

Zusammenfassung

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kalibrierung einer Messanordnung zur Ermittlung des Raddurchmessers (2R,2Rs) von Rädern (3) von Schienenfahrzeugen, insbesondere von Güterwagen, sowie eine Schwerkraftablaufanlage unter Verwendung des Verfahrens, bei dem ein bekannter Raddurchmesser (2R,2Rs) verwendet wird, wobei an einer Fahrschiene (1) ein Radsensor (4a,4b) angeordnet ist, der ein Sensorsignal (8a,8b) erzeugt, und wobei mit Hilfe des Sensorsignals (8a,8b) eine dem Raddurchmesser (2R,2Rs) entsprechende Sehnenlänge (se) ermittelt wird. Um den Raddurchmesser mit geringem Aufwand selbsttätig zu bestimmen, und zwar unabhängig von den vielfältigen Einflussgrößen und deren zeitlichen oder verschleißbedingten Schwankungen, wird vorgeschlagen, dass die Zeitdifferenz des Sensorsignals (8a,8b) zwischen dem Über- und anschließenden Unterschreiten zumindest eines vorgegebenen Schwellwertes (9) erfasst wird, dass anhand der Radgeschwindigkeit aus der Zeitdifferenz die Sehnenlänge (se) ermittelt wird, aus der mittels eines vorgegebenen Hilfwertes (hs(i-1)) der unbekannte Raddurchmesser (2R,2Rs) berechenbar ist, und dass anhand des bekannten Raddurchmessers (2R,2Rs) jeweils ein Korrektur-Hilfwert (ihs) und dann mittels des Korrektur-Hilfwertes (ihs) durch Korrektur des vorgegebenen Hilfwertes (hs(i-1)) ein neuer vorgegebener Hilfwert (hs(i)) bestimmt wird.

(Fig. 2)

Wien, am - 2. März 2005

Siemens Aktiengesellschaft
durch:
Häupl & Eilmeyer KEG

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Kalibrierung einer Messanordnung zur Ermittlung des Durchmessers von sich längs
5 zweier paralleler Fahrschienen bewegendem Rädern von Schienenfahrzeugen, insbesondere von Güterwagen, sowie eine Schwerkraftablaufanlage unter Verwendung des Verfahrens gemäß den Oberbegriffen der Patentansprüche 1 und 28.

10 Allgemein bekannt sind Güterwagen als Schienenfahrzeuge, deren Räder mittels einer Radachse paarweise verbunden sind und die auf zwei parallelen Fahrschienen abrollen. Zur Führung weisen die Räder bezogen auf das Fahrschienenpaar innenseitig einander gegenüberliegende Spurkränze auf.

15

Weiter ist es bekannt, Kolbengleisbremsen an den Fahrschienen unterhalb der Spurkränze anzuordnen, um die Güterwagen abzubremesen. Dabei drückt der Spurkranz jeweils auf eine Kolbenstange, die einen daran angeordneten Kolben innerhalb einer
20 Kolben-Zylinder-Einheit verschiebt, wobei kinetische Energie des Güterwagens hydraulisch in Wärme umgewandelt wird.

Kolbengleisbremsen werden insbesondere in Schwerkraftablaufanlagen eingesetzt, die beispielsweise zur Zusammenstellung
25 von Güterzügen mittels Verteilweichen dienen. Schwerkraftablaufanlagen weisen ein Gefälle auf, so dass die Güterwagen durch die Hangabtriebskraft angetrieben werden. Durch die Kolbengleisbremsen kann erreicht werden, dass die Güterwagen

im Bereich der Verteilweichen mit konstanter Geschwindigkeit laufen und in den Richtungsgleisen der Schwerkraftablaufanlage mit zulässiger nur noch sehr geringer Geschwindigkeit auf bewegte oder stehende Wagen auflaufen.

5

Die insbesondere bauart- und verschleißbedingte Schwankungsbreite der Spurkranzdurchmesser von ca. 300 mm bis ca. 1100 mm erschwert die Geschwindigkeitsregelung mittels Kolbengleisbremsen in Ablaufanlagen erheblich.

10

Die Verwendung von Kolbengleisbremsen hat dabei den Nachteil, dass die Bremswirkung abhängig vom Spurkranzdurchmesser der Räder ist. Um zu verhindern, dass es aufgrund der unterschiedlichen Spurkranzdurchmesser auf der Gefällestrecke und insbesondere im Weichenbereich zu Einholvorgängen und Eckstößen der Güterwagen kommt, wird die zeitliche Ablauffolge aller Güterwagen in der Schwerkraftablaufanlage relativ groß gewählt. Die Leistung (Bergleistung) der Ablaufanlage ist so deutlich gemindert. Nur mit Vorabkenntnis der Raddurchmesser der nacheinander ablaufenden Güterwagen kann die zeitliche Ablauffolge aller Güterwagen so gesteuert werden, dass sowohl mit großen als auch mit kleinen Spurkranzdurchmessern ein leistungsfähiger störungsfreier Betrieb der Anlage sichergestellt ist.

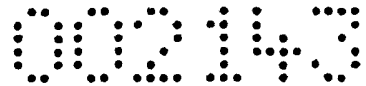
25

Aus der EP 0 212 052 A2 ist bereits eine Einrichtung zur Vermessung von im Fahrzeug eingebauten Rädern bekannt, die zu entsprechenden Radsätzen gehören. Die Vermessung der Räder wird während langsamer Fahrt des Fahrzeuges vorgenommen, wobei an einer Fahrschiene zumindest zwei unabhängig voneinander das Rad erfassende Radsensoren unterhalb der Lauffebene der Fahrschiene angeordnet sind. Die beiden Radsensoren sind als photoelektrische Taster ausgebildet und so unterhalb der Lauffebene ausgerichtet, dass ihre Haupttastrichtung wenig-

tens angenähert senkrecht zu einer Tangente am zugehörigen
Tastpunkt eines Messkreises (eines gedachten Raddurchmesser-
kreises) verläuft. Die beabstandeten Radsensoren sind dazu
einander unter einem Winkel zugewandt angeordnet, wobei der
5 Abstand in Abhängigkeit von dem zu bestimmenden Raddurchmes-
ser gewählt ist. Die Taster sind mit einer Zeiterfassungsein-
richtung verbunden, welche die jeweiligen Zeiten feststellt,
zu denen die Taster von einem darüber rollenden Rad betätigt
werden. Bewegt sich ein Rad auf der Lauffebene entlang der
10 Fahrschiene und kommt die Lauffläche des Rades in den Bereich
des ersten Tastpunktes, so löst es bei dessen Erreichen über
den photoelektrischen Taster ein Zeitsignal aus, wobei der
Taster jeweils am Anfang ein stetig ansteigendes und am Ende
ein wieder stetig abfallendes Sensorsignal oder umgekehrt ab-
15 gibt. Dasselbe Auslösen eines Zeitsignals erfolgt, wenn die
Lauffläche in den Bereich des zweiten Tastpunktes des zweiten
Tasters kommt. Die Tastpunkte liegen in einem gleichen Ab-
stand oberhalb der Lauffebene, welcher kleiner gleich dem hal-
ben Raddurchmesser ist. Anhand der Radgeschwindigkeit lässt
20 sich aus der Zeitdifferenz der beiden Zeitsignale die Länge
einer Kreissehne im gedachten Raddurchmesserkreis bestimmen,
deren Sehnenhöhe gleich dem Abstand der Tastpunkte von der
Lauffebene ist. Anhand der Sehnenhöhe und der Sehnenlänge
lässt sich mittels des Satzes des Pythagoras der Raddurchmes-
25 ser berechnen.

Ferner ist aus der DE 40 18 999 A1 ein induktiv wirkender
Radsensor für Schienenfahrzeuge bekannt, der innenseitig an
dem Fahrschienenpaar angeordnet ist. Diese Radsensoren, die
30 je zwei längs der Fahrschienen beabstandete Radsensoren auf-
weisen, werden häufig in Form von Doppelradsensoren zur Achs-
zählung verwendet.

