



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2017 221 812.6**

(51) Int Cl.: **B61L 23/08 (2006.01)**

(22) Anmeldetag: **04.12.2017**

(43) Offenlegungstag: **06.06.2019**

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

(56) Ermittelter Stand der Technik:

<b>DE</b>	<b>198 22 803</b>	<b>A1</b>
<b>DE</b>	<b>198 28 878</b>	<b>A1</b>

(72) Erfinder:  
**Büngener, Walter, 38302 Wolfenbüttel, DE**

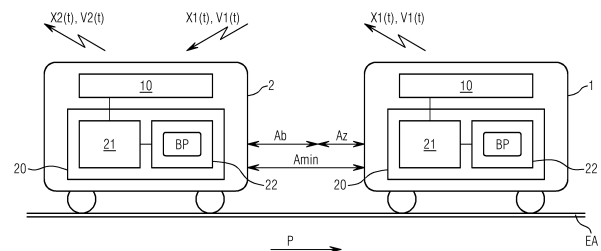
Rechercheantrag gemäß § 43 PatG ist gestellt.

**Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen.**

(54) Bezeichnung: **Verfahren zum Betreiben von Schienenfahrzeugen**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Betreiben von Schienenfahrzeugen (1, 2), wobei für ein hinter einem vorausfahrenden Schienenfahrzeug (1) hinterherfahrendes Schienenfahrzeug (2) ein absoluter Bremswegabstand ( $A_b$ ), der ein Auffahren auf das vorausfahrende Schienenfahrzeug (1) vermeidet oder zumindest vermeiden soll, ermittelt wird, und das hinterherfahrende Schienenfahrzeug (2) derart betrieben wird, dass es mindestens diesen absoluten Bremswegabstand ( $A_b$ ) zu dem vorausfahrenden Schienenfahrzeug (1) einhält.

Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das hinterherfahrende Schienenfahrzeug (2) derart betrieben wird, dass es zusätzlich zu dem absoluten Bremswegabstand ( $A_b$ ) einen Zusatzabstand ( $A_z$ ) einhält, der von der Geschwindigkeit ( $V_1(t)$ ) des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs (1) abhängt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Betreiben von Schienenfahrzeugen, wobei für ein hinter einem vorausfahrenden Schienenfahrzeug hinterherfahrendes Schienenfahrzeug ein absoluter Bremswegabstand, der ein Auffahren auf das vorausfahrende Schienenfahrzeug vermeidet oder zumindest vermeiden soll, ermittelt wird, und das hinterherfahrende Schienenfahrzeug derart betrieben wird, dass es mindestens diesen absoluten Bremswegabstand zu dem vorausfahrenden Schienenfahrzeug einhält. Ein derartiges Verfahren ist im Bereich der Eisenbahntechnik bekannt.

**[0002]** Die Eisenbahnnorm IEEE Std 1474.1-2004 definiert die grundlegenden Anforderungen an Zugsicherungssysteme für den Nahverkehr auf CBTC (Communication-Based Train Control, kommunikationsbasierte Zugbeeinflussung)-Basis. Der wesentliche die Leistungsfähigkeit beschreibende Parameter ist die erreichbare Zugfolgezeit (als „Design Headway“ (geplante Designfahrzeugfolge) in Abschnitt 5.1 der Norm bezeichnet). Die Zugfolgezeit wird aus CBTC-Sicht bzw. bei CBTC-Systemen durch die zu realisierende sichere Abstandshaltung (als „Safe train separation“ (sichere Zugtrennung) in Abschnitt 6.1.2 der Norm bezeichnet) und das verwendete „Safe Braking“-Modell (sicheres Bremsmodell, siehe Abschnitt 6.2.1 der Norm) mit dem Parameter GEBR („guaranteed emergency brake rate“, garantierte Zwangsbremsverzögerung) limitiert.

**[0003]** Der Wert GEBR ist hier besonders kritisch. Typische Werte liegen zwischen  $0,8 \text{ m/s}^2$  und  $1,2 \text{ m/s}^2$ . Aus Sicherheitsgründen müsste der GEBR-Wert klein genug gewählt werden, um alle zu erwartenden Ausfälle und Umweltbedingungen abzudecken, andererseits verschlechtert ein kleinerer Wert die erreichbare Zugfolgezeit deutlich. Die betriebliche Praxis zeigt, dass insbesondere beim Betrieb an der Oberfläche (außerhalb von Tunneln) zeitweise witterungsbedingt (z. B. nasses Laub auf der Schiene) der Haftreibungskoeffizient zwischen Rad und Schiene sehr klein werden kann, so dass dann Verzögerungswerte von nur noch  $0,5 \text{ m/s}^2$  oder gar noch darunter erreicht werden.

**[0004]** Eine Anpassung des GEBR-Werts an diese Ausnahmefälle würde die erreichbare Zugfolgezeit zu sehr verschlechtern. Solche Ausnahmefälle werden dann oft durch betriebliche Maßnahmen abgedeckt, z. B. witterungsbedingte Reduktion der betrieblichen Bremsverzögerung. Die Schwierigkeit besteht darin, diese Situationen rechtzeitig zu erkennen und zu kommunizieren. Dabei erreicht man nicht das übliche Sicherheitsniveau.

**[0005]** Das Problem eines in speziellen Situationen nicht ausreichenden GEBR-Werts tritt in seiner ganzen Schärfe erst mit zunehmender Einführung von CBTC-Systemen auf der Witterung ausgesetzten Strecken auf. CBTC-Systeme fahren im fachsprachlich „moving block“ (bewegender Block)-Abstand, während konventionelle Systeme im fachsprachlich „fixed block“ (fester Block)-Abstand fahren und stets noch Sicherheitsreserven beinhalten. Der „moving block“ hat sich nun von diesen Sicherheitsreserven zugunsten einer erhöhten Leistungsfähigkeit befreit. Werden nun „garantierte“ Werte nicht eingehalten, kommt ein CBTC-System oft sofort in einen sicherheitskritischen Bereich. Für die Betreiber von Nahverkehrssystemen ist dies oft eine neue Situation, für die es noch keine etablierten Lösungen gibt. Einige Systeme erlauben das Umschalten auf eine geringere betriebliche Verzögerung oder eine geringere Zwangsbremsverzögerung (GEBR), die aber im Ermessen des Betreibers liegt.

**[0006]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben von Schienenfahrzeugen anzugeben, das einen besonders sicheren Betrieb von Schienenfahrzeugen bei trotzdem kleinen Zugfolgezeiten ermöglicht.

**[0007]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in Unteransprüchen angegeben.

**[0008]** Danach ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass das hinterherfahrende Schienenfahrzeug derart betrieben wird, dass es zusätzlich zu dem absoluten Bremswegabstand einen Zusatzabstand einhält, der von der Geschwindigkeit des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs abhängt.

**[0009]** Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens ist darin zu sehen, dass durch den zusätzlich vorgesehenen Zusatzabstand ein besonders großes Maß an Betriebssicherheit erreicht wird, insbesondere mit Blick auf die obigen Ausführungen im Zusammenhang mit der Unsicherheit von Verzögerungswerten.

