitpunkt der Vermessung.

[0081] Die Messung ist beispielsweise abgeschlossen, wenn das gemessene Magnetfeld für alle Magnetometer für eine vorgegebene Zeit unter einen vorgegebenen Schwellenwert fällt, oder nach Ablauf einer bestimmten Zeit.

[0082] Eine maximale Messdauer kann für einen gegebenen Anwendungsfall anhand der maximal erwarteten Fahrzeuglänge l_{max} und einer minimalen Geschwindigkeit v_{min} abgeschätzt werden zu $t_{end} = t_0 + l_{max}/v_{min}$. Für den Anwendungsfall einer Zufallskontrolle wäre dies beispielsweise Schrittgeschwindigkeit mit $v_{min} = 4$ km/h. Die Matrix des Magnetfeldbetrags ist entsprechend:

$$\mathbf{m}^{(i)}[t_0 \dots t_{end}, 1 \dots N]$$

$$= \begin{pmatrix} \sqrt{B_{x,1,t_0}^{(i)2} + B_{y,1,t_0}^{(i)2} + B_{z,1,t_0}^{(i)2}} & \dots & \sqrt{B_{x,1,t_{end}}^{(i)2} + B_{y,1,t_{end}}^{(i)2} + B_{z,1,t_{end}}^{(i)2}} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \sqrt{B_{x,N,t_0}^{(i)2} + B_{y,N,t_0}^{(i)2} + B_{z,N,t_0}^{(i)2}} & \dots & \sqrt{B_{x,N,t_{end}}^{(i)2} + B_{y,N,t_{end}}^{(i)2} + B_{z,N,t_{end}}^{(i)2}} \end{pmatrix}$$

[0083] Da die mindestens zwei Zeilensensoren zueinander beabstandet sind, ergibt sich eine zeitliche Verschiebung

$$\Delta t = \frac{d}{v} + \psi$$

zwischen den bis zu dreikomponentigen (x-, y-, z-Komponente) Magnetfeldmesswerten der beiden Zeilensensoren $\mathbf{m}^{(1,j)}$ und $\mathbf{m}^{(2,j)}$. Der zusätzliche Summand ψ berücksichtigt dabei technisch bedingte Verschiebungen, insbesondere durch einen Versatz im Abtastzeitpunkt der Zeilensensoren und muss zum Messzeitpunkt bekannt sein.

[0084] Diese Magnetometer 12 können zu einem Zeitpunkt t entweder Magnetometerdaten in nur einer, zwei oder drei räumlichen Dimensionen erfassen. Zur Vereinfachung wird hier der allgemeine Fall für dreikomponentige Messungen beschrieben. Δt ist dabei proportional zum Abstand der Sensoren d und der Geschwindigkeit v des Fahrzeugs 22.

[0085] Zusätzlich zu einer zeitlichen Verschiebung kann es beispielsweise bei einer hinreichend schrägen Überfahrt der Zeilensensoren durch das Fahrzeug 22 zu einer räumlichen Verschiebung Δn der Signatur kommen. Die zeitliche und räumliche Verschiebung kann bei gegebener Zeitbasis beispielsweise direkt durch einen Vergleich der zeitlich aufgelösten Messreihen $\mathbf{m}^{(1)}$ und $\mathbf{m}^{(2)}$ beispielsweise mit Hilfe eines Verfahrens basierend auf der Berechnung der 2D Korrelation nach Pearson bestimmt werden. Dabei ist irrelevant, in welcher Richtung das Fahrzeug 22 die Zeilensensoren 20. i überquert. Bei beispielhafter Verwendung eines Korrelationsverfahrens nach Pearson resultiert dies in einem Vorzeichenwechsel der zeitlichen Verschiebung Δt .

[0086] Die Geschwindigkeit des Fahrzeugs 22 kann zeitabhängig sein. Um dies zu berücksichtigen, ist es gemäß einer bevorzugten Ausführungsform vorgesehen, zur Korrelationsanalyse die Messreihen $\mathbf{m}^{(1)}$ und $\mathbf{m}^{(2)}$ in Subintervalle aufzuteilen und beispielsweise mittels eines Schiebefenster (sliding window)-basierten Ansatz eine zeitaufgelöste Verschiebung $\Delta t(t)$ zu erhalten.

[0087] Die räumliche Verschiebung Δn wird als zeitlich konstant angenommen, da davon ausgegangen wird, dass das Fahrzeug die Zeilensensoren 20.j zwar schräg, aber linear überquert. Dadurch wird ein vektoriell Geschwindigkeitsprofil $\vec{v}(t)$ bestimmt. Da der überfahrene Weg x und der Summand ψ bekannt sind bzw. im Rahmen einer Kalibrierung bestimmt werden können, lässt sich direkt die Geschwindigkeit des Fahrzeugs $v(t) = x/(\Delta t(t) - \psi)$ bestimmen. Der Weg

ergibt sich dabei gemäß $x = \sqrt{d^2 + (\Delta n * \Delta t)^2}$, wobei d der Abstand zwischen zwei Zeilensensoren ist und Δt der Abstand von zwei benachbarten Magnetometern in einem Zeilensensor ist. Aus der vektoriellen Geschwindigkeit lässt sich der Gierwinkel α bestimmen.

[0088] Da die Magnetfeldmessung $\mathbf{m}^{(1,j)}$ sowohl zeitlich auch als räumlich aufgelöst ist, lassen sich mithilfe typischer Bildbearbeitungsverfahren charakteristische Bauteile, beispielsweise Räder, eines Fahrzeugs identifizieren (siehe Figur 3a). Dadurch kann die Rate an Fehldetektionen durch Störungen (Tiere, Schubkarre, Fahrrad, etc.) signifikant verringert werden.

[0089] Das Fahrzeug 22 hat Räder 23.k. Das von den Rädern 23.k am jeweiligen Magnetometer hervorgerufene Magnetfeld variiert je nach Drehwinkel des jeweiligen Rads. Daher ist die magnetische Signatur der Räder in der Regel unterschiedlich zwischen räumlich beabstandeten Zeilensensoren. Die magnetische Signatur der starren Komponenten des Fahrzeugs ist hingegen identisch zwischen den Zeilensensoren. In anderen Worten werden solche Komponenten des Fahrzeugs als starre Komponenten betrachtet, für die gilt, dass deren magnetische Signatur identisch zwischen den Zeilensensoren ist. Bewegliche Komponenten lassen sich daher in der Differenz der magnetischen Messdaten beabstandeter Zeilensensoren eindeutig identifizieren.