Die Aufgabe der Erfindung ist es, ein Verfahren zur Kalibrie-
35 rung einer Messanordnung zur Ermittlung des Raddurchmessers
von Schienenfahrzeugrädern vorzuschlagen, durch das der Rad-



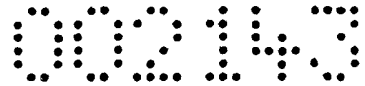
durchmesser, insbesondere der Spurkranzdurchmesser, mit geringem Aufwand selbsttätig bestimmt werden kann, und zwar unabhängig von den vielfältigen Einflussgrößen und deren zeitlichen oder verschleißbedingten Schwankungen. Weiter ist die
5 Aufgabe der Erfindung eine Schwerkraftablaufanlage unter Anwendung des Verfahrens anzugeben.

Die Lösung dieser Aufgabe ist bezogen auf das Verfahren durch die im Anspruch 1 angegebenen Merkmale und bezogen auf die
10 Schwerkraftablaufanlage durch die im Anspruch 28 angegebenen Merkmale gegeben. Die kennzeichnenden Merkmale der Unteransprüche enthalten jeweils vorteilhafte Ausgestaltungen.

Die Lösung sieht bezogen auf das Verfahren vor, dass die
15 Zeitdifferenz des Sensorsignals zwischen dem Über- und anschließenden Unterschreiten zumindest eines vorgegebenen Schwellwertes erfasst wird, dass anhand der Radgeschwindigkeit aus der Zeitdifferenz die Sehnenlänge ermittelt wird, aus der mittels eines vorgegebenen Hilfswertes der unbekannte
20 Raddurchmesser berechenbar ist, und dass anhand des bekannten Raddurchmessers jeweils ein Korrektur-Hilfswert und dann mittels des Korrektur-Hilfswerts durch Korrektur des vorgegebenen Hilfswertes ein neuer vorgegebener Hilfswert bestimmt wird. Der Radsensor ist dabei so ausgelegt, dass der zeitliche
25 Verlauf des Sensorsignals bei einem darüber rollenden Rad jeweils am Anfang stetig ansteigt oder abfällt und am Ende umgekehrt wieder stetig abfällt bzw. ansteigt und dass die Sehnenlänge der Länge einer Kreissehne und der Hilfswert der Sehnenhöhe in dem gedachten Raddurchmesserkreis entspricht.

30

Die Genauigkeit der Kalibrierung lässt sich erhöhen, wenn der Hilfswert anhand einer Vielzahl darüber rollender Räder mit bekanntem Raddurchmesser laufend bestimmt wird



- Eine höhere Genauigkeit bei gleichzeitiger Vereinfachung der Kalibrierung ergibt sich, wenn der Hilfswert aus einer Vielzahl darüberrollender Räder mit einer bekannten Verteilung der Raddurchmesser bestimmt wird, wobei als bekannter Raddurchmesser der statistisch gesicherte Mittelwert der Verteilung verwendet wird.
- 10 Eine weitere Genauigkeitsverbesserung erhält man, wenn aus einer Vielzahl darüberrollender Räder eine Gruppe mit einer bekannten Verteilung der Raddurchmesser ausgewählt und der Hilfswert anhand des statistisch gesicherten Mittelwerts dieser Gruppe bestimmt wird.
- 15 Eine genauere Ermittlung ergibt sich, wenn die auszuwählenden Räder in Rahmen mit festem Abstand angeordnet sind und die Räder der ausgewählten Gruppe zu gleichen Rahmenachsabständen gehören.
- 20 Noch genauer ist es, wenn die Räder der auszuwählenden Gruppe zu Laufwerken in Form von Drehgestellen gehören, deren Räder in Rahmen mit festem Abstand angeordnet sind und die Räder der ausgewählten Gruppe zu gleichen Drehgestellen gehören. Vorteilhafterweise sind die Drehgestelle 1800mm-Drehgestelle
- 25 sind, da die Verteilung der Raddurchmesser der Räder dieser Drehgestelle normal ist und gegenüber den zu anderen Rahmenachsabständen gehörenden Rädern die kleinere Streuung aufweist.
- 30 Zur besseren Anpassung an zeitliche Schwankungen wird vorgeschlagen, dass aus jedem neu bestimmten Hilfswert der vorhergehende Hilfswert anhand dieses Korrekturwertes i_{hs} zum neuen Hilfswert korrigiert wird.

Eine noch bessere Anpassung erhält man, wenn der Korrekturwert mittels eines vorgegebenen Korrekturfaktors graduell angepasst wird.

5

Zweckmäßig ist der erste vorgegebene Hilfswert ein geschätzter Wert.

Der Raddurchmesser wird durch Lösung folgender Gleichung berechnet:

$$R^2 = (R-hs)^2 + (se/2)^2$$

mit $2R$ = Raddurchmesser, hs = vorgegebener Hilfswert und se = Sehnenlänge.

15 Zur Ermittlung des Hilfswertes wird vorgeschlagen, dass der Hilfswert bei vorgegebenem Schwellwert und davon abhängiger Sehnenlänge empirisch bestimmt wird.

20 Als Raddurchmesser lässt sich mit Vorteil der Laufkreisdurchmesser bestimmen, wenn der Radsensor unterhalb des seitlich über den Schienenkopf hinausragenden Laufkreises angeordnet ist.

25 Weisen die jeweils paarweise angeordneten Räder bezogen auf das Fahrschienenpaar innenseitig einander gegenüberliegende Spurkränze auf, so entspricht der Raddurchmesser dem Spurkranzdurchmesser, wobei die Radsensoren jeweils unterhalb der Spurkränze an der Fahrschiene anzuordnen sind.

30 Zur Bestimmung des Spurkranzdurchmessers kann der Radsensor unterhalb der Spurkränze und/oder der Laufkreise angeordnet sein, wobei der Spurkranzdurchmesser gleich dem Laufkreisdurchmesser plus der doppelten Spurkranzhöhe ist.

Eine konstruktive einfache Ausführung des Radsensors ergibt sich, wenn dieser als induktiv wirkender Sensor ausgebildet ist.

5

Zur Vermeidung von Messfehlern und instabilen Signalreaktionen sind unter Berücksichtigung einer zweckmäßig einzustellenden Hysteresis des Sensors zwei unterschiedliche Schwellwerte vorzugeben.

10

Um anhand der Sensorsignalkurven (zeitlicher Verlauf der Sensorsignale) die Geschwindigkeit zu bestimmen, wird vorgeschlagen, dass der Radsensor als Doppelradsensor mit zwei Radsensoren ausgebildet ist, wobei aus dem zeitlichen und geometrischen Versatz der beiden Sensorsignalkurven die Geschwindigkeit bestimmt wird.

15

Um den Fehlereinfluss des vom Gleis und von der Achse abhängigen Sinuslaufes zu korrigieren, wird vorgeschlagen, dass je zwei Radsensoren innenseitig oder außenseitig am Fahrschienenpaar einander zu- bzw. abgewandt als Radsensorpaar angeordnet sind, wobei diese beiden Radsensoren auf einer quer, vorzugsweise senkrecht, zu den Fahrschienen verlaufenden gedachten Gerade liegen, dass für jeden Radsensor ein Korrektur-Hilfswert bestimmt wird, und dass die Korrektur-Hilfswerte des Radsensorpaars sowie die anhand ihrer Sensorsignale ermittelten Sehnenlängen jeweils gemittelt und anstelle des Korrektur-Hilfswerts sowie der Sehnenlänge des einzelnen Radsensors verwendet werden.

20

25

30

Vorteilhafterweise werden zwei Doppelradsensoren entsprechend paarweise innenseitig oder außenseitig am Fahrschienenpaar



einander zu- bzw. abgewandt angeordnet, so dass gleichzeitig die Geschwindigkeit der Räder bestimmbar ist.

