



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**06.12.2023 Patentblatt 2023/49**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**B61L 23/04<sup>(2006.01)</sup> B61L 25/02<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **23157523.4**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**B61L 23/041; B61L 25/025; B61L 25/026**

(22) Anmeldetag: **20.02.2023**

(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 ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**KH MA MD TN**

(71) Anmelder: **Siemens Mobility GmbH**  
**81739 München (DE)**

(72) Erfinder:  
• **Krutz, Andreas**  
**13055 Berlin (DE)**  
• **Schott, Georg**  
**12487 Berlin (DE)**

(30) Priorität: **31.05.2022 DE 102022205527**

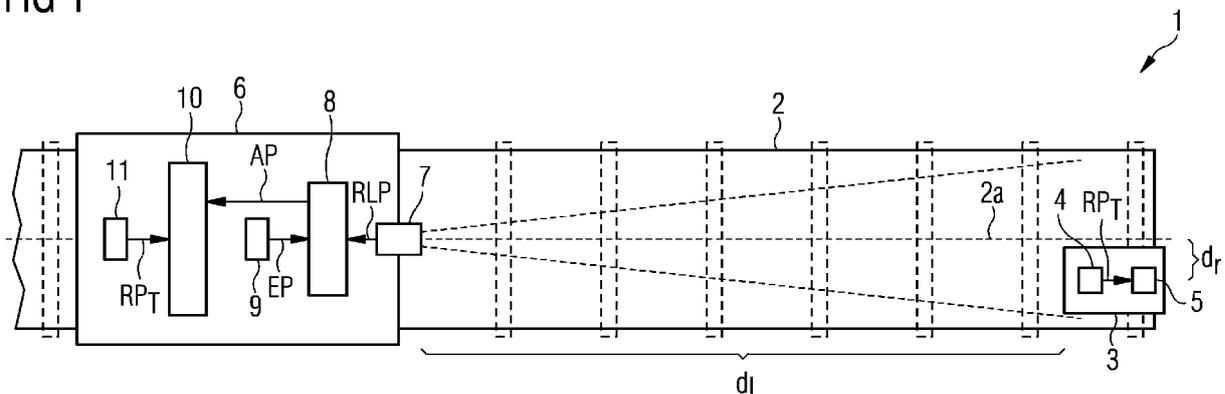
(74) Vertreter: **Siemens Patent Attorneys**  
**Postfach 22 16 34**  
**80506 München (DE)**

(54) **VALIDIERUNG EINER SENSOREINHEIT EINES SCHIENENFAHRZEUGS ZUR OBJEKTLOKALISIERUNG**

(57) Es wird eine Anordnung (1) zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit (7) eines Schienenfahrzeugs (6) zur Objektlokalisierung beschrieben. Die Anordnung (1) umfasst eine Testschienenstrecke (2) und ein Testobjekt (3) auf der Testschienenstrecke (2). Das Testobjekt (3) umfasst eine erste Selbstlokalisierungseinheit (4) zum Ermitteln einer Referenzposition ( $RP_T$ ) des Testobjekts (3). Das Schienenfahrzeug (6) umfasst eine Sensoreinheit (7) zur Detektion einer Relativposition (RLP) des Testobjekts (3) zur Sensoreinheit (7), eine zweite Selbstlokalisierungseinheit (9) zum Ermitteln einer Ego-Position (EP) des Schienenfahrzeugs (6) und

eine Positionsermittlungseinheit (8) zum Ermitteln einer Absolutposition (AP) des Testobjekts (3) auf Basis der detektierten Relativposition (RLP) des Testobjekts (3) zur Sensoreinheit (7) und der ermittelten Ego-Position (EP) des Schienenfahrzeugs (6). Teil der Anordnung (1) ist auch eine Validierungseinheit (10) zum Ermitteln einer Abweichung (AW) der ermittelten Absolutposition (AP) des Testobjekts (3) von der Referenzposition ( $RP_T$ ) des Testobjekts (3). Es wird auch ein Verfahren zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit (7) eines Schienenfahrzeugs (6) zur Objektlokalisierung beschrieben.

FIG 1



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft eine Anordnung zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung. Außerdem betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung.

**[0002]** Im Schienenverkehr kommt es gelegentlich vor, dass Objekte, wie zum Beispiel Personen oder Straßenfahrzeuge, Einkaufswagen, die auf die Schienen geworfen wurden, oder auch Felsbrocken oder umgestürzte Bäume, auf den Gleiskörper geraten und daher eine Gefahr für die Sicherheit des Schienenverkehrs darstellen und im Fall der Personen und Straßenfahrzeuge aufgrund der Möglichkeit einer Kollision mit einem fahrenden Schienenfahrzeug auch selbst hochgradig gefährdet werden. Daher müssen solche Objekte rechtzeitig erkannt werden, um für ein sich näherndes Schienenfahrzeug einen Bremsvorgang einzuleiten, so dass ein Zusammenstoß zwischen dem Schienenfahrzeug und dem Objekt verhindert werden kann. Weiterhin müssen auch Schienenfahrzeuge, die sich auf demselben Gleis befinden, erkannt werden, um eine Kollision dieser Schienenfahrzeuge miteinander zu vermeiden. Mithin gehört es zu den kritischen Aufgaben eines Schienenfahrzeugführers, den Schienenbereich hinsichtlich möglicher Hindernisse bzw. Objekte, die mit dem Schienenfahrzeug kollidieren können, ständig zu beobachten und zu entscheiden, ob eine Reaktion darauf, wie zum Beispiel ein Bremsmanöver, eingeleitet werden muss oder nicht.

**[0003]** Bei dem fahrerlosen Steuern von Fahrzeugen ist es besonders wichtig, ein System zu haben, das automatisch mögliche Hindernisse korrekt lokalisiert und entscheiden kann, ob sie eine Gefahr für das Fahrzeug selbst oder andere Verkehrsteilnehmer darstellen können, da hier auf eine Überwachung der Schienenstrecke durch einen Fahrer definitionsgemäß verzichtet werden muss.

**[0004]** Für derartige Aufgaben bieten sich Lidarsysteme und Radarsysteme, mit denen Abstände und Richtungen, in denen sich Objekte befinden, detektiert werden können, an.

**[0005]** Automatisierte Erkennungssysteme für potenzielle Hindernisse wurden bereits experimentell untersucht und entwickelt. Infrastrukturbasierte Lösungen, bei denen eine Mehrzahl von Sensoren aufgestellt werden, um einen bestimmten Bereich einer Schienenstrecke zu überwachen, werden manchmal benutzt, um Bereiche, in denen häufig Unfälle passieren, wie zum Beispiel Bahnübergänge, zu überwachen. Allerdings ist es nicht realisierbar, das gesamte Schienennetz mit infrastrukturbasierten Hindernisdetektionssystemen zu versehen. Daher besteht der Bedarf, dass ein bordseitiges System die Aufgabe eines Fahrers erfüllt, die Schienenstrecke zu beobachten und zu überwachen.

**[0006]** Die meisten bordseitigen Systeme umfassen Systeme zur Positionsmessung von detektierten Hindernissen. Die Kenntnis der exakten Position eines potenziellen Hindernisses erlaubt eine Einschätzung der Gefahren, die von dem Hindernis ausgehen. Insbesondere muss die Position des potenziellen Hindernisses ausreichend genau ermittelt werden, um einzuschätzen, wie weit entfernt sich das potentielle Hindernis von einem Schienenfahrzeug befindet und ob sich das potentielle Hindernis im Lichtraumprofil des Schienenfahrzeugs befindet oder nicht bzw. möglicherweise zu einem späteren Zeitpunkt befinden wird oder nicht.

**[0007]** Um Sicherheitsanforderungen zu erfüllen, muss die Präzision der Lokalisierung potenzieller Hindernisse durch die eingesetzten bordseitigen Systeme geprüft bzw. validiert werden. Bisher erfolgt zur Vorbereitung einer solchen Validierung zunächst eine Positionierung eines Testobjekts auf einer Testschienenstrecke. Weiterhin werden Positionsmarken auf der Testschienenstrecke festgelegt und angeordnet. Während der Validierung werden die durch die festgelegten Positionsmarken markierten Positionen durch ein Schienenfahrzeug mit einer zu validierenden Sensoreinrichtung angefahren. Die Festlegung der Positionsmarken erfolgt üblicherweise einzeln von Hand, sie ist daher recht aufwändig. Außerdem kann es bei dem Anfahren der einzelnen Positionsmarken durch das Schienenfahrzeug zu Ungenauigkeiten, die sich auf die Zuverlässigkeit der Validierung ungünstig auswirken, kommen.

**[0008]** Es besteht also die Aufgabe, eine Anordnung und ein Verfahren zur Validierung der Funktion einer bordseitigen Sensorik zur Hindernislokalisierung für Schienenfahrzeuge bereitzustellen, welche zuverlässiger, robuster und exakter funktionieren als die bisherigen Lösungsansätze.

**[0009]** Diese Aufgabe wird durch eine Anordnung zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung gemäß Patentanspruch 1 und ein Verfahren zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung gemäß Patentanspruch 13 gelöst.

**[0010]** Die erfindungsgemäße Anordnung zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung weist eine Testschienenstrecke auf. Wie später noch ausführlich erläutert, umfasst die Testschienenstrecke vorzugsweise eine Gestalt, welche derart ausgebildet ist, dass ein Abstand eines Objekts zu einer Mittellinie der Testschienenstrecke leicht zu ermitteln ist. Es soll an dieser Stelle betont werden, dass die Sensoreinheit bevorzugt einer Mehrzahl von Sensoren aufweist, um eine Lokalisierung eines Objekts vornehmen zu können. Typische Methoden der Lokalisierung umfasst Verfahren der Triangulation und/oder der Laufzeitmessung. Wie zumindest teilweise eingangs erwähnt, umfassen Sensoreinheiten für derartige Aufgaben bevorzugt Lidarsysteme und/oder Radarsysteme und/oder 3D-Kameras auf optischer Basis oder auf Infrarot-Basis.

**[0011]** Die erfindungsgemäße Anordnung weist auch ein Testobjekt, das sich auf der Testschienenstrecke befindet, auf. Das Testobjekt umfasst ein zu Testzwecken zu detektierendes bzw. zu lokalisierendes Objekt auf der Testschie-

nenstrecke. Ein solches zu lokalisierendes Objekt umfasst bevorzugt eine Silhouette eines typischerweise im Bereich des Schienenverkehrs auftretenden Objekts, wie zum Beispiel eine Silhouette einer menschlichen Person oder eines Fahrzeugs, die vor der Sensoreinheit des Schienenfahrzeugs im Rahmen der Validierung detektiert und lokalisiert werden sollen. Vorteilhaft entspricht eine solche Form des Testobjekts einer bei der Anwendung typischerweise auftretenden äußeren Form eines potenziellen Hindernisses, so dass die Testbedingungen annähernd realen Bedingungen entsprechen.

**[0012]** Teil des Testobjekts ist auch eine erste Selbstlokalisierungseinheit zum Ermitteln einer Referenzposition des Testobjekts. Die erste Selbstlokalisierungseinheit ermittelt die eigene Position, die im Wesentlichen der Ego-Position des Testobjekts entspricht. Die Ego-Position des Testobjekts wird als Referenzposition des Testobjekts genutzt. Die Ego-Position der ersten Selbstlokalisierungseinheit kann in die Referenzposition des Testobjekts umgerechnet werden, falls die Ego-Position der ersten Selbstlokalisierungseinheit nicht exakt der Ego-Position bzw. Referenzposition des Testobjekts entspricht. Die Ermittlung der Ego-Position erfolgt auf Basis einer Erfassung von Messdaten durch die erste Selbstlokalisierungseinheit, die mit der Ego-Position der ersten Selbstlokalisierungseinheit korreliert sind. Die Messdaten können Zeitdifferenzmessdaten, insbesondere Satellitennavigationsmessdaten, odometrische Messdaten, Abstandsmessdaten, Geschwindigkeitsmessdaten oder Beschleunigungsmessdaten umfassen.