[0090] Bei Berechnung der Differenz muss sowohl die zeitliche Verschiebung $\Delta t(t)$ als auch die räumliche Verschiebung Δn berücksichtigt werden, welche in einem vorherigen Schritt z. B. mit einer 2D-Kreuzkorrelation bestimmt werden können.

[0091] Sind $\Delta t(t)$ und Δn bekannt, ergibt sich die Differenz zu einem anderen Zeilensensor 20.g, die als Differenzbild D bezeichnet wird, zu

$$d\mathbf{m}^{(i-g,j)} = \mathbf{m}^{(i,j)}[t_0 \dots t_{end} - \Delta t(t), 1 \dots N - \Delta n] - \mathbf{m}^{(g,j)}[t_0 + \Delta t(t) \dots t_{end}, \Delta n \dots N],$$

wobei $d\mathbf{m}^{(i-g)}$ die Matrix des Magnetfeldbetrag von $d\mathbf{m}^{(i-g,j)}$ ist.

[0092] Abhängig von der Bewegungsrichtung des Fahrzeugs können sich die Vorzeichen von $\Delta t(t)$ und Δn ändern. Bei einer Änderung des Vorzeichens von $\Delta t(t)$ bzw. Δn müssen in der obigen Formel die entsprechenden Argumente der Zeilensensoren 20.i und 20.g getauscht werden.

[0093] Zur anschließenden Detektion der Räder 23.k wird zuerst das Differenzbild über eine Schwellwertdetektion in eine binäre Matrix B gemäß

$$B_{a,b} = \begin{cases} 1, & \text{für } dm_{a,b}^{(i-g)} > \tau \\ 0, & \text{sonst} \end{cases}$$

überführt, wobei τ ein gegebener Schwellwert ist. Die Wahl des Schwellwerts τ ist abhängig von den gemessenen Magnetfelddaten und wird für jede Messung individuell bestimmt. Beispielsweise kann dies über folgende Vorschrift erfolgen

$$\tau = \text{MED} + 3 * 1,4826 * \text{MAD},$$

welche typischerweise für Schwellwertdetektion von Differenzbildern benutzt wird. MED entspricht dem Median aller Messwerte

$$\text{MED} = \text{median}_{a,b} \left(dm_{a,b}^{(i-g)} \right)$$

und MAD entspricht dem Median der absoluten Abweichung der Messwerte von MED

$$\text{MAD} = \text{median}_{a,b} \left(\left| dm_{a,b}^{(i-g)} - \text{MED} \right| \right).$$

[0094] In der binären Matrix B werden alle zusammenhängenden Flächen beispielsweise mit einer, aus der Computergraphik bekannten, Flutfüllung identifiziert. An diese Flächen werden Ellipsen der Form

$$\frac{(n-c_n)^2}{a^2} + \frac{(t-c_t)^2}{b^2} = 1,$$

mit dem Mittelpunkt der Ellipse (c_t, c_n) und den Halbachsen a und b, gefittet. Das Fitten kann z. B. mit dem Levenberg-Marquardt-Algorithmus durchgeführt werden. Um die Signaturen der Räder von anderen Störeinflüssen zu unterscheiden, werden Bedingungen an die Form und Position der Ellipsen gestellt. Zum einen wird überprüft, ob die Halbachsen der Ellipsen sich in Bereichen typisch für Räder befinden. Weiterhin können anhand der Anzahl der identifizierten Räder Rückschlüsse auf den Fahrzeugtyp gezogen werden (Pkw, Lkw, Motorrad, dreirädrige Kraftfahrzeuge). Dabei müssen bei Pkw und Lkw die Mittelpunkte der Räder ungefähr auf einem Trapez liegen und bei dreirädrigen Kraftfahrzeugen zumeist auf einem Dreieck, bei dem alle Innenwinkel $< 90^\circ$ sind.

[0095] Anhand der Fahrzeugquerachsen bzw. der Fahrzeuglängsachsen, die durch die Mittelpunkte der identifizierten Räder verlaufen, lässt sich der Gierwinkel α mit hoher Genauigkeit bestimmen. Ist $\vec{e}_q$ die Richtung einer identifizierten Fahrzeugquerachse und $\vec{e}_s$ die Richtung der Längsachse des Zeilensensors, so ergibt sich der Gierwinkel α durch $\alpha = \cos^{-1}(\vec{e}_q \cdot \vec{e}_s)$, wobei $\vec{e}_q \cdot \vec{e}_s$ das Skalarprodukt ist. Für die Fahrzeuglängsachse und die Sensorquerachse funktioniert das Verfahren analog. Durch unabhängige Berechnung des Gierwinkels α für alle identifizierten Achsen und anschließender Mittelwertbildung lässt sich der Fehler aufgrund von Messunsicherheiten deutlich verringern.

[0096] Da die Radbereiche für eine Identifizierung nicht genutzt werden können, werden sie in den Messdaten maskiert. Das Maskieren kann beispielsweise realisiert werden indem die Werte der Matrizen für die betroffenen Bereiche auf einen konstanten Wert c gesetzt werden:

$$m_{p,q}^{(i,j)'} = \begin{cases} c, & \text{für } B_{q,p} = 1 \\ m_{p,q}^{(i,j)}, & \text{sonst} \end{cases}$$

5

[0097] Um eine vergleichbare magnetische Signatur unabhängig von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs aus diesen Messreihen zu erhalten, wird die zeitliche Streckung bzw. Stauchung durch die Geschwindigkeit des Fahrzeugs berücksichtigt.

10

[0098] Bereiche des Magnetfelds, welche durch bewegliche Komponenten erzeugt werden, werden vorzugsweise maskiert. Dadurch kann eine vergleichbare magnetische Signatur des Fahrzeugs bestimmt werden. Da die räumliche Auflösung längs des Autos von der Geschwindigkeit abhängig und damit zwischen Messungen variabel ist, kann die Messdatenmatrix auf eine vordefinierte Auflösung überführt werden.

