



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2008 049 224 A1** 2010.06.02

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2008 049 224.8**

(22) Anmeldetag: **27.09.2008**

(43) Offenlegungstag: **02.06.2010**

(51) Int Cl.⁸: **G01M 17/08** (2006.01)
B61K 9/08 (2006.01)

(71) Anmelder:

**THALES Defence Deutschland GmbH, 75175
Pforzheim, DE**

(74) Vertreter:

Dreiss Patentanwälte, 70188 Stuttgart

(72) Erfinder:

**Hornung, Günther, 75249 Kieselbronn, DE; Kofler,
Paul, 75217 Birkenfeld, DE**

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

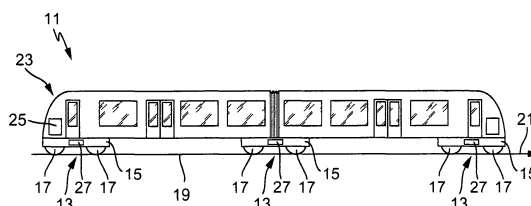
DE	198 37 476	A1
DE	10 2006 001540	B3
DE	100 20 521	B4
DE	198 27 271	C5
DE	198 52 229	C2
DE	198 52 220	A1
DE	198 37 485	A1
DE	198 36 081	A1
DE	195 02 670	A1
US	39 94 459	A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Vorrichtung zum Überprüfen mindestens eines Laufwerks eines auf einem Gleis fahrbaren Schienenfahrzeugs auf einen Defekt**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren (53) zum Überprüfen mindestens eines Laufwerks (13) eines auf einem Gleis (19) fahrbaren Schienenfahrzeugs (11) auf einen Defekt, wobei das Verfahren (53) folgende Schritte umfasst: Erfassen von mindestens einer Sensorgröße (a_s , a_v , a_1 , x_k , x_1), die Schwingungen mindestens eines Teils (15) des Laufwerks (13) charakterisiert, mittels einer Sensoreinrichtung (27) und Überprüfen in Abhängigkeit von der Sensorgröße (a_s , a_v , a_1 , x_k und x_1), ob der Defekt vorliegt. Um ein Verfahren (53) zum Überprüfen eines Laufwerks (13) eines Schienenfahrzeugs (11) auf einen Defekt anzugeben, das nicht von streckenspezifischen Referenzdaten abhängig ist und dennoch den Defekt zuverlässig erkennt, wird vorgeschlagen, dass als Sensorgröße mittels mindestens eines Sensorelements (31, 33, 35) der Sensoreinrichtung (27) eine in einer bestimmten Richtung verlaufende Komponente (a_s , a_v , a_1) einer Beschleunigung des Teils (15) erfasst wird.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Überprüfen mindestens eines Laufwerks eines auf einem Gleis fahrbaren Schienenfahrzeugs auf einen Defekt, wobei das Verfahren folgende Schritte umfasst: Erfassen von mindestens einer Sensorgröße, die Schwingungen mindestens eines Teils des Laufwerks charakterisiert, mittels einer Sensoreinrichtung und Überprüfen in Abhängigkeit von der Sensorgröße, ob der Defekt vorliegt.

[0002] Ein solches Verfahren wird üblicherweise während der Fahrt des Schienenfahrzeugs eingesetzt, um einen relativ kurzfristig aufgetretenen Defekt, der beispielsweise durch Verschleiß am Schienenfahrzeug beziehungsweise am Laufwerk oder durch einen aufgetretenen Schaden am Schienenfahrzeug oder am Laufwerk verursacht wurde, schnell erkennen zu können, so dass von dem Defekt möglicherweise ausgehende Unfallgefahren möglichst weitgehend vermieden werden können.

[0003] Die DE 198 37 476 A1 zeigt ein Verfahren zum vorbeugenden Überwachen des Fahrverhaltens von Schienenfahrzeugen. Bei diesem Verfahren werden mittels fahrzeugseitigen Sensoren Geräusche und Schwingungen aufgenommen. Sich bei mechanischer Beanspruchung und Verschleiß mit der Zeit verändernde Eigenschaften von Komponenten des Fahrzeugs werden bei diesem Verfahren durch Vergleich von mittels der Sensoren aufgenommenen Schall- und Schwingungswerten mit Referenzwerten erkannt. Die Referenzwerte werden nicht am zu überwachenden System und nicht zur Echtzeit erfasst. Nachteilig an diesem Verfahren ist, dass die Schwingungen nur relativ ungenau erfasst werden können, so dass ein hinreichend zuverlässiges Erkennen eines Defekts allenfalls dadurch erreicht werden kann, dass umfangreiche, für die jeweils befahrene Strecke spezifische Referenzdaten bereitgestellt werden. Aus diesem Grund ist die Realisierung dieses Verfahrens relativ aufwändig.

[0004] Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zum Überprüfen eines Laufwerks eines Schienenfahrzeugs auf einen Defekt anzugeben, das nicht von streckenspezifischen Referenzdaten abhängig ist und dennoch den Defekt zuverlässig erkennt. Ein solches Verfahren ist als relativ zuverlässig zu bewerten, wenn bei dem Überprüfen, ob der Defekt vorliegt, in vergleichsweise seltenen Fällen ein vorhandener Defekt nicht erkannt wird oder fälschlicherweise ein Defekt erkannt wird, obwohl kein Defekt vorliegt.

[0005] Die Aufgabe wird durch ein Verfahren der eingangs genannten Art gelöst, das dadurch gekennzeichnet ist, dass als Sensorgröße mittels mindestens einem Sensorelement der Sensoreinrichtung

eine in einer bestimmten Richtung verlaufende Komponente einer Beschleunigung des Teils erfasst wird. Ein Defekt kann von Verschleiß am Laufwerk, Materialermüdung, einem Schaden am Laufwerk oder durch Fertigungsfehler bei der Herstellung von Teilen des Laufwerks verursacht werden. Ein solcher Defekt kann beispielsweise an einem Drehgestell des Fahrwerks oder an einer Welle, Achse oder einem Radreifen eines Radsatzes des Laufwerks auftreten. Wird ein Defekt erkannt, dann kann das Schienenfahrzeug außer Betrieb genommen werden und ein Unfall, insbesondere ein Entgleisen, aufgrund eines Bruchs der Achse beziehungsweise der Welle oder des Radreifens vermieden werden. Durch das Überprüfen, ob ein Defekt vorliegt, wird eine Unfallgefahr also frühzeitig erkannt und auf diese Weise Gefahren für Menschen und Umwelt erheblich reduziert.

[0006] Dadurch, dass nicht nur der zeitliche Verlauf einer Sensorgröße, das heißt der Schwingungen, sondern auch eine Richtung der Schwingungen erfasst wird, kann der Defekt ohne dass hierfür auf streckenspezifische Referenzdaten zurückgegriffen werden muss, erkannt werden. Die Schwingungen werden also richtungsdifferenziert ausgewertet. Das erfindungsgemäße Verfahren kann somit relativ leicht realisiert werden, weil vor dem Einsatz des Verfahrens kein Abmessen der von dem Schienenfahrzeug zu befahrenden Strecke zum Erfassen von Referenzdaten erforderlich ist.