**[0013]** Das Schienenfahrzeug umfasst eine Sensoreinheit zur Detektion einer Relativposition des Testobjekts zu der Sensoreinheit. Hierzu misst die Sensoreinheit die Richtung und den Abstand, in der sich das Testobjekt relativ zu der Sensoreinheit befindet. Die Relativposition gibt die Position des Testobjekts in einem mit dem Schienenfahrzeug bzw. der Sensoreinheit des Schienenfahrzeugs mitbewegten Koordinatensystem an. Das Schienenfahrzeug umfasst auch eine zweite Selbstlokalisierungseinheit zum Ermitteln einer Ego-Position des Schienenfahrzeugs. Genauer gesagt, ermittelt die zweite Selbstlokalisierungseinheit durch eine Messung der eigenen Position zunächst ihre eigene Position, d.h. die Ego-Position der zweiten Selbstlokalisierungseinheit, aus der die Ego-Position des Schienenfahrzeugs bzw. die Ego-Position der Sensoreinheit des Schienenfahrzeugs ermittelt werden, die sich minimal voneinander unterscheiden, aber bei bekannter Orientierung des Schienenfahrzeugs leicht ineinander umzurechnen sind. Die zweite Selbstlokalisierungseinheit ermittelt die Ego-Position des Schienenfahrzeugs auf Basis von Messdaten, die mit der Position des Schienenfahrzeugs korreliert sind. Bevorzugt ist die zweite Selbstlokalisierungseinheit dazu eingerichtet, eine Ego-Pose des Schienenfahrzeugs zu ermitteln. Eine solche Ego-Pose weist neben der Ego-Position des Schienenfahrzeugs auch dessen Ausrichtung auf. Vorteilhaft kann auf Basis der Ego-Pose nicht nur der Abstand zwischen dem Schienenfahrzeug und dem Testobjekt, sondern auch die Richtung, in der sich das Testobjekt relativ zu der Pose des Schienenfahrzeugs befindet und damit die exakte Relativposition des Testobjekts zu dem Schienenfahrzeug ermittelt werden. Die Ausrichtung des Schienenfahrzeugs und damit auch die Ausrichtung der Sensoreinheit im Raum kann sowohl durch eine direkte Messung der Orientierung als auch durch eine Ableitung der Orientierung auf Basis der ermittelten Ego-Position des Schienenfahrzeugs und des Schienenverlaufs der Testschienenstrecke an der Ego-Position, insbesondere auch durch Kartendaten oder Satellitennavigationsdaten ermittelt werden. Bei bekanntem Verlauf der Testschienenstrecke ergibt sich in der Regel die Orientierung des Schienenfahrzeugs aus dessen Ego-Position. Insbesondere bei geradlinigem Verlauf der Testschienenstrecke ist die Orientierung des Schienenfahrzeugs positionsunabhängig. Vorteilhaft steht bei dieser Variante die Orientierung des Schienenfahrzeugs fest und es muss bei der Validierung keine örtlich variable Orientierung des Schienenfahrzeugs, beispielsweise durch Hinzuziehung von Kartenmaterial oder durch eine Messung der Orientierung des Schienenfahrzeugs und/oder seiner Sensoreinheit berücksichtigt werden.

**[0014]** Es sei noch erwähnt, dass die erfindungsgemäße Anordnung vorteilhaft auch um eine Justageeinheit ergänzt sein kann, die auf Basis der Validierung eine Justage der Positionsermittlung des Testobjekts vornimmt, um die erforderliche Genauigkeit einer Objektlokalisierung durch die Sensoren eines betreffenden Schienenfahrzeugs zu verbessern bzw. zu sichern.

**[0015]** Das Schienenfahrzeug der erfindungsgemäßen Anordnung umfasst auch eine Positionsermittlungseinheit zum Ermitteln einer Absolutposition des Testobjekts auf Basis der detektierten Relativposition des Testobjekts zur Sensoreinheit und der ermittelten Ego-Position des Schienenfahrzeugs. Auf Basis der Kenntnis des Streckenverlaufs und der Kenntnis der Ego-Position des Schienenfahrzeugs auf der Testschienenstrecke errechnet die Positionsermittlungseinheit eine Pose des Schienenfahrzeugs. Anhand der Kenntnis der Pose des Schienenfahrzeugs und der Relativposition des Testobjekts berechnet die Positionsermittlungseinheit eine Absolutposition in einem ruhenden Koordinatensystem, dessen Lage und Ausrichtung unabhängig von der Pose und der aktuellen Position des Schienenfahrzeugs ist.

**[0016]** Die erfindungsgemäße Anordnung umfasst auch eine Validierungseinheit zum Ermitteln einer Abweichung der ermittelten Absolutposition des Testobjekts von der Referenzposition des Testobjekts. Zur Ermittlung der Abweichung führt die Validierungseinheit einen Vergleich zwischen der ermittelten Absolutposition des Testobjekts und der Referenzposition des Testobjekts durch. Die Validierung erzielt ein positives Ergebnis, wenn die Abweichung einen Schwellwert unterschreitet. Vorteilhaft kann die Validierung automatisiert ablaufen. Insbesondere müssen auf der Testschienenstrecke keine Markierungen für einzelne Ego-Positionen des Schienenfahrzeugs von Hand angeordnet werden. Durch die Ermittlung einer Mehrzahl von Ego-Positionen des Schienenfahrzeugs, kann, wie später im Detail erläutert wird, eine geographische Karte mit Ego-Positionen erstellt werden, wobei die Ego-Positionen unter Ermittlung der Ego-

Position des Schienenfahrzeugs durch die zweite Selbstlokalisierungseinheit des Schienenfahrzeugs im Rahmen eines Testlaufs durch das Schienenfahrzeug jeweils angefahren werden. Vorteilhaft kann als Grundlage für die Validierung eine genaue Ermittlung von Geodaten zur Ermittlung der Ego-Position eines Schienenfahrzeugs in jeder Art von Umgebung ohne externen Dienst oder vorherige Ermittlung von stationär eingemessenen Infrastrukturpunkten erfolgen. Auf Basis dieser Geodaten können sämtliche Merkmale für eine Validierung eines Hinderniserkennungssystems im Bahnumfeld abgeleitet werden, insbesondere eine Ermittlung einer Präzision einer Messung einer Entfernung eines Objekts zum Schienenfahrzeug oder zur Schienenstrecke.

**[0017]** Bei dem Verfahren zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung wird eine Referenzposition eines Testobjekts durch eine erste an dem Testobjekt angeordnete Selbstlokalisierungseinheit ermittelt. Die Referenzposition kann zum Beispiel durch Ermitteln der geographischen Koordinaten des Testobjekts bzw. einer bestimmten Stelle des Testobjekts, beispielsweise eines geometrischen Zentrums des Testobjekts, ermittelt werden.

**[0018]** Weiterhin wird eine Relativposition des Testobjekts zu einer an dem Schienenfahrzeug angeordneten Sensoreinheit ermittelt. Diese Relativposition ergibt sich aus der von der Sensoreinheit gemessenen Entfernung und Richtung, in der sich das Testobjekt relativ zu dem Schienenfahrzeug bzw. der Sensoreinheit befindet.

**[0019]** Zudem wird eine Ego-Position oder vorzugsweise die Ego-Pose des Schienenfahrzeugs durch eine an dem Schienenfahrzeug angeordnete zweite Selbstlokalisierungseinheit ermittelt. Wie bereits erwähnt, gibt die Ego-Pose neben der exakten Ego-Position auch die Orientierung des Schienenfahrzeugs an. Die Ego-Position wird bevorzugt in geographischen Koordinaten angegeben. Die Orientierung des Schienenfahrzeugs kann zum Beispiel durch eine Winkelangabe relativ zu einer Bezugsrichtung beschrieben werden.

**[0020]** Auf Basis der detektierten Relativposition des Testobjekts zur Sensoreinheit und der ermittelten Ego-Position des Schienenfahrzeugs wird im Rahmen des erfindungsgemäßen Verfahrens eine Absolutposition des Testobjekts ermittelt.

**[0021]** Schließlich wird eine Funktion einer Objektlokalisierung der Sensoreinheit durch Ermitteln einer Abweichung der ermittelten Absolutposition des Testobjekts von der Referenzposition des Testobjekts validiert. D.h. es wird ermittelt, ob eine Abweichung bei der Ermittlung der Absolutposition des Testobjekts einen vorbestimmten Schwellwert unterschreitet oder nicht. Das erfindungsgemäße Verfahren teilt die Vorteile der erfindungsgemäßen Anordnung.

**[0022]** Das erfindungsgemäße Validierungsverfahren kann insbesondere für ein Justage-Verfahren genutzt werden, bei dem auf Basis der Validierung eine Justage der Positionsermittlung des Testobjekts vorgenommen wird, um die erforderliche Genauigkeit einer Objektlokalisierung durch die Sensoren eines betreffenden Schienenfahrzeugs zu verbessern bzw. zu sichern. Bei einem solchen Verfahren erfolgt auf Basis der bei der Validierung gemessenen Abweichung eine Korrektur der Ausrichtung der Sensoreinheiten und/oder eine rechnerische Korrektur, um die ermittelte Abweichung zu kompensieren.

**[0023]** Ein Großteil der zuvor genannten Komponenten der erfindungsgemäßen Anordnung können ganz oder teilweise in Form von Softwaremodulen in einem Prozessor eines entsprechenden Rechensystems realisiert werden, z.B. in einer Steuereinrichtung oder einem Rechensystem des Schienenfahrzeugs oder einem Rechensystem des Testobjekts oder auch einem extern angeordneten Rechensystem. Dies gilt insbesondere für die Positionsermittlungseinheit des Schienenfahrzeugs und die Validierungseinheit. Eine weitgehend softwaremäßige Realisierung hat den Vorteil, dass auch schon bisher verwendete Rechensysteme auf einfache Weise durch ein Software-Update nachgerüstet werden können, um auf die erfindungsgemäße Weise zu arbeiten. Insofern wird die Aufgabe auch durch ein entsprechendes Computerprogrammprodukt mit einem Computerprogramm gelöst, welches direkt in ein Rechensystem ladbar ist, mit Programmabschnitten, um die Schritte des erfindungsgemäßen Verfahrens, zumindest die durch einen Computer ausführbaren Schritte, insbesondere die Schritte des Ermitteln einer Absolutposition des Testobjekts und des Validierens der Objektlokalisierung bzw. Objektlokalisierungsfunktion auszuführen, wenn das Programm in dem Rechensystem ausgeführt wird. Ein solches Computerprogrammprodukt kann neben dem Computerprogramm gegebenenfalls zusätzliche Bestandteile wie z. B. eine Dokumentation und/oder zusätzliche Komponenten auch Hardware-Komponenten, wie z.B. Hardware-Schlüssel (Dongles etc.) zur Nutzung der Software, umfassen.

**[0024]** Zum Transport zum Rechensystem bzw. zur Steuereinrichtung und/oder zur Speicherung an oder in dem Rechensystem bzw. der Steuereinrichtung kann ein computerlesbares Medium, z.B. ein Memorystick, eine Festplatte oder ein sonstiger transportabler oder fest eingebauter Datenträger dienen, auf welchem die von einem Rechensystem einlesbaren und ausführbaren Programmabschnitte des Computerprogramms gespeichert sind. Das Rechensystem kann z.B. hierzu einen oder mehrere zusammenarbeitende Mikroprozessoren oder dergleichen aufweisen.

**[0025]** Die abhängigen Ansprüche sowie die nachfolgende Beschreibung enthalten jeweils besonders vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung. Dabei können insbesondere die Ansprüche einer Anspruchskategorie auch analog zu den abhängigen Ansprüchen einer anderen Anspruchskategorie und deren Beschreibungsteilen weitergebildet sein. Zudem können im Rahmen der Erfindung die verschiedenen Merkmale unterschiedlicher Ausführungsbeispiele und Ansprüche auch zu neuen Ausführungsbeispielen kombiniert werden.