[0099] Dazu wird abhängig von der Geschwindigkeit des Fahrzeugs $v(t)$ eine magnetische Fingerabdruck-Matrix

15

$\mathbf{F}^{(i,j)} \in \mathbb{R}^{W \times N}$ für die bis zu drei Komponenten $j \in \{x, y, z\}$ des Magnetfelds aus den zeitabhängigen Magnetfeldmesswerten $m^{(i,j)}$ des i -ten Zeilensensors mithilfe von Interpolationsalgorithmen bestimmt, wobei $n = 1 \dots N$ die Anzahl der Magnetometer ist und $w = 1 \dots W$ die vorgegebene Anzahl der räumlichen Messpunkte in Fahrtrichtung des Fahrzeugs. Die Fingerabdruck-Matrix wird als Binärbild bezeichnet. Das Binärbild erlaubt die Erkennung der Starrteilkomponenten.

20

[0100] W ergibt sich dabei aus der typischen räumlichen Auflösung $\Delta x = \bar{v}/\bar{f}$ bei einer für den Anwendungsfall typischen Geschwindigkeit des Fahrzeugs $\bar{v}$ und einer typischen Abtastrate der Magnetometer $\bar{f}$ zu $W = l_{\max}/\Delta x$, wobei $l_{\max}$ eine obere Grenze für die Länge der zu erfassenden Fahrzeuge ist. In einer möglichen Ausführung kann die Fingerabdruck-Matrix $\mathbf{F}^{(i,j)}$ nach geeigneter Vorprozessierung, beispielsweise durch Mittelwertbildung über alle Zeilensensoren i zu einer gemeinsamen magnetischen Fingerabdruck-Matrix $\mathbf{F}^{(j)}$ zusammengefügt werden.

25

[0101] Bei der Verwendung von vektoriellen Magnetometern kann bevorzugt der Mittelwert der Absolutbeträge der jeweils zusammengehörigen Elemente der magnetischen Fingerabdruck-Matrix $\mathbf{F}$ bestimmt werden. Die Mittelwertbildung vermindert dabei zusätzlich die Messungenauigkeit. Analog wird auch die binäre Matrix $\mathbf{B}$ durch Interpolation in

eine Matrix $\tilde{\mathbf{B}} \in \mathbb{R}^{W \times N}$ überführt.

30

[0102] Für einen anschließenden Vergleich mit Referenz-Signaturen in einer Datenbank ist es vorteilhaft, wenn die magnetische Signatur $\mathbf{F}$ an einer entsprechenden Referenz $\mathbf{F}_{ref}$ z.B. durch eine 2D-Kreuzkorrelation ausgerichtet wird. In den Referenz-Signaturen $\mathbf{F}_{ref}$ sind die Signaturen beweglicher Komponenten insbesondere bereits maskiert. Dies erleichtert den Vergleich der erfassten magnetischen Fingerabdrücke, auch wenn verschiedene Varianten der Zeilensensoren zum Einsatz kommen.

35

[0103] Analog wird auch die Matrix $\tilde{\mathbf{B}}$ an $\mathbf{F}_{ref}$ ausgerichtet. Alle Flächen, die in der binären Matrix $\tilde{\mathbf{B}}$ mit 1 markiert wurden, werden für die Identifizierung des Fahrzeugs sowohl in dem gemessenen magnetischen Fingerabdruck $\mathbf{F}$ als auch in den Referenzen $\mathbf{F}_{ref}$ ausgelassen.

[0104] Da sich diese Segmente des magnetischen Fingerabdrucks bei der Überfahrt von mindestens zwei beabstandeten Zeilensensoren verändert haben, können sie für eine Identifizierung nicht genutzt werden. Dies ist insbesondere der Fall für bewegliche Komponenten des Fahrzeugs, aber auch für Störeinflüsse. Letztere können beispielsweise magnetische Objekte sein, welche sich während der Überfahrt der Zeilensensoren relativ zum Fahrzeug bewegen und damit den magnetischen Fingerabdruck verfälschen. Bei der Maskierung wird analog zu dem Fall der Radmaskierung vorgegangen.

40

[0105] Durch diesen Ansatz ist das System robust gegenüber Störeinflüssen oder Täuschungsversuchen und liefert

45

die nötige Genauigkeit, um z. B. Zufahrtskontrollen zu realisieren. Die Matrix $\tilde{\mathbf{F}}$ wird dann mit Referenzen $\mathbf{F}'_{ref}$ in einer Datenbank, vorzugsweise durch eine Korrelationsanalyse verglichen. Ein Vergleich gilt dann als positiv, wenn beispielsweise der Pearson Korrelationskoeffizient einen Schwellwert von $r_T = 0.9$ überschreitet. Ist dies der Fall für mehrere

50

Referenzen $\mathbf{F}'_{ref}$, so wird die Referenz mit dem größten Pearson Korrelationskoeffizienten ausgewählt.

55

[0106] Die Amplitude des erfassten magnetischen Fingerabdrucks skaliert dabei in einer Dipolnäherung mit $\frac{1}{h^3}$, wobei h der vertikale Abstand zwischen den Zeilensensoren und dem Fahrzeug ist. Anhand der detektierten Achsen bzw. Räder kann mit Hilfe einer Datenbank auf den Fahrzeugtyp geschlossen werden. Abhängig davon lässt sich aus einer Datenbank auch die zulässige Gesamtmasse bestimmen und damit am Messort das zulässige Gesamtgewicht. Aus der Höhe kann dann auf das tatsächliche Gesamtgewicht des Fahrzeugs geschlossen werden, da die Federkonstante des Fahrzeugs bekannt ist und vorzugsweise in der Datenbank ebenfalls gespeichert ist. Dazu kann, selbst wenn

für das spezifische Fahrzeug keine bekannte Signatur aus einer Datenbank oder Ähnlichem vorhanden ist, zum Vergleich eine mittlere Feldstärke für den jeweiligen Fahrzeugtyp verwendet werden. Ist für das Fahrzeug bereits ein Fingerabdruck bekannt, kann durch einen Vergleich der Amplituden eine deutlich genauere Bestimmung des Gesamtgewichts erfolgen. Insbesondere ist es dadurch möglich eine Überladung von typischen Fahrzeugtypen zu detektieren um insbesondere

eine Verkehrsüberwachung zu realisieren.
[0107] Vorteilhaft an der Erfindung ist, dass auch eine Identifikation möglich ist, wenn die Messeinheit bzw. ein Zeilensensor nicht vollständig vom Fahrzeug passiert wurde. Dies kann z.B. bei Stellplätzen, Rampen oder Zufahrten aufgrund der Beschaffenheit der Fahrzeuge oder der baulichen Gegebenheiten der Fall sein. Die Teilsignatur kann dann trotzdem, unter Berücksichtigung der nicht vollständigen Erfassung, mit einem bereits bekannten vollständig erfassten Fingerabdruck abgeglichen werden. Zur Verbesserung der Detektionsgenauigkeit ist auch eine Kombination mit anderen Sensorsystemen, z. B. optischen Systemen möglich.