[0007] Es ist bevorzugt, dass mittels des Sensorelements der Sensoreinrichtung die in die bestimmte Richtung verlaufende Komponente der Beschleunigung eines Drehgestells des Fahrwerks erfasst wird.

[0008] Es ist ferner bevorzugt, dass als Komponente der Beschleunigung eine quer zu einer Längsrichtung des Gleises und zumindest im Wesentlichen horizontal verlaufenden Scherbeschleunigung des Teils erfasst wird. Die Scherbeschleunigung ist zumindest im Wesentlichen parallel zu Achsen beziehungsweise Wellen eines Radsatzes des Laufwerks gerichtet. Aus der Scherbeschleunigung kann eine Scherkraft, die auf das Teil des Fahrlaufwerks wirkt, berechnet werden. Es wurde erkannt, dass die Scherkraft, wenn sie aufgrund des Defekts einen zu hohen Betrag aufweist, zu einem Entgleisen des Schienenfahrzeugs führen kann und somit zum Überprüfen auf den Defekt erfasst werden sollte.

[0009] Um Unebenheiten einer Lauffläche des Laufwerks, die auf einen Defekt hindeuten können, möglichst zuverlässig erkennen zu können, ist es bevorzugt, dass als Komponente der Beschleunigung eine Vertikalbeschleunigung des Teils erfasst wird. Aus der Vertikalbeschleunigung kann eine auf das Teil wirkende vertikale Kraft berechnet werden.

[0010] Ergänzend zu der richtungsdifferenzieren-

den Erfassung der Beschleunigung kann vorgesehen werden, dass als Sensorgröße von dem Teil des Laufwerks erzeugter Körperschall innerhalb des Teils und/oder von dem Teil erzeugter Luftschall in der Umgebung erfasst wird. Hierzu kann an einer Oberfläche des Teils ein Körperschallsensor zum Erfassen des Körperschalls angebracht sein beziehungsweise ein Mikrophon zum Erfassen des Luftschalls in der Umgebung des Teils angeordnet sein. Durch das Erfassen des Schalls werden weitere Sensorgrößen bereitgestellt, die das Überprüfen des Laufwerks auf einen Defekt weiter erleichtern. Hierbei kann vorgesehen werden, dass der Körperschall und/oder der Luftschall nur für einen Teil der Laufwerke des Schienenfahrzeugs erfasst wird.

[0011] Es ist denkbar, dass für einen ersten Teil der Laufwerke nur die Beschleunigung erfasst wird, während für einen anderen Teil der Laufwerke nur der Körperschall und/oder der Luftschall erfasst werden. Auf diese Weise können Herstellkosten einzelner Sensoreinrichtungen zum Erfassen dieser Sensorgrößen reduziert werden, da eine einzelne Sensoreinrichtung entweder die Sensorelemente zum Erfassen der Beschleunigung oder den Körperschallsensor beziehungsweise das Mikrophon aufweisen muss. Es brauchen also nicht beide Arten von Sensoren in einer Sensoreinrichtung vorgesehen werden.

[0012] In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung ist vorgesehen, dass die mindestens eine Sensorgröße für verschiedene Laufwerke des Schienenfahrzeugs erfasst wird, wobei die für ein bestimmtes Laufwerk erzeugte Sensorgröße die Schwingungen des Teils dieses bestimmten Laufwerks charakterisiert. Es wird also für verschiedene Laufwerke, vorzugsweise für jedes Laufwerk des Schienenfahrzeugs, jeweils eine für dieses Laufwerk spezifische Sensorgröße erfasst. Hierdurch werden die Schwingungen noch differenzierter erfasst, so dass das Verfahren noch zuverlässiger realisiert werden kann.

[0013] Wenn in den einzelnen Laufwerken kein Defekt vorhanden ist, dann wird in dem Teil eines jeden Laufwerks, wenn es einen bestimmten Abschnitt des Gleises passiert, im Wesentlichen die gleiche Sensorgröße erfasst. Da die einzelnen Laufwerke des Schienenfahrzeugs entlang einer Längsrichtung des Gleises hintereinander angeordnet sind, passieren die einzelnen Laufwerke den Streckenabschnitt während der Fahrt nacheinander, so dass ein zeitlicher Versatz zwischen den Sensorgrößen auftritt, der das Überprüfen auf den Defekt erschwert. Somit wird vorgeschlagen, dass für einen zeitlichen Verlauf mindestens eines Teils der Sensorgrößen ein von einem Abstand der einzelnen Laufwerke untereinander herrührender zeitlicher Versatz zwischen den zeitlichen Verläufen dieser Sensorgrößen ermittelt wird.

[0014] Anhand des ermittelten zeitlichen Versatzes kann die Reihenfolge der einzelnen Laufwerke innerhalb des Schienenfahrzeugs automatisch von dem Verfahren ermittelt werden. Bei einem Zusammenstellen des Schienenfahrzeugs beispielsweise aus einzelnen Wägen oder Triebwägen sind daher keine speziellen Konfigurationsarbeiten beispielsweise an den Sensoreinrichtungen notwendig, um dem Verfahren Informationen über die Reihenfolge der Laufwerke bereitzustellen. Hierdurch wird die Anwendung des Verfahrens vereinfacht.

[0015] Es kann vorgesehen werden, dass zum Überprüfen, ob der Defekt vorliegt, eine Fahrtgeschwindigkeitsgröße, die eine Fahrtgeschwindigkeit des Schienenfahrzeugs charakterisiert, ermittelt wird. Unter Heranziehen der Fahrtgeschwindigkeitsgröße kann beim Überprüfen, ob der Defekt vorliegt, berücksichtigt werden, dass bestimmte Merkmale beispielsweise im zeitlichen Verlauf der Sensorgröße oder im Spektrum der Sensorgröße von der Fahrtgeschwindigkeit abhängen.

[0016] Obwohl die Fahrtgeschwindigkeitsgröße auch durch Abfragen von Steuer- oder Regeleinrichtungen des Schienenfahrzeugs ermittelt werden kann, ist bevorzugt, dass die Fahrtgeschwindigkeitsgröße in Abhängigkeit von dem zeitlichen Versatz zwischen den Sensorsignalen ermittelt wird. Hierdurch lässt sich das Verfahren unabhängig von den Steuer- oder Regeleinrichtungen des Schienenfahrzeugs realisieren. Ist ein Abstand entlang der Längsrichtung des Gleises zwischen den einzelnen Laufwerken bekannt, dann kann als Fahrtgeschwindigkeitsgröße die tatsächliche Fahrtgeschwindigkeit des Schienenfahrzeugs berechnet werden.

[0017] Es ist besonders bevorzugt, dass zum Überprüfen, ob der Defekt vorliegt, die Sensorgrößen verschiedener Laufwerke miteinander verglichen werden. Hierbei können die Sensorgrößen direkt miteinander verglichen werden und/oder es können mittels Signalverarbeitungsverfahren Kenngrößen berechnet werden, die bestimmte Merkmale beispielsweise im zeitlichen Verlauf oder im Spektrum der Sensorgrößen charakterisieren, und diese Kenngrößen der Sensorgrößen der verschiedenen Laufwerke miteinander verglichen werden. Anhand dieses Vergleichs kann dann überprüft werden, ob der Defekt vorliegt.