**[0010]** Vorteilhaft ist es, wenn der Zusatzabstand auf Null gesetzt wird, wenn das vorausfahrende Schienenfahrzeug eine vorgegebene Geschwindigkeitsschwelle erreicht oder überschreitet.

**[0011]** Im Falle, dass das vorausfahrende Schienenfahrzeug die vorgegebene Geschwindigkeitsschwelle unterschreitet, wird der Zusatzabstand vorzugsweise mit zunehmender Differenz zwischen der Geschwindigkeit des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs und der Geschwindigkeitsschwelle erhöht.

**[0012]** Der Zusatzabstand wird vorzugsweise berechnet gemäß:

$$A_z = \left( v_0^2 - v_1(t)^2 \right) / (2 \cdot a_1) \text{ für } v_1(t) \leq v_0,$$

wobei  $A_z$  den Zusatzabstand,  $v_1(t)$  die jeweilige Geschwindigkeit des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs,  $v_0$  die vorgegebene Geschwindigkeitsschwelle und  $a_1$  einen vorgegebenen Bremsverzögerungswert für das Bremsverhalten des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs, vorzugsweise unter Berücksichtigung des Einflusses der Fahrwegneigung, bezeichnet.

**[0013]** Besonders vorteilhaft ist es, wenn der Zusatzabstand in Abhängigkeit von einem Bremsverzögerungswert ermittelt wird, der durch Summenbildung eines Basisverzögerungswertes, der die maximal mögliche oder maximal zu erwartende Verzögerung des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs angibt, und einem vorgegebenen Zuschlagsbremsverzögerungswert berechnet wird.

**[0014]** Der Zuschlagsbremsverzögerungswert wird bevorzugt unter Berücksichtigung der Ortsunsicherheit bei der Ortung des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs bestimmt, wobei der Zuschlagsbremsverzögerungswert umso größer gewählt wird, je größer die Ortsunsicherheit der Ortung ist.

**[0015]** Mit Blick beispielsweise auf einen Rangier- oder Kupplungsbetrieb wird es als vorteilhaft angesehen, wenn eine Einhaltung des Zusatzabstands ausgesetzt wird und dem hinterherfahrenden Schienenfahrzeug ein Einfahren in den Bereich des Zusatzabstands erlaubt wird, wenn die Geschwindigkeit des hinterherfahrenden Schienenfahrzeugs eine vorgegebene zulässige Einfahrtgeschwindigkeit erreicht oder unterschreitet.

**[0016]** Nach Einfahren in den Bereich des Zusatzabstands wird die Geschwindigkeit des hinterherfahrenden Schienenfahrzeugs vorzugsweise auf die zulässige Einfahrtgeschwindigkeit begrenzt.

**[0017]** Die Erfindung bezieht sich darüber hinaus auf eine Steuereinrichtung zum Betreiben eines oder mehrerer Schienenfahrzeuge. Erfindungsgemäß ist bezüglich einer solchen Steuereinrichtung vorgesehen, dass diese derart ausgestaltet ist, dass sie ein oder mehrere Schienenfahrzeuge, insbesondere ein hinter einem vorausfahrenden Schienenfahrzeug hinterherfahrendes Schienenfahrzeug, gemäß einem Verfahren wie oben beschrieben betreiben kann.

**[0018]** Die Steuereinrichtung umfasst vorzugsweise einen Rechner und einen Speicher, in dem ein Betriebsprogramm abgespeichert ist. Das Betriebsprogramm bildet das oben beschriebene Verfahren vorzugsweise in Form eines Softwarecodes ab. Bei Ausführung des Betriebsprogramms führt der Rechner dann ein Verfahren in der oben beschriebenen Weise aus.

**[0019]** Die Erfindung bezieht sich darüber hinaus auf eine Eisenbahnanlage mit zumindest zwei darauf fahrenden Schienenfahrzeugen. Erfindungsgemäß ist bezüglich einer solchen Eisenbahnanlage vorgesehen, dass diese eine Steuereinrichtung aufweist, wie sie oben beschrieben worden ist.

**[0020]** Die Erfindung bezieht sich darüber hinaus auf ein Schienenfahrzeug. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das Schienenfahrzeug eine Steuereinrichtung aufweist, wie sie oben beschrieben worden ist. Vorzugsweise ist die Steuereinrichtung derart ausgestaltet, dass sie einen Mindestabstand ihres Schienenfahrzeugs zu einem vorausfahrenden Schienenfahrzeug ermittelt, und zwar durch Summenbildung oder zumindest auch durch Summenbildung eines absoluten Bremswegabstands, der ein Auffahren auf das vorausfahrende Schienenfahrzeug vermeidet oder vermeiden soll, und einem Zusatzabstand, der von einem die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs angegebenden Geschwindigkeitswert abhängt.

**[0021]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert; dabei zeigen beispielhaft

**Fig. 1** ein Ausführungsbeispiel für eine Eisenbahnanlage, bei der Schienenfahrzeuge unmittelbar miteinander kommunizieren und jedes Schienenfahrzeug seinen Mindestabstand zum vorausfahrenden Schienenfahrzeug selbst ermittelt,

**Fig. 2** ein Ausführungsbeispiel für eine Eisenbahnanlage, bei der Schienenfahrzeuge ihren jeweiligen Ort und ihre jeweilige Geschwindigkeit selbst ermitteln und diese Angaben an eine Zentrale übermitteln, die die jeweiligen Angaben an hinterherfahrende Schienenfahrzeuge weiterleitet,

**Fig. 3** ein Ausführungsbeispiel für eine Eisenbahnanlage, bei der eine Zentrale den Ort und die Geschwindigkeit von auf der Eisenbahnanlage fahrenden Schienenfahrzeugen ermittelt und die entsprechenden Angaben an die Schienenfahrzeuge übermitteln, damit diese ihren Mindestabstand zu einem vorausfahrenden Schienenfahrzeug selbst bestimmen können,

**Fig. 4** ein Ausführungsbeispiel für eine Eisenbahnanlage, bei der eine Zentrale für jedes auf der Eisenbahnanlage fahrende Schienenfahrzeug jeweils einen Zusatzabstand und/oder einen darauf basierenden Mindestabstand berechnet und an die jeweiligen Schienenfahrzeuge übermitteln, und

**Fig. 5** beispielhaft ein Weg-Zeit-Diagramm für eine mögliche Zugfolge.

**[0022]** In den Figuren werden der Übersicht halber für identische oder vergleichbare Komponenten stets dieselben Bezugszeichen verwendet.

**[0023]** Die **Fig. 1** zeigt eine Eisenbahnanlage **EA**, die von zwei Schienenfahrzeugen **1** und **2** befahren wird. Bei den Schienenfahrzeugen **1** und **2** kann es sich beispielsweise um Züge handeln, so dass diese weiter unten auch als Zug **1** bzw. Zug **2** bezeichnet werden.

**[0024]** Die beiden Schienenfahrzeuge **1** und **2** bewegen sich entlang der Pfeilrichtung **P** in der **Fig. 1** von links nach rechts; demgemäß kann das in der **Fig. 1** rechte Schienenfahrzeug **1** als vorausfahrendes Schienenfahrzeug und das in der **Fig. 1** linke Schienenfahrzeug **2** als hinterherfahrendes Schienenfahrzeug bezeichnet werden.