**[0026]** In einer Ausgestaltung der erfindungsgemäßen Anordnung weist das Testobjekt eine Sendeeinheit auf. Die

Sendeeinheit ist bevorzugt zum Übermitteln der ermittelten Referenzposition des Testobjekts an das Schienenfahrzeug oder eine andere zur Auswertung und Validierung eingerichtete Einrichtung ausgebildet. Eine solche Sendeeinheit ermöglicht die Übermittlung der Information über die Referenzposition des Testobjekts an eine entfernt von dem Testobjekt angeordnete Einrichtung und auch die Verarbeitung der Information über die Referenzposition des Testobjekts an einer von dem Testobjekt entfernten Position. Hierzu ist an dieser entfernten Position eine Empfangseinheit angeordnet, welche zum Empfangen der ermittelten Referenzposition des Testobjekts dient. Eine solche entfernte Position kann zum Beispiel die Position des Schienenfahrzeugs umfassen. D.h., das Schienenfahrzeug kann die Empfangseinheit aufweisen. Diese Variante ist insbesondere dann vorteilhaft, wenn auch die Validierungseinheit von dem Schienenfahrzeug umfasst ist. Bei dieser Variante empfängt die Validierungseinheit über die Empfangseinheit die Information über die Referenzposition des Testobjekts und führt einen Vergleich mit der von der Positionsermittlungseinheit des Schienenfahrzeugs ermittelten Absolutposition des Testobjekts durch. Die Validierungseinheit kann aber auch räumlich getrennt von dem Schienenfahrzeug, beispielsweise stationär oder auf einer mobilen Prüfeinrichtung angeordnet sein. Bei dieser Variante umfasst das Schienenfahrzeug ebenfalls eine Sendeeinheit, um die ermittelte Absolutposition des Testobjekts an die mobile Prüfeinrichtung zu übermitteln. Die Validierung erfolgt bei dieser Variante räumlich getrennt von dem Schienenfahrzeug. Bei dieser Variante wird vorteilhaft nur eine einzige Validierungseinheit für eine Mehrzahl von Schienenfahrzeugen benötigt, wodurch Ressourcen eingespart werden können.

**[0027]** In einer Variante der erfindungsgemäßen Anordnung umfasst das Testobjekt die Validierungseinheit und eine Empfangseinheit zum Empfangen der von der Positionsermittlungseinheit ermittelten Absolutposition des Testobjekts. Weiterhin umfasst das Schienenfahrzeug eine Sendeeinheit zum Übermitteln der von der Positionsermittlungseinheit ermittelten Absolutposition des Testobjekts an die Empfangseinheit des Testobjekts bzw. die Validierungseinheit des Testobjekts. Bei dieser Variante erfolgt die Auswertung der Testdaten in dem Testobjekt selbst. Das Schienenfahrzeug dient dabei lediglich als mobile Sensoreinheit zur Messung der Ego-Position des Schienenfahrzeugs und zur Messung der Relativposition des Testobjekts zum Schienenfahrzeug. Bei dieser Variante kann die Validierung der Sensorfunktion unterschiedlicher Schienenfahrzeuge mit einer einzigen Validierungseinheit erfolgen, wenn zur Validierung der Sensorfunktion unterschiedlicher Schienenfahrzeuge jeweils dasselbe Testobjekt genutzt wird.

**[0028]** In einer Variante der erfindungsgemäßen Anordnung weist diese eine von dem Schienenfahrzeug und dem Testobjekt separate Auswertungseinrichtung auf. Die separate Auswertungseinrichtung umfasst bei dieser Variante die Validierungseinheit und eine Empfangseinheit zum Empfangen der von der Positionsermittlungseinheit des Schienenfahrzeugs ermittelten Absolutposition des Testobjekts und zum Empfangen der Referenzposition des Testobjekts von dem Testobjekt. Bei dieser Variante umfasst das Schienenfahrzeug eine Sendeeinheit zum Übermitteln der von der Positionsermittlungseinheit ermittelten Absolutposition des Testobjekts an die separate Auswertungseinrichtung. Diese Variante weist den Vorteil auf, dass die Auswertungseinrichtung nun flexibel für eine Validierung der Funktion unterschiedlicher Schienenfahrzeuge und unterschiedlicher Testobjekte genutzt werden kann, wobei nur eine einzige Validierungseinheit für die genannten Anwendungsfälle benötigt wird. Auf diese Weise können Ressourcen eingespart werden. Die Auswertungseinrichtung kann an einer bestimmten Teststrecke fest installiert sein, sie kann auch als mobile bzw. transportable Einrichtung für eine Validierung an unterschiedlichen Teststrecken ausgebildet sein. Für den Transport kann die Auswertungseinrichtung mit einem Fahrwerk und einer Traktionseinheit zum Transport zwischen unterschiedlichen Teststrecken ausgebildet sein. Bei letzter Variante wird der Anwendungsbereich der Auswertungseinrichtung auf unterschiedliche Testschienenstrecken erweitert, so dass die Ressourceneffizienz durch vielseitige Einsatzmöglichkeiten ein- und derselben Validierungseinheit weiter erhöht wird.

**[0029]** Die zweite Selbstlokalisierungseinheit in oder an dem Schienenfahrzeug der erfindungsgemäßen Anordnung erfasst Messdaten zur Positionsschätzung und Orientierungsschätzung für die Position und gegebenenfalls die Pose des Schienenfahrzeugs. Diese Messdaten können durch technisch sehr unterschiedliche Arten von Messgeräten erfasst werden. Die genannten Messdaten können die folgenden Typen von Messdaten umfassen:

- Satellitennavigationsdaten,
- IMU-Daten (IMU = inertial measurement unit = inertielle Messeinheit)
- Geschwindigkeitssensordaten,
- Odometriedaten,
- sogenannte RTK-Korrekturdaten.

**[0030]** RTK-Korrekturdaten (RTK = Real time kinematics = kinematische Echtzeitdaten) werden in der Geodäsie zur präzisen Bestimmung von Positionskoordinaten mit Methoden der Satellitennavigation verwendet. Dabei werden Genauigkeiten von 1 bis 2 cm erreicht. Die Koordinaten der Positionen werden nach einer Initialisierung in Echtzeit berechnet. Die Positionen werden durch Nutzung einer Referenz-Antenne einer Referenzstation und einer zweiten Antenne, die auf einem sogenannten Rover positioniert ist, ermittelt. Die Position des Rovers wird durch dreidimensionales polares Anhängen an die Referenzstation nach dem Basislinienverfahren ermittelt. Das Schienenfahrzeug umfasst bevorzugt die zweite Antenne, d.h. die zweite Selbstlokalisierungseinheit des Schienenfahrzeugs umfasst bevorzugt diese zweite

Antenne. Die Referenzstation kann zum Beispiel Teil des Testobjekts sein und die erste Selbstlokalisierungseinheit kann in diesem Fall die Referenz-antenne umfassen. Die Referenzstation kann aber auch von einer anderen bzw. externen Einrichtung aus geliefert werden. Die RTK-Korrekturdaten können insbesondere über das Mobilfunknetz oder über Funk von einer Einrichtung, welche Korrekturdaten für die Satellitennavigation erzeugt, bereitgestellt werden.

**[0031]** Eine inertielle Messeinheit misst Beschleunigungs- und Verzögerungsdaten und kann zur Ermittlung einer Orientierung eines Schienenfahrzeugs und damit zur Ermittlung der Pose des Schienenfahrzeugs genutzt werden.

**[0032]** Geschwindigkeitssensordaten und Odometriedaten können zur Ermittlung der Ego-Position eines Schienenfahrzeugs eingesetzt werden.

**[0033]** In einer Variante der erfindungsgemäßen Anordnung umfasst die erste und/oder die zweite Selbstlokalisierungseinheit mindestens eine der folgenden Typen von Selbstlokalisierungseinheiten:

- eine Navigationseinheit zum Empfangen eines Satellitennavigationssignals,
- eine Empfangseinheit zum Empfangen von RTK-Korrekturdaten,
- eine inertielle Messeinheit.

**[0034]** Satellitennavigation kann für eine Positionsermittlung oder Bewegungsrichtungsermittlung im Rahmen der differenziellen Satellitennavigation durch eine Ergänzung von Referenzstationen sowie die Auswertung der Phasenverschiebung der Trägerwelle hohe Genauigkeiten erreichen. Eine inertielle Messeinheit kann zur Orientierungsmessung genutzt werden. Geschwindigkeitsdaten und Odometriedaten können ebenfalls zur Positionsbestimmung genutzt werden. Vorteilhaft können auch unterschiedliche Messverfahren kombiniert werden. Je nach Situation und aktueller Anwendbarkeit der unterschiedlichen Verfahren können die Messwerte unterschiedlicher Messverfahren kombiniert werden, beispielsweise durch Datenfusion, insbesondere durch gewichtete Mittelung der Messwerte.

**[0035]** Bevorzugt ist die Positionsermittlungseinheit der erfindungsgemäßen Anordnung dazu eingerichtet, auf Basis der Ego-Position des Schienenfahrzeugs eine Position und einen Verlauf einer Mittenlinie der Testschienenstrecke zu ermitteln. Ist die Lateralposition der zweiten Selbstlokalisierungseinheit auf dem Schienenfahrzeug bekannt, so kann durch Abfahren der Testschienenstrecke eine Absolutposition auf einer Mittenlinie der Testschienenstrecke ermittelt werden. Vorteilhaft kann diese Mittenlinie als Bezugslinie für eine zu messende Lateralposition des Testobjekts genutzt werden.

**[0036]** Bevorzugt ist die Positionsermittlungseinheit dazu eingerichtet, einen Abstand des Testobjekts von der Mittenlinie zu ermitteln. Ein Abstand eines Punkts zu der Mittenlinie kann mit Hilfe der linearen Algebra ermittelt werden. Dabei wird der Vektor ermittelt, der durch den Punkt verläuft und senkrecht zu der Mittenlinie orientiert ist. Vorteilhaft kann durch die Kenntnis des Abstands eines Punkts, insbesondere eines Objekts, von der Mittenlinie ermittelt werden, ob sich das Objekt im Fahrbereich des Schienenfahrzeugs bzw. im Schienenbereich befindet oder nicht.

**[0037]** Bevorzugt ist die Validierungseinheit der erfindungsgemäßen Anordnung dazu eingerichtet, eine Abweichung des fahrzeugseitig ermittelten Abstands des Testobjekts von der Mittenlinie von einem Referenzabstand des Testobjekts zu der Mittenlinie zu ermitteln. Der Referenzabstand des Testobjekts zu der Mittenlinie kann zum Beispiel auf Basis der Referenzposition des Testobjekts und der Kenntnis des Verlaufs der Mittenlinie berechnet werden. Der Vergleich ergibt eine Lateralabweichung der fahrzeugseitig gemessenen Absolutposition des Testobjekts.

**[0038]** Bevorzugt ist die Positionsermittlungseinheit dazu eingerichtet, einen Abstand zwischen dem Schienenfahrzeug und dem Testobjekt, vorzugsweise in Längsrichtung, zu ermitteln. Eine Abstandsmessung kann zum Beispiel trigonometrisch oder als Laufzeitmessung erfolgen.

**[0039]** Bevorzugt ist die Positionsermittlungseinheit dazu eingerichtet, eine Abweichung zwischen dem fahrzeugseitig detektierten Abstand, vorzugsweise in Längsrichtung, zwischen dem Schienenfahrzeug und dem Testobjekt und einem auf Basis der Referenzposition des Testobjekts und der ermittelten Ego-Position des Schienenfahrzeugs ermittelten Referenzabstands zwischen dem Schienenfahrzeug und dem Testobjekt, vorzugsweise in Längsrichtung, zu ermitteln.

**[0040]** Bevorzugt weist die Testschienenstrecke einen geradlinigen Verlauf auf. Vorteilhaft ändert sich die Pose des Schienenfahrzeugs bei dieser Variante der geometrischen Form der Testschienenstrecke in Abhängigkeit von der Position des Schienenfahrzeugs auf der Testschienenstrecke nicht. Die Pose des Schienenfahrzeugs muss also nicht ermittelt werden, um eine Ermittlung der Relativposition oder Absolutposition des Testobjekts auf Basis von Sensordaten durchzuführen.

