

Verfahren zum sicheren Betreiben eines Schienenverkehrssystems und Schienenverkehrssystem

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum sicheren Betreiben eines Schienenverkehrssystems. Ferner betrifft die Erfindung ein Schienenverkehrssystem.

Das europäische Zugbeeinflussungssystem (ETCS) soll die Standardisierung uneinheitlicher Zugbeeinflussungssysteme innerhalb Europas vorantreiben. Es bereitet ferner die Grundlage für eine besonders effiziente Nutzung bestehender Schienenverkehrssysteme. An derartige Schienenverkehrssysteme sind jedoch hohe technische Anforderungen gestellt. Diese betreffen insbesondere die sensorische Überwachung des Schienenverkehrssystems, beispielsweise mittels einer in der WO 2020/108873 A1 offenbarten Messanordnung. Um die notwendige technische Ausbaustufe zu erreichen, sind gerade bei bestehenden Schienenverkehrssystemen erhebliche Investitionen erforderlich, deren wirtschaftliche Wirkung aber erst nach einer Modernisierung eines hohen Anteils des Schienenverkehrssystems eintritt. Hieraus resultiert, dass entsprechende Modernisierungen oftmals zu zögerlich vorgenommen werden.

Aus der WO 2021/121854 A1 ist ein Verfahren zur Ermittlung einer Position eines Schienenfahrzeugs mit einem optischen Messsystem, insbesondere einem Stereokamerasystem, und einem funkbasierten Messsystem bekannt, wobei Positionsdaten beider Messsysteme auf dem Schienenfahrzeug generiert und miteinander abgeglichen werden.

Aus der WO 2021/121853 A1 ist ein Warnsystem zur Warnung von Personen vor herannahenden Schienenfahrzeugen bekannt.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein verbessertes Verfahren zum sicheren Betrieb eines Schienenverkehrssystems zu schaffen, welches insbesondere besonders wirtschaftlich und flexibel einsetzbar ist.

5

Diese Aufgabe wird durch ein Verfahren mit den Merkmalen des Anspruchs 1 gelöst. Erfindungsgemäß wurde erkannt, dass ein Verfahren zum sicheren Betreiben eines Schienenverkehrssystems besonders wirtschaftlich und flexibel einsetzbar ist, wenn die Plausibilität einer Schienenverkehrsinformation anhand eines Vergleichsergebnisses auf Basis einer ersten und einer zweiten Schienenverkehrsinformation überprüft wird, wobei das Steuern des Schienenverkehrssystems anhand des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung erfolgt. Durch das Bestimmen des Vergleichsergebnisses anhand der ersten und der zweiten Schienenverkehrsinformation können fehlerhafte Schienenverkehrsinformationen besonders zuverlässig erkannt und/oder kompensiert werden. Insbesondere können mögliche Defizite beim Erfassen und/oder Verarbeiten der Schienenverkehrsinformationen durch das Bestimmen des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung kompensiert werden. Der Nutzen erfasster Schienenverkehrsinformationen zum Steuern des Schienenverkehrssystems kann hierdurch gesteigert werden. Wird die Plausibilität der Schienenverkehrsinformation bestätigt, kann mit einer besonders hohen Wahrscheinlichkeit von der Richtigkeit dieser Information ausgegangen werden. Das Steuern des Schienenverkehrssystems anhand des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung führt deshalb zu einer besonders hohen Betriebssicherheit. Insbesondere wird hierdurch ermöglicht, die für eine besonders effiziente Nutzung des Schienennetzes, insbesondere die für eine höhere Verkehrsdichte, erforderliche Zuverlässigkeitsschwelle zu überwinden. Eine höhere Verkehrskapazität des Schienen-

10
15
20
25

verkehrssysteme kann bei niedrigeren Investitionen erreicht werden. Sowohl die Modernisierung bestehender Schienenverkehrssysteme als auch der Neuaufbau von Schienenverkehrssystemen können somit in besonders wirtschaftlicher und flexibler Weise erfolgen.

5

Das Schienenverkehrssystem umfasst vorzugsweise eine Infrastruktureinrichtung und mindestens ein Schienenfahrzeug, insbesondere mehrere Schienenfahrzeuge. Die Infrastruktureinrichtung kann ein Schienennetz mit mehreren, insbesondere miteinander verbundenen, Fahrwegen aufweisen, welches vorzugsweise in mehrere Schienenstreckenabschnitte untergliedert ist. Die Infrastruktureinrichtung, insbesondere jeder der Schienenstreckenabschnitte, kann eine einzige oder mehrere Leitstellen zum Steuern der Infrastruktureinrichtung aufweisen.

10

Das mindestens ein Schienenfahrzeug kann mindestens einen, insbesondere mindestens zwei, insbesondere mindestens fünf, insbesondere mindestens zehn, Fahrwagen aufweisen. Vorzugsweise umfasst das mindestens ein Schienenfahrzeug mindestens einen Antriebswagen mit einer Antriebseinrichtung zum Bereitstellen der für die Bewegung des Schienenfahrzeugs über den Fahrweg erforderlichen Antriebskraft.

20

Unter der Korrelation zwischen der Zustandsgröße und der Schienenverkehrsinformation wird verstanden, dass die Schienenverkehrsinformation von der Zustandsgröße abhängt, insbesondere, dass diese in einem festen, insbesondere einem linearen, Zusammenhang miteinander stehen.

25

Die Zustandsgröße des Schienenverkehrssystems kann beispielsweise eine Position und/oder eine Geschwindigkeit und/oder eine Antriebsleistung und/oder eine Bremsleistung sein und/oder eine Zustandsgröße, welche mit

dem Bestehen einer mechanischen Kopplung zwischen zwei Fahrwagen und/oder mit einem im Bereich des Fahrwegs befindlichen Objekts, insbesondere eines eine Gefahrenstelle verursachenden Hindernisses, korreliert.

- 5 Die zweite Schienenverkehrsinformation basiert vorzugsweise auf einer Quelle, die von der Quelle der ersten Schienenverkehrsinformation unabhängig ist. Insbesondere wird die zweite Schienenverkehrsinformation nicht mittels des ersten Schienenfahrzeugs bestimmt.
- 10 Das zweite Schienenfahrzeug kann entsprechend dem ersten Schienenfahrzeug ausgebildet sein oder eine höhere oder eine niedrigere technische Ausbaustufe aufweisen.

- Das Steuern des Schienenverkehrssystems anhand des Ergebnisses der
- 15 Plausibilitätsüberprüfung kann umfassen, dass das Schienenfahrzeug bei unzureichender Plausibilität der Schienenverkehrsinformation mit reduzierter Fahrleistung, insbesondere reduzierter Fahrgeschwindigkeit, weiterbetrieben wird und/oder gestoppt wird und/oder dass eine Instandhaltungsmaßnahme an dem Schienenfahrzeug durchgeführt wird. Vorteilhaft wird
- 20 hierdurch erreicht, dass das Schienenverkehrssystem in besonders sicherer Weise betrieben werden kann.

- Das Bestimmen des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung und/oder dessen Weiterverarbeitung kann anhand eines Konsens-Mechanismus er-
- 25 folgen. Somit kann das Ergebnis der Plausibilitätsüberprüfung besonders sicher und zuverlässig gewonnen und gehandhabt werden.