[0108] Die Erfindung kann besonders vorteilhaft zur Identifikation von Fahrzeugen bei Einlasskontrollen eingesetzt werden. Dazu werden beispielhaft folgende Verfahrensschritte durchgeführt:

1. Start der Aufnahme einer magnetischen Signatur durch einen Auslöser, z. B. das Überschreiten eines Schwellwerts im Magnetfeld.
2. Vermessen einer magnetischen Signatur $m^{(1,j)}$ und $m^{(2,j)}$ durch mindestens zwei in der erwarteten Fahrtrichtung zueinander beabstandete Zeilensensoren. Die Vermessung ist abgeschlossen, wenn das gemessene Magnetfeld wieder auf einen zuvor bestimmten und ungestörten Grundzustand zurückfällt, oder nach Ablauf einer bestimmten Zeit.
3. Bestimmen der räumlichen und zeitlichen Verschiebung der magnetischen Signaturen zwischen den Zeilensensoren z. B. mithilfe einer 2D-Kreuzkorrelation und anschließende Berechnung eines vektoriellen Geschwindigkeitsprofils $\vec{v}(t)$. Zusätzlich kann eine Konsistenzprüfung stattfinden, indem die Signaturen $m^{(1,j)}$ und $m^{(2,j)}$ auf ihre Ähnlichkeit, ausgedrückt z. B. durch den normalisierten Pearson Korrelationskoeffizienten, überprüft werden. Liegt der Koeffizient unterhalb eines Schwellwertes (< 0.7), wird eine Fehlermeldung ausgegeben.
4. Identifikation veränderlicher Bereiche im Differenzsignal $dm^{(1-2)}$ durch eine Schwellwertdetektion und Berechnung einer binären Matrix B.
5. Identifikation der Fahrzeugräder in der binären Matrix B.
6. Bestimmung des Gierwinkels α anhand der Fahrzeugquerachsen bzw. der Fahrzeuglängsachsen, die durch die Mittelpunkte der identifizierten Räder verlaufen (siehe Figuren 2 und 5).
7. Korrektur der Magnetfeldmessungen und der binären Differenzmatrix B um den Gierwinkel α , beispielsweise durch Anwendung einer geeigneten Drehmatrix.
8. Umrechnung der Magnetfeldmessungen Signatur $m^{(1,j)}$ und $m^{(2,j)}$ in magnetische Fingerabdrücke $F^{(1,j)}$ und $F^{(2,j)}$ mithilfe des Geschwindigkeitsprofils $\vec{v}(t)$ und Interpolationsalgorithmen. Anschließend Mittelwertbildung $F = (F^{(1)} + F^{(2)})/2$.
9. Übermittlung des finalen magnetischen Fingerabdrucks F und der binären Matrix $\tilde{B}$ an einen Identifikationsserver. Falls keine Kommunikationsverbindung besteht, wird der Fingerabdruck, inklusiver noch benötigter Vorprozessierung, mit einer internen Datenbank abgeglichen.
10. Maskieren ungeeigneter Segmente, markiert in der binären Differenzmatrix $\tilde{B}$.
11. Vergleich der Matrizen F und F'_{ref} . Der Abgleich kann z. B. durch eine 2D Korrelation erfolgen. Ein Fingerabdruck gilt dann als positiv zugeordnet, wenn der normalisierte Pearson Korrelationskoeffizient über einen vordefinierten Schwellwert liegt.
12. Übermittlung der Ergebnisse an entsprechende Aktoren, z. B. Schranken oder Ampeln.

Bezugszeichenliste

1	Fahrzeug-Identifikationsvorrichtung	Δl	Abstand zwischen zwei Magnetometern in einem
10	Zeilensensor-Modul		Zeilensensor
11	Platine	x	Zurückgelegter Weg bei der Überfahrt zweier
12	Magnetometer		Zeilensensoren
13	Auswertschaltung		
14	Steckverbindung	v	Geschwindigkeit des Fahrzeugs
20	Zeilensensoren	d	Abstand zwischen den Zeilensensoren
21	Fahrbahn		

(fortgesetzt)