**[0041]** Bevorzugt umfasst die Testschienenstrecke einen krummlinigen Verlauf und ist eine Mittenlinie der Testschienenstrecke durch geradlinige Teilstrecken angenähert. Vorteilhaft kann ein Abstand eines Punkts eines Objekts zu den Teilstrecken durch einfache lineare algebraische Methoden berechnet werden.

**[0042]** Die Erfindung wird im Folgenden unter Hinweis auf die beigefügten Figuren anhand von Ausführungsbeispielen noch einmal näher erläutert. Es zeigen:

FIG 1 eine schematische Darstellung einer Anordnung zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung,

FIG 2 ein Flussdiagramm, welches ein Verfahren zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht,

5 FIG 3 eine schematische Darstellung eines Vorgangs zur Erstellung einer Karte mit Ego-Positionen, die das Schienenfahrzeug im Rahmen der Validierung anfährt,

FIG 4 eine Darstellung der möglichen Fehler bei der Ermittlung der Ego-Position eines Schienenfahrzeugs und deren Auswirkungen auf eine Objektlokalisierung,

10 FIG 5 eine Darstellung von Positionen von Objekten mit unterschiedlichen lateralen Abständen zu einer Mittellinie einer Schienenstrecke,

FIG 6 ein Schaubild, welches eine Ermittlung des minimalen Abstandes zwischen einem Punkt und einer konstruierten Strecke veranschaulicht,

15 FIG 7 ein Schaubild, welches eine Ermittlung eines longitudinalen Abstandes zwischen einem Punkt und einem Hilfspunkt in longitudinaler Richtung veranschaulicht,

FIG 8 einen Kreisabstand auf einer Sphäre,

20 FIG 9 eine Darstellung von Winkelbeziehungen in einem Kreisbogen,

FIG 10 ein Schaubild, welches einen Validierungsprozess dokumentiert,

25 FIG 11 eine schematische Darstellung einer Anordnung zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung,

FIG 12 eine schematische Darstellung einer Anordnung zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit eines Schienenfahrzeugs zur Objektlokalisierung gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung.

30 **[0043]** In FIG 1 ist eine schematische Darstellung einer Anordnung 1 zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit 7 eines Schienenfahrzeugs 6 zur Objektlokalisierung gezeigt. Die Anordnung 1 umfasst eine geradlinige Testschienenstrecke 2, auf der sich ein Testobjekt 3, das in FIG 1 auf der rechten Seite lediglich schematisch gezeichnet ist, befindet. Weiterhin befindet sich auf der Testschienenstrecke 2 ein Schienenfahrzeug 6, das in FIG 1 auf der linken Seite gezeichnet ist.

35 **[0044]** Das Testobjekt 3 ist in einem Abstand  $d_r$  zur Mittellinie 2a der Testschienenstrecke 2 angeordnet. Das Testobjekt 3 umfasst eine erste Selbstlokalisierungseinheit 4, in diesem Ausführungsbeispiel eine Satellitennavigationseinheit, zum Ermitteln einer Referenzposition  $RP_T$  des Testobjekts 3. Hierzu empfängt die erste Selbstlokalisierungseinheit 4 ein Satellitensignal, auf dessen Basis sie die Referenzposition  $RP_T$  des Testobjekts 3 ermittelt. Das Testobjekt 3 umfasst weiterhin eine Sendeeinheit 5 zum Übermitteln der ermittelten Referenzposition  $RP_T$  des Testobjekts 3 an das Schienenfahrzeug 6 per Funk.

40 **[0045]** Das Schienenfahrzeug 6 umfasst die bereits erwähnte Sensoreinheit 7, in diesem Ausführungsbeispiel eine Lidareinheit, zur Detektion und Lokalisierung, d.h. zur Ermittlung einer Relativposition RLP des Testobjekts 3 zur Sensoreinheit 7. Hierzu misst die Sensoreinheit 7 den longitudinalen Abstand  $d_l$  des Testobjekts 3 zu der Sensoreinheit 7 und den lateralen Abstand  $d_r$  des Testobjekts 3 zur Mittellinie 2a der Testschienenstrecke 2. Die Position und der Verlauf der Mittellinie 2a können vorab durch ein Abfahren der Testschienenstrecke 2 und ein Erfassen der Ego-Position EP des Schienenfahrzeugs 6 an unterschiedlichen Stellen der Testschienenstrecke 2 ermittelt werden. Zur Ermittlung der Ego-Position EP umfasst das Schienenfahrzeug 6 eine zweite Selbstlokalisierungseinheit 9.

45 **[0046]** Die zweite Selbstlokalisierungseinheit 9 umfasst in dem in FIG 1 gezeigten Ausführungsbeispiel ebenfalls eine Satellitennavigationseinheit zum Empfangen eines Satellitensignals zur Ermittlung der Ego-Position EP des Schienenfahrzeugs 6. Weiterhin umfasst das Schienenfahrzeug 6 auch eine Positionsermittlungseinheit 8, welche eine Absolutposition AP des Testobjekts 3 auf Basis der detektierten Relativposition RLP des Testobjekts 3 zur Sensoreinheit 7 und auf Basis der ermittelten Ego-Position EP des Schienenfahrzeugs 6 ermittelt. Die von der Positionsermittlungseinheit 8 ermittelte Absolutposition AP wird auch an eine Validierungseinheit 10 übermittelt, die ebenfalls Teil des Schienenfahrzeugs 6 ist. Die Validierungseinheit 10 führt einen Vergleich zwischen der ermittelten Absolutposition AP des Testobjekts 3 und der von dem Testobjekt 3 selbst ermittelten Referenzposition  $RP_T$  des Testobjekts 3 durch. Hierzu umfasst das Schienenfahrzeug 6 eine Empfangseinheit 11, mit der die Information über die Referenzposition  $RP_T$  von dem Testobjekt 3 per Funk empfangen wird.

[0047] In FIG 2 ist ein Flussdiagramm 200 gezeigt, welches ein Verfahren zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit 7 eines Schienenfahrzeugs 6 zur Objektlokalisierung gemäß einem Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht.

[0048] Bei dem Schritt 2.I wird eine Referenzposition  $RP_T$  eines Testobjekts 3 durch eine in dem Testobjekt 3 angeordnete erste Selbstlokalisierungseinheit 4 ermittelt. Hierzu wird von der ersten Selbstlokalisierungseinheit 4, in diesem Ausführungsbeispiel eine Satellitennavigationseinheit, ein Satellitensignal PS empfangen.

[0049] Bei dem Schritt 2.II wird die ermittelte Referenzposition  $RP_T$  des Testobjekts 3 an eine Empfangseinheit 11 des Schienenfahrzeugs 6 durch eine an dem Testobjekt 3 angeordnete Sendeeinheit 5 übermittelt.

[0050] Bei dem Schritt 2.III wird eine Relativposition RLP des Testobjekts 3 zu einer an dem Schienenfahrzeug 6 angeordneten Sensoreinheit 7 detektiert. Hierzu misst die Sensoreinheit 7, in dem in FIG 2 veranschaulichten Ausführungsbeispiel eine Lidareinheit, eine Entfernung und einen Azimut des Testobjekts 3 relativ zu der Orientierung der Sensoreinheit 7.

[0051] Bei dem Schritt 2.IV wird zusätzlich eine Ego-Position EP des Schienenfahrzeugs 6 durch eine an dem Schienenfahrzeug 6 angeordnete zweite Selbstlokalisierungseinheit 9 ermittelt. Die Orientierung des Schienenfahrzeugs 6 ist anhand der bekannten Geometrie der Testschienenstrecke 2, beispielsweise verläuft die Testschienenstrecke 2 geradlinig, ebenfalls bekannt.

[0052] Bei dem Schritt 2.V wird eine Absolutposition AP des Testobjekts 3 auf Basis der detektierten Relativposition RLP des Testobjekts 3 zur Sensoreinheit 7 und der ermittelten Ego-Position EP sowie der bekannten Orientierung des Schienenfahrzeugs 6 ermittelt.

[0053] Bei dem Schritt 2.VI wird die Objektlokalisierungsfunktion der Sensoreinheit 7 durch Ermitteln einer Abweichung AW der ermittelten Absolutposition AP des Testobjekts 3 von der Referenzposition  $RP_T$  des Testobjekts 3 validiert.

[0054] FIG 3 zeigt eine schematische Darstellung eines Vorgangs zur Erstellung einer Karte mit Ego-Positionen EP1, ..., EP8, die das Schienenfahrzeug 6 (siehe FIG 1) im Rahmen der Validierung anfährt. Die Ego-Positionen EP1, EP2 ..., EP8 befinden sich an unterschiedlichen Positionen auf der Testschienenstrecke 2. Mithin sind die Abstände  $d_i$  (siehe FIG 1) zwischen dem Testobjekt 3 und dem Schienenfahrzeug 6 an den unterschiedlichen Ego-Positionen EP1, ..., EP8 auch unterschiedlich. Auf Basis der Messdaten an unterschiedlichen Messpositionen lassen sich Genauigkeiten bei der Messung in Abhängigkeit von Entfernungen bzw. Abständen  $d_i$  ermitteln und feststellen, bis zu welcher Entfernung die Sensoreinheit 7 die Mindestanforderungen an eine Messgenauigkeit erfüllt.

[0055] In FIG 4 ist eine Darstellung der möglichen Fehler bei der Ermittlung der Ego-Position EP eines Schienenfahrzeugs 6 und deren Auswirkungen auf eine Objektlokalisierung veranschaulicht. Eine ungenaue Ermittlung bzw. eine Abweichung  $\delta L$  der Ego-Position EP des Schienenfahrzeugs 6 in der Longitudinalen L und eine Abweichung  $\delta Lat$  in der Lateralen Lat kann zu falsch positiven bzw. falsch negativen Ergebnissen führen. In FIG 4 ist ein Beispiel gezeigt, bei dem ein Objekt O in Wirklichkeit auf einer Schienenstrecke steht, aber aufgrund einer Abweichung bei der Ermittlung der Ego-Position EP des Schienenfahrzeugs 6 fälschlicherweise außerhalb des Schienenbereichs lokalisiert wird. Diese Verschiebung ergibt sich aus der Abweichung  $\delta L$  der gemessenen Ego-Position EP des Schienenfahrzeugs 6 von seiner wahren Ego-Position. Die korrekte Einstufung des detektierten Objekts O hängt neben der korrekten Ermittlung der Ego-Position EP des Schienenfahrzeugs 6 auch von der korrekten Ermittlung der Relativposition RLP des Objektes O von dem Schienenfahrzeug 6 ab. Beide Abweichungen gehen letztendlich in die Validierung mit ein, da sowohl die Ego-Position EP des Schienenfahrzeugs 6 als auch die Relativposition RLP die mit der wahren Position des Objekts O, im Falle der Validierung mit dem Testobjekt 3 handelt es sich dabei um die Referenzposition  $RP_T$  des Testobjekts 3 (siehe FIG 1), zu vergleichende Absolutposition AP des Objekts O beeinflussen.

[0056] FIG 5 zeigt eine Darstellung von Positionen von Objekten O mit unterschiedlichen lateralen Abständen zu einer Mittellinie 2a einer Schienenstrecke 6. Die Mittellinie 2a ist aus geradlinigen Streckenabschnitten STA zusammengesetzt, die den wahren, von Kurven gekennzeichneten Streckenverlauf annähern.

[0057] In FIG 6 ist ein Schaubild, welches eine Ermittlung des minimalen Abstandes zwischen einem Punkt P mit den Koordinaten  $(x_0, y_0)$  und einer konstruierten Strecke STA mit den Punkten Q und Q' mit den Koordinaten  $(x_1, y_1)$  und

$(x_2, y_2)$  veranschaulicht. Die Distanz d zwischen dem Punkt P und der durch die Gerade  $y = -\frac{a}{b}x - \frac{c}{b}$  dargestellte Strecke mit den Punkten Q und Q', wird durch den Vektor  $\vec{r}$  repräsentiert. Die kleinste Distanz  $d_r$  zwischen dem Punkt

P und der Geraden  $y = -\frac{a}{b}x - \frac{c}{b}$  ist eine konstruierte Strecke, welche im rechten Winkel zur Geraden y verläuft und durch den Vektor  $\vec{v}$  repräsentiert wird. Damit  $\vec{r}$  orthogonal zur Geraden y verläuft, muss das Skalarprodukt aus dem Vektor  $\vec{r}$  und dem in Richtung der Gerade y verlaufenden Vektor in Summe Null ergeben.