Die unterschiedlichen Schienenverkehrsinformationen können einheitlich oder unterschiedlich gewichtet werden, insbesondere anhand der Zuverlässigkeit der zugrundeliegenden Quellen, insbesondere der Sensoren. Beispielsweise können die von der Infrastruktureinrichtung stammenden

5 Schienenverkehrsinformationen eine höhere Gewichtung aufweisen, als die von dem Schienenfahrzeug stammenden Schienenverkehrsinformationen. Eine Schienenverkehrsinformation geringerer Gewichtung kann bei unzureichender Plausibilität, insbesondere bei einem Unterschied zwischen den beiden Schienenverkehrsinformationen, durch eine Schienenverkehrsinfor-

10 mation höherer Gewichtung korrigiert, insbesondere ersetzt, werden. Hierdurch ist das Verfahren besonders zuverlässig ausführbar.

Vorzugsweise werden die erste und/oder die zweite Schienenverkehrsinformation mittels mindestens eines Sensors, insbesondere eines Positionser-

15 fassungsmoduls, insbesondere eines GPS-Empfängers, zum Erfassen der Position des mindestens einen Schienenfahrzeugs, insbesondere in dem Schienennetz, und/oder eines optischen Sensors, insbesondere einer Kamera, zum Erfassen von Objekten am Gleis und/oder einer Vollständigkeits-Überwachungseinrichtung zum Überwachen des Bestehens einer me-

20 chanischen Kopplung zwischen zwei Fahrwagen bestimmt. Gleichmaßen kann die zweite Schienenverkehrsinformation mittels des zweiten Schienenfahrzeugs bestimmt werden. Alternativ oder zusätzlich kann die zweite Schienenverkehrsinformation mittels der Infrastruktureinrichtung, insbesondere einem Schienensensor, bestimmt werden.

25

Das Übermitteln der zweiten Schienenverkehrsinformation kann kabelgebunden oder kabellos erfolgen. Vorzugsweise erfolgt das Übermitteln der zweiten Schienenverkehrsinformation über eine kabellose Signalverbindung, insbesondere zwischen einem Fahrzeug-Funkmodul des ersten

Schienenfahrzeugs und einem Leitstellen-Funkmodul einer Leitstelle der Infrastruktureinrichtung und/oder einem Fahrzeug-Funkmodul des zweiten Schienenfahrzeugs. Die kabellose Signalverbindung kann eine WiFi-Signalverbindung und/oder eine 5G-Signalverbindung umfassen. Die Signalverbindung ist vorzugsweise als Peer-to-Peer-Verbindung ausgebildet.

Vorzugsweise erfolgt die Übertragung von Daten über die drahtlose Signalverbindung verschlüsselt. Hierdurch ist das Verfahren besonders sicher im Betrieb.

10

Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung umfasst mindestens eine der Schienenverkehrsinformationen, insbesondere umfassen die erste und die zweite Schienenverkehrsinformation, insbesondere die dem Vergleichsergebnis zugrundeliegenden Schienenverkehrsinformationen, Informationen darüber, ob sich Objekte, insbesondere Personen, im Bereich des Fahrwegs befinden. Zur Warnung von Personen vor herannahenden Schienenfahrzeugen kann ein stellwerkgebundenes Rottenwarnsystem vorgesehen sein. Ein derartiges Warnsystem ist beispielsweise offenbart in der WO 2021/121853 A1, deren Offenbarungsgehalt durch Bezugnahme hierin aufgenommen wird. Diese Schienenverkehrsinformation kann beispielsweise mittels des optischen Sensors erfasst werden. Der optische Sensor kann ein Bestandteil der Infrastruktureinrichtung und/oder des mindestens einen Schienenfahrzeugs sein.

25 Die erste und/oder die zweite Schienenverkehrsinformation können die Position des mindestens einen Schienenfahrzeugs, insbesondere entlang eines Fahrwegs, umfassen. Vorzugsweise wird die Position des Schienenfahrzeugs mittels eines Laterationsverfahrens, insbesondere durch Funk-Trilateration, insbesondere durch WiFi-Trilateration, bestimmt. Hierzu kann das

Schienenfahrzeug ein Ortungsmodul, insbesondere ein Funk-Ortungsmodul, insbesondere zum Bestimmen der Position mittels Funk-Trilateration, aufweisen. Das Ortungsmodul kann auch als Ankermodul bezeichnet werden. Das Ortungsmodul kann zum Erfassen von Signalen ortsfester und/oder beweglicher Ortungsmarker, insbesondere Transponder, ausgebildet sein. Ortsfeste Ortungsmarker können an Infrastrukturelementen angebracht sein. Mittels ortsfester Ortungsmarker, die insbesondere an Fixpunkten mit bekannter Position angeordnet sind, kann die Position des Schienenfahrzeugs, insbesondere entlang des Fahrwegs, bestimmt werden. Bewegliche Ortungsmarker können beispielsweise von Personen, insbesondere Gleisbauarbeitern, getragen werden. Hierdurch kann die Position der Person relativ zu dem Schienenfahrzeug und/oder im Gleis und/oder entlang des Fahrwegs bestimmt werden. Hinsichtlich des Verfahrens zum Ermitteln der Position des Schienenfahrzeugs und/oder der Person wird auf die WO2021/121854 A1, verwiesen, deren Offenbarungsgehalt durch Bezugnahme herein aufgenommen wird.

Ein Verfahren nach Anspruch 2 gewährleistet das Betreiben des Schienenverkehrssystems in besonders wirtschaftlicher und flexibler Weise. Die zweite Schienenverkehrsinformation wird vorzugsweise mittels des zweiten Schienenfahrzeugs und/oder der Infrastruktureinrichtung, insbesondere sensorisch, erfasst. Das Vergleichsergebnis und/oder das Ergebnis der Plausibilitätsüberprüfung können mittels des ersten Schienenfahrzeugs, insbesondere einer Fahrzeug-Steuereinheit, bestimmt werden. Dadurch, dass die erste und die zweite Schienenverkehrsinformation an dem ersten Schienenfahrzeug vorliegen, kann das Vergleichsergebnis und/oder das Ergebnis der Plausibilitätsüberprüfung mittels des ersten Schienenfahrzeugs bestimmt werden. Die an dem ersten Schienenfahrzeug, insbesondere an einer

Fahrzeug-Steuereinheit des Schienenfahrzeugs, vorliegende Schienenverkehrsinformation kann hierdurch mit einer besonders hohen Zuverlässigkeit bestimmt werden. Eine Schwelle für eine technische Ausbaustufe eines Schienenfahrzeugs, die für das Betreiben des Schienenverkehrssystems mit
5 einer besonders hohen Verkehrskapazität erforderlich ist, kann hierdurch besonders einfach erreicht werden. Die Zuverlässigkeit der mit bestehender Sensorik eines Schienenfahrzeugs erfassbaren Messwerte kann anhand des Vergleichsergebnisses erhöht werden. Beispielsweise kann das zum Erreichen einer entsprechend hohen Verkehrskapazität erforderliche Sicherheitsintegritätslevel (SIL) durch das Bestimmen des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung erreicht werden. Entsprechend kann der für die Umsetzung entsprechender Sensorik erforderliche Aufwand reduziert werden, wodurch das Verfahren besonders flexibel einsetzbar und wirtschaftlich im Betrieb ist.