**[0025]** Die beiden Schienenfahrzeuge **1** und **2** können beispielsweise baugleich ausgeführt sein, wovon nachfolgend beispielhaft ausgegangen wird. Sie weisen beide jeweils eine Kommunikationseinrichtung **10** und eine Steuereinrichtung **20** zur Steuerung eines nicht weiter gezeigten Antriebs auf. Die Steuereinrichtung **20** umfasst einen Rechner **21** und einen Speicher **22**. In dem Speicher **22** ist ein Betriebsprogramm **BP** abgespeichert, das die Arbeitsweise des Rechners **21** und damit die Arbeitsweise der Steuereinrichtung **20** insgesamt festlegt.

**[0026]** Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 1** bestimmen die Schienenfahrzeuge **1** und **2** mittels eigener Sensoren und/oder eigener Messeinrichtungen jeweils ihren eigenen Ort **X1(t)** bzw. **X2(t)** sowie ihre eigene Geschwindigkeit **V1(t)** bzw. **V2(t)** und senden die entsprechenden Messwerte über ihre Kommunikationseinrichtung **10** jeweils selbst zumindest zu dem hinterherfahrenden Schienenfahrzeug.

**[0027]** Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 1** übermittelt also das vorausfahrende Schienenfahrzeug **1** seinen jeweiligen Ort **X1(t)** und seine Geschwindigkeit **V1(t)** an das hinterherfahrende Schienenfahrzeug **2**, dem somit sowohl Angaben zu Ort und Geschwindigkeit des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs **1** vorliegen als auch - aufgrund eigener Messungen - der eigene Ort **X2(t)** und die eigene Geschwindigkeit **V2(t)** bekannt ist.

**[0028]** Das Betriebsprogramm **BP** im Speicher **22** der Steuereinrichtung **20** ist derart ausgestaltet, dass das hinterherfahrende Schienenfahrzeug **2** seinen Mindestabstand  $A_{min}$  zu dem vorausfahrenden Schienenfahrzeug **1** selbst ermittelt, vorzugsweise wie folgt:

$$A_{min} = A_b + A_z,$$

wobei  $A_{min}$  den Mindestabstand bezeichnet,  $A_b$  einen absoluten Bremswegabstand bezeichnet, der ein Aufahren auf das vorausfahrende Schienenfahrzeug **1** vermeidet oder zumindest vermeiden soll, und  $A_z$  einen Zusatzabstand bezeichnet, der von der Geschwindigkeit des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs abhängt. Der absolute Bremswegabstand wird vorzugsweise in der üblichen Art und Weise berechnet, wie dies im Stand der Technik bekannt ist; diesbezüglich sei auf die obigen Ausführungen im Zusammenhang mit dem Stand der Technik sowie auf die einschlägige Norm IEEE Std 1474.1-2004 verwiesen. Beispielsweise kann der absolute Bremswegabstand berechnet werden gemäß:

$$A_b = (V_2(t) - dV_2(t))^2 / (2 \cdot (GEBR + N_{min} \cdot g)) + (V(t) + dV_2(t)) \cdot T_v$$

wobei  $dV_2$  der Geschwindigkeitsmessfehler,  $N_{min}$  die minimale Fahrwegneigung im Bremsweg des Schienenfahrzeugs **2** (negative Werte bei Gefälle),  $g$  die Erdbeschleunigung und  $T_v$  die Ansprechverzögerungszeit der Bremse des Schienenfahrzeugs **2** ist.

**[0029]** Der Zusatzabstand  $A_z$  wird vorzugsweise berechnet gemäß:

$$A_z = \left( V_0^2 - V_1(t)^2 \right) / (2 \cdot a_1) \text{ für } V_1(t) \leq V_0$$

und

$$A_z = 0 \text{ für } V_1(t) > V_0$$

und wobei  $A_z$  den Zusatzabstand,  $V_1(t)$  die jeweilige Geschwindigkeit des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs **1**,  $V_0$  die vorgegebene Geschwindigkeitsschwelle und  $a_1$  einen vorgegebenen Bremsverzögerungswert für das Bremsverhalten des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs **1** unter Berücksichtigung des Einflusses der Fahrwegneigung bezeichnet.

**[0030]** Bezüglich des Bremsverzögerungswerts  $a_1$  wird es als vorteilhaft angesehen, wenn dieser durch Summenbildung eines Basisverzögerungswertes, der die maximal mögliche oder maximal zu erwartende Verzögerung des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs **1** angibt, und einem vorgegebenen Zuschlagsbremsverzögerungswert berechnet wird.

**[0031]** Der Zuschlagsbremsverzögerungswert wird vorzugsweise unter Berücksichtigung der Ortsunsicherheit bei der Ortung des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs **1**, also unter Berücksichtigung der Ortsunsicherheit bei der Bestimmung von  $X_1(t)$ , ermittelt; dabei wird der Zuschlagsbremsverzögerungswert bevorzugt umso größer gewählt, je größer die Ortsunsicherheit der Ortung ist.

**[0032]** Mit Blick auf einen Sonderbetrieb der Schienenfahrzeuge, insbesondere mit Blick auf ein Zusammenkuppeln von Schienenfahrzeugen, wird es als vorteilhaft angesehen, wenn eine Einhaltung des Zusatzabstands  $A_z$  ausgesetzt wird und dem hinterherfahrenden Schienenfahrzeug **2** ein Einfahren in den Bereich des Zusatzabstands  $A_z$  erlaubt wird, wenn die Geschwindigkeit des hinterherfahrenden Schienenfahrzeugs **2** eine vorgegebene zulässige Einfahrgeschwindigkeit erreicht oder unterschreitet.

**[0033]** Falls dem in der **Fig. 1** rechten Schienenfahrzeug **1** ein in der **Fig. 1** nicht gezeigtes Schienenfahrzeug vorausfährt, so arbeitet das Schienenfahrzeug **1** bezüglich der von dem nicht gezeigten Schienenfahrzeug stammenden Orts- und Geschwindigkeitsangaben vorzugsweise wie das in der **Fig. 1** linke Schienenfahrzeug **2**.

**[0034]** Falls dem in der **Fig. 1** linken Schienenfahrzeug **2** ein in der **Fig. 1** nicht gezeigtes Schienenfahrzeug folgt, so arbeitet das Schienenfahrzeug **2** bezüglich der von diesem nicht gezeigten Schienenfahrzeug stammenden Orts- und Geschwindigkeitsangaben vorzugsweise wie das in der **Fig. 1** rechte Schienenfahrzeug **1**.

**[0035]** Die **Fig. 2** zeigt ein Ausführungsbeispiel für eine Eisenbahnanlage EA, bei der für die Steuerung der Schienenfahrzeuge **1** und **2** zusätzlich eine Zentrale **100** vorgesehen ist. Die Zentrale **100** empfängt von den die Eisenbahnanlage EA befahrenden Schienenfahrzeugen **1** und **2** jeweils die Ortsangaben  $X_1(t)$  und  $X_2(t)$  sowie die Geschwindigkeitswerte  $V_1(t)$  und  $V_2(t)$  und leitet diese Angaben an alle Schienenfahrzeuge auf der Eisenbahnanlage EA oder zumindest an die jeweils hinterherfahrenden Schienenfahrzeuge weiter (also die Angaben des Schienenfahrzeugs **1** an das diesem hinterherfahrende Schienenfahrzeug **2**, usw.).