[0058] Der Vektor  $\vec{v}$ , der senkrecht auf der Geraden y steht, errechnet sich dann zu

$$\vec{v} = \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} \quad (1) .$$

5 **[0059]** Der kleinste Abstand  $d_r$  ergibt sich als Projektion des Vektors  $\vec{r}$  auf den Vektor  $\vec{v}$ . Der Abstand  $d_r$  zwischen dem Punkt P und der Geraden  $y = -\frac{a}{b}x - \frac{c}{b}$  ergibt sich nach kurzer Rechnung somit zu

$$10 \quad d_r = \frac{|(x_2-x_1)(y_1-y_0) - ((x_1-x_0))(y_2-y_1)|}{\sqrt{(x_2-x_1)^2 + (y_2-y_1)^2}} \quad (2) .$$

15 **[0060]** In FIG 7 ist ein Schaubild dargestellt, welches eine Ermittlung eines longitudinalen Abstandes  $d_l$  zwischen einem Punkt  $P_0$  mit den Koordinaten  $(x_0, y_0)$  und einem Hilfspunkt P' mit den Koordinaten  $(x_r, y_r')$  auf der konstruierten Strecke STA in longitudinaler Richtung veranschaulicht. Unter Verwendung des senkrecht zur Geraden y berechneten lateralen Abstand  $d_r$  zwischen dem Punkt P mit den Koordinaten  $(x_r, y_r)$  und der Geraden y wird für die Berechnung des longitudinalen Abstandes  $d_l$  zunächst die sich aufspannende Hypotenuse  $d_0$  berechnet. Der longitudinale Abstand  $d_l$  ergibt sich dann als Kathete des Dreiecks aus den anderen beiden bekannten Abständen  $d_r, d_0$ .

20 **[0061]** In FIG 8 ist ein Kreisabstand auf einer Sphäre zwischen einem Punkt P und  $P_0$  gezeigt. Mittels der sogenannten Haversine-Formel lässt sich der Abstand zwischen zwei gegebenen Punkten auf einer Sphäre berechnen. Mithin lässt sich der Abstand zwischen zwei Punkten, deren Geokoordinaten bekannt sind, leicht berechnen.

25 **[0062]** In FIG 9 ist eine Darstellung von Winkelbeziehungen in einem Einheitskreis gezeigt. Die Punkte A, B und der Mittelpunkt O' bilden ein gleichschenkliges Dreieck, dessen Schenkel die Länge 1 aufweisen. Einer der Schenkel, die Höhe h des gleichschenkligen Dreiecks und die halbe Basis des gleichschenkligen Dreiecks, bilden ein rechtwinkliges Dreieck mit dem Schenkel mit der Einheitslänge 1 als Hypotenuse und dem Winkel  $\theta$  zwischen dem Schenkel des gleichschenkligen Dreiecks und der Höhe h. Die Basis des gleichschenkligen Dreiecks wird an dem Fußpunkt C in zwei gleiche Hälften geteilt. Wird die Höhe h in x-Richtung verlängert, so schneidet die verlängerte Halbgerade den Einheitskreis im Punkt D. Der Funktionswert  $\sin\theta$  wird durch die halbe Basis des gleichschenkligen Dreiecks gebildet. Der Funktionswert  $\cos\theta$  wird durch die Höhe h des gleichschenkligen Dreiecks gebildet und der Funktionswert  $\text{hav}\theta$  ( $\text{hav}$  = Abkürzung für "Haversinus") wird durch die Strecke zwischen den Punkten C und D gebildet. Soll nun die in FIG 7 gezeigte Hypotenuse  $d_0$  aus den Koordinaten  $(\text{lat}_1, \text{lon}_1), (\text{lat}_2, \text{lon}_2)$  der beiden Punkte P,  $P_0$ , wobei "lat" für Breitengrad und "lon" für Längengrad steht und "1", "2" die beiden unterschiedlichen Punkte P,  $P_0$  auf der Erdkugel symbolisieren, berechnet werden, so ergibt sich der Abstand zwischen den Punkten P und  $P_0$ , d.h. der Abstand  $d_0$  zu:

$$35 \quad d_0 = r \text{ archav}(\text{hav}(\theta)), \quad (3)$$

wobei

$$40 \quad \text{hav}(\theta) = \text{hav}(\text{lat}_2 - \text{lat}_1) + \cos(\text{lat}_1) \cdot \cos(\text{lat}_2) \cdot \text{hav}(\text{lon}_2 - \text{lon}_1). \quad (4)$$

und Gleichung (4) in Gleichung (3) eingesetzt ergibt schließlich den Abstand von  $d_0$ , wobei r den Erdradius repräsentiert.

45 **[0063]** Wie im Zusammenhang mit FIG 7 erklärt, kann aus der Hypotenuse  $d_0$  und dem lateralen Abstand  $d_r$  die Gegenkathete  $d_l$  und damit der longitudinale Abstand  $d_l$  berechnet werden.

50 **[0064]** In FIG 10 ist ein Schaubild gezeigt, welches einen Validierungsprozess dokumentiert. In dem Schaubild sind mit einer durchgezogenen treppenförmigen Linie Messwerte, in diesem Fall gemessene longitudinale Abstände  $d_l$  in Metern (abgekürzt mit "m") zwischen einem Schienenfahrzeug 6 bzw. einer an der Front des Schienenfahrzeugs 6 angeordneten Sensoreinheit 7 und einem Testobjekt 3 in Abhängigkeit von dem Messzeitpunkt t (die Zeitangabe erfolgt in koordinierter Weltzeit, "UTC") gezeigt. Weiterhin sind in dem Schaubild Referenzwerte  $d_{\text{ref}}$  für einen longitudinalen Abstand zwischen dem Schienenfahrzeug 6 bzw. der Sensoreinheit 7 und dem Testobjekt 3, die durch die Messung der Selbstlokalisierungseinheiten 4, 9 des Testobjekts 3 und des Schienenfahrzeugs 6 ermittelt werden, ebenfalls mit einer durchgezogenen Linie darstellt. Weiterhin ist in dem Schaubild in FIG 10 ein Toleranzbereich T mit einer maximalen Abweichung der gemessenen longitudinalen Abstände  $d_l$  von 10% von dem jeweiligen Referenzwert  $d_{\text{ref}}$  mit gestrichelten Linien markiert.

55 **[0065]** In FIG 11 ist eine schematische Darstellung einer Anordnung 1 zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit 7 eines Schienenfahrzeugs 6 zur Objektlokalisierung gemäß einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung

veranschaulicht. Bei der in FIG 11 gezeigten Anordnung 1 weist nicht das Schienenfahrzeug 6, sondern das Testobjekt 3 die Validierungseinheit 10 auf. Bei dieser Variante umfasst das Testobjekt 3 anders als bei dem in FIG 1 gezeigten ersten Ausführungsbeispiel eine Empfangseinheit 5' zum Empfangen der von der Positionsermittlungseinheit 8 ermittelten Absolutposition AP des Testobjekts 3. Weiterhin weist im Unterschied zu dem in FIG 1 gezeigten ersten Ausführungsbeispiel das Schienenfahrzeug 6 eine Sendeeinheit 11' zum Übermitteln der von der Positionsermittlungseinheit 8 ermittelten Absolutposition AP des Testobjekts 3 an das Testobjekt 3 auf. Bei dieser Variante kann eine einzige Validierungseinheit 10 für eine Validierung unterschiedlicher Schienenfahrzeuge genutzt werden, wodurch ein Ressourcen-Einspareffekt erreicht wird. Das Testobjekt 3 weist auch wie bei dem in FIG 1 gezeigten ersten Ausführungsbeispiel eine erste Selbstlokalisierungseinheit 4 auf, die eine ermittelte Referenzposition  $RP_T$  des Testobjekts 3 direkt an die von dem Testobjekt 3 umfasste Validierungseinheit 10 übermittelt.

**[0066]** In FIG 12 ist eine schematische Darstellung einer Anordnung 1 zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit 7 eines Schienenfahrzeugs 6 zur Objektlokalisierung gemäß einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung veranschaulicht.

**[0067]** Bei dem dritten Ausführungsbeispiel weist die Anordnung 1 eine von dem Schienenfahrzeug 6 und dem Testobjekt 3 separate stationäre Auswertungseinrichtung 12 auf. Die stationäre Auswertungseinrichtung 12 umfasst in diesem Fall die Validierungseinheit 10 und eine Empfangseinheit 5" zum Empfangen der von der Positionsermittlungseinheit 8 des Schienenfahrzeugs 6 ermittelten Absolutposition AP des Testobjekts 3. Die Empfangseinheit 5" ist bei dem dritten Ausführungsbeispiel auch dazu eingerichtet, die Referenzposition  $RP_T$  des Testobjekts 3 von dem Testobjekt 3 zu empfangen und die empfangenen Informationen AP,  $RP_T$  an die Validierungseinheit 10 weiterzugeben. Die stationäre Auswertungseinrichtung 12 kann auch als sogenannter Remote-Computer ausgebildet sein und über ein Kommunikationsnetzwerk, beispielsweise das Internet, mit dem Testobjekt 3 und dem Schienenfahrzeug 6 in Verbindung stehen, um die vom Testobjekt 3 und dem Schienenfahrzeug 6 ermittelten Messdaten bzw. Informationen AP,  $RP_T$  zu empfangen. Das Schienenfahrzeug 6 weist bei dem in FIG 12 gezeigten dritten Ausführungsbeispiel ähnlich wie bei dem zweiten Ausführungsbeispiel eine Sendeeinheit 11' zum Übermitteln der von der Positionsermittlungseinheit 8 ermittelten Absolutposition AP des Testobjekts 3 an die Auswertungseinrichtung 12 auf. Das Testobjekt 3 ist bei dem dritten Ausführungsbeispiel analog zu dem Testobjekt 3 des ersten Ausführungsbeispiels aufgebaut. Allerdings übermittelt die Sendeeinheit 5 des Testobjekts 3 bei dem dritten Ausführungsbeispiel die Information über die Referenzposition  $RP_T$  des Testobjekts 3 nicht an das Schienenfahrzeug 6, sondern an die separate stationäre Auswertungseinrichtung 12.

**[0068]** Es wird abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei den vorbeschriebenen Verfahren und Vorrichtungen lediglich um bevorzugte Ausführungsbeispiele der Erfindung handelt und dass die Erfindung vom Fachmann variiert werden kann, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen, soweit er durch die Ansprüche vorgegeben ist. Es wird der Vollständigkeit halber auch darauf hingewiesen, dass die Verwendung der unbestimmten Artikel "ein" bzw. "eine" nicht ausschließt, dass die betreffenden Merkmale auch mehrfach vorhanden sein können. Ebenso schließt der Begriff "Einheit" nicht aus, dass diese aus mehreren Komponenten besteht, die gegebenenfalls auch räumlich verteilt sein können.

## Patentansprüche

1. Anordnung (1) zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit (7) eines Schienenfahrzeugs (6) zur Objektlokalisierung, aufweisend:

- eine Testschienenstrecke (2),
- ein Testobjekt (3) auf der Testschienenstrecke (2), umfassend eine erste Selbstlokalisierungseinheit (4) zum Ermitteln einer Referenzposition ( $RP_T$ ) des Testobjekts (3),
- das Schienenfahrzeug (6), umfassend:
  - eine Sensoreinheit (7) zur Detektion einer Relativposition (RLP) des Testobjekts (3) zur Sensoreinheit (7),
  - eine zweite Selbstlokalisierungseinheit (9) zum Ermitteln einer Ego-Position (EP) des Schienenfahrzeugs (6),
  - eine Positionsermittlungseinheit (8) zum Ermitteln einer Absolutposition (AP) des Testobjekts (3) auf Basis der detektierten Relativposition (RLP) des Testobjekts (3) zur Sensoreinheit (7) und der ermittelten Ego-Position (EP) des Schienenfahrzeugs (6),
- eine Validierungseinheit (10) zum Ermitteln einer Abweichung (AW) der ermittelten Absolutposition (AP) des Testobjekts (3) von der Referenzposition ( $RP_T$ ) des Testobjekts (3) .