[0018] Falls erkannt wird, dass ein Defekt vorliegt, kann durch Auswerten einzelner Sensorsignale oder durch das Vergleichen ein Schweregrad des Defekts ermittelt werden. Entsprechend dieses Schweregrades kann eine Alarmierungsstufe festgelegt werden. Bei einem hohen Schweregrad kann einem Lokführer des Schienenfahrzeugs ein Alarm, das heißt eine Meldung einer hohen Alarmierungsstufe angezeigt werden, so dass er das Schienenfahrzeug sofort an-

hält. Wird lediglich ein geringer Schweregrad erkannt, so kann dem Lokführer lediglich eine Warnung, das heißt eine Meldung einer niedrigen Alarmierungsstufe, angezeigt werden, so dass beispielsweise nach Betriebsschluss eine besondere Inspektion des Schienenfahrzeugs beziehungsweise des Laufwerks durchgeführt werden kann.

[0019] Darüber hinaus kann vorgesehen werden, dass die erfasste Sensorgröße mit einer Mustergröße beziehungsweise Kenngrößen davon verglichen wird. Die Mustergröße kann von Eigenschaften des Gleises und/oder Eigenschaften des Schienenfahrzeugs, insbesondere des Laufwerks, unabhängig sein. Die Mustergröße muss somit nicht speziell für die Anwendung des Verfahrens in Verbindung mit einem bestimmten Typ des Schienenfahrzeugs oder einer bestimmten zu befahrenden Strecke berechnet werden.

[0020] Als Signalverarbeitungsverfahren zum Überprüfen, ob der Defekt vorliegt oder zum Vergleichen der Sensorsignale miteinander oder mindestens eines Sensorsignals mit dem Mustersignal, kann beispielsweise eine Kreuzkorrelation der Sensorsignale untereinander beziehungsweise der Sensorsignale mit dem Mustersignal vorgenommen werden. Des Weiteren kann die Sensorgröße mit geeigneten Verfahren entauscht werden, es können Störungen in der Sensorgröße beseitigt werden, es können Verfahren zur Mustererkennung im zeitlichen Verlauf oder im Spektrum der Sensorgröße oder der Mustergröße angewendet werden, und es können verschiedene Verfahren der Analyse des Spektrums der Sensorgröße verwendet werden.

[0021] Um bei dem vergleichen der Sensorgrößen miteinander den zeitlichen Versatz nicht berücksichtigen zu müssen, ist bevorzugt, dass vor dem Vergleichen der Sensorgrößen miteinander der zeitliche Verlauf zumindest eines Teils der Sensorgrößen derart korrigiert wird, dass entsprechend korrigierte Sensorgrößen den zeitlichen Versatz nicht mehr aufweisen. Aus den Sensorgrößen werden also zunächst korrigierte Sensorgrößen berechnet, und die korrigierten Sensorgrößen werden miteinander verglichen. Das Korrigieren der Sensorgrößen kann ein zeitliches Verzögern des zeitlichen Verlaufs einzelner oder aller Sensorgrößen umfassen.

[0022] In einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung ist vorgesehen, dass aus der Sensorgröße, vorzugsweise aus den korrigierten Sensorgrößen, eine erste Teilgröße berechnet wird, die von Schwingungen charakterisiert wird, die von der Beschaffenheit des Laufwerks herrühren. Auf diese Weise kann ein von der Beschaffenheit des Gleises herrührender Einfluss auf die Sensorgröße eliminiert werden.

[0023] Hierbei ist bevorzugt, dass aus der ersten Teilgröße, vorzugsweise durch Subtraktion der ersten Teilgröße von der Sensorgröße oder der korrigierten Sensorgröße, eine zweite Teilgröße berechnet wird, die von der Beschaffenheit des Gleises und/oder eines Unterbaus des Gleises herrührende Schwingungen charakterisiert. Hierdurch wird ein Überprüfen der Qualität des Gleises bzw. des Unterbaus während der Fahrt des Schienenfahrzeugs anhand der zweiten Teilgröße ermöglicht. Es kann unter Verwendung der zweiten Teilgröße auch ein sicherheitskritischer Defekt am Gleis erkannt werden.

[0024] Es ist bevorzugt, während der Fahrt die Qualität der befahrenen Strecke zu überwachen. Hierzu ist in einer bevorzugten Ausführungsform der Erfindung vorgesehen, dass ein Qualitätsprofil des Gleises bzw. des Unterbaus ermittelt wird, indem eine momentane Position des Schienenfahrzeugs ermittelt wird und die zweite Teilgröße zusammen mit der Position gespeichert wird. Die momentane Position des Schienenfahrzeugs kann beispielsweise mittels eines GPS-Empfängers oder einer anderen Positionsbestimmungseinrichtung ermittelt werden. Anstelle einer geographischen Position kann auch eine Position innerhalb der Strecke beispielsweise mit Hilfe eines im Schienenfahrzeug ohnehin vorhandenen Kilometerzählers ermittelt werden.

[0025] Als eine weitere Lösung der Aufgabe wird eine Prüfvorrichtung zum Überprüfen mindestens eines Laufwerks eines auf einem Gleis fahrbaren Schienenfahrzeugs auf einen Defekt vorgeschlagen, wobei die Prüfvorrichtung mindestens eine Sensoreinrichtung zum Erfassen von mindestens einer Sensorgröße, die Schwingungen mindestens eines Teils des Laufwerks charakterisiert, und Auswertemittel zum Überprüfen in Abhängigkeit von der Sensorgröße, ob der Defekt vorliegt, aufweist, die dadurch gekennzeichnet ist, dass die Sensoreinrichtung mindestens ein Sensorelement zum Erfassen einer in einer bestimmten Richtung verlaufenden Komponente einer Beschleunigung des Teils aufweist. Mit Hilfe einer solchen Prüfvorrichtung kann das Laufwerk besonders zuverlässig auf den Defekt überprüft werden, wobei streckenspezifische oder fahrzeugspezifische Referenzdaten nicht verwendet werden müssen.

[0026] Insbesondere, wenn die Prüfvorrichtung zum Ausführen des oben beschriebenen erfindungsgemäßen Verfahrens eingerichtet ist, können sämtliche Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens auf einfache Weise realisiert werden.

[0027] Die Prüfvorrichtung arbeitet zuverlässig, wenn es sich bei dem Teil des Laufwerks um ein Drehgestell handelt. Zudem genügt es in diesem Fall, pro Laufwerk lediglich eine Sensoreinrichtung vorzusehen.

[0028] Es ist besonders bevorzugt, dass die Sensoreinrichtung ein erstes Sensorelement zum Erfassen einer quer zu der Längsrichtung des Gleises und zumindest im Wesentlichen horizontal verlaufenden Scherbeschleunigung des Teils und/oder ein zweites Sensorelement zum Erfassen einer Vertikalbeschleunigung des Teils aufweist. Die Sensoreinrichtung kann einen 2D-Beschleunigungssensor oder einen 3D-Beschleunigungssensor aufweisen, in den das erste Sensorelement beziehungsweise das zweite Sensorelement integriert ist. Hierdurch wird ein kompakter Aufbau der Sensoreinrichtung erreicht.