**[0036]** Im Unterschied zu dem Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 1** empfängt das hinterherfahrende Schienenfahrzeug **2** die Ortsangabe  $X_1(t)$  und die Geschwindigkeit  $V_1(t)$  vom vorausfahrenden Schienenfahrzeug **1** also nicht direkt, sondern unter Mitwirkung der Zentrale **100**, die als Relaisstation arbeitet und die Werte vom vorausfahrenden Schienenfahrzeug **1** weiterleitet.

**[0037]** Im Übrigen gelten die obigen Ausführungen im Zusammenhang mit den Ausführungsbeispielen gemäß **Fig. 1** bei dem Ausführungsbeispiel gemäß **Fig. 2** entsprechend.

**[0038]** Die **Fig. 3** zeigt eine Ausführungsvariante für eine Eisenbahnanlage **EA**, bei der die Zentrale **100** die Ortsangaben **X1 (t)** und **X2(t)** und die Geschwindigkeitsangaben **V1 (t)** und **V2(t)** mittels streckenseitiger Einrichtungen selbst ermittelt und die ermittelten Werte an die Schienenfahrzeuge **1** bzw. **2** übermittelt. Die Berechnung des Mindestabstands **A<sub>min</sub>** bzw. des Zusatzabstands **A<sub>z</sub>** wird dann schienenfahrzeugseitig mittels der Steuereinrichtungen **20** in den Schienenfahrzeugen **1** und **2** durchgeführt, wie dies oben im Zusammenhang mit den **Fig. 1** und **Fig. 2** erläutert worden ist.

**[0039]** Die **Fig. 4** zeigt eine Ausführungsvariante für eine Eisenbahnanlage **EA**, bei der die Zentrale **100** für jedes der Schienenfahrzeuge **1** und **2** jeweils den Mindestabstand und/oder den Zusatzabstand ermittelt und die jeweils ermittelten Werte an die zugeordneten Schienenfahrzeuge **1** bzw. **2** übermittelt. In der **Fig. 4** bezeichnet **A<sub>min1</sub>** den Mindestabstand für das Schienenfahrzeug **1**, **A<sub>min2</sub>** den Mindestabstand für das Schienenfahrzeug **2**, **A<sub>z1</sub>** den Zusatzabstand für das Schienenfahrzeug **1** und **A<sub>z2</sub>** den Zusatzabstand für das Schienenfahrzeug **2**.

**[0040]** Die Schienenfahrzeuge **1** und **2** bzw. deren Steuereinrichtungen **20** müssen bei dieser Ausgestaltung den Mindestabstand **A<sub>min1</sub>** bzw. **A<sub>min2</sub>** und/oder den Zusatzabstand **A<sub>z1</sub>** bzw. **A<sub>z2</sub>** nicht selbst berechnen, da sie die entsprechenden Werte von der Zentrale **100** empfangen.

**[0041]** Im Übrigen gelten die obigen Ausführungen im Zusammenhang mit den Ausführungsbeispielen gemäß den **Fig. 1** bis **Fig. 3** entsprechend.

**[0042]** Zusammengefasst kann bei den Ausführungsbeispielen gemäß den **Fig. 1** bis **Fig. 4** die Funktion der sicheren Abstandshaltung zwischen den Schienenfahrzeugen bzw. Zügen („safe train separation“) dahingehend verbessert werden, dass zusätzliche Sicherheitsabstände dort bereitgestellt werden, wo es bei Verletzung des „sicheren Bremsmodells“ („safe braking model“) vorteilhaft ist und gleichzeitig die Zugfolgezeit nicht einschränkt.

**[0043]** Der die Zugfolgezeit zwischen zwei Haltestellen beschränkende Punkt liegt typischerweise dort, wo das vorausfahrende Schienenfahrzeug **1** (nachfolgend kurz Zug **1** genannt) eine Haltestelle vollständig und zusätzlich noch etwa die für die Einfahrt des nachfolgenden Schienenfahrzeugs **2** (nachfolgend kurz Zug **2** genannt) erforderliche Schutzstrecke nach der Haltestelle geräumt hat. Die für die Abstandshaltung gefährlichste Situation liegt dagegen vor, wenn der vorausfahrende Zug **1** in der Haltestelle steht, während der hinterherfahrende Zug **2** auf diese Haltestelle zufährt und den Abstand zu dem vorausfahrenden Zug **1** stetig verkürzt.

**[0044]** Im Rahmen der beschriebenen Ausführungsbeispiele wird der zusätzliche Sicherheitsabstand **A<sub>z</sub>** hinter dem vorausfahrenden Zug **1** und damit zwischen den zwei aufeinander folgenden Zügen **1** und **2** eingeführt, wenn der vorausfahrende Zug **1** langsam fährt oder steht. Um sprunghafte Änderungen des zusätzlichen Sicherheitsabstandes **A<sub>z</sub>** zu vermeiden, wird der Sicherheitsabstand **A<sub>z</sub>** bei Unterschreiten einer bestimmten Geschwindigkeitsschwelle des vorausfahrenden Zugs **1** kontinuierlich aufgebaut, bis er bei Stillstand des vorausfahrenden Zugs **1** seinen Maximalwert erreicht. Nach der Weiterfahrt des vorausfahrenden Zugs **1** wird dieser zusätzliche Sicherheitsabstand **A<sub>z</sub>** wieder mit zunehmender Geschwindigkeit abgebaut.

**[0045]** Im Idealfall ist der zusätzliche Sicherheitsabstand **A<sub>z</sub>** bereits abgebaut, bevor der für die Zugfolgezeit kritische Punkt erreicht wird, womit die Zugfolgezeit unbeeinflusst bleibt. Der Auf- und Abbau des zusätzlichen Sicherheitsabstandes erfolgt in einem CBTC-System z.B. im Rahmen der Berechnung der Fahrerlaubnis („movement authority“) des hinterherfahrenden Zuges **2**, kann aber auch an anderer Stelle der Berechnung der sicheren Abstandshaltung („safe train separation“) erfolgen, und benötigt keinerlei zusätzliche Hardware, da die Geschwindigkeit des vorausfahrenden Zuges **1** im CBTC-System bekannt ist.

**[0046]** Beim Aufbau des zusätzlichen Sicherheitsabstandes **A<sub>z</sub>** sollte die größte betriebliche Verzögerung des vorausfahrenden Zuges **1** berücksichtigt werden, genau genommen die scheinbare Verzögerung des Zugchlusses, die das mögliche Anwachsen der Ortungsunsicherheit („location uncertainty“) mit einschließt.

**[0047]** Beginnt der Aufbau des zusätzlichen Sicherheitsabstandes **A<sub>z</sub>** bei einer Geschwindigkeitsschwelle **V<sub>0</sub>** und ist die scheinbare Verzögerung **a<sub>1</sub>**, so fährt der vorausfahrende Zug **1** noch mindestens  $s_1 = V_0^2 / (2 \cdot a_1)$  bis zum Stillstand. Der zusätzliche Sicherheitsabstand **A<sub>z</sub>** kann also bis zu  $s_1$  aufgebaut werden, z.B. gemäß  $A_z = (V_0^2 - V_1(t)^2) / (2 \cdot a_1)$  mit **V<sub>1 (t)</sub>** als der Geschwindigkeit des vorausfahrenden Zugs **1**. Vorzugsweise wird

diese Funktion kontinuierlich angewendet, also unabhängig vom Bremsen und Beschleunigen, und  $V_0$  sollte an den für die Zugfolgezeit kritischen Punkt angepasst werden.