2. Anordnung nach Anspruch 1, wobei das Testobjekt (3) eine Sendeeinheit (5) zum Übermitteln der ermittelten Re-

## EP 4 286 243 A1

ferenzposition ( $RP_T$ ) des Testobjekts (3) an die Validierungseinheit (10) aufweist.

3. Anordnung nach Anspruch 1 oder 2, wobei das Schienenfahrzeug (6) eine Empfangseinheit (11) zum Empfangen der ermittelten Referenzposition ( $RP_T$ ) des Testobjekts (3) umfasst.

4. Anordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei das Schienenfahrzeug (6) die Validierungseinheit (10) umfasst.

5. Anordnung nach Anspruch 1, wobei

- das Testobjekt (3)

- die Validierungseinheit (10) und

- eine Empfangseinheit (5') zum Empfangen der von der Positionsermittlungseinheit (8) ermittelten Absolutposition (AP) des Testobjekts (3) aufweist

und

- das Schienenfahrzeug (6) eine Sendeeinheit (11') zum Übermitteln der von der Positionsermittlungseinheit (8) ermittelten Absolutposition (AP) des Testobjekts (3) aufweist.

6. Anordnung nach einem der Ansprüche 1 oder 2, aufweisend eine von dem Schienenfahrzeug (6) und dem Testobjekt (3) separate Auswertungseinrichtung (12), umfassend:

- die Validierungseinheit (10),

- eine Empfangseinheit (5'') zum Empfangen der von der Positionsermittlungseinheit (8) ermittelten Absolutposition (AP) des Testobjekts (3) und der Referenzposition ( $RP_T$ ) des Testobjekts (3),

wobei das Schienenfahrzeug (6) eine Sendeeinheit (11') zum Übermitteln der von der Positionsermittlungseinheit (8) ermittelten Absolutposition (AP) des Testobjekts (3) aufweist.

7. Anordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die erste und/oder die zweite Selbstlokalisierungseinheit (4, 9) mindestens eine der folgenden Typen von Selbstlokalisierungseinheiten umfasst:

- eine Navigationseinheit zum Empfangen eines Satellitennavigationssignals,

- eine Empfangseinheit zum Empfangen von RTK-Korrekturdaten,

- eine inertielle Messeinheit.

8. Anordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Positionsermittlungseinheit (8) dazu eingerichtet ist, auf Basis der Ego-Position (EP) des Schienenfahrzeugs (6) einen Pfad einer Mittenlinie (2a) der Testschienestrecke (2) zu ermitteln.

9. Anordnung nach Anspruch 8, wobei

- die Positionsermittlungseinheit (8) dazu eingerichtet ist, einen Abstand ( $d_r$ ) des Testobjekts (3) von der Mittenlinie (2a) zu ermitteln, und

- die Validierungseinheit (10) dazu eingerichtet ist, eine Abweichung (AW) des ermittelten Abstands ( $d_r$ ) des Testobjekts (3) von der Mittenlinie (2a) von einem Referenzabstand des Testobjekts (3) zu der Mittenlinie (2a) zu ermitteln.

10. Anordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei

- die Positionsermittlungseinheit (8) dazu eingerichtet ist, einen longitudinalen Abstand ( $d_l$ ) zwischen dem Schienenfahrzeug (6) und dem Testobjekt (3) zu ermitteln, und

- die Validierungseinheit (10) dazu eingerichtet ist, eine Abweichung (AW) zwischen dem detektierten longitudinalen Abstand ( $d_l$ ) zwischen dem Schienenfahrzeug (6) und dem Testobjekt (3) und einem auf Basis der Referenzposition ( $RP_T$ ) des Testobjekts (3) und der ermittelten Ego-Position (EP) des Schienenfahrzeugs (6) ermittelten longitudinalen Referenzabstand ( $d_{lref}$ ) zwischen dem Schienenfahrzeug (6) und dem Testobjekt (3) zu ermitteln.

## EP 4 286 243 A1

11. Anordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Testschienenstrecke (2) einen geradlinigen Verlauf aufweist.

5 12. Anordnung nach einem der vorstehenden Ansprüche, wobei die Testschienenstrecke (2) einen krummlinigen Verlauf umfasst und eine Mittenlinie (2a) der Testschienenstrecke (2) durch geradlinige Teilstrecken angenähert ist.

13. Verfahren zur Validierung einer Funktion einer Sensoreinheit (7) eines Schienenfahrzeugs (6) zur Objektlokalisierung, aufweisend die Schritte:

10 - Ermitteln einer Referenzposition ( $RP_T$ ) eines Testobjekts (3) durch eine erste an dem Testobjekt (3) angeordnete Selbstlokalisierungseinheit (4),

- Detektieren einer Relativposition (RLP) des Testobjekts (3) zu einer an dem Schienenfahrzeug (6) angeordneten Sensoreinheit (7),

15 - Ermitteln einer Ego-Position (EP) des Schienenfahrzeugs (6) durch eine an dem Schienenfahrzeug (6) angeordnete zweite Selbstlokalisierungseinheit (9),

- Ermitteln einer Absolutposition (AP) des Testobjekts (3) auf Basis der detektierten Relativposition (RLP) des Testobjekts (3) zur Sensoreinheit (7) und der ermittelten Ego-Position (EP) des Schienenfahrzeugs (6),

- Validieren einer Objektlokalisierung der Sensoreinheit (7) durch Ermitteln einer Abweichung (AW) der ermittelten Absolutposition (AP) des Testobjekts (3) von der Referenzposition ( $RP_T$ ) des Testobjekts (3) .

20 14. Computerprogrammprodukt, umfassend Befehle, die bei der Ausführung des Programms durch einen Computer diesen veranlassen, die Schritte des Ermitteln einer Absolutposition (AP) des Testobjekts (3) und des Validierens der Objektlokalisierung des Verfahrens nach Anspruch 13 auszuführen.

25 15. Computerlesbares Speichermedium, umfassend Befehle, die bei der Ausführung durch einen Computer diesen veranlassen, die Schritte des Ermitteln einer Absolutposition (AP) des Testobjekts (3) und des Validierens der Objektlokalisierung des Verfahrens nach Anspruch 13 auszuführen.

30

35

40

45

50

55

FIG 1

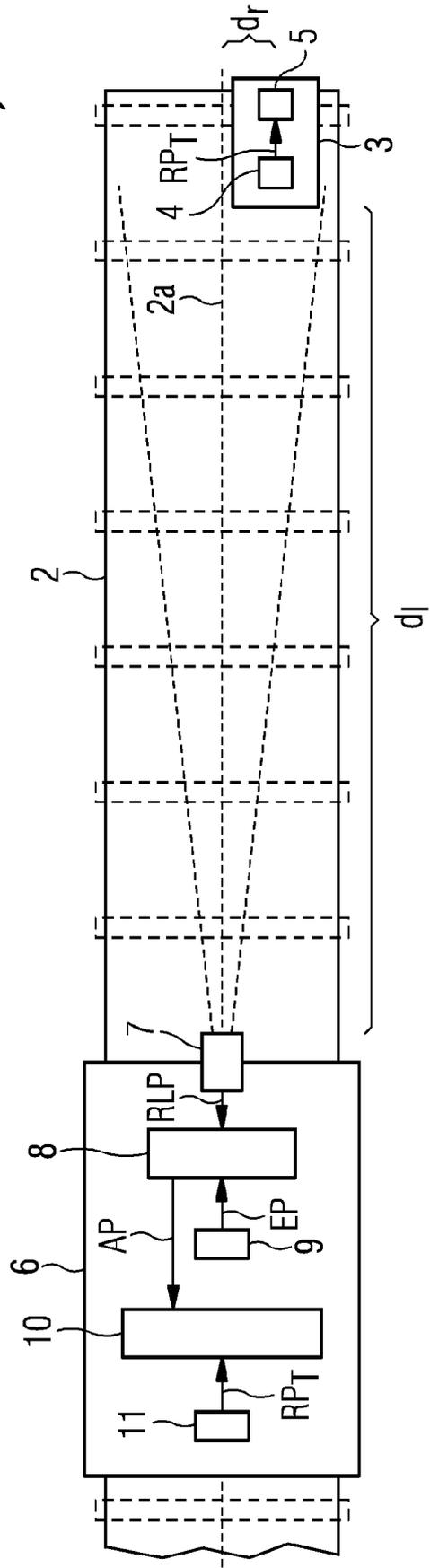


FIG 2

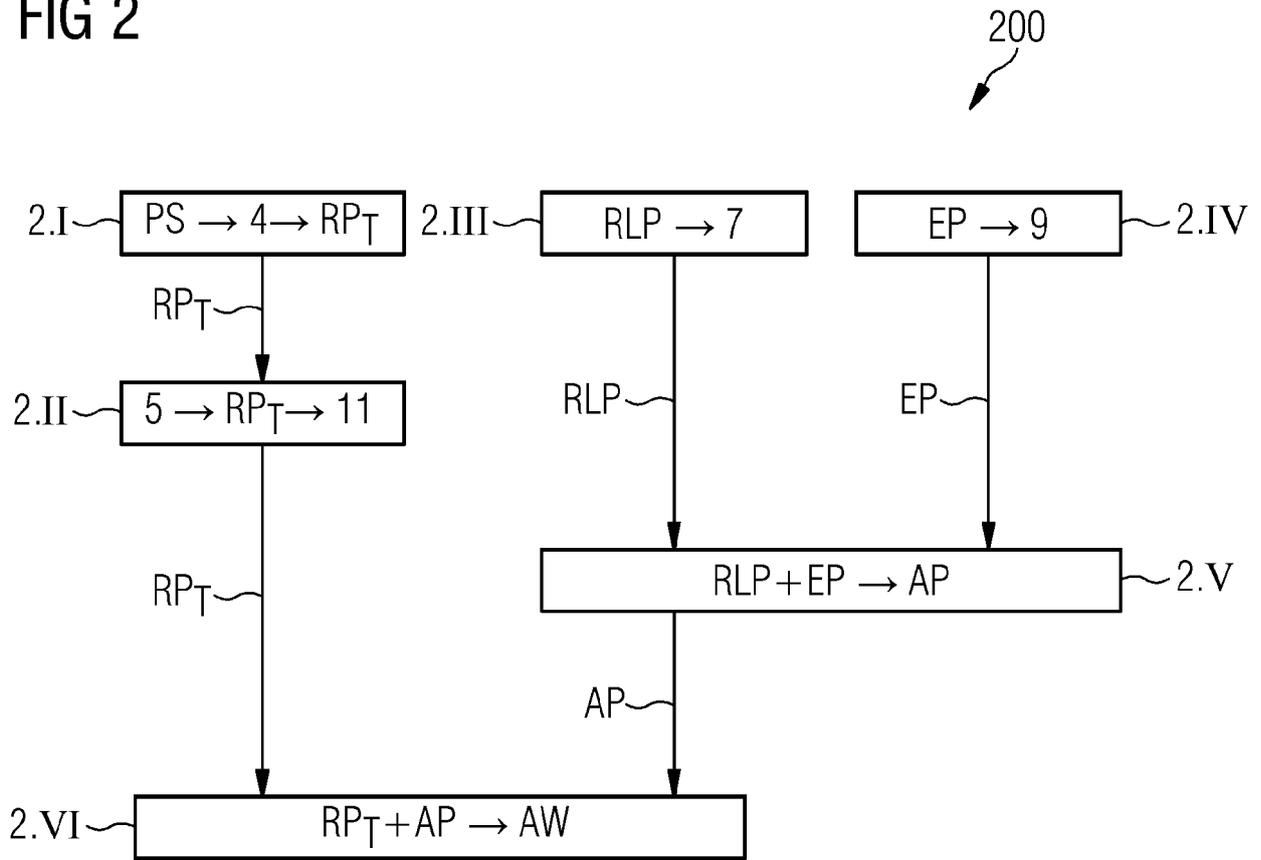
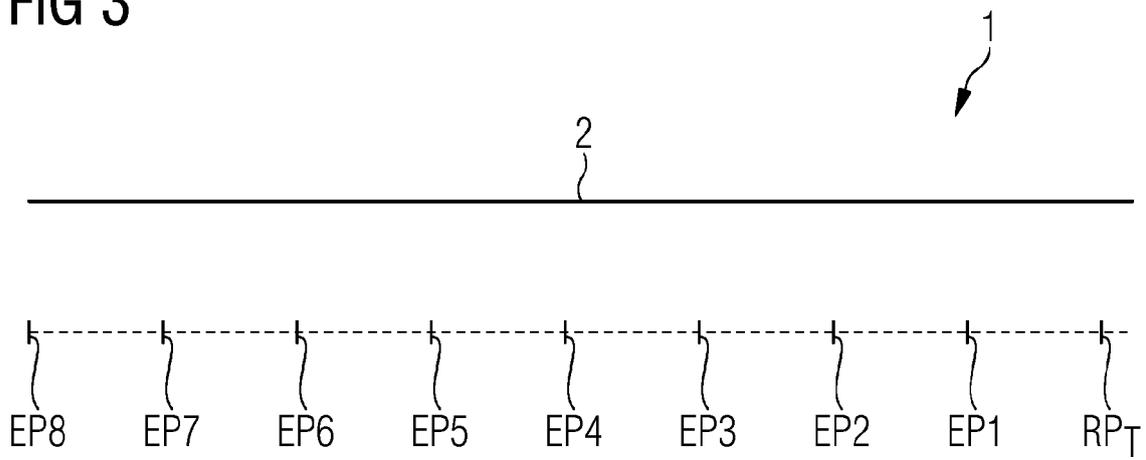