[0029] Die einzelnen Operationen des erfindungsgemäßen Verfahrens können in verschiedenen Teilen der Prüfvorrichtung ausgeführt werden. Hierbei kann auch ein Verteilen der einzelnen Operationen des Verfahrens vorgesehen werden. Jedoch ist bevorzugt, dass die Auswertemittel eine zentrale Auswerteeinrichtung umfassen und die Prüfvorrichtung ein Kommunikationsnetz, vorzugsweise ein drahtloses Ad-hoc-Netz, zum Übertragen der Sensorgroße von der Sensoreinrichtung zu der Auswerteeinrichtung aufweist. Es werden somit zumindest die meisten Schritte des Verfahrens in der zentralen Auswerteeinrichtung durchgeführt. Die Sensoreinrichtungen können hierbei Rechenmittel zur Vorverarbeitung der erfassten Sensorgroße aufweisen. Das Kommunikationsnetz beziehungsweise das drahtlose Ad-hoc-Netz ermöglicht, dass die Prüfvorrichtung weitgehend unabhängig von dem Schienenfahrzeug betrieben werden kann. Da das Überprüfen, ob der Defekt vorliegt, zumindest weitgehend unabhängig von speziellen Eigenschaften des Schienenfahrzeugs realisierbar ist, sind bei Verwendung des ebenfalls vom Schienenfahrzeug unabhängigen Ad-hoc-Netzes im Idealfall keine Anpassungen der Prüfvorrichtung an einen speziellen Typ des Schienenfahrzeugs erforderlich.

[0030] Alternativ zum Kommunikationsnetz der Prüfvorrichtung kann auch vorgesehen werden, dass die Sensoreinheit über ein Kommunikationsnetz, wie beispielsweise ein Bussystem des Schienenfahrzeugs, an die Auswerteeinrichtung angebunden wird.

[0031] Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung, in welcher exemplarische Ausführungsformen anhand der Zeichnungen näher erläutert werden. Dabei zeigen:

[0032] [Fig. 1](#) ein Schienenfahrzeug mit einer Prüfvorrichtung gemäß einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung;

[0033] [Fig. 2](#) eine schematische Darstellung der Prüfvorrichtung aus [Fig. 1](#); und

[0034] [Fig. 3](#) ein Signalflussdiagramm eines von

der Prüfvorrichtung ausgeführten Verfahrens.

[0035] [Fig. 1](#) zeigt ein Schienenfahrzeug **11**, das als ein Triebwagen ausgebildet ist und drei Laufwerke **13** aufweist. Jedes Laufwerk **13** umfasst ein Drehgestell **15** mit jeweils zwei Radsätzen **17**. Das Schienenfahrzeug **11** befindet sich auf einem Gleis **19** und ist in einer Längsrichtung (Pfeil **21**) des Gleises **19** fahrbar.

[0036] Das Schienenfahrzeug **11** weist eine Prüfvorrichtung **23** zum Überprüfen der Laufwerke **13** auf einen Defekt auf. Die Prüfvorrichtung **23** umfasst eine zentrale Auswerteeinrichtung **25** und Sensoreinrichtungen **27**, welche mittels einer Kommunikationseinrichtung an die Auswerteeinrichtung **25** angebunden sind. An jedem Drehgestell **15** ist jeweils eine Sensoreinrichtung **27** fest angeordnet, so dass die Sensoreinrichtung **27** während der Fahrt des Schienenfahrzeugs **11** auftretende Schwingungen innerhalb des Drehgestells **15** erfassen kann.

[0037] Der Aufbau der Prüfvorrichtung **23** ist in [Fig. 2](#) genauer dargestellt. Die Sensoreinrichtung **27** weist einen Beschleunigungssensor **29** mit einem ersten Sensorelement **31** zum Erfassen einer quer zu der Längsrichtung **21** verlaufenden Scherbeschleunigung a_s des Drehgestells **15** sowie ein zweites Sensorelement **33** zum Erfassen einer Vertikalbeschleunigung a_v des Drehgestells **15** auf. Der Beschleunigungssensor **29** ist also zum Erfassen von zwei orthogonal zueinander ausgerichteten Komponenten einer Beschleunigung des Drehgestells **15**, nämlich die Scherbeschleunigung und die Vertikalbeschleunigung, eingerichtet; es handelt sich somit um einen 2D-Beschleunigungssensor **29**.

[0038] In einer anderen Ausführungsform der Erfindung ist als Beschleunigungssensor **29** ein 3D-Beschleunigungssensor vorgesehen. Dieser Beschleunigungssensor **29** weist ein drittes Sensorelement **35** auf, welches zum Erfassen einer Komponente a_l der Beschleunigung des Drehgestells **15** eingerichtet ist, welche orthogonal zur Scherbeschleunigung a_s und zur Vertikalbeschleunigung a_v ist. Die von dem dritten Sensorelement **35** erfasste Komponente a_l der Beschleunigung ist also eine zumindest im Wesentlichen parallel zur Längsrichtung **21** des Gleises **19** verlaufende Längsbeschleunigung a_l .

[0039] Ferner weist die Sensoreinrichtung **27** einen mit dem Drehgestell **15** fest verbundenen Körperschallsensor **37** zum Erfassen eines bei der Fahrt des Schienenfahrzeugs **11** im Drehgestell **15** vorhandenen Körperschalls x_k auf. Außerdem umfasst die Sensoreinrichtung **27** ein Mikrophon **39** zum Erfassen eines vom Drehgestell **15** während der Fahrt des Schienenfahrzeugs **11** abgegebenen Luftschalls x_l .

[0040] Außerdem weist die Sensoreinrichtung **27** einen ersten Rechner **41** auf, der beispielsweise als ein

Mikrocomputer, insbesondere als ein Mikrocontroller, ausgebildet sein kann. Ausgänge des Beschleunigungssensors **29**, des Körperschallsensors **37** sowie des Mikrophons **39** sind mit entsprechenden Eingängen des ersten Rechners **41** verbunden. An den ersten Rechner **41** ist außerdem eine erste Kommunikationseinrichtung **43** zur drahtlosen Kommunikation über einen Funkkanal angebunden.

[0041] In der gezeigten Ausführungsform weist das Schienenfahrzeug **11** drei Laufwerke **13** mit je einem Drehgestell **15** auf, wobei an jedem Drehgestell **15** eine Sensoreinrichtung **27** angeordnet ist. Bei Schienenfahrzeugen **11** mit einer abweichenden Anzahl an Laufwerken **13** beziehungsweise Drehgestellen **15** kann eine entsprechend abweichende Anzahl an Sensoreinrichtungen **27** vorgesehen werden. Es ist auch möglich, lediglich an einen Teil der Drehgestelle **15** die Sensoreinrichtung **27** anzubringen.

[0042] In weiteren Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung weist die Sensoreinrichtung **27** nur einen Teil der in [Fig. 2](#) gezeigten Sensoren **29**, **37**, **39** auf. Beispielsweise können zwei Arten von Sensoreinrichtungen **27** vorgesehen werden, wobei eine Sensoreinrichtung **27** der ersten Art den Beschleunigungssensor **29** und nicht die Schallsensoren **37**, **39** aufweist, wohingegen eine Sensoreinrichtung **27** der zweiten Art die Schallsensoren **37**, **39**, jedoch nicht den Beschleunigungssensor **29**, aufweist. Ein Teil der Drehgestelle **15** weist dann die Sensoreinrichtung **27** der ersten Art auf, während die verbleibenden Drehgestelle **15** jeweils eine Sensoreinrichtung **27** der zweiten Art aufweisen.