Die Mittelung kann gleisabhängig erfolgen:

- 5 - indem jeweils die Korrektur-Hilfswerte der beiden Radsensoren eines Paares sowie die anhand ihrer Sensorsignale ermittelten Sehnenlängen des Paares gemittelt werden,
 - indem jeweils der größere Korrektur-Hilfswert der beiden Radsensoren eines Paares sowie die anhand ihrer Sensorsig-
10 nale ermittelte größere Sehnenlänge des Paares verwendet werden,
 - indem jeweils der kleinere Korrektur-Hilfswert der beiden Radsensoren eines Paares sowie die anhand ihrer Sensorsig-
15 nale ermittelte kleinere Sehnenlänge des Paares verwendet werden,
 - indem die ermittelten Raddurchmesser des Doppelradsensor-
paars jeweils gemittelt werden,
 - indem jeweils von den ermittelten Raddurchmessern des Dop-
20 pelradsensorpaars der größere Raddurchmesser verwendet wird oder
 - indem jeweils von den ermittelten Raddurchmessern des Dop-
pelradsensorpaars der kleinere Raddurchmesser verwendet wird.
- 25 Die Lösung sieht bezogen auf die Schwerkraftablaufanlage vor, dass die Zeitdifferenz des Sensorsignals zwischen dem Über- und anschließenden Unterschreiten zumindest eines vorgegebenen Schwellwertes erfasst wird, dass anhand der Radgeschwindigkeit aus der Zeitdifferenz die Sehnenlänge ermittelt wird,
30 aus der mittels eines vorgegebenen Hilfswertes der unbekannte Raddurchmesser berechnet wird, und dass, wenn ein ausgewähltes Rad mit bekanntem Raddurchmesser darüber rollt, durch Korrektur des vorgegebenen Hilfswertes anhand des bekanntem

Raddurchmessers ein neuer Hilfswert bestimmt und als vorgegebener Hilfswert für die weiteren Berechnungen der Raddurchmesser verwendet wird. Die starke Schwankungsbreite der Spurkranzdurchmesser von ca. 300 mm bis ca. 1100 mm beeinflusst
5 unzulässig stark die Geschwindigkeitsregelung mittels Kolbengleisbremsen in Ablaufanlagen. Mit der selbsttätigen und genauen Ermittlung der Spurkranzdurchmesser kann dem unterschiedlichen Arbeitsvermögen von Kolbengleisbremsen durch Variation der Abdrückgeschwindigkeit in Abhängigkeit vom Rad-
10 durchmesser am Startpunkt der Abläufe optimal entsprochen werden.

Die Anpassung an das Arbeitsvermögen der Schwerkraftablaufanlage ist dann besonders einfach, wenn die zeitliche Differenz
15 eines nachfolgend ablaufenden Schienenfahrzeugs zum unmittelbar vorhergehenden Schienenfahrzeug am Startpunkt anhand des ermittelten Spurkranzdurchmessers des nachlaufenden oder/und des vorlaufenden Schienenfahrzeugs bestimmt wird.

20 Die Erfindung wird nachfolgend anhand einer Zeichnung näher beschrieben. Es zeigen:

Fig. 1 ein Schienenpaar mit innenseitig an einer Fahrschiene angeordnetem Doppelradsensor,

25 Fig. 2 eine schematische Darstellung eines auf einer Fahrschiene abrollenden Rades mit den erzeugten Radsensorsignalen zur Ermittlung des Spurkranzdurchmessers,

Fig. 3 eine schematische Darstellung analog zu Fig. 2 zur Ermittlung des Spurkranzdurchmessers,

30 Fig. 4 ein Fahrschienenpaar gemäß Fig. 1 mit einem außen-seitig an einer Fahrschiene angeordneten Doppelradsensor, und

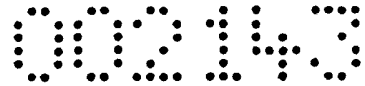


Fig. 5 ein Fahrschienenpaar gemäß Fig. 1 mit einem außen- und einem innenseitig an einer Fahrschiene angeordneten Doppelradsensorpaar.

5 Fig. 1 zeigt einen Abschnitt zweier paralleler Fahrschienen 1, die mittels Schwellen 2 miteinander verbunden sind. Längs der Fahrschienen 1 können sich Schienenfahrzeuge (nicht gezeigt) bewegen. Zu solchen Schienenfahrzeugen gehören insbesondere nicht angetriebene Güterwagen. Die Schienenfahrzeuge
10 weisen zumindest zwei in Bewegungsrichtung beabstandete Paare von Rädern 3 (s. Fig. 2 und Fig. 3) auf, die jeweils mittels Achsen fest verbunden sein können.

Schienenfahrzeuge besitzen Laufwerke in Form von Drehgestellen, in denen die Räder 3 in Rahmen mit festem Abstand angeordnet sind (nicht gezeigt). Die Drehgestelle sind in der Praxis 1500mm-, 1700mm-, 1800mm- oder 2000mm-Drehgestelle.
15

In Fig. 1 ist bezogen auf das Fahrschienenpaar an einer Fahrschiene 1 innenseitig ein Radsensor 4 einer Messanordnung zur Ermittlung des Raddurchmessers angeordnet. Der Radsensor 4 ist als Doppelradsensor ausgebildet, d. h. er besteht aus zwei voneinander unabhängigen induktiv wirkenden Radsensoren 4a, 4b, die in Schienenlängsrichtung voneinander beabstandet
20 sind. Jeder Radsensor 4a, 4b erzeugt bei einem auf der Fahrschiene 1 darüberrollenden Rad 3 ein entsprechendes Sensor-signal (s. 8a, 8b in Fig. 2 und Fig. 3).
25

Fig. 2 zeigt in einer schematischen Darstellung ein auf der Fahrschiene 1 abrollendes Rad 3 zu zwei verschiedenen Zeitpunkten. Wie Fig. 2 erkennen lässt, rollt das Rad 3 mit seinem Laufkreis 5 (Laufkreisradius R) auf der Lauffläche 1a der Fahrschiene 1 ab, während der Laufkranz 6 des Rads 3 seitlich
30

über die Lauffläche 1a der Fahrschiene 1 hinaus nach unten ragt. Die Spurkränze 6 sind bezogen auf das Fahrschienenpaar innenseitig einander gegenüberliegend angeordnet. Die Radsensoren 4a, 4b befinden sich unterhalb des Laufkranzes 6 an den in Fig. 2 eingezeichneten Positionen auf der Innenseite der Fahrschiene 1. Der Radius des Außenumfangs des Spurkranzes 6 ist der Spurkranzradius R_s . Die von den Radsensoren 4a, 4b abgegebenen Sensorsignale 8a, 8b sind in ihrem zeitlichen Verlauf korrespondierend zu dem sich bewegenden Rad 3 in Fig. 2 eingezeichnet. Man erkennt, dass beide Sensorsignale 8a, 8b zunächst stetig abfallen, um dann umgekehrt wieder stetig anzusteigen. Je nach Ausgestaltung der Radsensoren 4a, 4b können die Sensorsignale 8a, 8b selbstverständlich auch umgekehrt verlaufen, also zuerst ansteigen und dann wieder abfallen. Zur Bestimmung einer dem Spurkranzradius R_s entsprechenden Länge ist eine Triggerschwelle 9 vorgegeben, anhand derer jeweils die Zeitdifferenz der Sensorsignale 8a, 8b zwischen dem Über- und anschließend dem Unterschreiten der Triggerschwelle 9 ermittelt wird. Damit die induktiv wirkenden Sensoren 4a, 4b eine Hysterese aufweisen, können zwei unterschiedliche Triggerschwellenwerte 9 bei ansteigendem und abfallendem Sensorsignal 8a, 8b verwendet werden.

In Fig. 3 ist schematisch eine ähnliche Situation wie in Fig. 2 dargestellt: Ein Rad 3 zu zwei unterschiedlichen Zeitpunkten sowie die Sensorsignale 8a, 8b der beiden Radsensoren 4a, 4b. Im Unterschied zu Fig. 2 weist das Rad 3 keinen Spurkranz 6 auf.