**[0048]** Ein zusätzlicher Sicherheitsabstand  $A_z$  kann betrieblich einschränkend sein, wenn der nachfolgende Zug **2** in speziellen Situationen dicht an den vorausfahrenden Zug **1** heranfahren soll, z.B. zum Kuppeln oder dichten Abstellen von Zügen. Um diese Einschränkungen zu vermeiden, kann die Wirkung des zusätzlichen Sicherheitsabstands auf Geschwindigkeiten  $V_2(t)$  des nachfolgenden Zuges **2** beschränkt werden, die größer als eine vorgegebene Mindestgeschwindigkeit sind. Damit wirkt der zusätzliche Sicherheitsabstand  $A_z$  bei kleinen Geschwindigkeiten des nachfolgenden Zuges **2** nicht mehr, aber ein möglicher Fehlbremsweg für diesen Zug wegen z.B. eines nicht eingehaltenen GEBR-Werts („guaranteed emergency brake rate“, garantierte Zwangsbremsverzögerung) fällt dann bei Geschwindigkeiten kleiner als der Mindestgeschwindigkeit auch klein aus.

**[0049]** Der Vorteil der im Zusammenhang mit den **Fig. 1** bis **Fig. 4** beschriebenen Vorgehensweise liegt darin, dass auch beim Fahren im „moving block“ im Abstand der definierten minimalen Zugfolgezeit in Abhängigkeit von der Betriebssituation Sicherheitsreserven vorhanden sind und diese für einen zusätzlichen Sicherheitsabstand hinter einem nachfolgenden Zug genutzt werden können, ohne die Zugfolgezeit („design headway“) zu verschlechtern. Dies zeigt beispielhaft die **Fig. 5**, in der beispielhaft ein Weg-Zeit-Diagramm (Ort  $S$  in Metern über der Zeit  $t$  in Sekunden) für eine mögliche Zugfolge dargestellt ist.

**[0050]** In der **Fig. 5** ist mit einer Kurve **K1** der Verlauf der Zugspitze eines vorausfahrenden Zugs dargestellt, die Kurve **K2** zeigt die Zugspitze des nachfolgenden Zugs. Die Kurve **K1s** beschreibt den Ort des Zugschlusses bzw. das Zugende des vorausfahrenden Zugs. **K3** visualisiert den Zusatzabstand  $A_z$  hinter **K1s**.

**[0051]** **K4** zeigt den für die momentane Fahrgeschwindigkeit mindestens erforderlichen zulässigen Fahrbereich (fachsprachlich „movement authority“) des nachfolgenden Zugs auf Basis des absoluten Bremswegabstands  $Ab$ . Es lässt sich erkennen, dass an dem für die Zugfolge relevanten Punkt **RP**, an dem sich die Kurve **K4** der Kurve **K1s** am dichtesten nähert, der Zusatzabstand  $A_z$  bereits vollständig abgebaut ist und somit die Zugfolgezeit nicht verschlechtert.

**[0052]** Je nach Systemparametern können z. B. zwischen 50 und 100 m zusätzlicher Sicherheitsabstand hinter einem stehenden Zug gewonnen werden. In Ausnahmesituationen, bei denen das „safe braking model“ nicht eingehalten wird, kann so dennoch die Sicherheit der Anlage gegeben sein. Selbst noch größere zusätzliche Sicherheitsabstände  $A_z$  lassen sich mit nur geringer Verschlechterung der Zugfolgezeit realisieren. Die technische Umsetzung kann in vorteilhafter Weise allein in der Berechnung der „movement authority“ ohne jede Notwendigkeit zusätzlicher Hardware erfolgen.

**[0053]** Obwohl die Erfindung im Detail durch bevorzugte Ausführungsbeispiele näher illustriert und beschrieben wurde, so ist die Erfindung nicht durch die offenbarten Beispiele eingeschränkt und andere Variationen können vom Fachmann hieraus abgeleitet werden, ohne den Schutzzumfang der Erfindung zu verlassen.

**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 Nicht-Patentliteratur**

- IEEE Std 1474.1-2004 [0002]



## Patentansprüche

1. Verfahren zum Betreiben von Schienenfahrzeugen (1, 2), wobei

- für ein hinter einem vorausfahrenden Schienenfahrzeug (1) hinterherfahrendes Schienenfahrzeug (2) ein absoluter Bremswegabstand (Ab), der ein Auffahren auf das vorausfahrende Schienenfahrzeug (1) vermeidet oder zumindest vermeiden soll, ermittelt wird, und
- das hinterherfahrende Schienenfahrzeug (2) derart betrieben wird, dass es mindestens diesen absoluten Bremswegabstand (Ab) zu dem vorausfahrenden Schienenfahrzeug (1) einhält, **dadurch gekennzeichnet**, dass das hinterherfahrende Schienenfahrzeug (2) derart betrieben wird, dass es zusätzlich zu dem absoluten Bremswegabstand (Ab) einen Zusatzabstand (Az) einhält, der von der Geschwindigkeit (V1 (t)) des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs (1) abhängt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zusatzabstand (Az) auf Null gesetzt wird, wenn das vorausfahrende Schienenfahrzeug (1) eine vorgegebene Geschwindigkeitsschwelle (VO) erreicht oder überschreitet.

3. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass im Falle, dass das vorausfahrende Schienenfahrzeug (1) die vorgegebene Geschwindigkeitsschwelle (VO) unterschreitet, der Zusatzabstand (Az) mit zunehmender Differenz zwischen der Geschwindigkeit (V1 (t)) des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs (1) und der Geschwindigkeitsschwelle (VO) erhöht wird.

4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zusatzabstand (Az) berechnet wird gemäß:

$$Az(t) = \left( v_0^2 - v_1(t)^2 \right) / (2 \cdot a_1) \text{ für } v_1(t) \leq v_0,$$

wobei Az den Zusatzabstand, V1 (t) die jeweilige Geschwindigkeit des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs (1), V0 die vorgegebene Geschwindigkeitsschwelle und a1 einen vorgegebenen Bremsverzögerungswert für das Bremsverhalten des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs (1) bezeichnet.

5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zusatzabstand (Az) in Abhängigkeit von einem Bremsverzögerungswert (a1) ermittelt wird, der durch Summenbildung eines Basisverzögerungswertes, der die maximal mögliche oder maximal zu erwartende Verzögerung des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs (1) angibt, und einem vorgegebenen Zuschlagsbremsverzögerungswert berechnet wird.

6. Verfahren nach Anspruch 5, **dadurch gekennzeichnet**, dass der Zuschlagsbremsverzögerungswert unter Berücksichtigung der Ortsunsicherheit bei der Ortung des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs (1) bestimmt wird, wobei der Zuschlagsbremsverzögerungswert umso größer gewählt wird, je größer die Ortsunsicherheit der Ortung ist.

7. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine Einhaltung des Zusatzabstands ausgesetzt wird und dem hinterherfahrenden Schienenfahrzeug (2) ein Einfahren in den Bereich des Zusatzabstands erlaubt wird, wenn die Geschwindigkeit (V2(t)) des hinterherfahrenden Schienenfahrzeugs (2) eine vorgegebene zulässige Einfahrgeschwindigkeit erreicht oder unterschreitet.

8. Verfahren nach Anspruch 7, **dadurch gekennzeichnet**, dass nach Einfahren in den Bereich des Zusatzabstands die Geschwindigkeit (V1 (t)) des hinterherfahrenden Schienenfahrzeugs (2) auf die zulässige Einfahrgeschwindigkeit begrenzt wird.

9. Steuereinrichtung (20) zum Betreiben eines oder mehrerer Schienenfahrzeuge (1, 2), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (20) derart ausgestaltet ist, dass sie ein oder mehrere Schienenfahrzeuge (1, 2), insbesondere ein hinter einem vorausfahrenden Schienenfahrzeug (1) hinterherfahrendes Schienenfahrzeug (2), gemäß einem Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche betreiben kann.

10. Steuereinrichtung (20) nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet**, dass die Steuereinrichtung (20) derart ausgestaltet ist, dass sie für ein Schienenfahrzeug (2) einen Mindestabstand zu einem vorausfahrenden Schienenfahrzeug (1) ermitteln kann, und zwar durch Summenbildung oder zumindest auch durch Summenbildung eines absoluten Bremswegabstands (Ab), der ein Auffahren auf das vorausfahrende Schienenfahrzeug

(1) vermeidet oder vermeiden soll, und einem Zusatzabstand (Az), der von einem die Geschwindigkeit (V1 (t)) des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs (1) angegebenden Geschwindigkeitswert abhängt.

11. Eisenbahnanlage mit zumindest zwei darauf fahrenden Schienenfahrzeugen (1, 2), **dadurch gekennzeichnet**, dass die Eisenbahnanlage eine Steuereinrichtung (20) nach einem der voranstehenden Ansprüche 9 bis 10 aufweist.

12. Schienenfahrzeug (2), **dadurch gekennzeichnet**, dass

- das Schienenfahrzeug (2) eine Steuereinrichtung (20) nach einem der voranstehenden Ansprüche 9 bis 10 aufweist und
- die Steuereinrichtung (20) derart ausgestaltet ist, dass sie einen Mindestabstand ihres Schienenfahrzeugs (2) zu einem vorausfahrenden Schienenfahrzeug (1) ermittelt, und zwar durch Summenbildung oder zumindest auch durch Summenbildung eines absoluten Bremswegabstands (Ab), der ein Auffahren auf das vorausfahrende Schienenfahrzeug (1) vermeidet oder vermeiden soll, und einem Zusatzabstand (Az), der von einem die Geschwindigkeit (V1 (t)) des vorausfahrenden Schienenfahrzeugs (1) angegebenden Geschwindigkeitswert abhängt.