15 Ein Verfahren nach Anspruch 3 ermöglicht das Betreiben des Schienenverkehrssystems in besonders sicherer und wirtschaftlicher Weise. Die zweite Schienenverkehrsinformation wird vorzugsweise mittels des ersten Schienenfahrzeugs erfasst. Das Vergleichsergebnis und/oder das Ergebnis der
20 Plausibilitätsüberprüfung können mittels der Infrastruktureinrichtung, insbesondere einer Leitstellen-Steuereinheit, bestimmt werden. Die von dem ersten Schienenfahrzeug empfangene Schienenverkehrsinformation kann hierdurch mit einer besonders hohen Wahrscheinlichkeit als zutreffend angesehen werden. Die von dem Schienenfahrzeug empfangene Schienenverkehrsinformation kann zum Bestimmen der Plausibilität der mittels der Infrastruktureinrichtung erfassten Schienenverkehrsinformation verwendet
25 werden. Hierdurch kann eine Infrastruktureinrichtung einer gegebenen technischen Ausbaustufe besonders sicher und wirtschaftlich betrieben

werden. Insbesondere kann das Steuern des Schienenverkehrssystems anhand des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung das Überwinden eines Schwellenwerts zum Betreiben des Schienenverkehrssystems mit einer höheren Verkehrskapazität ermöglichen.

5

Ein Verfahren nach Anspruch 4 gewährleistet das Betreiben des Schienenverkehrssystems in besonders sicherer und wirtschaftlicher Weise. Zum sensorischen Erfassen des mindestens einen Messwerts kann das mindestens eine Schienenfahrzeug den optischen Sensor und/oder das Positionserfassungsmodule und/oder die Vollständigkeits-Überwachungseinrichtung aufweisen. Zum sensorischen Erfassen des mindestens einen Messwerts kann die Infrastruktureinrichtung einen Schienensensor zum Erfassen eines vorbeifahrenden Schienenfahrzeugs, insbesondere zum Bestimmen der Anzahl der Fahrwagen des Schienenfahrzeugs und/oder der Position und/oder der Geschwindigkeit des Schienenfahrzeugs, aufweisen. Der mindestens einen Schienensensor kann einen punktförmigen Schienensensor, wie beispielsweise einen Achszähler, und/oder einen linienförmigen Schienensensor, wie beispielsweise einen Lichtwellenleiter-Sensor, insbesondere einen Glasfasersensor, umfassen. Ein derartiger Schienensensor kann Bestandteil einer Balise sein oder in Form eines an eine Schiene oder eine Oberleitung gekoppelten Sensors ausgebildet sein. Ein derartiger Lichtwellenleiter-Sensor ist beispielsweise offenbart in der WO 2020/108873 A1, deren Offenbarungsgehalt durch Bezugnahme herein aufgenommen wird. Durch das Bestimmen des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung kann für die entsprechenden Sensoren in einfacher Weise ein höheres Sicherheitsintegritätslevel erzielt werden.

25

- Ein Verfahren nach Anspruch 5 ermöglicht das Betreiben des Schienenverkehrssystems in besonders sicherer Weise. Vorzugsweise erfolgt das Bestimmen des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung wiederholt, insbesondere in einem zeitlichen Abstand im Bereich von 0,01 s bis 300 s, insbesondere von 0,1 s bis 60 s, insbesondere von 0,5 s bis 30 s, insbesondere von 1 s bis 10 s. Das Übermitteln der zweiten Schienenverkehrsinformation kann hierzu mit einem zeitlichen Abstand in demselben Bereich, insbesondere mit demselben zeitlichen Abstand, erfolgen.
- 10 Gemäß einem weiteren Aspekt der Erfindung wird überwacht, ob das Übermitteln der zweiten Schienenverkehrsinformation innerhalb eines vorbestimmten zeitlichen Bereichs, insbesondere innerhalb des vorstehend beschriebenen Bereichs, erfolgt. Sofern das Übermitteln verzögert erfolgt oder ausbleibt, können Sicherheitsmaßnahmen ergriffen werden. Die Sicherheitsmaßnahmen können beispielsweise die Reduktion der Fahrgeschwindigkeit und/oder das Stoppen des Schienenfahrzeugs und/oder ein Verbot des Einfahrens in einen anderen Schienenstreckenabschnitt umfassen. Hierdurch ist das Verfahren besonders sicher im Betrieb.
- 15
- 20 Ein Verfahren nach Anspruch 6 gewährleistet das Betreiben des Schienenverkehrssystems in besonders sicherer Weise. Bei voneinander abweichenden Schienenverkehrsinformationen kann diejenige Schienenverkehrsinformation, deren Ursprung ein geringeres Sicherheitsintegritätslevel aufweist, insbesondere die auf einem Messwert von einem Sensor mit niedrigerem
- 25 Sicherheitsintegritätslevel basiert, korrigiert werden, insbesondere anhand der Schienenverkehrsinformation, deren Ursprung ein höheres Sicherheitsintegritätslevel aufweist, insbesondere auf einem Messwert von einem Sensor mit einem höheren Sicherheitsintegritätslevel basiert. Alternativ können

beide Schienenverkehrsinformationen geändert und/oder verworfen werden, insbesondere durch andere, insbesondere zeitlich vorausgehend bestimmte, Schienenverkehrsinformationen ersetzt werden. Vorzugsweise werden zwischen dem ersten Schienenfahrzeug und der Infrastruktureinrichtung und/oder dem zweiten Schienenfahrzeug Korrekturdaten zum Ändern abweichender Schienenverkehrsinformationen übermittelt, insbesondere kabellos übermittelt.

Beispielsweise wird die Fahrgeschwindigkeit des ersten Schienenfahrzeugs bestimmt anhand eines Messwerts, der mit der Drehzahl eines Schienenrads korreliert und anhand des Durchmessers des Schienenrads. Da der Durchmesser des Schienenrads mit zunehmendem Verschleiß geringer wird, weicht die gemessene Fahrgeschwindigkeit von der tatsächlichen Fahrgeschwindigkeit ab. Mittels Schienensensoren, welche an voneinander beabstandeten Positionen entlang des Fahrwegs angeordnet sind, kann die Fahrgeschwindigkeit exakt bestimmt werden. Die von dem Schienenfahrzeug erfasste Fahrgeschwindigkeit kann an die Infrastruktureinrichtung übermittelt werden. Mittels der Infrastruktureinrichtung kann das Vergleichsergebnis als Differenz zwischen dieser Fahrgeschwindigkeit und der tatsächlichen Fahrgeschwindigkeit bestimmt werden. Die Infrastruktureinrichtung kann an das Schienenfahrzeug Korrekturdaten, insbesondere einen korrigierten Durchmesser des Schienenrads, übermitteln, welche ein Bestimmen der tatsächlichen Fahrgeschwindigkeit mittels des Schienenfahrzeugs ermöglichen.

25

Ein Verfahren nach Anspruch 7 gewährleistet das Betreiben des Schienenverkehrssystems in besonders sicherer Weise. Das Kalibrieren kann anhand lokal ermittelter und/oder übermittelter Vergleichsergebnisse und/oder

Korrekturdaten erfolgen. Das Kalibrieren kann in regelmäßigen zeitlichen Abständen automatisiert erfolgen oder manuell durchgeführt werden.