[0043] Die Auswerteeinrichtung **25** weist einen zweiten Rechner **45** auf, an den eine zweite Kommunikationseinrichtung **47** zur drahtlosen Kommunikation über Funk angebunden ist. Außerdem ist an den zweiten Rechner **45** eine Positionsermittlungseinrichtung **48** in Form eines GPS-Empfängers zum Ermitteln einer geographischen Position p des Schienenfahrzeugs **11** und eine Anzeigeeinrichtung **49** angeschlossen. Der zweite Rechner **45** kann ähnlich wie der erste Rechner **41** als ein Mikrocomputer, insbesondere als ein Mikrocontroller, ausgebildet sein. Die drei Sensoreinrichtungen **27** und die Auswerteeinrichtung **25** bilden zusammen ein Ad-hoc-Funknetz **51**. Das Funknetz **51** ist selbst organisierend, wobei die Vermittlung von Nachrichten über das Funknetz **51** mittels eines Ad-hoc-Routing-Protokolls koordiniert wird. Bei diesem Routing-Protokoll kann es sich um ein beliebiges, insbesondere allgemein für Sensornetze geeignetes Protokoll, handeln.

[0044] Beim Betrieb der Prüfvorrichtung **23** erzeugen die Sensoren **29**, **37**, **39** der Sensoreinrichtung **27** Sensorsignale, die jeweils die von dem entsprechenden Sensorelement **31**, **33**, **35** des Beschleunigungssensors **29**, dem Körperschallsensor **37** oder

dem Mikrophon **39** erfasste Sensorgröße, nämlich die Scherbeschleunigung a_s , die Vertikalbeschleunigung a_v , die Beschleunigung in Längsrichtung a_l , den Körperschall x_k sowie den Luftschall x_l , charakterisieren. Der erste Rechner **41** bildet aus den einzelnen von den Sensoren **29**, **37**, **39** erzeugten Signalen ein Sensorsignal s und sendet dieses über die erste Kommunikationseinrichtung **43** aus, so dass es über das Funknetz **51** übertragen werden kann. Um eine Bitrate des Sensorsignals s gering zu halten, kann vorgesehen werden, dass der erste Rechner **41** eine Vorverarbeitung der von den einzelnen Sensoren **29**, **37**, **39** erzeugten Signale durchführt, indem er mittels geeigneter Signalverarbeitungsverfahren relevante Bestandteile dieser Signale extrahiert und aus diesen relevanten Signalbestandteilen das Sensorsignal s bildet.

[0045] Die Auswerteeinrichtung **25** empfängt die Sensorsignale s der einzelnen Sensoreinrichtungen **27** über die zweite Kommunikationseinrichtung **47** und wertet die mittels den Sensorsignalen s übertragenen Sensorgrößen a_s , a_v , a_l , x_k und x_l aus. Hierbei vergleicht die Auswerteeinrichtung **25** gleiche Sensorgrößen, die von verschiedenen Sensoreinrichtungen **27** erzeugt werden, sowohl untereinander als auch mit vorgegebenen Mustergrößen. Anhand dieses Vergleichs überprüft der zweite Rechner **45**, ob an einem Laufwerk **13** ein Defekt vorliegt und überprüft gegebenenfalls, an welchem Laufwerk **13** der Defekt vorliegt.

[0046] Falls ein Defekt vorliegt, ermittelt der zweite Rechner **45** anhand der Sensorgrößen eine Alarmierungsstufe, welche ein Ausmaß des Defekts charakterisiert, und erzeugt eine entsprechende Meldung, die über die Anzeigeeinrichtung **49** beispielsweise einem Lokführer des Schienenfahrzeugs **11** angezeigt wird.

[0047] Im Folgenden wird ein Verfahren **53** zum Überprüfen, ob eines der Laufwerke **13** einen Defekt aufweist, anhand des in der [Fig. 3](#) dargestellten Signalflussdiagramms näher erläutert. Sämtliche Verarbeitungsschritte des Verfahrens **53** werden vom zweiten Rechner **45**, das heißt zentral ausgeführt. In anderen Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung wird ein Teil der Verarbeitungsschritte des Verfahrens **53** auch von den ersten Rechnern **41** der einzelnen Sensoreinrichtungen **27** ausgeführt.

[0048] Das Verfahren **53** umfasst einen ersten Funktionsblock **54**, welchem die einzelnen Sensorsignale s_1 , s_2 sowie s_3 zugeführt werden, welche die einzelnen Sensoreinrichtungen **27** erzeugt haben und über das Funknetz **51** zur Auswerteeinrichtung **25** übertragen wurden. Die einzelnen Sensorsignale s_1 , s_2 und s_3 charakterisieren die von den Sensoren **29**, **37**, **39** der jeweiligen Sensoreinrichtung **27** erfassten Sensorgrößen a_s , a_v , a_l , x_k und x_l . Da die ein-

zelenen Sensorsignale s_1 , s_2 und s_3 in Abhängigkeit von dem Zusammenwirken eines bestimmten Abschnitts des Gleises **19** mit den Laufwerken **13**, insbesondere deren Radsätze **17**, erzeugt werden und die einzelnen Laufwerke **13** nacheinander den bestimmten Abschnitt des Gleises **19** passieren, besteht zwischen den Sensorsignalen s_1 , s_2 und s_3 bzw. der entsprechenden Sensorgrößen a_s , a_v , a_i , x_k , x_l der einzelnen Sensoreinrichtungen **27** ein zeitlicher Versatz. Der erste Funktionsblock **54** ermittelt diesen Zeitversatz zwischen den Sensorsignalen. Ein vom ersten Funktionsblock **54** erzeugtes erstes Zeitversatzsignal Δt_{12} charakterisiert den Zeitversatz zwischen dem Sensorsignal s_1 und dem Sensorsignal s_2 und ein vom ersten Funktionsblock **53** erzeugtes zweites Zeitversatzsignal Δt_{13} charakterisiert einen Zeitversatz zwischen dem Sensorsignal s_1 und dem Sensorsignal s_3 .

[0049] Ein zweiter Funktionsblock **55** ermittelt in Abhängigkeit von den Sensorsignalen s_1 , s_2 , s_3 und den Zeitversatzsignalen Δt_{12} , Δt_{13} ein Fahrtgeschwindigkeitssignal v , das eine Fahrtgeschwindigkeit des Schienenfahrzeugs **11** charakterisiert. Es kann vorgesehen werden, dass der zweite Funktionsblock **55** zum Ermitteln des Fahrtgeschwindigkeitssignals v einen Abstand d zwischen den einzelnen Drehgestellen **15**, insbesondere zwischen benachbarten Drehgestellen **15**, heranzieht, um einen absoluten Wert der Fahrtgeschwindigkeit zu berechnen.

[0050] In einer nicht gezeigten Ausführungsform wird das Fahrtgeschwindigkeitssignal in Abhängigkeit von einem der Sensorsignale s_1 , s_2 , s_3 gebildet. Hierbei kann beispielsweise eine Drehfrequenz der Räder eines Radsatzes **17** berechnet werden.