Die Radien R , R_s des Laufkreises und des Spurkranzes werden auf die gleiche Weise ermittelt. Die Radsensoren 4a, 4b müssen dazu lediglich unterhalb des Laufkreises 5, also außen-seitig an einer Fahrschiene 1 wie in Fig. 4 gezeigt, anstatt

unterhalb des Spurkranzes 6 angeordnet sein, da in diesem Fall der darüber rollende Laufkreis und nicht der Spurkranz mittels der Radsensoren 4a, 4b erfasst werden muss.

- 5 Im Folgenden wird deshalb die Ermittlung der Radien R , R_s nur anhand des Laufkreisradius R beschrieben.

Der Spurkranzdurchmesser $2R_s$ lässt sich anhand des Laufkreis-
durchmessers $2R$ und der Spurkranzhöhe Sh berechnen; der Spur-
10 kranzdurchmesser $2R_s$ ist gleich dem Laufkreisdurchmesser $2R$
plus der doppelten Spurkranzhöhe $2Sh=2R_s-2R$.

Fig. 3 zeigt weiter mittels der Triggerschwelle 9 aus den
Sensorsignalen 8a, 8b erzeugte Ausgangssignale 9a, 9b (Aus-
15 gangsimpulse), die eine einfache Bestimmung der Zeitdifferenz
zwischen der ansteigenden und der abfallenden Flanke der Sen-
sorsignale 8a, 8b ermöglichen.

Anhand der zeitlichen Verschiebung der beiden rechteckimpuls-
20 förmigen Ausgangssignale 9a, 9b kann weiter eine dem Abstand
der Radsensoren 4a, 4b entsprechende Zeit bestimmt und daraus
die Geschwindigkeit des Rades 3 berechnet werden. Die Ge-
schwindigkeit ist selbstverständlich auch auf andere Weise
ermittelbar.

25

Zur Berechnung des unbekanntes Laufkreisradius R (Abstand A-
B) dient der gedachte Raddurchmesserkreis RDK (hier identisch
mit dem Laufkreis 5), in den die halbe Sehnenlänge $se/2$ (Ab-
stand B-C, halber Abstand B-E) eingezeichnet ist. Man er-
30 kennt, dass sich der Laufkreisradius R sofort berechnen
lässt, wenn die Sehnenhöhe hs (Abstand C-D) bekannt ist, und
zwar nach folgender Formel:

$$R^2 = (R-hs)^2 + (se/2)^2.$$

Die Sehnenhöhe hs ist hier ein vorgegebener Hilfwert zur Berechnung des unbekanntes Raddurchmessers $2R$, welcher dem Maximalabstand der Sehne im Raddurchmesserkreis RDK entspricht. Dieser Hilfwert hs kann bei eingestellter Triggerschwelle 9 empirisch ermittelt werden, beispielsweise statistisch gesichert anhand einer entsprechenden Anzahl von Rädern $\bar{3}$ mit bekanntem Laufkreisradius R oder einer bekannten Laufkreisradiusverteilung.

In jedem Falle wird anhand der Radgeschwindigkeit eine dem Raddurchmesser $2R$ oder $2R_s$ entsprechende Sehnenlänge se (Abstand B-E) ermittelt, die der Länge einer Sehne im gedachten Raddurchmesserkreis RDK entspricht, und aus dieser Sehnenlänge se sowie aus einem vorgegebenen Hilfwert hs der unbekannte Raddurchmesser $2R$ bzw. $2R_s$ berechnet, wobei der Hilfwert hs der Sehnenhöhe und damit dem maximalen Abstand der Sehne im gedachten Raddurchmesserkreis RDK entspricht.

20

Die Kalibrierung der Messanordnung erfolgt durch Korrektur des Hilfwertes hs , also des jeweils vorgegebenen Hilfwertes hs , der nachfolgend als Hilfwert $hs(i-1)$ bezeichnet wird. Die positive ganze Zahl i ist eine Laufzahl; der Hilfwert $hs(i-1)$ ist der vor dem Hilfwert $hs(i)$ vorgegebenen Wert. Der Hilfwert $hs(i)$ ist nachfolgend jeweils der korrigierte Hilfwert $hs(i-1)$.

Die Korrektur des Hilfwertes $hs(i-1)$ erfolgt, indem bei einem darüberrollenden Rad $\bar{3}$ mit bekanntem Raddurchmesser $2R$, $2R_s$ anhand des bekannten Raddurchmessers $2R$, $2R_s$ mittels der Formel

$$R^2 = (R - h_s(i-1))^2 + (se/2)^2 \text{ bzw. } R_s^2 = (R_s - h_s(i-1))^2 + (se/2)^2$$

jeweils durch Korrektur des vorgegebenen alten Hilfswertes $h_s(i-1)$ wie nachfolgend beschrieben ein neuer Hilfswert $h_s(i)$
 5 bestimmt und als neuer vorgegebener Hilfswert $h_s(i)$ für die weiteren Berechnungen der Raddurchmesser $2R$, $2R_s$ verwendet wird.

Hierzu wird jeweils ein Rad 3 ausgewählt und wie bei der Er-
 10 mittlung des Raddurchmessers $2R$, $2R_s$ die dem Raddurchmesser entsprechende Sehnenlänge se ermittelt.

Eine spezielle Ausgestaltung sieht vor, dass ein Korrektur-
 Hilfswert i_h anhand von darüberrollenden ausgewählten Rädern
 15 3 einer Gruppe bestimmt wird, bei denen die Verteilung der Raddurchmesser $2R$, $2R_s$ bekannt ist. Die Räder 3 der ausgewählten Gruppe gehören zu gleichen Rahmenachsabständen und damit zu gleichen Drehgestellen. Als bekannter Raddurchmesser $2R$, $2R_s$ wird jeweils der statistisch gesicherte Mittelwert
 20 der Verteilung verwendet.

Insbesondere die 1800mm-Drehgestelle weisen eine Normal-Ver-
 teilung der Raddurchmesser $2R$, $2R_s$ mit einer relativ kleinen
 Streuung auf (also gegenüber den zu anderen Rahmenachsabstän-
 25 den gehörenden Rädern 3 die kleinere Streuung), weshalb man beispielsweise die Gruppe der Räder 3 der 1800mm-Drehgestelle vorzugsweise für die Kalibrierung der Messanordnung verwendet.

30 Zur Bestimmung des aktuellen Korrektur-Hilfswertes i_h wird dieser aus der gemessenen Sehne se und vorzugsweise dem vorgegebenen "Normal-Durchmesser" errechnet. (Der bereits bestimmte Durchmesser ist für diesen i_h -Wert ohne Bedeutung.) Die Kalibrierung beruht darauf, dass bestimmte ausgewählte

Räder (und nur diese werden für die Kalibrierung benutzt) genau dem "Normal-Durchmesser" entsprechen. Die Größe $hs(i)$ wird damit immer auf das "Normal" bezogen und die gemessene Sehne se somit dem "Normal-Durchmesser" zugeordnet.

5

Zur besseren Anpassung an zeitliche und verschleißbedingte Schwankungen wird aus jedem neu bestimmten Korrektur-Hilfswert ihs der vorhergehende Korrektur-Hilfswert ($hs(i-1)$) anhand des Korrekturwertes ihs zum neuen Hilfswert ($hs(i-1)$)

10 korrigiert.

Vorzugsweise wird der Korrekturwert mittels eines vorgegebenen Korrekturfaktors K graduell angepasst, der beispielsweise zwischen 1% und 20% gewählt werden kann, und zwar so:

15
$$hs(i) = hs(i-1) - K(hs(i-1) - ihs)$$

mit $K = 0,01 \dots 0,20$ und einem Korrekturwert ($hs(i-1) - ihs$).

Als erster vorgegebener Hilfswert, bei dem das Verfahren zur Kalibrierung startet, kann ein hinreichend genauer Schätzwert
20 als Anfangswert gewählt werden.