Es folgen 5 Seiten Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

FIG 1

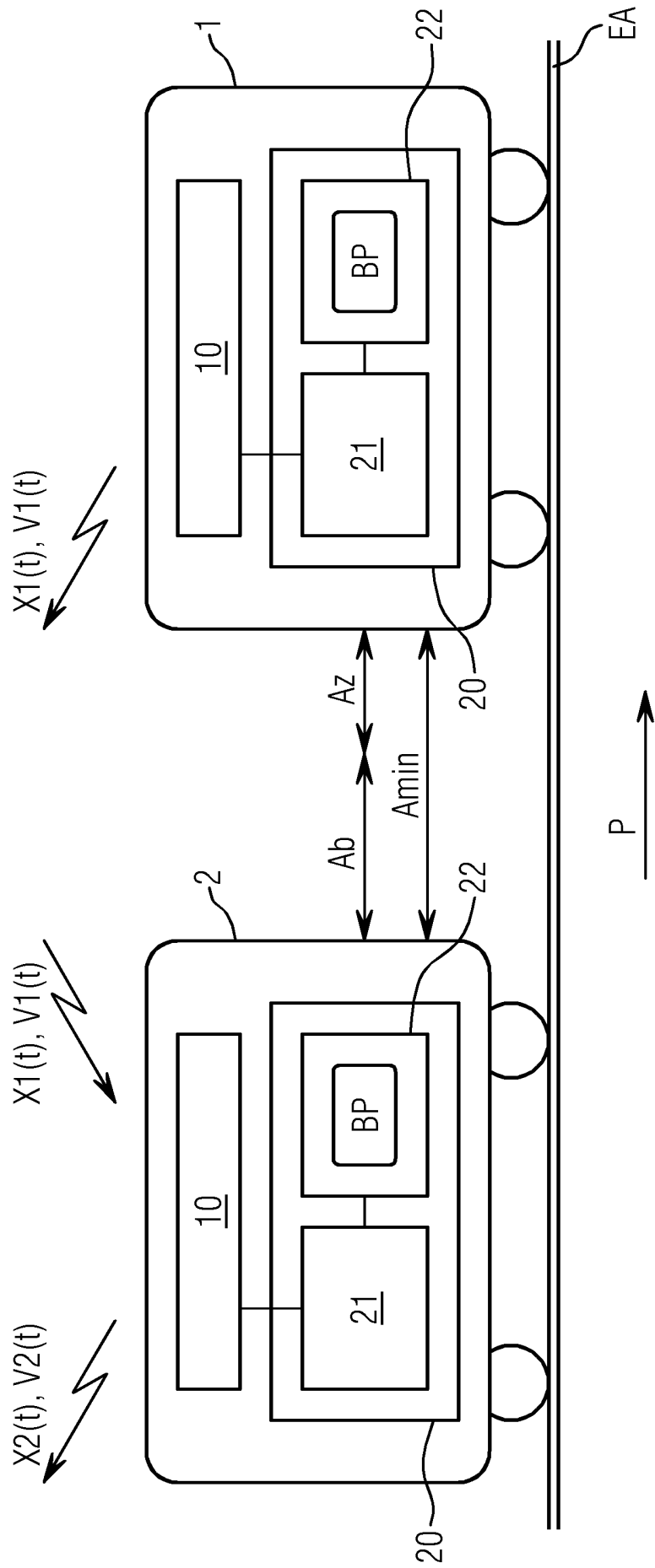


FIG 2

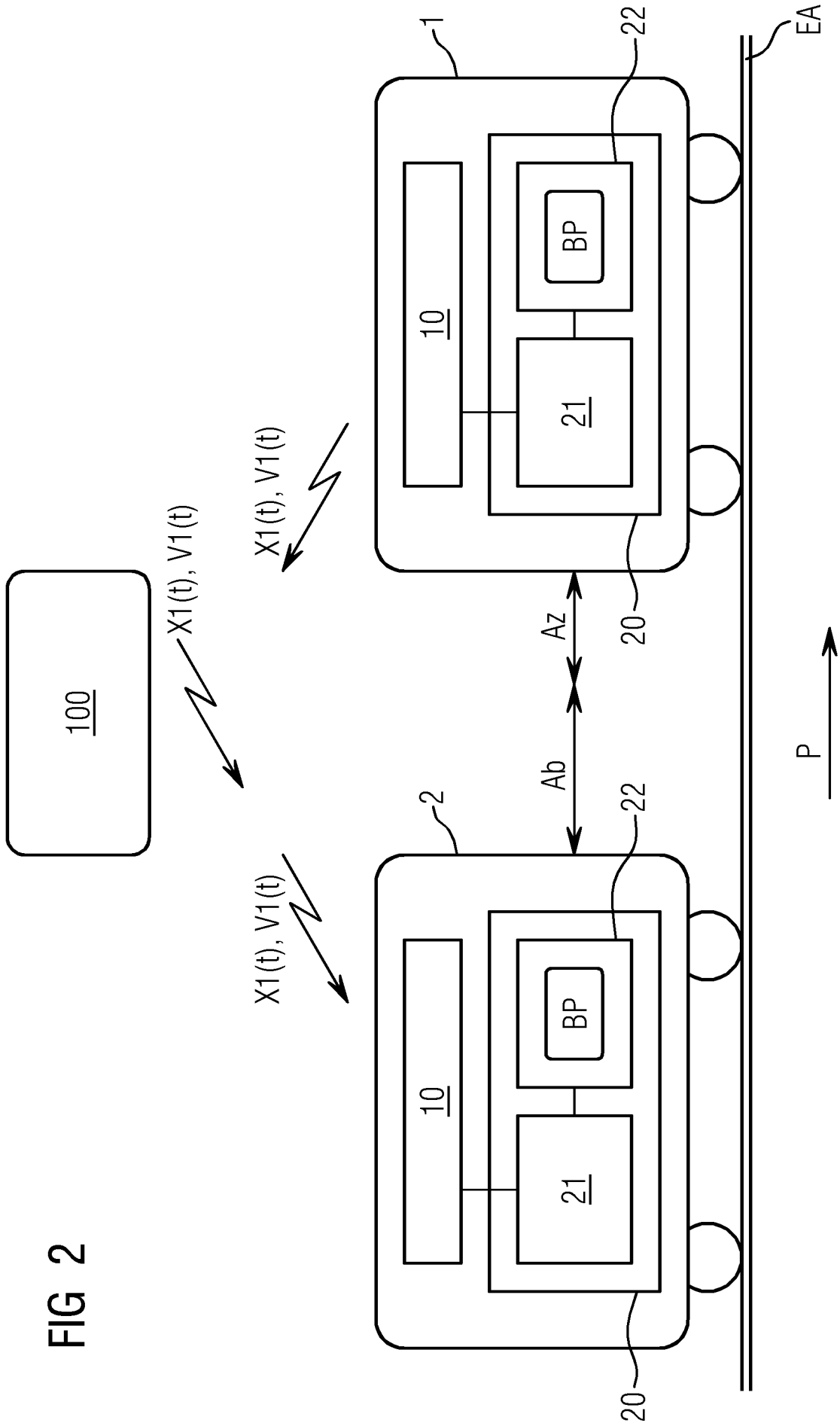
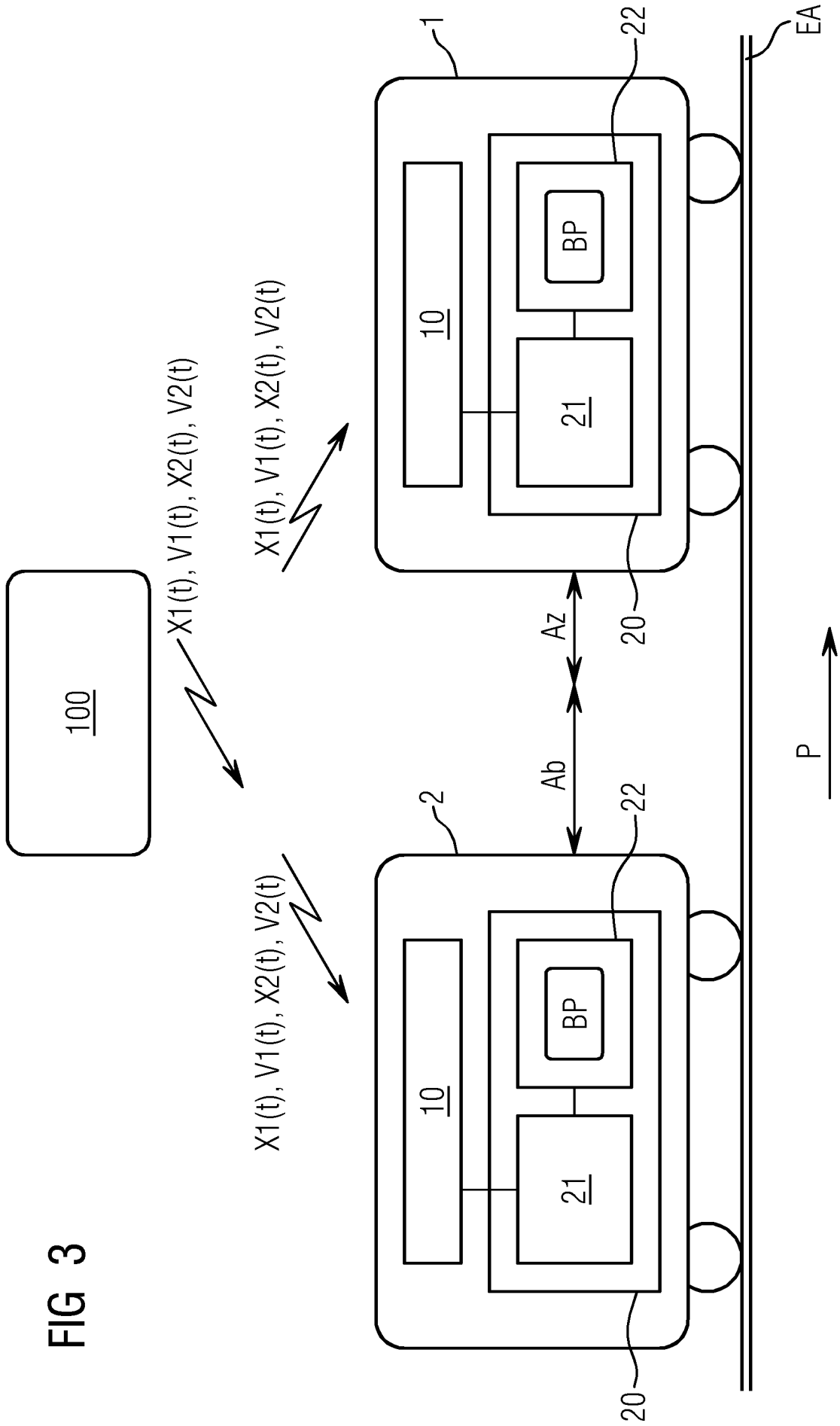