[0051] Anhand der Zeitversatzsignale Δt_{12} , Δt_{13} korrigiert ein dritter Funktionsblock **56** des Verfahrens **53** die Sensorsignale s_1 , s_2 , s_3 durch Verzögern derart, dass entsprechende von dem dritten Funktionsblock **56** ausgegebene korrigierte Sensorsignale u_1 , u_2 , u_3 den Zeitversatz nicht mehr aufweisen. Zu diesem Zweck verwendet der dritte Funktionsblock die Zeitversatzsignale Δt_{12} , Δt_{13} . Die korrigierten Sensorsignale u_1 , u_2 , u_3 charakterisieren entsprechend korrigierte Sensorgrößen für die einzelnen Laufwerke **13**.

[0052] Einem vierten Funktionsblock **57** werden die korrigierten Sensorsignale u_1 , u_2 , u_3 , sowie das Fahrtgeschwindigkeitssignal v zugeführt. Der vierte Funktionsblock **57** berechnet durch Vergleichen der korrigierten Sensorsignale u_1 , u_2 , u_3 untereinander und unter Berücksichtigung der Zeitversatzsignale Δt_{12} , Δt_{13} und des Fahrtgeschwindigkeitssignals v für jedes Laufwerk **13** jeweils ein erstes Teilsignal y_1 , y_2 beziehungsweise y_3 , das eine Teilgröße der entsprechenden Sensorgrößen charakterisiert, die auf mechanische Eigenschaften der einzelnen Drehgestelle **15** zurückzuführen sind. Der Einfluss des Gleises **19** auf

die Sensorgrößen a_s , a_v , a_i , x_k und x_l wird also aus den einzelnen Sensorsignalen s_1 , s_2 , s_3 eliminiert.

[0053] Anschließend berechnet ein fünfter Funktionsblock **59** aus den ersten Teilsignalen y_1 , y_2 beziehungsweise y_3 für jedes Laufwerk **13** jeweils einen Kenngrößenvektor c_1 , c_2 beziehungsweise c_3 , wobei jeder dieser Kennwertvektoren c_1 , c_2 , c_3 mindestens einen Kennwert aufweist, welcher ein Merkmal der Schwingungen innerhalb des entsprechenden Drehgestells **15** charakterisiert. Zum Ermitteln der Kenngrößenvektoren c_1 , c_2 , c_3 vergleicht der fünfte Funktionsblock **59** die ersten Teilsignale y_1 , y_2 , y_3 mit vorgegebenen Mustersignalen M .

[0054] Ferner weist das Verfahren **53** einen fünften Funktionsblock **61** auf, welcher die Kennwerte der einzelnen Kennwertvektoren c_1 , c_2 , c_3 mit vorgegebenen Kennwertbereichen R vergleicht und in Abhängigkeit von diesem Vergleich für jedes Drehgestell **15** ein Alarmsignal A_1 , A_2 , A_3 erzeugt, sofern der Vergleich ergibt, dass in einem der Drehgestelle **15** ein Defekt vorliegt. Die Alarmsignale A_1 , A_2 , A_3 umfassen jeweils eine Alarmierungsstufe zum Anzeigen des Schweregrads des Defekts. Der zweite Rechner **45** steuert die Anzeigeeinrichtung **49** in Abhängigkeit von den Alarmsignalen A_1 , A_2 , A_3 an.

[0055] Bei den insbesondere in den Funktionsblöcken **57**, **59** und **61** durchgeführten Signalverarbeitungsschritten, kann zwischen angetriebenen und nicht angetriebenen Drehgestellen **15** unterschieden werden. Hierdurch können Unterschiede im Schwingungsverhalten zwischen den angetriebenen und den nicht angetriebenen Drehgestellen **15** berücksichtigt werden.

[0056] Ferner ist das Verfahren **53** zum Erstellen eines Qualitätsprofils Q der von dem Schienenfahrzeug **11** befahrenen Strecke eingerichtet. Hierzu subtrahiert das Verfahren **53** mittels eines Subtrahierers **63** das erste Teilsignal y_1 vom Sensorsignal s_1 , um ein zweites Teilsignal z_1 des Sensorsignals s_1 zu erhalten, das eine Teilgröße der Sensorgrößen a_s , a_v , a_i , x_k , x_l charakterisiert, der von Eigenschaften der Strecke, insbesondere des Gleises **19** und eines Gleisunterbaus, herrührt. In einem sechsten Funktionsblock **65** wird das weitere Teilsignal z_1 weiterverarbeitet, insbesondere indem bestimmte Merkmale des weiteren Teilsignals z_1 ermittelt werden, mit der vom GPS-Empfänger ermittelten Position p verknüpft und als das Qualitätsprofil Q der Strecke in Speichermitteln **67** abgelegt werden. Anstelle des Teilsignals y_1 beziehungsweise des Sensorsignals s_1 oder ergänzend zu diesen Signalen können auch die anderen Sensorsignale s_2 , s_3 beziehungsweise Teilsignale y_2 , y_3 zum Ermitteln des Qualitätsprofils Q herangezogen werden.

[0057] Zusammengefasst kann bei Realisierung der

Erfindung ein Defekt an einem der Laufwerke **13** insbesondere aufgrund der richtungsdifferenzierenden bzw. laufwerksdifferenzierenden Auswertung der Sensorgrößen besonders zuverlässig erkannt werden, wobei höchstens geringfügige Anpassungen an den Typ des Schienenfahrzeugs erforderlich sind.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

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

Zitierte Patentliteratur

- DE 19837476 A1 [\[0003\]](#)

Patentansprüche

mittelt wird.

1. Verfahren (53) zum Überprüfen mindestens eines Laufwerks (13) eines auf einem Gleis (19) fahrbaren Schienenfahrzeugs (11) auf einen Defekt, wobei das Verfahren (53) folgende Schritte umfasst: Erfassen von mindestens einer Sensorgröße (a_s, a_v, a_l, x_k, x_l), die Schwingungen mindestens eines Teils (15) des Laufwerks (13) charakterisiert, mittels einer Sensoreinrichtung (27) und Überprüfen in Abhängigkeit von der Sensorgröße (a_s, a_v, a_l, x_k und x_l), ob der Defekt vorliegt, **dadurch gekennzeichnet**, dass als Sensorgröße mittels mindestens einem Sensorelement (31, 33, 35) der Sensoreinrichtung (27) eine in einer bestimmten Richtung verlaufende Komponente (a_s, a_v, a_l) einer Beschleunigung des Teils (15) erfasst wird.

2. Verfahren (53) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass als Komponente der Beschleunigung eine quer zu einer Längsrichtung (21) des Gleises (19) und zumindest im Wesentlichen horizontal verlaufenden Scherbeschleunigung (a_s) des Teils erfasst wird.

3. Verfahren (53) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass als Komponente der Beschleunigung eine Vertikalbeschleunigung (a_v) des Teils erfasst wird.

4. Verfahren (53) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Sensorgröße ein von dem Teil (15) des Laufwerks (13) erzeugter Körperschall (x_k) innerhalb des Teils (15) und/oder von dem Teil (15) erzeugter Luftschall (x_l) in der Umgebung des Teils (15) erfasst wird.