FIG 3



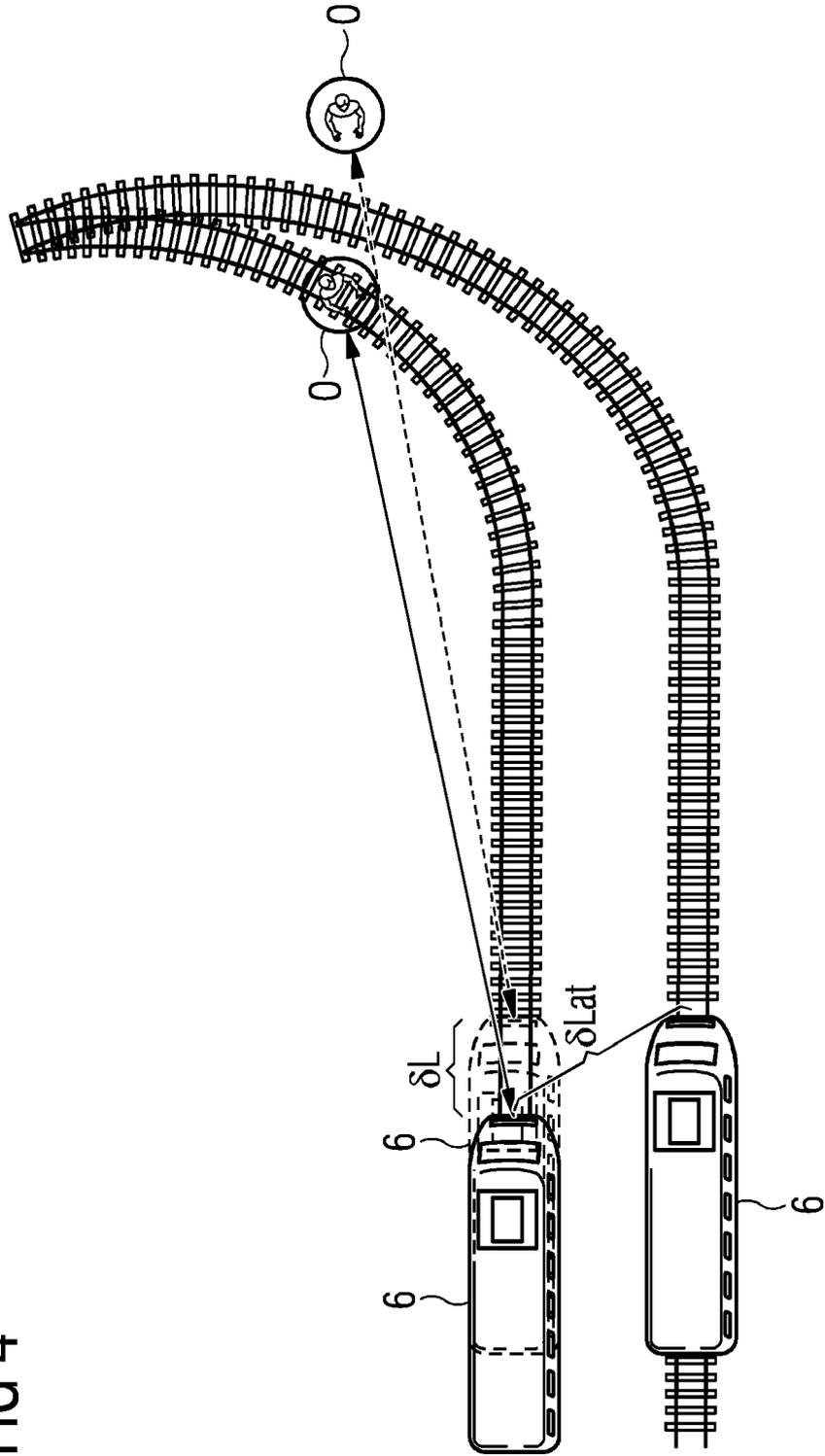


FIG 4

FIG 5

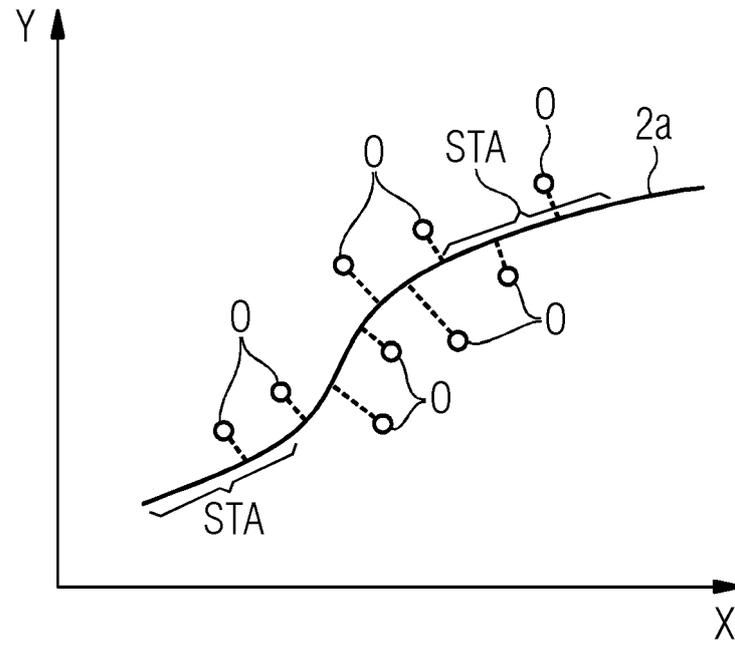


FIG 6

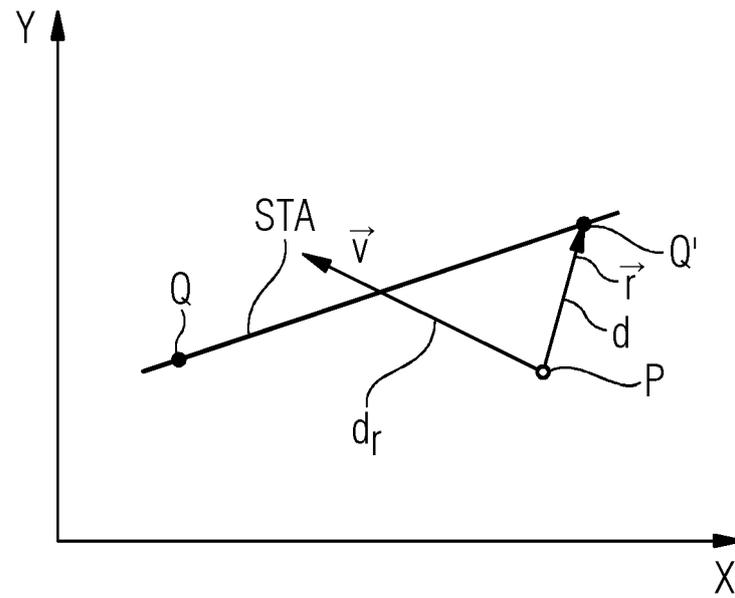


FIG 7

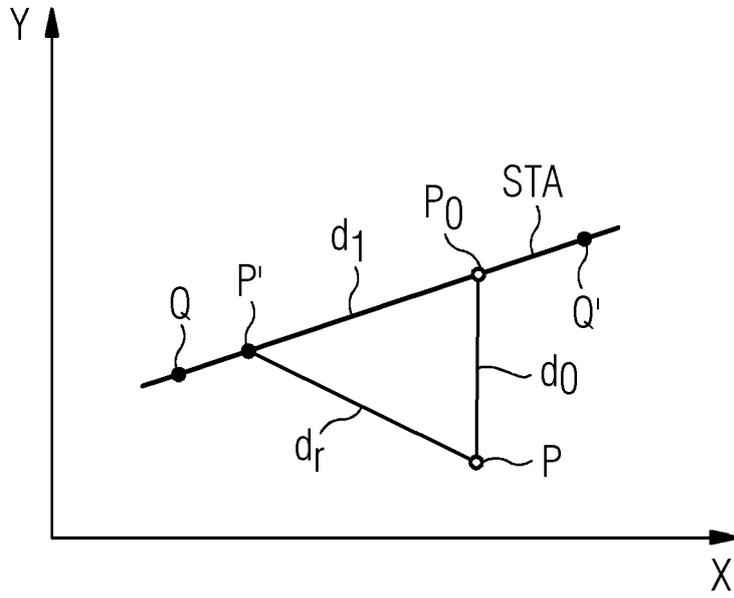


FIG 8

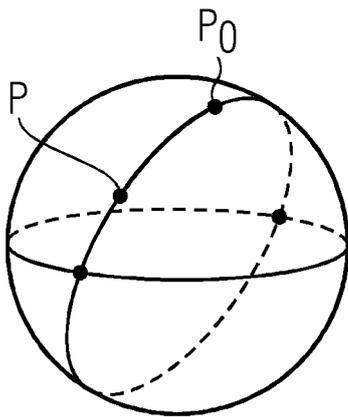


FIG 9

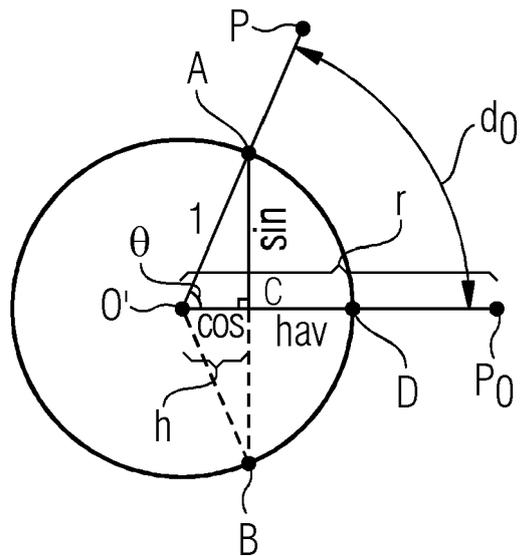


FIG 10

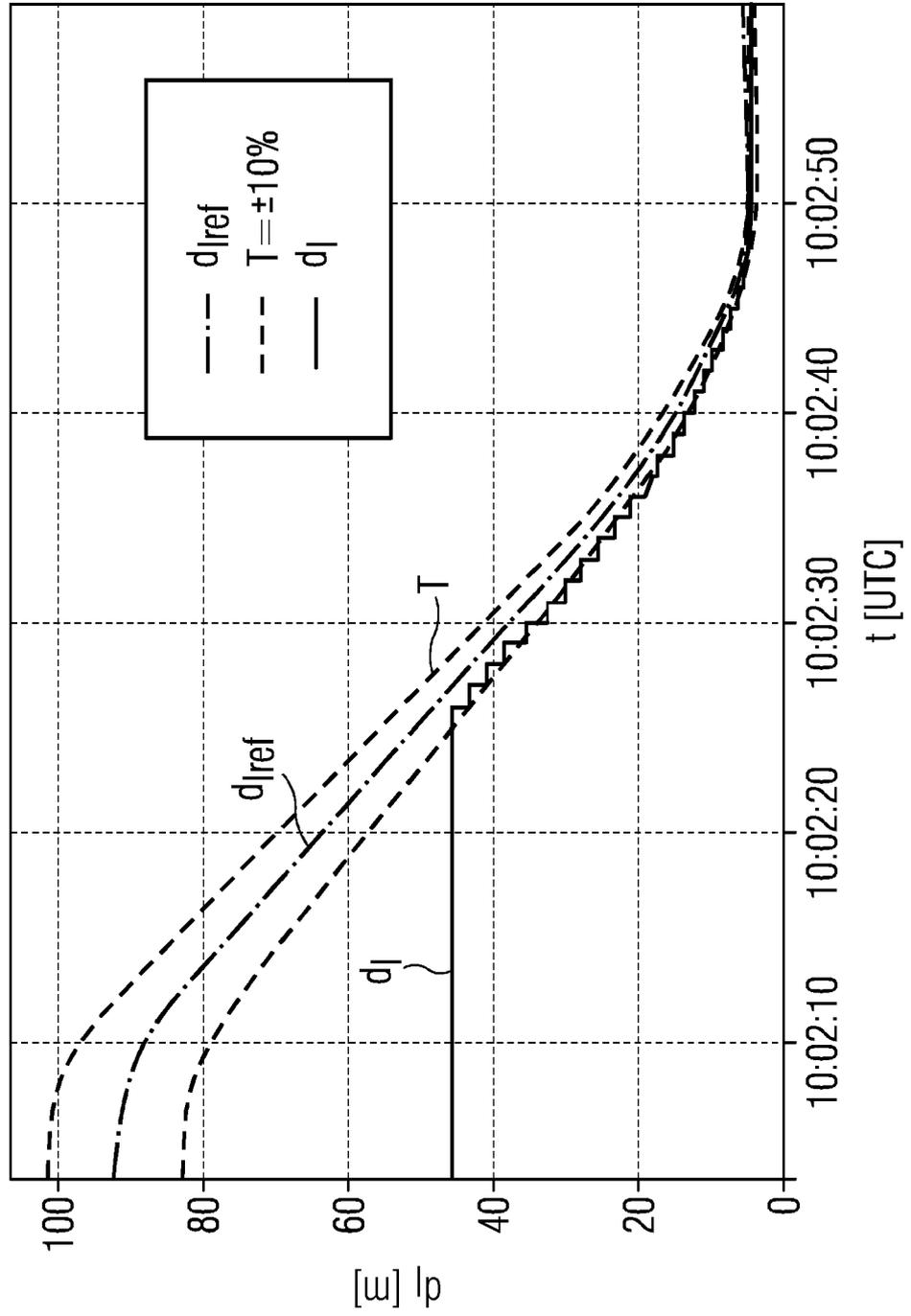


FIG 11

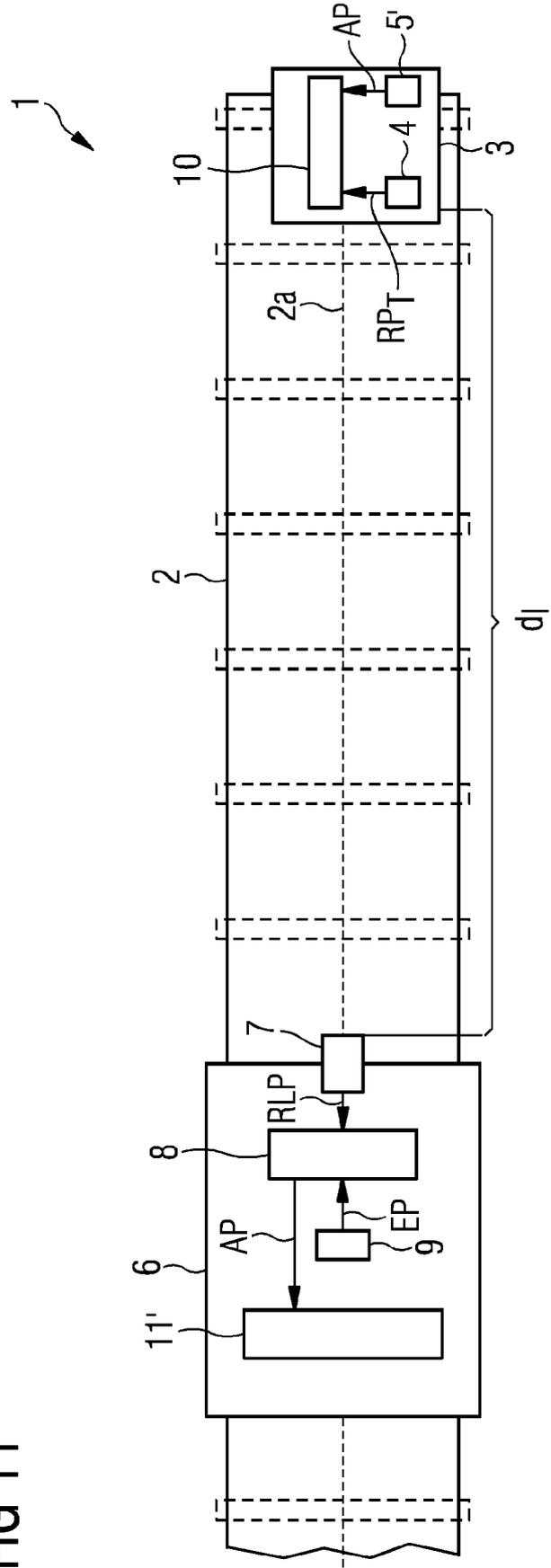
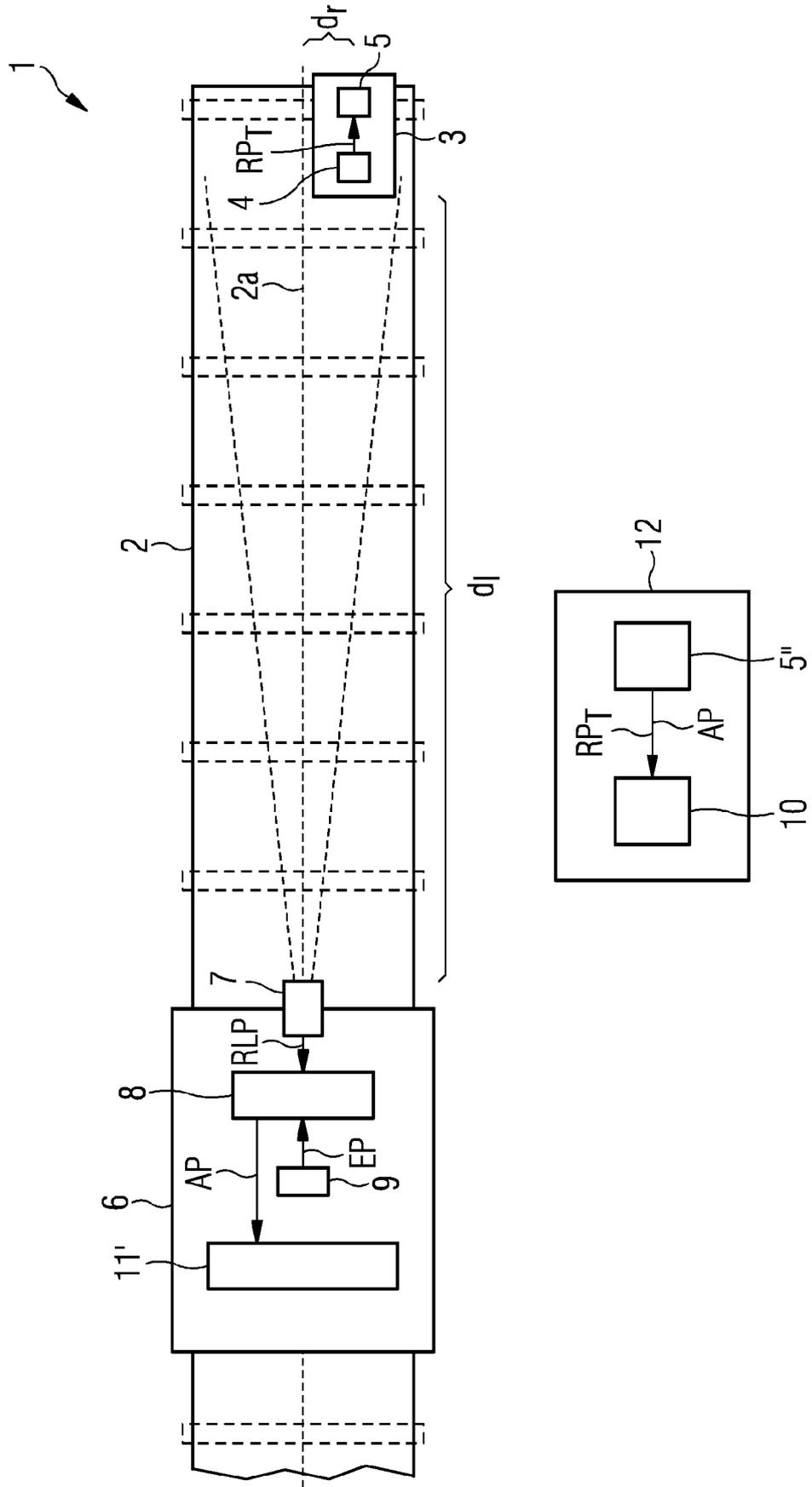


FIG 12





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung  
EP 23 15 7523

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	DE 10 2019 206503 A1 (ZAHNRADFABRIK FRIEDRICHSHAFEN [DE]) 12. November 2020 (2020-11-12) * Figuren 3 - 6; Absätze [0001], [0007], [0033] - [0035] und [0050] * -----	1-15	INV. B61L23/04 B61L25/02
A	EP 3 410 145 A1 (VALEO SCHALTER & SENSOREN GMBH [DE]) 5. Dezember 2018 (2018-12-05) * Figuren 1 und 2; Absatz [0033] * -----	1-15	
A	DE 10 2006 007788 A1 (SIEMENS AG [DE]) 30. August 2007 (2007-08-30) * Figuren 1 und 2; Absatz [0008] * -----	1-15	
			RECHERCHIERTER SACHGEBIETE (IPC)
			B61L
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>24. Oktober 2023</b>	Prüfer <b>Plützer, Stefan</b>
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 : mündliche 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	

1  
EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

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

EP 23 15 7523

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten  
 Patentedokumente 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.

24-10-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
<b>DE 102019206503 A1</b>	<b>12-11-2020</b>	<b>KEINE</b>	
<b>EP 3410145 A1</b>	<b>05-12-2018</b>	<b>DE 102017111860 A1</b> <b>EP 3410145 A1</b>	<b>06-12-2018</b> <b>05-12-2018</b>
<b>DE 102006007788 A1</b>	<b>30-08-2007</b>	<b>DE 102006007788 A1</b> <b>WO 2007096273 A1</b>	<b>30-08-2007</b> <b>30-08-2007</b>

EPO FORM P0461

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