Ein Verfahren nach Anspruch 8 gewährleistet das Betreiben des Schienen-
verkehrssystems in besonders flexibler Weise. Unter der Steuerkapazitäts-
5 klasse des Schienenfahrzeugs wird ein Maß für dessen technische Ausstattung verstanden. Die Steuerkapazitätsklasse kann beispielsweise mit einer ETCS-Klassifizierung korrelieren, insbesondere einem bestimmten ETCS-Level entsprechen. Die technische Ausstattung eines Schienenfahrzeugs
10 und entsprechend die Steuerkapazitätsklasse kann für ein Zugbeeinflussungssystem ausschlaggebend dafür sein, welche Verfahren der Steuerung des Schienenfahrzeugs zugrunde gelegt werden, insbesondere welche Verkehrskapazität erzielbar ist, insbesondere bis zu welchem Grad sich das Schienenfahrzeug autonom durch das Schienennetz bewegen kann. Die
15 Steuerkapazitätsklasse gemäß dem Sicherheitsintegritätslevel fungieren. Dadurch, dass Schienenfahrzeuge unterschiedlicher Steuerkapazitätsklassen in unterschiedlicher Weise gesteuert werden, kann die Verkehrskapazität erhöht werden. Schienenfahrzeuge mit einer hohen Steuerkapazitätsklasse, insbesondere einer hohen technischen Ausbaustufe, können ein
20 Schienennetz, insbesondere einen Schienenstreckenabschnitt, in einer höheren Dichte befahren, als Schienenfahrzeuge mit einer geringeren Steuerkapazitätsklasse. Beispielsweise können Schienenfahrzeuge hoher Steuerkapazitätsklasse anhand eines wandernden Raumabstands gesteuert werden. Schienenfahrzeuge mit niedriger Steuerkapazitätsklasse können im
25 festen Raumabstand gesteuert werden. Eine höhere Steuerkapazitätsklasse wird vorzugsweise erreicht durch eine höhere sensorische und/oder prozessorische Leistungsfähigkeit. Unter der prozessorischen Leistungsfähigkeit wird die Fähigkeit zur Datenverarbeitung verstanden, insbesondere die

Verarbeitungsgeschwindigkeit und/oder die Leistungsfähigkeit der Funktionen, die der Datenverarbeitung zugrunde liegen.

Ein Verfahren nach Anspruch 9 gewährleistet das Betreiben des Schienenverkehrssystems in besonders wirtschaftlicher und flexibler Weise. Das
5 Steuern des Schienenverkehrssystems anhand des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung ermöglicht das Steuern des Schienenverkehrssystems auf Grundlage einer besonders zuverlässigen Informationsgrundlage. Wird die Validität der Schienenverkehrsinformationen durch das Ergebnis der Plausibilitätsüberprüfung bestätigt, kann das mindestens eine Schienenfahrzeug
10 in eine höhere Steuerkapazitätsklasse eingestuft werden. Bei einem Ergebnis der Plausibilitätsüberprüfung, welches gegen die Validität der Schienenverkehrsinformationen spricht, kann die Steuerkapazitätsklasse des mindestens einen Schienenfahrzeugs herabgestuft werden, insbesondere
15 wenn das Ergebnis der Plausibilitätsüberprüfung mehrfach, insbesondere mehrfach in Folge, gegen die Validität der Schienenverkehrsinformationen spricht.

Ein Verfahren nach Anspruch 10 gewährleistet das Betreiben des Schienenverkehrssystems in besonders sicherer und wirtschaftlicher Weise.
20 Dadurch, dass die Schienenverkehrsinformationen kontinuierlich empfangen und verarbeitet werden, kann das Vergleichsergebnis und/oder das Ergebnis der Plausibilitätsüberprüfung kontinuierlich bestimmt werden. Hierdurch kann eine besonders hohe Zuverlässigkeit der Schienenverkehrsinformationen sichergestellt werden, wodurch das Schienenfahrzeug in eine
25 höhere Steuerkapazitätsklasse eingestuft werden kann. Alternativ oder zusätzlich kann die Infrastruktureinrichtung aufgrund des kontinuierlichen Empfangs der Schienenverkehrsinformation von dem Schienenfahrzeug in eine höhere Steuerkapazitätsklasse eingestuft werden.

Ein Verfahren nach Anspruch 11 gewährleistet das Betreiben des Schienenverkehrssystems in besonders sicherer Weise. Ist das Ergebnis der Plausibilitätsüberprüfung positiv, kann die Steuerkapazitätsklasse angehoben
5 werden oder unverändert hoch beibehalten werden. Ist das Ergebnis der Plausibilitätsüberprüfung negativ, kann die Steuerkapazitätsklasse herabgestuft oder unverändert niedrig beibehalten werden. Bei einem mangelhaften Ergebnis der Plausibilitätsüberprüfung kann das Schienenfahrzeug mit reduzierter Maximalgeschwindigkeit weiterbetrieben werden oder gestoppt
10 werden und/oder Instandhaltungsmaßnahmen können an dem Schienenfahrzeug durchgeführt werden.

Ein Verfahren nach Anspruch 12 gewährleistet das Betreiben des Schienenverkehrssystems in besonders wirtschaftlicher Weise. Vorzugsweise
15 werden Schienenfahrzeuge hoher Steuerkapazitätsklasse in Bereiche des Schienennetzes, insbesondere in Schienenstreckenabschnitte, verlagert, welche stark ausgelastet sind. Schienenfahrzeuge geringer Steuerkapazitätsklasse können aus diesen Bereichen herausbewegt werden. Hierdurch wird vorteilhaft erreicht, dass stark ausgelastete Bereiche des Schienennet-
20 zes besonders dicht befahren werden können. Die Verkehrskapazität des Schienenverkehrssystems kann in diesen Bereichen somit erhöht werden. In Bereichen des Schienennetzes, in denen ausschließlich Schienenfahrzeuge hoher Steuerkapazitätsklasse angeordnet sind, können diese beispielsweise im wandernden Raumabstand und/oder sich autonom steuernd,
25 insbesondere ohne Steuerbefehle der Infrastruktureinrichtung, betrieben werden.

Ein Verfahren nach Anspruch 13 gewährleistet das Betreiben des Schienenverkehrssystems in besonders sicherer Weise. Beispielsweise können

- Fahrparameterbereiche wie die maximale Fahrtriebsleistung und/oder die maximale Fahrgeschwindigkeit und/oder die maximale Bremsleistung anhand des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung gesteuert, insbesondere beschränkt, werden. Schienenstreckenabschnitte können anhand des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung freigegeben oder gesperrt werden. Beispielsweise können stark ausgelastete Schienenstreckenabschnitte für ein Schienenfahrzeug gesperrt werden, welches ein negatives Ergebnis der Plausibilitätsüberprüfung liefert, insbesondere keine validen Schienenverkehrsinformationen generiert.
- Ein Verfahren nach Anspruch 14 ist besonders wirtschaftlich ausführbar. Das Fahren im wandernden Raumabstand gewährleistet eine besonders hohe Verkehrskapazität. Vorzugsweise erfolgt das Steuern des Schienenverkehrssystems in Abhängigkeit von dem Ergebnis der Plausibilitätsüberprüfung und/oder der Steuerkapazitätsklasse entweder im wandernden Raumabstand oder im festen Raumabstand. In dem Schienenverkehrssystem, insbesondere in unterschiedlichen Schienenstreckenabschnitten, kann das Steuern des Schienenverkehrssystems einheitlich oder uneinheitlich, insbesondere im wandernden und/oder im festen Raumabstand, erfolgen.
- Ein Verfahren nach Anspruch 15 gewährleistet das Betreiben des Schienenverkehrssystems in besonders sicherer und wirtschaftlicher Weise. Vorzugsweise kann das mindestens eine Schienenfahrzeug die Infrastruktureinrichtung, insbesondere das Schienennetz, vollständig autonom, insbesondere ohne einen Steuerbefehl der Infrastruktureinrichtung, befahren. Hierzu kann das Schienenfahrzeug die Infrastruktureinrichtung, insbesondere Schienensignale und/oder Weichen, insbesondere Schienenstellmittel, und/oder Schienenversorgungsmittel, insbesondere die über eine Oberleitung bereitgestellte elektrische Leistung, steuern. Das Schienenfahrzeug

kann hierzu von der Infrastruktureinrichtung erfasste Sensordaten empfangen oder ausschließlich mittels von dem Schienenfahrzeug selbst erfasster Sensordaten gesteuert werden.