22	Fahrzeug	ψ	technisch bedingte zeitliche Verschiebungen
i	Laufindex der Zeilendetektoren	t	Zeit
5 j	Laufindex der Magnetometer	t_0	Startzeitpunkt der Aufnahme einer Magnetfeldmessung
k	Laufindex der Räder	t_{end}	Endzeitpunkt der Aufnahme einer Magnetfeldmessung
10 D	Differenzbild	$\mathbf{m}^{(ij)}[t_0 \dots t_{end}, 1 \dots N]$	zeitlich aufgelöste Magnetfeldmesswerte der j-ten Komponente des i-ten Zeilensensors
k_1	Zeilensensor bezogenes Koordinatensystem	$\mathbf{m}^{(i)}[t_0 \dots t_{end}, 1 \dots N]$	zeitlich aufgelöste Magnitude der Magnetfeldmesswerte des i-ten Zeilen-sensors
15 k_2	Fahrzeug bezogenes Koordinatensystem	$\mathbf{dm}^{(i-g,j)}$	Matrix der Magnetfelddifferenz zwischen dem i-ten und g-ten Zeilensensor der j-ten Komponente
α	Gierwinkel zwischen Fahrzeug und Zeilensensor	$\mathbf{dm}^{(i-g)}$	Matrix der Magnetfeldmagnitude von $\mathbf{dm}^{(i-g,j)}$
Δt	zeitliche Verschiebung zwischen erfassten magnetischen Signaturen	B	binäre Differenzmatrix
20 Δn	räumliche Verschiebung zwischen erfassten magnetischen Signaturen	F	druck-Matrix der j-ten Komponente
q, p	Matrixindizes	F_{ref}	Mittelwert über alle Zeilensensoren der betragswertigen magnetischen Fingerabdruck-Matrix
25 i	Schwellwert zur Bestimmung der Differenzmatrix B	$\tilde{B}$	Referenz Fingerabdruck-Matrix aus einer Datenbank
a	große Halbachse einer Ellipse	$\tilde{B}$	Binäre Differenzmatrix interpoliert auf eine gemeinsame Auflösung
b	große Halbachse einer Ellipse	F'	maskierte FingerabdruckMatrix
c_n, c_t	Koordinaten des Mittelpunkts einer Ellipse	F'_{ref}	maskierte Referenz Fingerabdruck-Matrix
30 $\vec{e}_q$	Einheitsvektor in Richtung einer Fahrzeugquerachse	c	Konstante
$\vec{e}_s$	Einheitsvektor in Richtung der Längsachse eines Zeilensensors	r_T	Schwellwert des PearsonKorrelationskoeffizienten
35 F'_{ref}	Gesamtanzahl der Magnetometer eines Zeilensensors	Δx	Räumliche Auflösung
N	Index eines Magnetometers	f	Abtastrate der Magnetometer
n	Gesamtanzahl der räumlichen Messpunkte	l_{max}	obere Grenze für die Länge der zu erfassenden Fahrzeuge
40 w	Index der räumlichen Messpunkte	l	Länge des Fahrzeugs
$F^{(i,j)}$	Fingerabdruck-Matrix der jten Komponente des i-ten Zeilensensors	h	vertikaler Abstand zwischen Zeilensensor und Fahrzeug
45 $F^{(j)}$	Mittelwert über alle Zeilensensoren der Fingerab-		

Patentansprüche

1. Verfahren zum Identifizieren von Fahrzeugen, mit den Schritten

(i) Erfassen von Magnetometerdaten von

- (a) einem ersten Magnetometer,
- (b) einem zweiten Magnetometer,
- (c) einem dritten Magnetometer,

- (d) einem vierten Magnetometer,
- (e) einem fünften Magnetometer und
- (f) zumindest einem sechsten Magnetometer,
- (g) wobei zumindest drei Magnetometer entlang einer ersten Geraden angeordnet sind und einen ersten magnetischen Zeilensensor bilden,
- (h) wobei zumindest drei Magnetometer entlang einer zweiten Geraden angeordnet sind und einen zweiten magnetischen Zeilensensor bilden, wobei die zweite Gerade entlang der ersten Geraden verläuft,

sodass ein Magnetfelddatensatz erhalten wird, der zumindest ein in zumindest zwei Dimensionen orts aufgelöstes, vom Fahrzeug hervorgerufenes Magnetfeld beschreibt, und

(ii) Identifizieren eines Fahrzeugtyps und/oder eines Fahrzeugs anhand des Magnetfelddatensatzes.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Identifizieren des Fahrzeugtyps anhand des Magnetfelddatensatzes die folgenden Schritte aufweist:

- (i) Erfassen einer magnetischen Starrteil-Signatur von nicht-rotierenden Komponenten des Fahrzeugs aus dem Magnetfelddatensatz und
- (ii) Identifizieren eines Fahrzeugtyps anhand der magnetischen Starrteil-Signatur.

3. Verfahren nach Anspruch 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Erfassen einer magnetischen Starrteil-Signatur die folgenden Schritte aufweist:

- (i) Ermitteln derjenigen Bereiche, in denen das von den zumindest zwei Zeilensensoren gemessene Magnetfeld innerhalb einer vorgegebenen Fehlertoleranz ausschließlich durch eine Translation eines festen Magnetfeldwerts mit einer Fahrzeuggeschwindigkeit beschreibbar ist, sodass Starrteil-Bereiche erhalten werden und/oder
- (ii) Ermitteln von zumindest zwei Bereichen, in denen das von den zumindest zwei Zeilensensoren gemessene Magnetfeld nicht innerhalb der vorgegebenen Fehlertoleranz durch eine Translation eines festen Magnetfeldwerts mit einer Fahrzeuggeschwindigkeit beschreibbar ist, sodass zumindest vier Radbereiche erhalten werden, und danach Berechnen der Starrteil-Bereiche durch Maskieren der Radbereiche aus der orts aufgelösten Magnetisierung.

4. Verfahren nach einem der vorgehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** den Schritt:

automatisches Kompensieren eines Einflusses eines Gierwinkels zwischen der Soll-Fahrtrichtung und einer Ist-Fahrtrichtung eines Fahrzeugs, das über die Zeilensensoren fährt.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 2 bis 4, **gekennzeichnet durch** die Schritte:

- (i) Berechnen eines Differenzbilds (D) aus

- einem Erstzeilensensorbild, das die orts aufgelöste Magnetisierung beschreibt, die vom ersten Zeilensensor gemessen wurde, und
- einem Zweitzeilensensorbild, das die orts aufgelöste Magnetisierung beschreibt, die vom zweiten Zeilensensor gemessen wurde,

- (ii) Bestimmen eines Binärbilds aus dem Differenzbild mittels eines Schwellenwertfilters,
- (iii) Bestimmen zumindest einer zusammenhängenden Fläche im Binärbild und
- (iv) Setzen der zumindest einen zusammenhängenden Fläche entweder als Starrteil-Bereich oder als Radbereiche.

6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Identifizieren des Fahrzeugs anhand des Magnetfelddatensatzes die folgenden Schritte aufweist:

- (i) Skalieren einer Zeitkomponente der Magnetometerdaten des Magnetfelddatensatzes, wobei die Zeitkomponente so gewählt ist, dass sie einem Überfahren des zumindest einen Magnetometers mit einer vorgegebenen Soll-Fahrgeschwindigkeit entspricht, und/oder
- Normieren einer Signalstärke der Magnetometerdaten, sodass ein skaliertes Magnetfelddatensatz erhalten wird,

- (ii) Auslesen von Referenz-Magnetfelddatensätzen aus einer Datenbank, die eine Vielzahl an Referenz-Magnetfelddatensätzen unterschiedlicher Fahrzeuge enthält,
- (iii) für die Referenz-Magnetfelddatensätze jeweils Bestimmen eines Ähnlichkeitsparameters, der eine Ähnlichkeit der skalierten Messfelddaten des Magnetfelddatensatzes mit den Referenz-Magnetfelddaten des Referenz-Magnetfelddatensatzes kodiert, und
- (iv) Identifizieren eines Fahrzeugs anhand des Ähnlichkeitsparameters.