Jede der in Fig. 1 und Fig. 4 dargestellten Radsensoranordnungen (Messanordnungen) kann in einer Schwerkraftablaufanlage für Schienenfahrzeuge (zweckmäßigerweise vor dem Startpunkt) eingesetzt und gemäß dem oben beschriebenen Verfahren betrieben werden. Die selbsttätig ermittelten Spurkranzdurchmesser $2Rs$, welche die Kolbengleisbremsen betätigen, legen dabei den kleinstmöglichen zeitlichen Abstand der Schienenfahrzeuge am Startpunkt fest, und zwar anhand des ermittelten
25 Spurkranzdurchmessers $2Rs$ des nachlaufenden und/oder des vorlaufenden Schienenfahrzeuges.
30

Mittels der Formel wird - wie oben erläutert - bei der Kalibrierung nicht der Raddurchmesser $2R$, $2R_s$ berechnet, denn dieser ist ja schon bekannt, sondern der Korrektur-Hilfswert ihs . Als Raddurchmesser $2R$, $2R_s$ gehen in die Steuerung der
5 Schwerkraftablaufanlage selbstverständlich diese bekannten Raddurchmesser $2R$, $2R_s$ ein.

Fig. 5 zeigt ein Fahrschienenpaar gemäß Fig. 1 mit einem außen- und einem innenseitig an einer Fahrschiene angeordneten
10 Doppelradsensorpaar 4,4.

Dabei sind je zwei Radsensoren $4a_1, 4a_2$ und $4b_1, 4b_2$ innenseitig am Fahrschienenpaar einander zugewandt als Radsensorpaar $4a_1, 4a_2$ und $4b_1, 4b_2$ angeordnet sind, wobei diese beiden Radsensoren $4a_1, 4a_2$ oder $4b_1, 4b_2$ auf einer quer, vorzugsweise
15 senkrecht, zu den Fahrschienen verlaufenden gedachten Gerade liegen. Dasselbe gilt analog für das außenseitige Doppelradsensorpaar 4, bei dem die beiden Radsensoren $4a_1, 4a_2$ und $4b_1, 4b_2$ einander abgewandt als Radsensorpaar $4a_1, 4a_2$ und $4b_1, 4b_2$ angeordnet sind. Um das vom Gleis abhängige Radpendeln (den Sinuslauf) zu berücksichtigen, wird für jeden Radsensor $4a_1, 4a_2, 4b_1, 4b_2$ zunächst ein Korrektur-Hilfswert ihs bestimmt. Dann werden die Korrektur-Hilfswerte ihs jedes Radsensorpaars $4a_1, 4a_2$ und $4b_1, 4b_2$ sowie die anhand ihrer Sensorsignale $8a_1, 8a_2$ bzw. $8b_1, 8b_2$ ermittelten Sehnenlängen se
20 jeweils gemittelt und anschließend anstelle des Korrektur-Hilfswerts ihs sowie der Sehnenlänge se des einzelnen Radsensors $4a_1, 4a_2, 4b_1, 4b_2$ verwendet.

Die Radsensoren $4a_1, 4a_2, 4b_1, 4b_2$ jedes Paares $4a_1, 4a_2$ und
30 $4b_1, 4b_2$ sind jeweils mindestens in einem Abstand längs der Fahrschienen angeordnet, der jeweils die Zuordnung der Betätigungen des Paares $4a_1, 4a_2$ und $4b_1, 4b_2$ zu einer einzigen Radachse sichert.

Die Mittelung kann so aussehen, dass jeweils der Korrektur-Hilfswert i hs der beiden Radsensoren 4a1,4a2 bzw. 4b1,4b2 eines Paares sowie die anhand ihrer Sensorsignale 8a1,8b1 bzw. 8a2,8b2 ermittelte zugehörige Sehnenlänge s_e gemittelt werden. Es kann auch eine Auswahl getroffen werden, dass jeweils der größere Korrektur-Hilfswert i hs der beiden Radsensoren 4a1,4a2 bzw. 4b1,4b2 eines Paares sowie die anhand ihrer Sensorsignale 8a1,8b1 bzw. 8a2,8b2 ermittelte zugehörige größere Sehnenlänge s_e verwendet werden. Oder aber jeweils der kleinere Korrektur-Hilfswert i hs der beiden Radsensoren 4a1,4a2 bzw. 4b1,4b2 sowie die entsprechend ermittelte kleinere Sehnenlänge s_e des Paares 4a1,4a2 bzw. 4b1,4b2 werden verwendet. Es können aber auch erst die Raddurchmesser 2R,2Rs des Doppelradsensorpaars 4a1,4b1 und 4a2,4b2 ermittelt und diese danach jeweils gemittelt werden. Praktikabel ist aber auch, dass jeweils von den ermittelten Raddurchmessern 2R,2Rs des Doppelradsensorpaars 4a1,4b1 und 4b1,4b2 der größere oder aber der kleinere Raddurchmesser verwendet wird. Welche Möglichkeit gewählt wird, richtet sich nach dem Zustand des Gleises, ist also von diesem abhängig.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Kalibrierung einer Messanordnung zur Ermittlung des Raddurchmessers (2R,2Rs) von sich längs zweier
5 paralleler Fahrschienen (1) bewegenden Rädern (3) von Schienenfahrzeugen, insbesondere von Güterwagen, wobei die jeweils paarweise angeordneten Räder (3) einander gegenüberliegen, bei dem ein bekannter Raddurchmesser (2R,2Rs) verwendet wird,
10 wobei zumindest an einer Fahrschiene (1) ein das Rad (3) erfassender Radsensor (4a,4b) unterhalb der auf der Fahrschiene (1) abrollenden Räder (3) angeordnet ist, der ein Sensorsignal (8a,8b) erzeugt, und
15 wobei mit Hilfe des Sensorsignals (8a,8b) eine dem Raddurchmesser (2R,2Rs) entsprechende Sehnenlänge (se) ermittelt wird, die der Länge einer Kreissehne im gedachten Raddurchmesserkreis (RDK) entspricht, mit deren Hilfe der unbekannte Raddurchmesser (2R,2Rs) berechnet wird, dadurch gekennzeichnet,
20 dass die Zeitdifferenz des Sensorsignals (8a,8b) zwischen dem Über- und anschließenden Unterschreiten zumindest eines vorgegebenen Schwellwertes (9) erfasst wird, dass anhand der Radgeschwindigkeit aus der Zeitdifferenz die Sehnenlänge (se) ermittelt wird, aus der mittels eines
25 vorgegebenen Hilfswertes (hs(i-1)) der unbekannte Raddurchmesser (2R,2Rs) berechenbar ist, und dass anhand des bekannten Raddurchmessers (2R,2Rs) jeweils ein Korrektur-Hilfswert (ihs) und dann mittels des Korrektur-Hilfswertes (ihs) durch Korrektur des vorgegebenen
30 Hilfswertes (hs(i-1)) ein neuer vorgegebener Hilfswert (hs(i)) bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet,

dass der zeitliche Verlauf des Sensorsignals (8a,8b) bei
einem darüberrollenden Rad (3) jeweils am Anfang stetig
5 ansteigt oder abfällt und am Ende umgekehrt wieder stetig
abfällt bzw. ansteigt und

dass die Sehnenlänge (se) der Länge einer Kreissehne und
der Hilfwert (hs) der Sehnenhöhe im gedachten Raddurch-
messerkreis (RDK) entspricht.

10

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Korrektur-Hilfwert (ihs) anhand laufend darüber-
rollender Räder (3) mit bekanntem Raddurchmesser (2R,2Rs)
15 bestimmt wird.

4. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet,

dass der Korrektur-Hilfwert (ihs) anhand laufend darü-
berrollender Räder (3) mit einer bekannten Verteilung der
20 Raddurchmesser (2R,2Rs) bestimmt wird, wobei als bekannter
Raddurchmesser (2R,2Rs) der statistisch gesicherte Mittel-
wert der Verteilung verwendet wird.