- 5 Eine weitere Aufgabe der Erfindung besteht darin, ein verbessertes Schienenverkehrssystem zu schaffen, welches insbesondere besonders sicher, wirtschaftlich und flexibel im Betrieb ist.

10 Diese Aufgabe wird durch ein Schienenverkehrssystem mit den Merkmalen des Anspruchs 16 gelöst. Die Vorteile des erfindungsgemäßen Schienenverkehrssystems entsprechen den Vorteilen des vorstehend beschriebenen Verfahrens. Das Schienenverkehrssystem ist vorzugsweise durch mindestens eines der Merkmale weitergebildet, die vorstehend im Zusammenhang mit dem Verfahren beschrieben sind. Die Infrastruktureinrichtung
15 und/oder das mindestens eine Schienenfahrzeug können mindestens eine Steuereinheit, insbesondere eine Fahrzeug-Steuereinheit und/oder eine Leitstellen-Steuereinheit, zum Ausführen des vorstehend beschriebenen Verfahrens aufweisen.

20 Die Erfindung betrifft auch ein Computerprogrammprodukt zum Ausführen des vorstehend beschriebenen Verfahrens. Die Vorteile des Computerprogrammprodukts entsprechen den Vorteilen des vorstehend beschriebenen Verfahrens. Das Computerprogrammprodukt ist vorzugsweise mit mindestens einem der Merkmale weitergebildet, die vorstehend im Zusammenhang mit dem Verfahren beschrieben sind. Das Computerprogramm-
25 produkt kann auf einer Speichereinheit der mindestens einen Steuereinheit und/oder auf einer tragbaren Speichereinheit gespeichert sein.

Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Figuren. Es zeigen:

- 5 Fig. 1 eine schematische Darstellung eines Schienenverkehrssystems, aufweisend eine Infrastruktureinrichtung mit einem ersten Schienenstreckenabschnitt, ein in den ersten Schienenstreckenabschnitt einfahrendes, erstes Schienenfahrzeug und ein
10 aus dem ersten Schienenstreckenabschnitt ausfahrendes, zweites Schienenfahrzeug,
- Fig. 2 eine Seitenansicht des ersten Schienenfahrzeugs in Fig. 1,
- Fig. 3 eine schematische Darstellung des Schienenverkehrssystems
15 in Fig. 1, wobei Mittel zum Erfassen und Übertragen von Schienenverkehrsdaten weiter im Detail dargestellt sind, und
- Fig. 4 ein Blockdiagramm der in dem Schienenverkehrssystem in
20 Fig. 1 zwischen dem jeweiligen Schienenfahrzeug und der Infrastruktureinrichtung ausgetauschten Schienenverkehrsdaten.

Anhand der Fig. 1 bis Fig. 4 ist ein Ausführungsbeispiel eines Schienenverkehrssystems 1 beschrieben. Das Schienenverkehrssystem 1 umfasst eine
25 Infrastruktureinrichtung 2 und mehrere Schienenfahrzeuge 3, 4, insbesondere ein erstes Schienenfahrzeug 3 und ein zweites Schienenfahrzeug 4.

- Die Infrastruktureinrichtung 2 weist ein Schienennetz 5 auf. Das Schienennetz 5 ist unterteilt in mehrere Schienenstreckenabschnitte 6, 7, 8. Die Schienenstreckenabschnitte 6, 7, 8 überlappen einander. In einem derartigen Überlappungsbereich 9, 10 liegen Fahrwege 11, die zu mehreren
- 5 Schienenstreckenabschnitten 6, 7, 8 zugehörig sind. Alternativ können zumindest einzelne, insbesondere sämtliche, der Schienenstreckenabschnitte 6, 7, 8 überlappungsfrei, insbesondere unmittelbar aneinander angrenzend, ausgebildet sein.
- 10 Die Infrastruktureinrichtung 2 weist entlang der Fahrwege 11 Schienensensoren 12a, 12b, Schienenstellmittel 13, Schienensignale 14a und Schienenversorgungsmittel 15 auf. Die Schienensensoren 12a, 12b können zum Erfassen eines mit einem vorbeifahrenden Schienenfahrzeug 3, 4 korrelierenden Messwerts ausgebildet sein. Unter dem Erfassen eines Messwerts
- 15 wird auch das Messen des Messwerts verstanden. Die Schienensensoren 12a, 12b können als punktförmige Schienensensoren 12a oder als linienförmige Schienensensoren 12b ausgebildet sein. Unter den punktförmigen Schienensensoren 12a werden beispielsweise Achszähler verstanden. Unter den linienförmigen Schienensensoren 12b werden insbesondere auf Licht-
- 20 leitung in einer Faser, insbesondere in einer Glasfaser, basierende Schienensensoren 12b verstanden. Das Schienenstellmittel 13 kann als Weichenantrieb ausgebildet sein. Das Schienensignal 14a kann ein schaltbares Lichtsignal oder ein bewegliches, insbesondere schaltbares, Formsignal sein. Eine optische Markierung 14b, die auch als Fixpunktmarker bezeichnet
- 25 wird, ist in der Nähe des Fahrwegs 11 angebracht. In der Nähe des Fahrwegs 11 befindet sich ferner eine Person 14c, insbesondere ein Gleisbauarbeiter. Vorzugsweise ist die optische Markierung 14b in Form eines

QR-Codes ausgebildet. Das Schienenversorgungsmittel 15 kann eine Oberleitung zum Versorgen der Schienenfahrzeuge 3, 4 mit elektrischer Leistung sein.

- 5 Ferner umfasst die Infrastruktureinrichtung 2 für jeden Schienenstreckenabschnitt 6, 7, 8 jeweils eine Leitstelle 16, 17, 18. Die jeweilige Leitstelle 16, 17, 18 steuert den Schienenverkehr innerhalb des zugehörigen Schienenstreckenabschnitts 6, 7, 8. Hierzu steht die jeweilige Leitstelle 16, 17, 18 in signalübertragender Verbindung mit den Schienensensoren 12a, 12b,
- 10 den Stellmitteln 13, den Schienensignalen 14a und dem Schienenversorgungsmittel 15, die dem jeweiligen Schienenstreckenabschnitt 6, 7, 8 zugehören. Insbesondere sind diese mittels der jeweiligen Leitstelle 16, 17, 18 steuerbar und/oder auslesbar.
- 15 In der Fig. 2 ist der Schienenstreckenabschnitt 8 des Schienenverkehrssystems 1 weiter im Detail dargestellt. Das erste Schienenfahrzeug 3 ist auf dem Fahrweg 11 angeordnet. Über die Oberleitung 15 wird das erste Schienenfahrzeug 3 mit elektrischer Leistung versorgt. Das erste Schienenfahrzeug 3 weist ein Fahrzeug-Funkmodul 19, in Form eines 5G-Funktmoduls,
- 20 ein Ortungsmodul 19a, insbesondere ein Funk-Ortungsmodul zur Funk-Triangulation, ein Positionserfassungsmodul 20 und einen ersten optischen Sensor 21a, in Form einer Kamera, auf. Ferner umfasst das erste Schienenfahrzeug 3 eine Fahrzeug-Steuereinheit 22 zum Verarbeiten digitaler Daten. Die Fahrzeug-Steuereinheit 22 steht mit dem Fahrzeug-Funkmodul 19,
- 25 dem Ortungsmodul 19a, dem Positionserfassungsmodul 20 und dem ersten optischen Sensor 21a in, insbesondere kabelgebundener, signalübertragender Verbindung. Das Positionserfassungsmodul 20 ist vorzugsweise als GPS-Modul ausgebildet und dient dem Erfassen der Position des zweiten Schienenfahrzeugs 4. Der erste optische Sensor 21a ist dazu ausgebildet,

insbesondere zusammen mit der Fahrzeug-Steuereinheit 22, Schienensignale 14a und/oder Objekte im Bereich des Gleises, insbesondere Personen 14c im Gleis, und/oder Fixpunktmarker 14b automatisiert zu erkennen. Der zweite optische Sensor 21b kann gemäß dem ersten optischen Sensor zum Erfassen von Objekten im Gleis und/oder von optische Markierungen 14b ausgebildet sein.