7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** die Schritte:

- (i) Erfassen eines Berechtigungsparameters, der mit dem Referenz-Magnetfelddatensatz verknüpft ist, der das Fahrzeug identifiziert und
- (ii) Abgeben eines Signals an eine Zufahrtsfreigabevorrichtung, sodass diese einen Fahrweg für das Fahrzeug
 - freigibt, wenn der Berechtigungsparameter die Berechtigung dazu kodiert, und
 - nicht freigibt, wenn der Berechtigungsparameter die Berechtigung dazu nicht kodiert.

8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Magnetfelddaten das Magnetfeld in zumindest zwei Dimensionen, insbesondere in drei Dimensionen, beschreiben.

9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** die Schritte:

- (a) Auslesen einer Gesamtmasse des Fahrzeugs aus einer Datenbank anhand des Ähnlichkeitsparameters oder des Fahrzeugtyps, und
- (b) Senden eines Signals an die Zufahrtsfreigabevorrichtung, das von der Gesamtmasse abhängt und/oder Senden eines Signals, das die Gesamtmasse kodiert, an eine Überwachungsvorrichtung.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** die Schritte:

- (a) Bestimmen eines Signalintensitätsparameters, der eine Stärke des Magnetfelds kodiert, aus den Magnetfelddaten und
- (b) Bestimmen der Gesamtmasse aus dem Signalintensitätsparameter und dem skalierten Magnetfelddatensatz.

11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass**

- (a) eine Abtastfrequenz zumindest eines [insbesondere einer Mehrzahl, vorzugsweise aller] Magnetometers zumindest 50 Hertz beträgt und/oder
- (b) für zumindest drei entlang der Geraden angeordnete Magnetometer gilt, dass der Abstand benachbarter Magnetometer höchstens 30 Zentimeter beträgt.

12. Fahrzeug-Identifikationsvorrichtung zum Identifizieren von Fahrzeugen, mit

- (a) einem ersten Magnetometer zum Erfassen von Erstmagnetometerdaten,
- (b) einem zweiten Magnetometer zum Erfassen von Zweitmagnetometerdaten,
- (c) einem dritten Magnetometer zum Erfassen von Drittmagnetometerdaten,
- (d) einem vierten Magnetometer zum Erfassen von Viertmagnetometerdaten,
- (e) einem fünften Magnetometer zum Erfassen von Fünftmagnetometerdaten,
- (f) zumindest einem sechsten Magnetometer zum Erfassen von Sechstmagnetometerdaten und
- (g) einer Auswerteschaltung zum automatischen Erfassen der Magnetometerdaten und Identifizieren eines Fahrzeugs oder Fahrzeugtyps anhand der Magnetometerdaten, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- (h) zumindest drei Magnetometer entlang einer ersten Geraden angeordnet sind und einen ersten magnetischen Zeilensensor bilden,
- (i) zumindest drei Magnetometer entlang einer zweiten Geraden angeordnet sind und einen zweiten magnetischen Zeilensensor bilden, wobei die zweite Gerade entlang der ersten Geraden verläuft, und
- (j) die Magnetfelddaten eine zeitliche Änderung eines statischen Magnetfelds beschreiben, und
- (k) die Auswerteschaltung ausgebildet ist zum automatischen Durchführen eines Verfahrens gemäß einem der

vorstehenden Ansprüche.

13. Fahrzeug-Identifikationsvorrichtung nach Anspruch 12 dadurch gekennzeichnet, dass

- 5 (a) die Auswerteeinheit ausgebildet ist zum automatischen Durchführen eines Verfahrens mit den Schritten:
- (i) Bestimmen einer Ist-Fahrzeuggeschwindigkeit aus den Magnetfelddaten von zwei der entlang der Geraden angeordneten Magnetometern und
- 10 (ii) Skalieren der Zeitkomponente der Magnetfelddaten des Magnetfelddatensatzes, wobei die Zeitkomponente so gewählt ist, dass sie einem Überfahren des zumindest einen Magnetometers mit der vorgegebenen Soll-Fahrzeuggeschwindigkeit entspricht, anhand der Ist-Fahrzeuggeschwindigkeit.

14. Fahrzeug-Identifikationsvorrichtung nach einem der Ansprüche 12 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass

- 15 (a) zumindest die drei entlang einer Geraden angeordneten Magnetometer auf gleicher Höhe angeordnet sind und
- (b) zumindest drei Magnetometer auf einer zweiten Höhe angeordnet sind, die sich von der ersten Höhe um eine Höhendifferenz unterscheidet.
- 20

15. Bauwerk mit

- (a) einer Fahrbahn für Fahrzeuge, wobei die Fahrbahn eine Fahrbahn-Fahrtrichtung hat, und
- 25 (b) einer Fahrzeug-Identifikationsvorrichtung nach einem der vorstehenden Ansprüche, die angeordnet ist zum Identifizieren eines Fahrzeugtyps von auf der Fahrbahn fahrenden Fahrzeugen.