25 5. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet,

dass aus laufend darüberrollenden Rädern (3) eine Gruppe
mit einer bekannten Verteilung der Raddurchmesser (2R,2Rs)
ausgewählt und der Korrektur-Hilfwert (ihs) anhand des
30 statistisch gesicherten Mittelwerts dieser Gruppe bestimmt
wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5
dadurch gekennzeichnet,
dass die Räder (3) in Rahmen mit festem Abstand angeordnet
sind und die Räder (3) der ausgewählten Gruppe zu gleichen
5 Rahmenachsabständen gehören.
7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Räder (3) der auszuwählenden Gruppe zu Laufwerken
10 in Form von Drehgestellen gehören, deren Räder (3) in Rahmen mit festem Abstand angeordnet sind und dass die Räder (3) der ausgewählten Gruppe zu gleichen Drehgestellen gehören.
- 15 8. Verfahren nach Anspruch 7,
dadurch gekennzeichnet,
dass die Drehgestelle 1800mm-Drehgestelle sind, wobei die
Verteilung der Raddurchmesser (2R,2Rs) der Räder (3) dieser
Drehgestelle normal ist und gegenüber den zu anderen
20 Rahmenachsabständen gehörenden Rädern die kleinere Streuung aufweist.
9. Verfahren nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
25 dass die Drehgestelle 1500mm-, 1700mm- oder 2000mm-Drehgestelle sind.
10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 9,
dadurch gekennzeichnet,
30 dass aus jedem neu bestimmten Korrektur-Hilfswert (ihs) ein zum vorhergehenden Hilfswert (hs(i-1)) graduell angepasster neuer Hilfswert (hs(i)) gebildet wird.

11. Verfahren nach Anspruch 8,
dadurch gekennzeichnet,
dass der Korrekturwert-Hilfswert (ihs) mittels eines vor-
gegebenen Korrekturfaktors K graduell angepaßt wird.

5

12. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 11,
dadurch gekennzeichnet,
dass der erste vorgegebene Hilfswert ein geschätzter Wert
ist.

10

13. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 12,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei der Messanordnung der Raddurchmesser (2R, 2Rs)
durch Lösung folgender Gleichung berechnet wird:

15

$$R^2 = (R-hs)^2 + (se/2)^2$$

mit 2R= Raddurchmesser, hs= vorgegebener Hilfswert und se=
Sehnenlänge.

14. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 13,

20

dadurch gekennzeichnet,
dass bei der Messanordnung der vorgegebene Hilfswert (hs)
bei vorgegebenem Schwellwert (θ) und davon abhängiger Seh-
nenlänge (se) empirisch ermittelt wird.

25

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 14,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei der Messanordnung der Raddurchmesser der Lauf-
kreisdurchmesser (2R) ist.

30

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 15,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei der Messanordnung die jeweils paarweise angeord-
neten Räder (3) bezogen auf das Fahrschienenpaar (1) in-

nenseitig einander gegenüberliegende Spurkränze (6) aufweisen und der Raddurchmesser der Spurkränzdurchmesser (2Rs) ist.

5 17. Verfahren nach Anspruch 15 oder 16,
dadurch gekennzeichnet,
dass bei der Messanordnung der Radsensor (4a,4b) unterhalb
der Spurkränze (6) und/oder der Laufkreise (5) angeordnet
ist, wobei der Spurkränzdurchmesser (2Rs) gleich dem
10 Laufkreisdurchmesser (2R) plus der doppelten Spurkränzhöhe
(2Sh) ist.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 17,
dadurch gekennzeichnet,
15 dass bei der Messanordnung der Radsensor (4a,4b) als in-
duktiv wirkender Sensor ausgebildet ist.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 18,
dadurch gekennzeichnet,
20 dass bei der Messanordnung zur Einstellung einer
Schalthysterese des Sensors (4a,4b) zwei unterschiedliche
Schwellwerte (9) vorgegeben sind.

20. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 19,
25 dadurch gekennzeichnet,
dass bei der Messanordnung der Radsensor (4) als Doppel-
radsensor mit zwei Radsensoren (4a,4b) ausgebildet ist,
wobei aus dem zeitlichen und geometrischen Versatz der
beiden Sensorsignalkurven die Geschwindigkeit bestimmt
30 wird.

21. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 - 20,
dadurch gekennzeichnet,

dass je zwei Radsensoren (4a1,4a2 oder 4b1,4b2) innenseitig oder außenseitig am Fahrschienenpaar einander zu- bzw. abgewandt als Radsensorpaar (4a1,4a2;4b1,4b2) angeordnet sind, wobei diese beiden Radsensoren (4a1,4a2 oder
5 4b1,4b2) auf einer quer, vorzugsweise senkrecht, zu den Fahrschienen verlaufenden gedachten Gerade liegen, dass für jeden Radsensor (4a1,4a2,4b1,4b2) ein Korrektur-Hilfswert (ihs) bestimmt wird, und dass die Korrektur-Hilfswerte (ihs) des Radsensorpaars (4a1,4a2;4b1,4b2) sowie die
10 anhand ihrer Sensorsignale (8a1, 8a2 bzw. 8b1,8b2) ermittelten Sehnenlängen (se) jeweils gemittelt und anstelle des Korrektur-Hilfswerts (ihs) sowie der Sehnenlänge (se) des einzelnen Radsensors (4a1,4a2,4b1,4b2) verwendet werden.
15

22. Verfahren nach Anspruch 21,

dadurch gekennzeichnet,

dass vier Radsensoren (4a1,4a2,4b1,4b2) von zwei Doppelradsensoren (4;4) entsprechend paarweise innenseitig oder
20 außenseitig am Fahrschienenpaar einander zu- bzw. abgewandt angeordnet sind und dass jeweils der Korrektur-Hilfswert (ihs) der beiden Radsensoren (4a1,4a2 bzw.
4b1,4b2) eines Paares sowie die anhand ihrer Sensorsignale

(8a1,8b1 bzw. 8a2,8b2) ermittelte Sehnenlänge (se) des

25 Paares (4a1,4a2 bzw. 4b1,4b2) gemittelt werden.

23. Verfahren nach Anspruch 21 oder 22,

dadurch gekennzeichnet,

dass jeweils der größere Korrektur-Hilfswert (ihs) der
30 beiden Radsensoren (4a1,4a2 bzw. 4b1,4b2) eines Paares sowie die anhand ihrer Sensorsignale (8a1,8b1 bzw. 8a2,8b2) ermittelte größere Sehnenlänge (se) des Paares (4a1,4a2
bzw. 4b1,4b2) verwendet werden.

24. Verfahren nach Anspruch 21 oder 22,
dadurch gekennzeichnet,
dass jeweils der kleinere Korrektur-Hilfswert (ihs) der
5 beiden Radsensoren (4a1,4a2 bzw. 4b1,4b2) eines Paares so-
wie die anhand ihrer Sensorsignale (8a1,8b1 bzw. 8a2,8b2)
ermittelte kleinere Sehnenlänge (se) des Paares (4a1,4a2
bzw. 4b1,4b2) verwendet werden.
- 10 25. Verfahren nach Anspruch 21 oder 22,
dadurch gekennzeichnet,
dass die ermittelten Raddurchmesser (2R,2Rs) des Doppel-
radsensorpaars (4a1,4b1;4a2,4b2) jeweils gemittelt werden.
- 15 26. Verfahren nach Anspruch 21 oder 22,
dadurch gekennzeichnet,
dass jeweils von den ermittelten Raddurchmessern (2R,2Rs)
des Doppelradsensorpaars (4a1,4b1;4b1,4b2) der größere
Raddurchmesser verwendet wird.
- 20 27. Verfahren nach Anspruch 21 oder 22,
dadurch gekennzeichnet,
dass jeweils von den ermittelten Raddurchmessern (2R,2Rs)
des Doppelradsensorpaars (4a1,4b1;4b1,4b2) der kleinere
25 Raddurchmesser verwendet wird.
28. Schwerkraftablaufanlage für Schienenfahrzeuge mit sich
längs zweier paralleler Fahrschienen (1) bewegenden Rädern
30 (3), insbesondere für Güterwagen, mit zumindest einer Kol-
bengleisbremse zum Abbremsen der Schwerkraft angetriebenen
Schienenfahrzeuge, bei denen die Räder (3) jeweils paar-
weise angeordnet sind und einander gegenüberliegen,