Die Leitstelle 18 umfasst ein Leitstellen-Funkmodul 23, das als 5G-Funkmodul ausgebildet ist. Ferner umfasst die Leitstelle 18 eine Leitstellen-Steuereinheit 24 zum Verarbeiten digitaler Daten. Die Leitstelle 18, insbesondere die Leitstellen-Steuereinheit 24, steht in signalübertragender, insbesondere kabelgebundener, Verbindung mit den Schienensensoren 12a, 12b, den Schienenstellmitteln 13, den Schienensignalen 14a und dem Schienenversorgungsmittel 15. Hinsichtlich der Funktionsweise des auf Lichtleitung in einer Glasfaser basierenden Schienensensors 12b wird auf die WO 2020/108873 A1 verwiesen. Die Leitstellen-Steuereinheit 24 steht ferner in signalübertragender Verbindung mit dem Leitstellen-Funkmodul 23.

Das erste Schienenfahrzeug 3 ist mit der dritten Leitstelle 18 über das Fahrzeug-Funkmodul 19 und das Leitstellen-Funkmodul 23 signalübertragend, insbesondere kabellos, verbunden. Kabellose Signalverbindungen 25 sind in den Figuren als Strich-Punkt-Linien dargestellt. Kabelgebundene Signalverbindungen 26 sind in den Figuren als gestrichelte Linien dargestellt.

25

Das aus dem ersten Schienenstreckenabschnitt 6 ausfahrende, zweite Schienenfahrzeug 4 steht mit der ersten Leitstelle 16, insbesondere über ein Fahrzeug-Funkmodul 19, in kabelloser, signalübertragender Verbindung. In den Überlappungsbereichen 9, 10 angeordnete Schienenfahrzeuge 3, 4

können zeitgleich mit den Leitstellen 16, 17, 18 mehrerer der Schienenstreckenabschnitte 6, 7, 8 in Signalverbindung stehen.

5 In der Fig. 3 ist das Schienenverkehrssystem 1 mit den beiden Schienenfahrzeugen 3, 4, welche in dem ersten Schienenstreckenabschnitt 6 angeordnet sind, weiter im Detail dargestellt.

Über die vorstehend beschriebenen Sensoren 20, 21a hinaus umfasst das erste Schienenfahrzeug 3 ferner einen zweiten optischen Sensor 21b, insbesondere eine Frontkamera, eine Vollständigkeits-Überwachungseinrichtung 10 27 zum Überwachen der Vollständigkeit des ersten Schienenfahrzeugs 3, insbesondere des Bestehens einer mechanischen Verbindung zwischen zwei mechanisch aneinander gekoppelte Fahrwagen 28a, 28b. Ferner umfasst das erste Schienenfahrzeug 3 eine Antriebseinrichtung 29 und eine 15 Bremseinrichtung 30. Die Vollständigkeits-Überwachungseinrichtung 27, die Antriebseinrichtung 29 und die Bremseinrichtung 30 sind über die kabelgebundene Signalverbindung 26 mit der Fahrzeug-Steuereinheit 22 verbunden.

20 Das zweite Schienenfahrzeug 4 weist ein Fahrzeug-Funkmodul 19, eine Antriebseinrichtung 29, eine Bremseinrichtung 30 und eine Fahrzeug-Steuereinheit 22 auf. Das zweite Schienenfahrzeug 4 verfügt über keine Sensoren zum Bestimmen des Bestehens einer bestehenden mechanischen Koppelung zwischen seinen Fahrwagen 28a, 28b, 28c, oder zum Erfassen der Po- 25 sition oder zum Erfassen von Objekten im Gleis. Das erste Schienenfahrzeug 3 ist entsprechend in eine höhere Steuerkapazitätsklasse eingruppiert als das zweite Schienenfahrzeug 4.

Die Infrastruktureinrichtung 2 umfasst den ersten Schienensensor 12a, der zum Erfassen eines vorbeifahrenden Schienenfahrzeugs 3, 4, insbesondere zum Erfassen der Anzahl der aneinander gekoppelten Fahrwagen 28a, 28b, 28c, ausgebildet ist. Der zweite Schienensensor 12b, der in Form des Glas-
5 faser-Sensors ausgebildet ist, ermöglicht ebenfalls das Erfassen eines über den damit ausgestatteten Fahrweg 11 verlagerten Schienenfahrzeugs 3, 4.

Die Funktionsweise des Schienenverkehrssystems 1, insbesondere der Steuereinheiten 22, 24, ist wie folgt:

10

Das erste Schienenfahrzeug 3 befindet sich in dem dritten Schienenstreckenabschnitt 8. Das zweite Schienenfahrzeug 4 befindet sich in dem ersten Schienenstreckenabschnitt 6. Zwischen dem ersten Schienenfahrzeug 3 und der dritten Leitstelle 18 besteht die kabellose Signalverbindung 25.

15 Zwischen der ersten Leitstelle 16 und dem zweiten Schienenfahrzeug 4 besteht ebenfalls eine kabellose Signalverbindung 25.

Mittels der jeweiligen Fahrzeug-Steuereinheit 22 der Schienenfahrzeuge 3, 4 und den damit verbundenen Sensoren 20, 21a, 21b, 27 werden, insbesondere
20 kontinuierlich, Schienenverkehrsinformationen erfasst. Mittels der Infrastruktureinrichtung 2, insbesondere der ersten Leitstelle 16, insbesondere der Leitstellen-Steuereinheit 24, und den damit verbundenen Sensoren 12a, 12b, werden weitere Schienenverkehrsinformationen bestimmt. Die Schienenverkehrsinformationen beschreiben einen momentanen Zustand
25 des Schienenverkehrssystems 1, insbesondere der Infrastruktureinrichtung 2, insbesondere den Zustand der Schienensignale 14a sowie der Schienestellmittel 13 und den Zustand der Schienenfahrzeuge 3, 4, insbesondere deren Position, Geschwindigkeit, Bremskurve, Vollständigkeit und/oder deren Antriebs- und Bremsleistung.

Die beiden Schienenfahrzeuge 3, 4 sind in unterschiedliche Steuerkapazitätsklassen klassifiziert. Ausschlaggebend für diese Klassifizierung ist die Fähigkeit des Schienenfahrzeugs 3, 4 sich zu einem bestimmten Maß, insbesondere vollständig, unabhängig von der Infrastruktureinrichtung 2 sicher durch das Schienennetz 5 bewegen zu können. Insbesondere ist ausschlaggebend, ob das jeweilige Schienenfahrzeug 3, 4 die hierfür erforderliche sensorische und/oder prozessorische Kapazität aufweist. Das erste Schienenfahrzeug 3 ist in eine höhere Steuerkapazitätsklasse eingestuft, weil es gegenüber dem zweiten Schienenfahrzeug 4 einen größeren Umfang von Schienenverkehrsinformationen erfassen und verarbeiten kann. Ausschlaggebend ist ferner das Sicherheitsintegritätslevel (SIL) des jeweiligen Schienenfahrzeugs 3, 4, insbesondere der Sensoren 20, 21a, 21b, 27. Das Sicherheitsintegritätslevel eines Sensors ist umso höher, je präziser und robuster die mit ihm erfassten Messwerte sind, insbesondere je geringer seine Ausfallwahrscheinlichkeit ist.