30

35

40

45

50

55

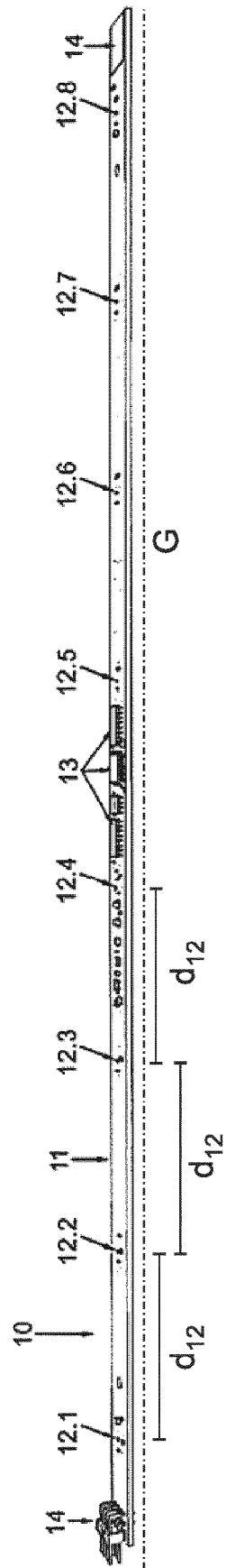


Fig. 1

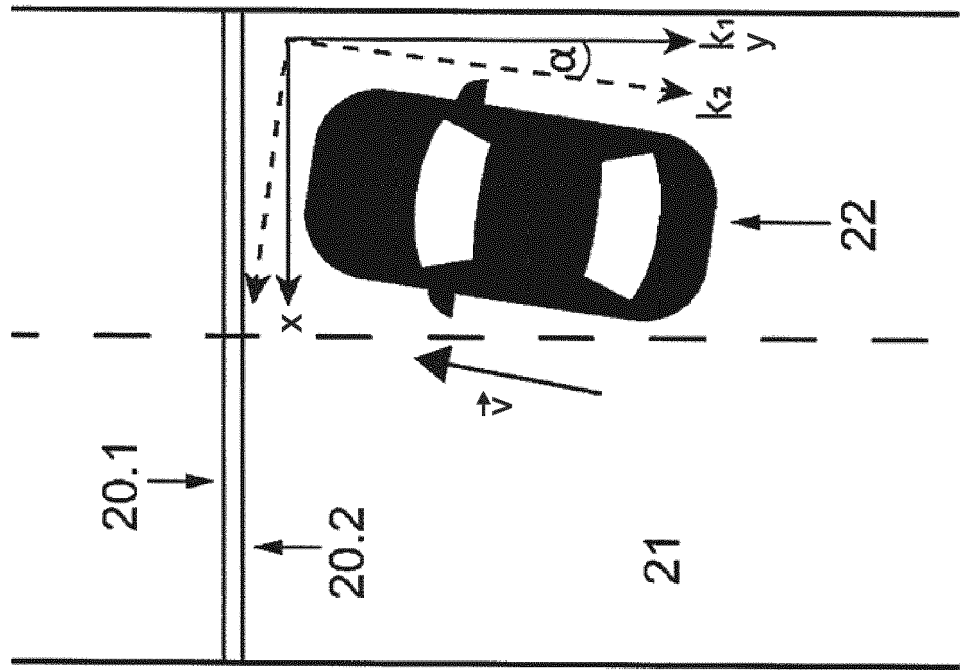


Fig. 2a

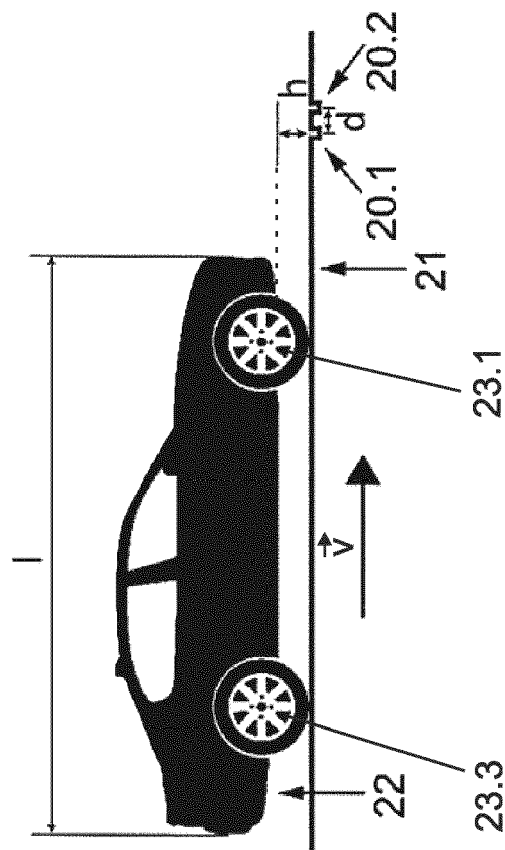


Fig. 2b

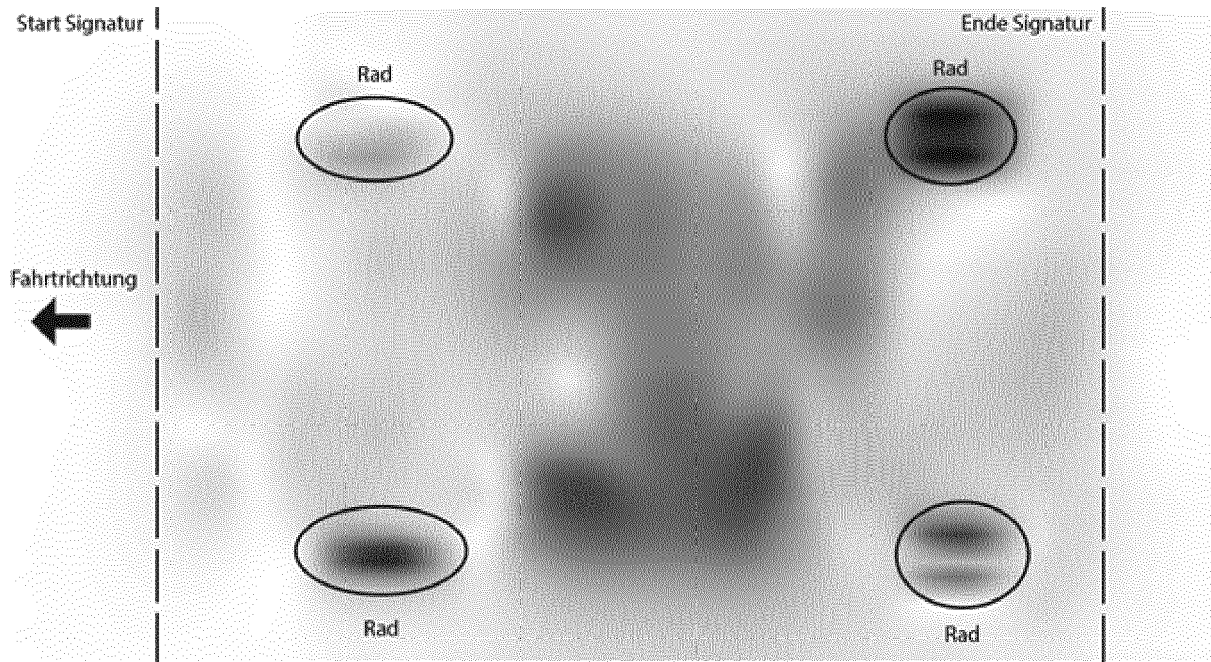


Fig. 3a

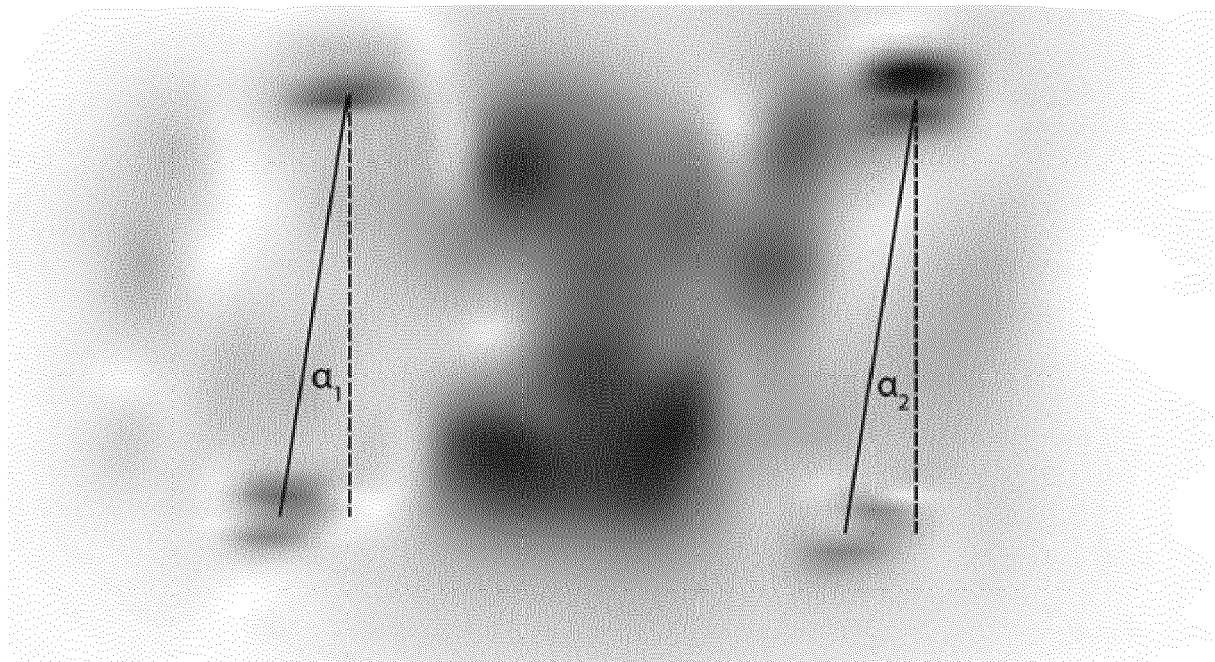


Fig. 3b



EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 21 21 4156

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
X	US 5 491 475 A (ROUSE GORDON F [US] ET AL) 13. Februar 1996 (1996-02-13)	1, 2, 8, 10-12, 14, 15	INV. G08G1/015 E01F11/00 G07B15/04 G08G1/02 G08G1/042 G08G1/048 G08G1/056
Y	* Spalte 2, Zeilen 15-25 * * Spalte 4, Zeilen 10-43 * -----	9	
X	US 2007/162218 A1 (CATTIN VIVIANE [FR] ET AL) 12. Juli 2007 (2007-07-12) * Absatz [0010] - Absatz [0012] * * Absatz [0014] * * Absatz [0028] - Absatz [0032] * * Absatz [0087] * * Absatz [0101] - Absatz [0106] * -----	1, 2, 11, 12, 14, 15	
X	EP 2 128 837 A1 (MEAS DEUTSCHLAND GMBH [DE]) 2. Dezember 2009 (2009-12-02)	1, 12	
A	* Absatz [0001] * * Absatz [0010] * * Absatz [0015] * * Absatz [0026] * * Absatz [0034] - Absatz [0036] * -----	2-10, 13-15	
A	US 2014/232563 A1 (ENGLER WOLFGANG [CA] ET AL) 21. August 2014 (2014-08-21) * Absatz [0037] * -----	1-15	
Y	CN 110 689 759 A (ZHEJIANG ZHONGXIN KONGJIAN TECH CO LTD) 14. Januar 2020 (2020-01-14) * das ganze Dokument *	9	