5. Verfahren (53) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die mindestens eine Sensorgröße (a_s, a_v, a_l, x_k, x_l) für verschiedene Laufwerke (13) des Schienenfahrzeugs (11) erfasst wird, wobei die für ein bestimmtes Laufwerk (13) erzeugte Sensorgröße (a_s, a_v, a_l, x_k, x_l) die Schwingungen des Teils (15) dieses bestimmten Laufwerks (13) charakterisiert.

6. Verfahren (53) nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass für einen zeitlichen Verlauf mindestens eines Teils der Sensorgrößen ($a_s, a_v, a_l, x_k, x_l; s_1, s_2, s_3$) ein von einem Abstand (d) der einzelnen Laufwerke untereinander herrührender zeitlicher Versatz ($\Delta t_{12}, \Delta t_{13}$) zwischen den zeitlichen Verläufen dieser Sensorgrößen ($a_s, a_v, a_l, x_k, x_l; s_1, s_2, s_3$) ermittelt wird.

7. Verfahren (53) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zum Überprüfen, ob der Defekt vorliegt, eine Fahrtgeschwindigkeitsgröße (v), die eine Fahrtgeschwindigkeit des Schienenfahrzeugs (11) charakterisiert, er-

8. Verfahren (53) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Fahrtgeschwindigkeitsgröße (v) in Abhängigkeit von dem zeitlichen Versatz ($\Delta t_{12}, \Delta t_{13}$) zwischen den Sensorgrößen ($a_s, a_v, a_l, x_k, x_l; s_1, s_2, s_3$) ermittelt wird.

9. Verfahren (53) nach einem der Ansprüche 5 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass zum Überprüfen, ob der Defekt vorliegt, die Sensorgrößen ($a_s, a_v, a_l, x_k, x_l; s_1, s_2, s_3$) verschiedener Laufwerke (13) miteinander verglichen werden.

10. Verfahren (53) nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass vor dem Vergleichen der Sensorgrößen ($a_s, a_v, a_l, x_k, x_l; s_1, s_2, s_3$) miteinander der zeitliche Verlauf zumindest eines Teils der Sensorgrößen ($a_s, a_v, a_l, x_k, x_l; s_1, s_2, s_3$) derart korrigiert wird, dass entsprechend korrigierte Sensorgrößen (u_1, u_2, u_3) den zeitlichen Versatz ($\Delta t_{12}, \Delta t_{13}$) nicht mehr aufweisen.

11. Verfahren (53) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus der Sensorgröße ($a_s, a_v, a_l, x_k, x_l; s_1, s_2, s_3$), vorzugsweise aus den korrigierten Sensorgrößen (u_1, u_2, u_3), eine erste Teilgröße (y_1, y_2, y_3) berechnet wird, die von Schwingungen charakterisiert wird, die von der Beschaffenheit des Laufwerks (13) herrühren.

12. Verfahren nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass aus der ersten Teilgröße (y_1, y_2, y_3), vorzugsweise durch Subtraktion der ersten Teilgröße (y_1, y_2, y_3) von der Sensorgröße ($a_s, a_v, a_l, x_k, x_l; s_1, s_2, s_3$) oder der korrigierten Sensorgröße (u_1, u_2, u_3), eine zweite Teilgröße (z_1) berechnet wird, die von der Beschaffenheit des Gleises (19) und/oder eines Unterbaus des Gleises (19) herrührende Schwingungen charakterisiert.

13. Verfahren (53) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass ein Qualitätsprofil (Q) des Gleises (19) bzw. des Unterbaus ermittelt wird, indem eine momentane Position (p) des Schienenfahrzeugs (11) ermittelt wird und die zweite Teilgröße (z_1) mit der Position (p) verknüpft und als das Qualitätsprofil (Q) abgespeichert wird.

14. Prüfvorrichtung (23) zum Überprüfen mindestens eines Laufwerks (13) eines auf einem Gleis (19) fahrbaren Schienenfahrzeugs (11) auf einen Defekt, wobei die Prüfvorrichtung (23) mindestens eine Sensoreinrichtung (27) zum Erfassen von mindestens einer Sensorgröße (a_s, a_v, a_l, x_k, x_l), die Schwingungen mindestens eines Teils (15) des Laufwerks (13) charakterisiert, und Auswertemittel (25) zum Überprüfen in Abhängigkeit von der Sensorgröße (a_s, a_v, a_l, x_k, x_l), ob der Defekt vorliegt, aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoreinrichtung (27) mindes-

tens ein Sensorelement (**31**, **33**, **35**) zum Erfassen einer in einer bestimmten Richtung verlaufenden Komponente (a_s , a_v , a_l) einer Beschleunigung des Teils (**15**) aufweist.

15. Prüfvorrichtung (**23**) nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Prüfvorrichtung (**23**) zum Ausführen eines Verfahrens (**53**) nach einem der Ansprüche 1 bis 13 eingerichtet ist.

16. Prüfvorrichtung (**23**) nach Anspruch 14 oder 15, dadurch gekennzeichnet, es sich bei dem Teil des Laufwerks (**13**) um ein Drehgestell (**15**) handelt.

17. Prüfvorrichtung (**23**) nach einem der Ansprüche 14 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensoreinrichtung (**27**) ein erstes Sensorelement (**31**) zum Erfassen einer quer zu der Längsrichtung des Gleises und zumindest im Wesentlichen horizontal verlaufenden Scherbeschleunigung (a_s) des Teils (**15**) und/oder ein zweites Sensorelement (**33**) zum Erfassen einer Vertikalbeschleunigung (a_v) des Teils (**15**) aufweist.

18. Prüfvorrichtung (**23**) nach einem der Ansprüche 14 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die Auswertemittel eine zentrale Auswerteeinrichtung (**25**) umfassen und die Prüfvorrichtung (**23**) ein Kommunikationsnetz, vorzugsweise ein drahtloses Ad-hoc-Netz (**51**), zum Übertragen der Sensorgröße (a_s , a_v , a_l , x_k , x_l), vorzugsweise als ein Sensorsignal (s_1 , s_2 , s_3), von der Sensoreinrichtung (**27**) zu der Auswerteeinrichtung (**25**) aufweist.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