wobei zur Ermittlung des Raddurchmessers ($2R, 2R_s$) zumindest an einer Fahrschiene (1) ein das Rad (3) erfassender Radsensor (4a,4b) unterhalb der auf der Fahrschiene (1) abrollenden Räder (3) angeordnet ist, der ein Sensorsignal (8a,8b) erzeugt,

wobei mit Hilfe des Sensorsignals (8a,8b) eine dem Raddurchmesser ($2R, 2R_s$) entsprechende Sehnenlänge (s_e) ermittelt wird, die der Länge einer Kreissehne im gedachten Raddurchmesserkreis (RDK) entspricht, mit deren Hilfe der unbekannte Raddurchmesser ($2R, 2R_s$) berechnet wird, dadurch gekennzeichnet,

dass die Zeitdifferenz des Sensorsignals (8a,8b) zwischen dem Über- und anschließenden Unterschreiten zumindest eines vorgegebenen Schwellwertes (9) erfasst wird,

dass anhand der Radgeschwindigkeit aus der Zeitdifferenz die Sehnenlänge (s_e) ermittelt wird,

aus der mittels eines vorgegebenen Hilfwertes ($h_s(i-1)$) der unbekannte Raddurchmesser ($2R, 2R_s$) berechnet wird, und dass, wenn ein ausgewähltes Rad (3) mit bekanntem Raddurchmesser ($2R, 2R_s$) darüber rollt, durch Korrektur des

vorgegebenen Hilfwertes ($h_s(i-1)$) anhand des bekannten Raddurchmessers ($2R, 2R_s$) ein neuer Hilfwert ($h_s(i)$) bestimmt und als vorgegebener Hilfwert ($h_s(i)$) für die weiteren Berechnungen der Raddurchmesser ($2R, 2R_s$) verwendet

wird.

29. Schwerkraftablaufanlage nach Anspruch 28,

dadurch gekennzeichnet,

dass die zeitliche Differenz eines nachfolgend ablaufenden Schienenfahrzeugs zum unmittelbar vorhergehenden Schienenfahrzeug am Startpunkt anhand des ermittelten Spurkranzdurchmessers ($2R_s$) des nachlaufenden oder/und des vorlaufenden Schienenfahrzeugs bestimmt wird.