A	US 2020/258383 A1 (BARANGA ALEX [US] ET AL) 13. August 2020 (2020-08-13) * Absatz [0033] * -----	9	
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort Den Haag		Abschlußdatum der Recherche 19. Mai 2022	Prüfer de la Cruz Valera, D
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 21 21 4156

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentdokumente angegeben.
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

19-05-2022

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
US 5491475 A	13-02-1996	KEINE	
US 2007162218 A1	12-07-2007	AT 440354 T	15-09-2009
		EP 1811479 A1	25-07-2007
		ES 2332068 T3	25-01-2010
		FR 2896070 A1	13-07-2007
		JP 5068546 B2	07-11-2012
		JP 2007188503 A	26-07-2007
		US 2007162218 A1	12-07-2007
EP 2128837 A1	02-12-2009	EP 2128837 A1	02-12-2009
		WO 2009144029 A1	03-12-2009
US 2014232563 A1	21-08-2014	BR 112014007388 A2	04-04-2017
		CA 2850260 A1	04-04-2013
		US 2014232563 A1	21-08-2014
		WO 2013044389 A1	04-04-2013
CN 110689759 A	14-01-2020	KEINE	
US 2020258383 A1	13-08-2020	US 2018182240 A1	28-06-2018
		US 2020258383 A1	13-08-2020

EPO FORM P0461

Für nähere Einzelheiten zu diesem Anhang : siehe Amtsblatt des Europäischen Patentamts, Nr.12/82

IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente

- WO 2013044389 A1 [0006]
- WO 2019155324 A [0007]
- US 6208268 B [0007]
- US 2013057264 A [0007]
- WO 2013189985 A [0009]