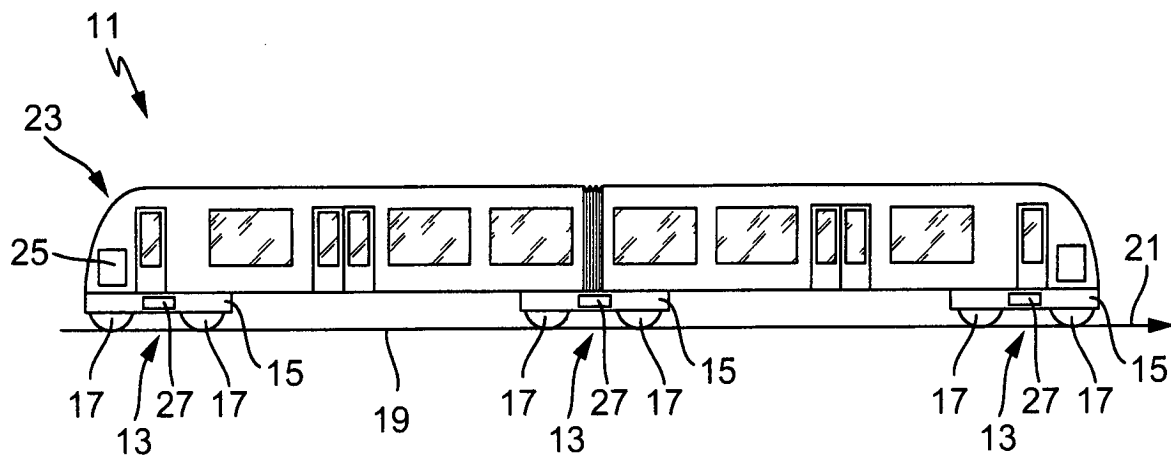


Fig. 1

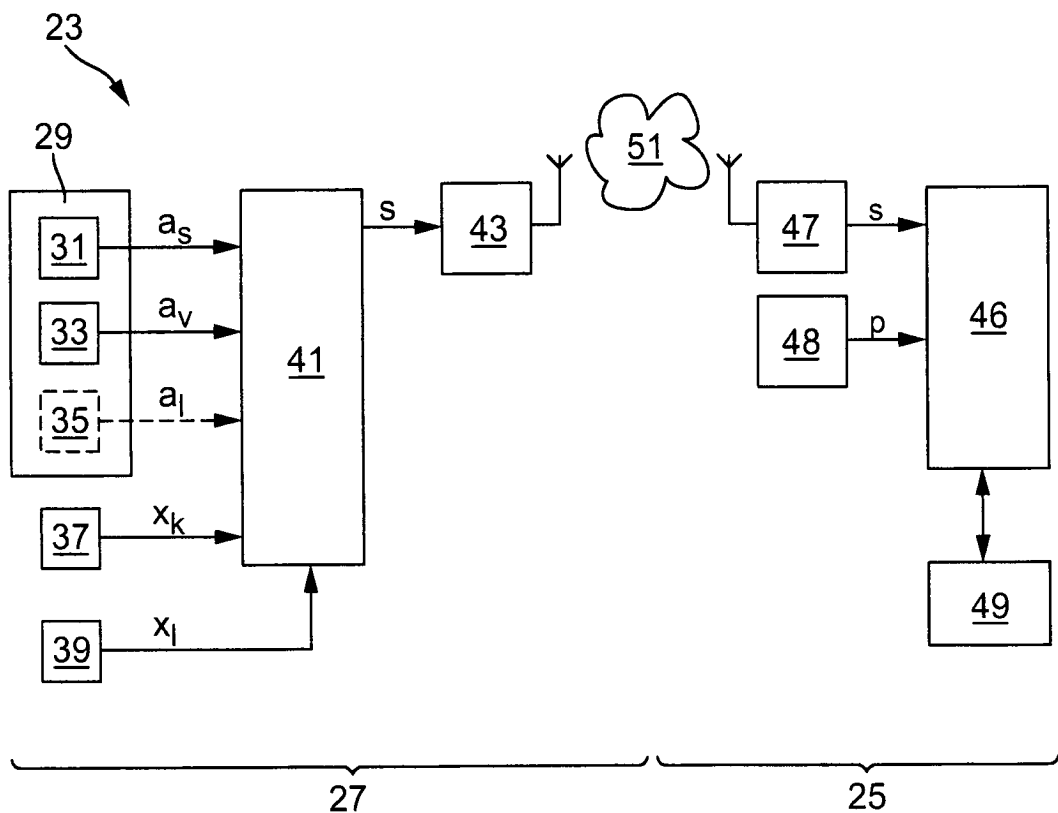


Fig. 2

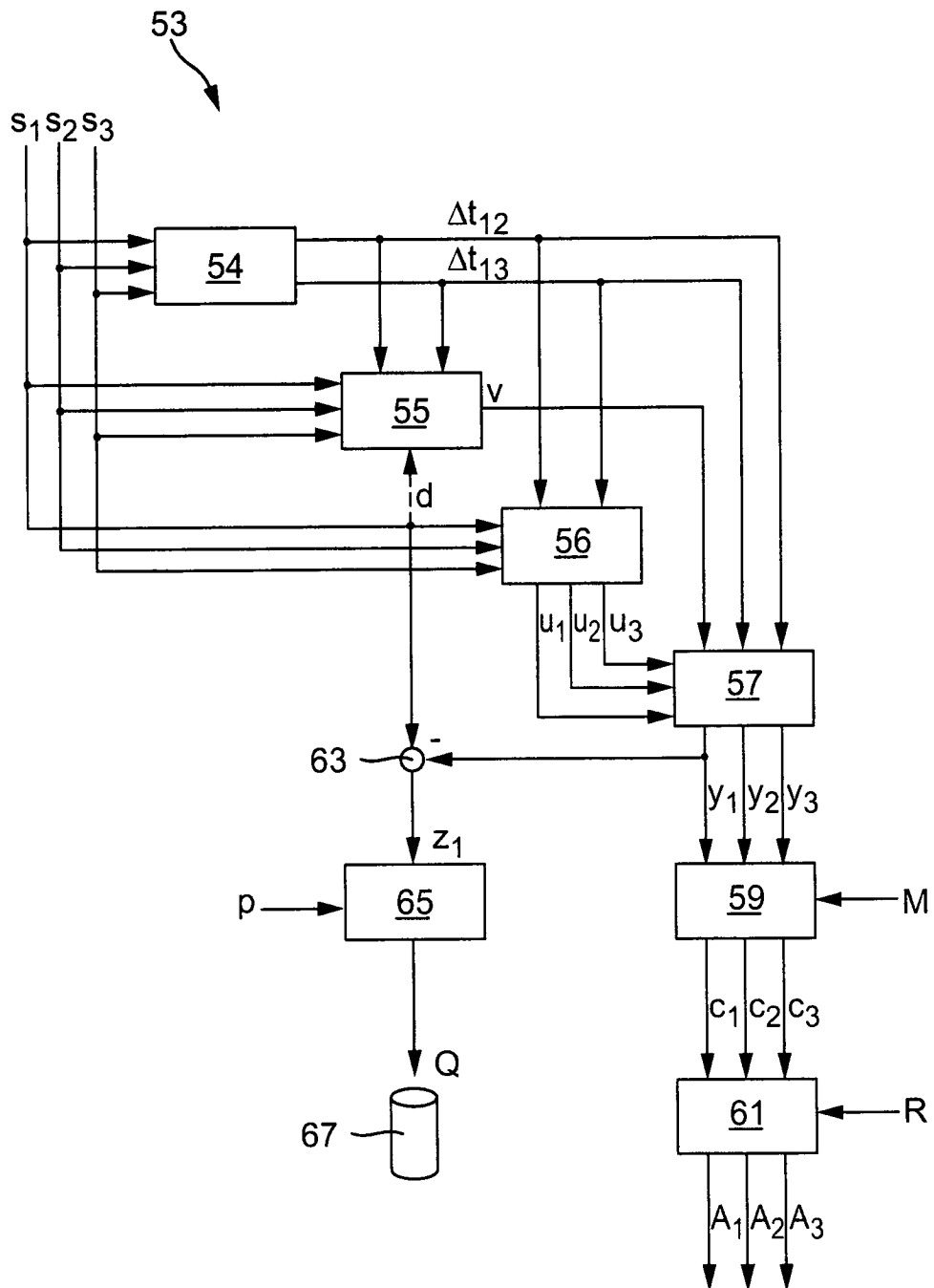


Fig. 3