Anhand der Fig. 4 ist der Austausch von Schienenverkehrsinformationen 31, 32 zwischen dem ersten Schienenfahrzeug 3 und der ersten Leitstelle 16 dargestellt. Beim Einfahren des zweiten Schienenfahrzeugs 4 in den ersten Schienenstreckenabschnitt 6, insbesondere in den ersten Überlappungsbereich 10 erfolgt ein Verbindungsaufbau 33a zwischen dem ersten Schienenfahrzeug 3 und der ersten Leitstelle 16.

Mittels des ersten Schienenfahrzeugs 3 werden, insbesondere kontinuierlich, die ersten Schienenverkehrsinformationen 31 bestimmt. Mittels des Positionserfassungsmoduls 20 wird die Position des ersten Schienenfahrzeugs 3 entlang des Fahrwegs 11, insbesondere in dem Schienennetz 5, be-

stimmt. Mittels des optischen Sensors 21a, 21b wird bestimmt, ob sich Objekte, die den Schienenverkehr potentiell beeinträchtigen könnten, im Bereich des Fahrwegs 11 befinden. Ferner werden mittels der optischen Sensoren 21a, 21b und der Fahrzeug-Steuereinheit 22 Schienensignale 14a automatisch erkannt. Mittels des mindestens einen optischen Sensors 21a, 21b können ferner optische Markierungen 14b erfasst werden, insbesondere zum Bestimmen der Position des Schienenfahrzeugs 3, insbesondere entlang des Fahrwegs 11. Anhand der Fixpunktmarker 14b und mittels der optischen Sensoren 21a, 21b kann die Position des Schienenfahrzeugs 3 bestimmt werden. Anhand eines Signals der Vollständigkeits-Überwachungseinrichtung 27 wird erfasst, ob sämtliche Fahrwagen 28a, 28b miteinander verbunden sind. Diese mittels des Schienenfahrzeugs 3 sensorisch erfassten Daten werden als Fahrzeug-Sensordaten 34 bezeichnet. Ferner werden mittels der Fahrzeug-Steuereinheit 22 Fahrparameter 35 bestimmt, welche den Fahrzustand des ersten Schienenfahrzeugs 3 beschreiben. Die Fahrparameter 35 umfassen die von der Antriebseinrichtung 29 bereitgestellte Antriebsleistung und die von der Bremseinrichtung 30 erzeugte Bremsleistung. Die erste Schienenverkehrsinformation 31 kann ferner Stellbefehle 36 und Fahrzeug-Korrekturinformationen 37 umfassen.

Mittels des Ortungsmoduls 19a, das insbesondere in Form eines sogenannten Ankermoduls ausgebildet sein kann, wird die Position des Schienenfahrzeugs 3, insbesondere entlang des Fahrwegs 11, bestimmt. Das Ortungsmodul 19b kann mit dem Fahrzeug-Funkmodul 19 identisch oder als separates Bauteil ausgebildet sein. Mittels des Ortungsmoduls 19a können Ortungsmarker 19b, 19c erfasst werden, welche ortsfest, als Bestandteil der Infrastruktureinrichtung 2, oder beweglich ausgebildet sein können. Ortsfeste Ortungsmarker 19b können beispielsweise an Infrastrukturelementen, insbesondere in der Nähe des Fahrwegs 11, angebracht sein. Bewegliche

Ortungsmarker 19c können beispielsweise von Personen 14c, beispielsweise von Gleisbauarbeitern, getragen werden. Hinsichtlich der Funktionsweise eines Überwachungssystems zur Ermittlung der Position des Schienenfahrzeugs 3 und/oder von Personen 14c mittels des Ortungsmoduls 19a wird auf die WO2021/121854 A1 verwiesen. Das Bestimmen der Position des Schienenfahrzeugs 3 und/der von Personen 14c erfolgt mittels eines Trilaterationsverfahrens, insbesondere mittels Funk-Trilateration, insbesondere mittels WiFi-Trilateration. An die Person 14c, welche sich in einem Gefahrenbereich befindet, wird vorzugsweise ein Warnsignal, insbesondere über eine Funkverbindung 25 und/oder ein optisches Signal und/oder ein akustisches Signal, insbesondere mittels des Schienenfahrzeugs 3, übermittelt.

Die zweiten Schienenverkehrsinformationen 32 werden von der Infrastruktureinrichtung 2, insbesondere der ersten Leitstelle 16, insbesondere der Leitstellen-Steuereinheit 24, bestimmt. Die zweite Schienenverkehrsinformation 32 umfasst Leitstellen-Sensordaten 38, welche anhand der Schienensensoren 12a, 12b ermittelt werden und Stellparameter 39, welche Informationen über den Stellzustand der Schienenstellmittel 13, der Schienensignale 14a und des Schienenversorgungsmittel 15 aufweisen. Ferner kann die zweite Schienenverkehrsinformation 32 Fahrbefehle 40 und Leitstellen-Korrekturinformationen 41 umfassen.

Über die kabellose Signalverbindung 25 werden die Schienenverkehrsinformationen 31, 32 zwischen dem ersten Schienenfahrzeug 3 und der Infrastruktureinrichtung 2 ausgetauscht. Zum Bestimmen des Vergleichsergebnisses erfolgt ein Vergleich 33b der ersten Schienenverkehrsinformation 31 und der zweiten Schienenverkehrsinformation 32, insbesondere werden die

- mit derselben Zustandsgröße des Schienenverkehrssystems 1 korrelieren-
den Informationsanteile der Schienenverkehrsinformationen 31, 32 mitei-
nander verglichen. Beispielsweise wird verglichen, ob die Schienensenso-
ren 12a, 12b dieselbe Position und Geschwindigkeit des Schienenfahrzeugs
5 4 erfassen, wie das Positionserfassungsmittel 20. Ferner kann verglichen
werden, ob die von der Vollständigkeits-Überwachungseinrichtung 27 er-
fasste Anzahl mechanisch miteinander verbundener Fahrwagen 28a, 28b
mit derjenigen Anzahl mechanisch verbundener Fahrwagen 28a, 28b über-
einstimmt, welche von den Schienensensoren 12a, 12b erfasst wird. Zudem
10 kann verglichen werden, ob die von den optischen Sensoren 21a, 21b auto-
matisch erfassten Schienensignale 14a mit den tatsächlich von der Infra-
struktureinrichtung 2 vorgegebenen Schienensignalen 14a, insbesondere
mit den Stellparametern 39, übereinstimmen.
- 15 Anhand dieses Vergleichsergebnisses wird ein Ergebnis der Plausibilitäts-
überprüfung als Wert für die Validität der ersten Schienenverkehrsinforma-
tion 31 bestimmt. Die erste Schienenverkehrsinformation 31 gilt als plausi-
bel und somit richtig, wenn diese mit der zweiten Schienenverkehrsinfor-
mation 32 übereinstimmt. Beispielsweise gilt die mittels des Positionserfas-
20 sungsmoduls 20 bestimmte Position des ersten Schienenfahrzeugs 3 als
plausibel, wenn diese mit der Position übereinstimmt, die mittels der Schie-
nensensoren 12a, 12b bestimmt wird.