FIG 3



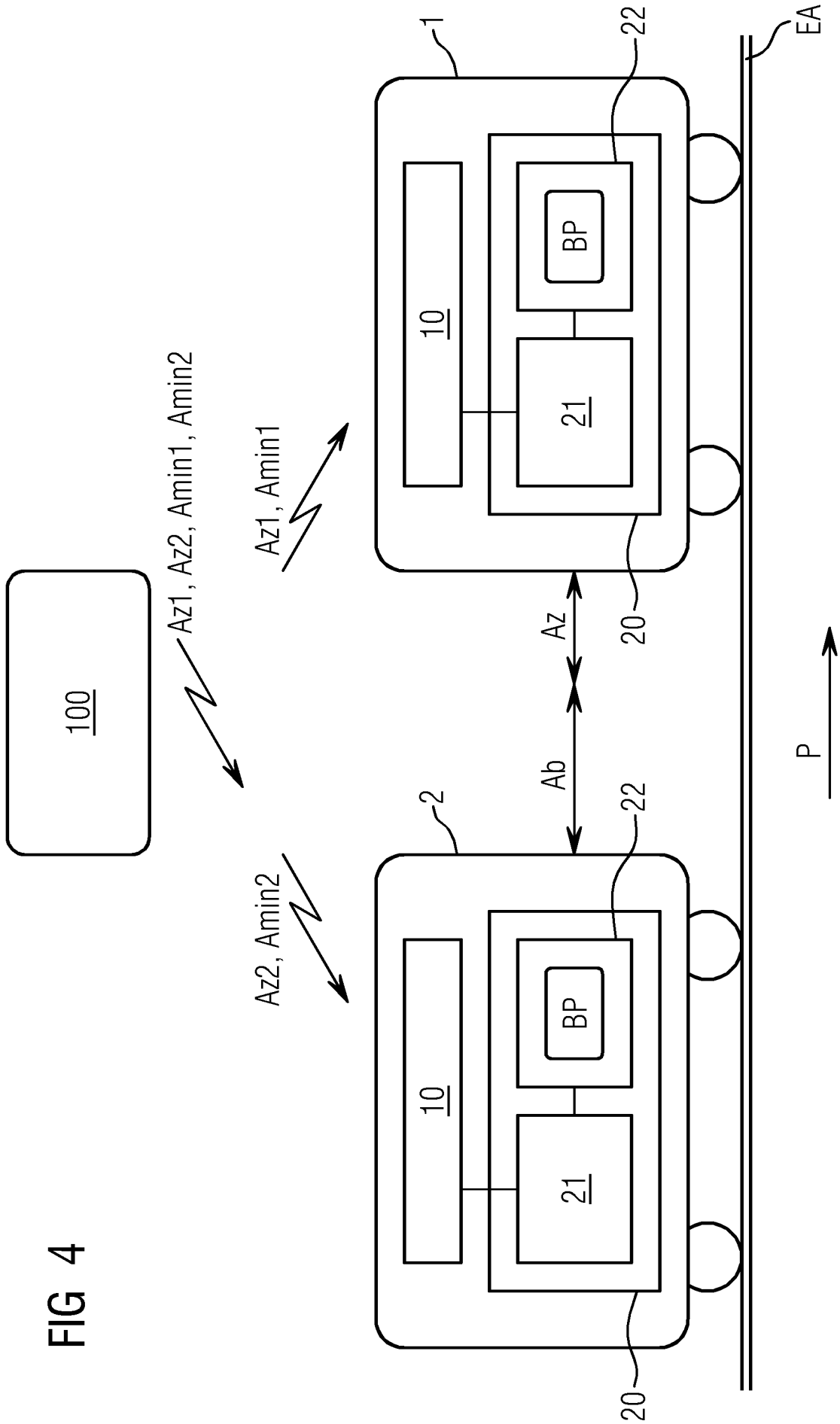


FIG 4

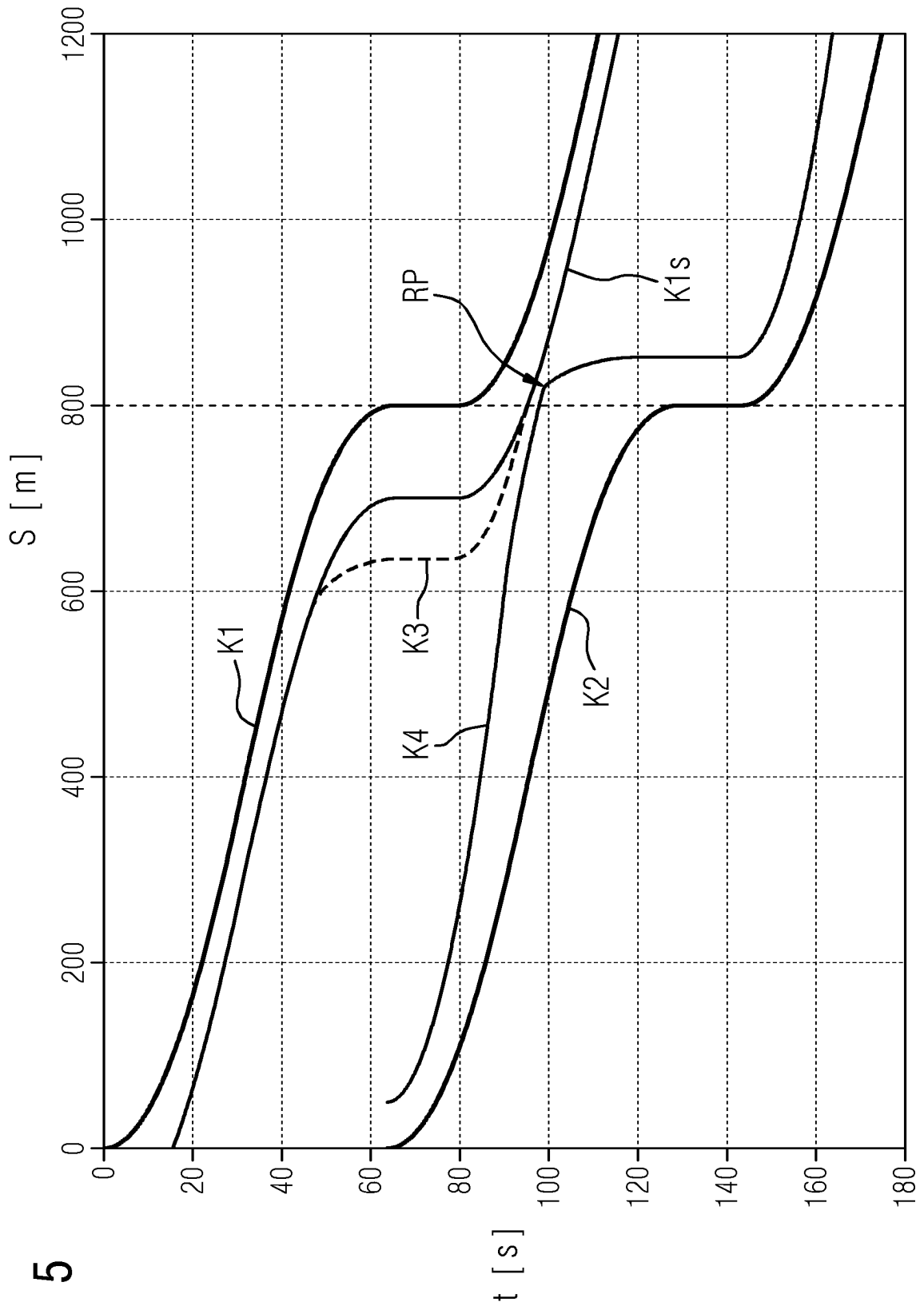


FIG 5