FIG 1

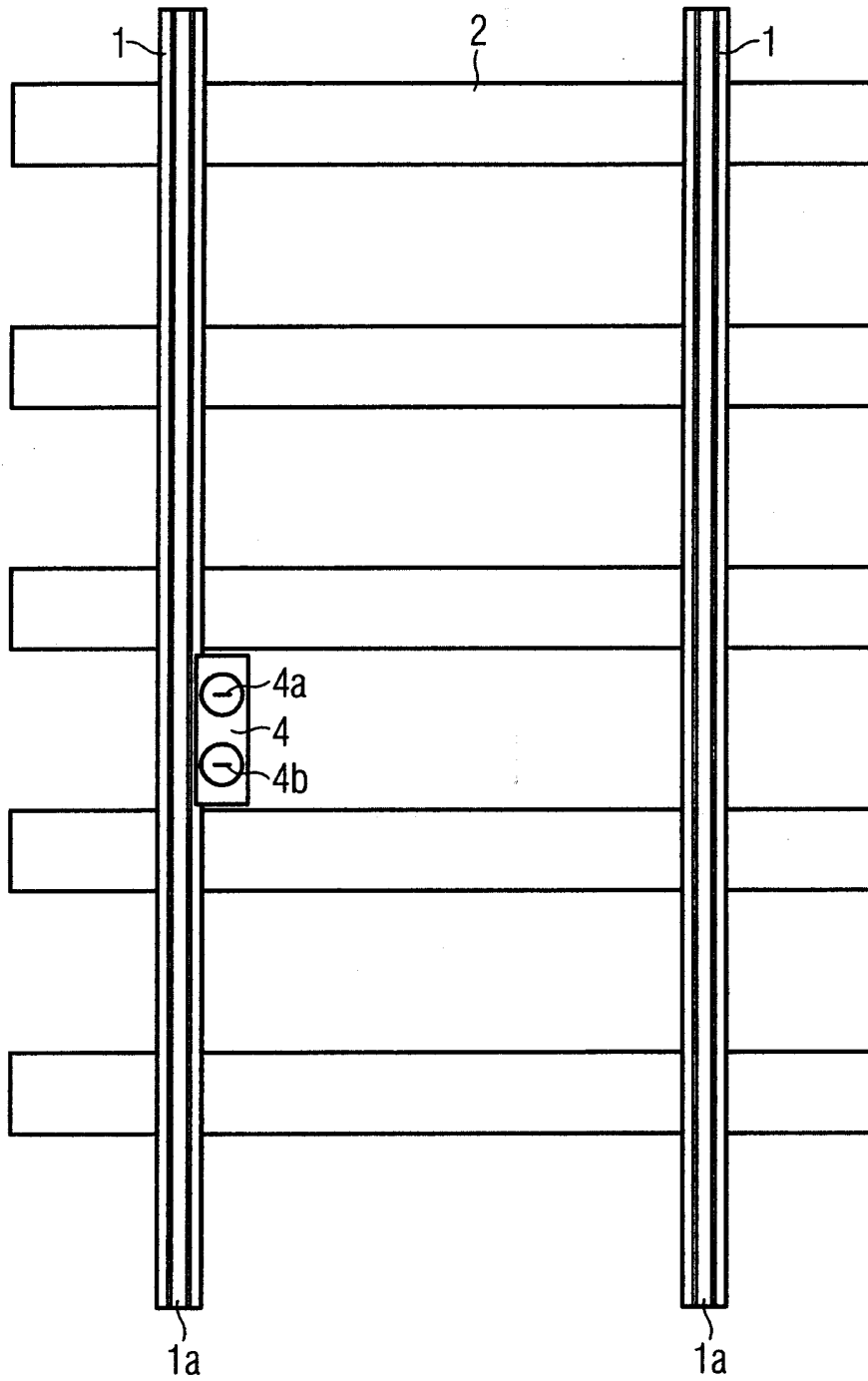


FIG 2

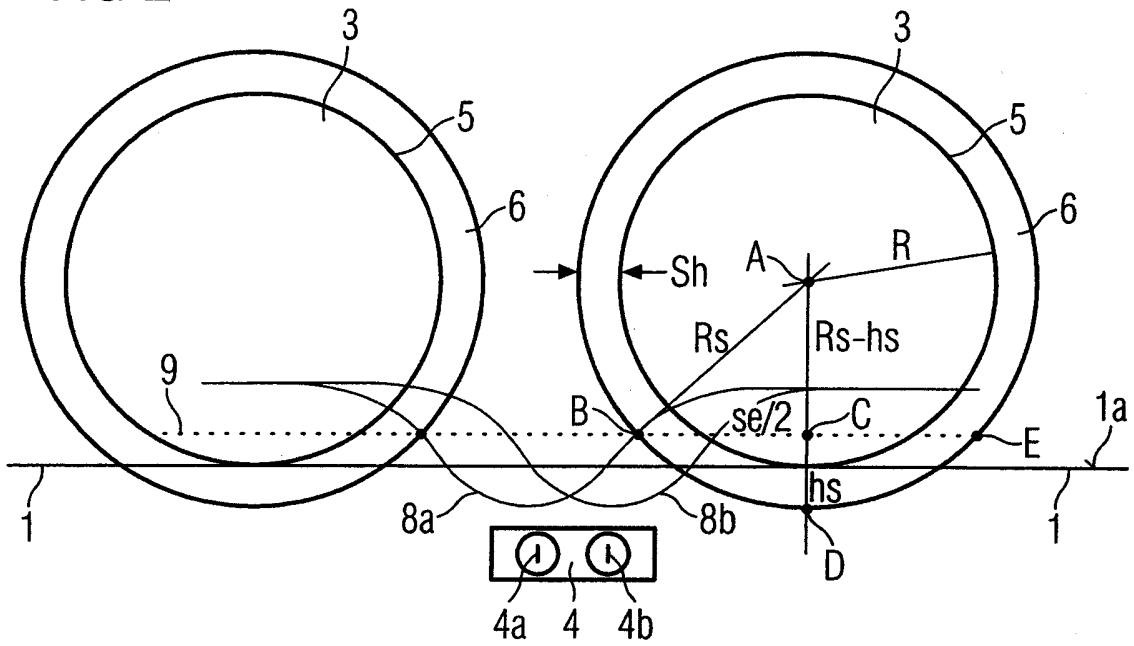


FIG 3

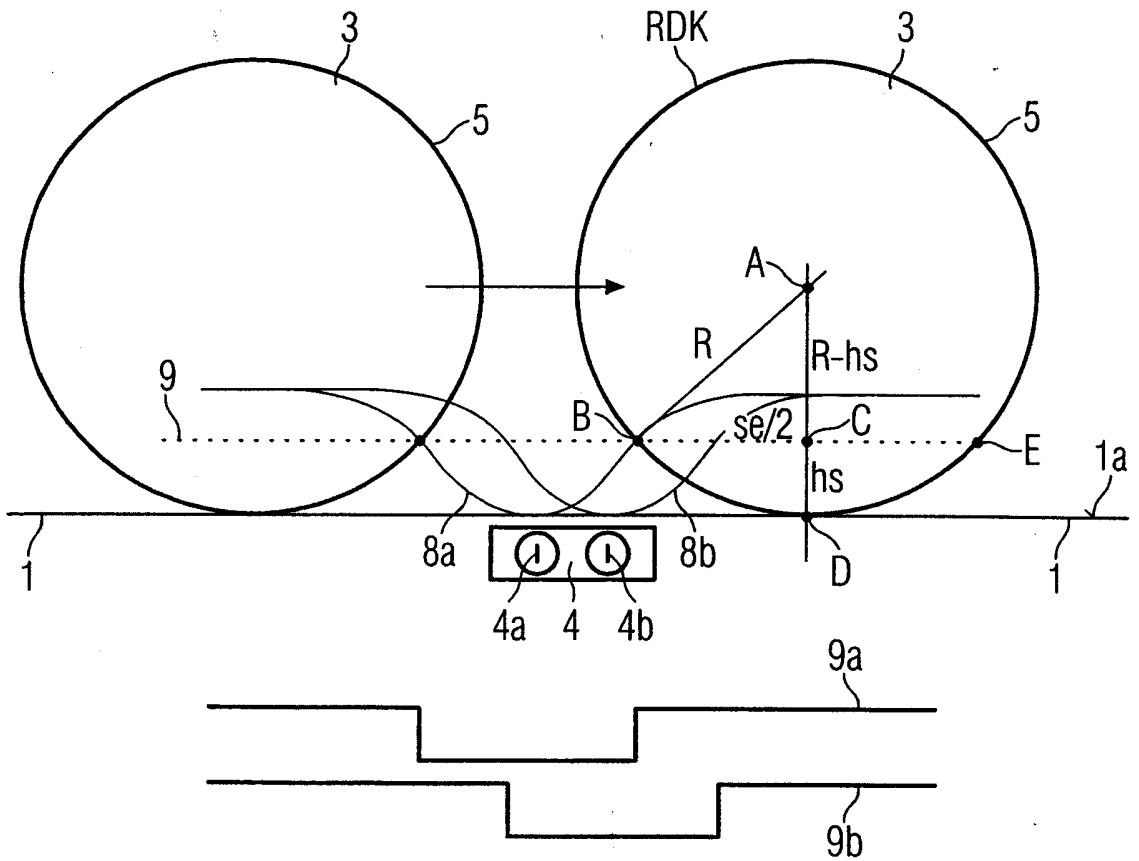


FIG 4

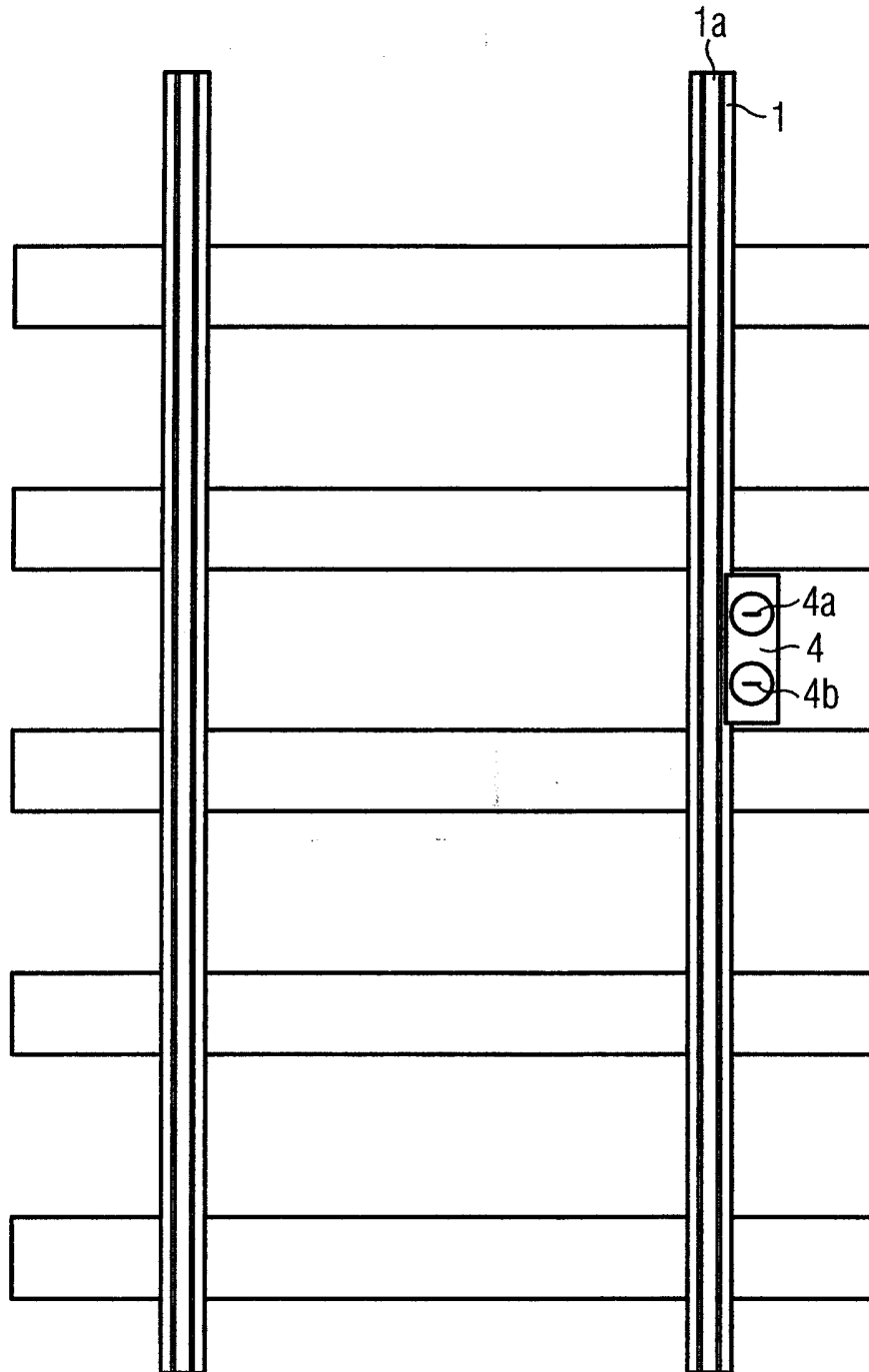


FIG 5