- Das Schienenverkehrssystem 1 wird vorzugsweise anhand des Ergebnisses
25 der Plausibilitätsüberprüfung gesteuert. Der Fahrbefehl 40 kann Positions-
angaben umfassen, wenn die Positionserfassung mittels des Positionserfas-
sungsmoduls 20 plausible, insbesondere mit Positionsangaben der Infra-
struktureinrichtung 2 übereinstimmende, Fahrzeug-Sensordaten 34 bereit-

stellt. Insbesondere kann der Fahrbefehl 40 eine relative Position, insbesondere einen Abstand, zu dem vorausfahrenden ersten Schienenfahrzeug 3 umfassen. Aufgrund der Plausibilität der Positionsinformation können die Schienenfahrzeuge 3, 4 mittels des Fahrbefehls 40 sicher gesteuert, insbesondere in einem bestimmten Sicherheitsabstand zueinander in dem Schienennetz 5 bewegt werden.

Es kann zu Abweichungen zwischen der ersten Schienenverkehrsinformation 31 und der zweiten Schienenverkehrsinformation 32, insbesondere hinsichtlich mindestens einer Zustandsgröße des Schienenverkehrssystems 1, kommen. Derartige Abweichungen werden beim Bestimmen des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung anhand eines Vergleichsergebnisses auf Grundlage der Schienenverkehrsinformationen 31, 32 erkannt. Anhand des Vergleichsergebnisses kann die erste Schienenverkehrsinformation 31 geändert werden. Insbesondere kann das Steuern des Schienenverkehrssystems 1 anhand der geänderten ersten Schienenverkehrsinformation 31 erfolgen. Beispielsweise kann die von dem zweiten Schienenfahrzeug 4 bestimmte Position dahingehend korrigiert werden, dass diese mit der von einem der Schienensensoren 12a, 12b bestimmten Position des Schienenfahrzeugs 4 übereinstimmt.

Vorzugsweise wird das Erfassen der ersten Schienenverkehrsinformation 31 anhand des Vergleichsergebnisses kalibriert, insbesondere können die Sensoren 20, 21a, 21b, 27 mittels des Vergleichsergebnisses kalibriert werden. Beispielsweise kann die anhand des Positionserfassungsmoduls 20 und der Fahrzeug-Steuereinheit 22 erfasste Geschwindigkeit des Schienenfahrzeugs 4 kalibriert werden anhand der von Schienensensoren 12a, 12b bestimmten Zeitdauer, welche verstreicht zwischen dem Überfahren zweier

aufeinander folgender Schienensensoren 12a, 12b, deren Abstand entlang des Fahrwegs bekannt ist.

Das Bestimmen des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung erfolgt vorzugsweise in regelmäßigen zeitlichen Abständen, beispielsweise im Abstand von 1 s.

Das Bestimmen des Vergleichsergebnisses, insbesondere des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung schafft die Möglichkeit, die Zuverlässigkeit mittels des jeweiligen Schienenfahrzeugs 3, 4 ermittelter Schienenverkehrsinformationen 31, insbesondere kontinuierlich, zu überprüfen und hinsichtlich ihrer Validität zu steigern. Hierdurch wird ermöglicht, Sensoren 20, 21a, 21b, 27 des jeweiligen Schienenfahrzeugs 3, 4 in ein höheres Sicherheitsintegritätslevel einzustufen. Ferner kann das Schienenfahrzeug 3, 4 in eine höhere Steuerkapazitätsklasse eingestuft werden. Eine entsprechende Nutzung des Vergleichsergebnisses gewährleistet, dass Messungenauigkeiten zuverlässig erkannt, insbesondere kompensiert, werden können.

Das Bestimmen entsprechender Korrekturinformationen kann zum Kompensieren von Messungenauigkeiten seitens des Schienenfahrzeugs 3, 4 mittels der Leitstellen 16, 17, 18 erfolgen. Entsprechende Leitstellen-Korrekturinformationen 41 können zum Korrigieren der Fahrzeug-Sensordaten 34 an das Schienenfahrzeug 3, 4 übermittelt werden.

Bei einer besonders hohen Steuerkapazitätsklasse, insbesondere bei einem hohen Sicherheitsintegritätslevel des Schienenfahrzeugs 3, 4 kann alternativ oder zusätzlich die zweite Schienenverkehrsinformation 32 mittels der ersten Schienenverkehrsinformation 31 anhand des Vergleichsergebnisses

korrigiert werden. Insbesondere kann anhand des Vergleichsergebnisses, insbesondere anhand einer Fahrzeug-Korrekturinformation 37, die zweite Schienenverkehrsinformation 32 korrigiert werden.

- 5 Eine weitere Schienenverkehrsinformation 42 wird vorzugsweise von dem zweiten Schienenfahrzeug 4, insbesondere über die kabellose Signalverbindung 25 direkt oder über die ersten Leitstelle 16, an das erste Schienenfahrzeug 3 übermittelt. Das Vergleichsergebnis kann anhand der ersten Schienenverkehrsinformationen 31 und der zweiten und/oder der weiteren Schienenverkehrsinformationen 32, 42 bestimmt werden. Vorteilhaft wird hierdurch erreicht, dass weitere Schienenverkehrsinformationen 42 zur Beurteilung der Validität der ersten Schienenverkehrsinformation 31 zur Verfügung stehen und für ein noch zuverlässigeres Ergebnis der Plausibilitätsüberprüfung genutzt werden können. Alternativ kann die weitere Schienenverkehrsinformation 42 des zweiten Schienenfahrzeugs 4 die zweite Schienenverkehrsinformation 32, insbesondere zum Bestimmen des Vergleichsergebnisses, ersetzen.
- 10
- 15

- Das Steuern der Schienenfahrzeuge 3, 4 erfolgt vorzugsweise anhand ihrer Steuerkapazitätsklassen. Schienenfahrzeuge 3, 4 unterschiedlicher Steuerkapazitätsklassen können in demselben Schienenverkehrssystem 1 in unterschiedlicher Weise gesteuert werden. Beispielsweise kann das erste Schienenfahrzeug 3 mit der höheren Steuerkapazitätsklasse die zum Befahren des Schienennetzes 5 erforderlichen Fahrbefehle 40 selbst bereitstellen und/oder Stellbefehle 36 zum Steuern der Infrastruktureinrichtung 2, insbesondere der Leitstelle 16, 17, 18, insbesondere zum Steuern des Schienenversorgungsmittels 15, der Schienensignale 14a und der Schienenstellmittel 13 selbst bereitstellen. Das zweite Schienenfahrzeug 4 kann ausschließlich mittels Fahrbefehlen 40 der Infrastruktureinrichtung 2 gesteuert werden.
- 20
- 25

Vorzugsweise erfolgt das Steuern des ersten Schienenfahrzeuge 3 in dem Schienennetz 5 gemäß dem Prinzip des Fahrens im wandernden Raumabstand und/oder das Steuern des zweiten Schienenfahrzeuge 4 erfolgt gemäß dem Prinzip des Fahrens im festen Raumabstand.

Anhand des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung und/oder anhand der Steuerkapazitätsklasse, kann bestimmt werden, welche Fahrparameterbereiche, insbesondere welche Fahrgeschwindigkeit und/oder welcher Fahrabstand, zu einem vorausfahrenden Schienenfahrzeug 3 einzuhalten sind und/oder welche maximale Antriebsleistung von dem Schienenfahrzeug 3, 4 einzuhalten ist und/oder welche Schienenstreckenabschnitte 6, 7, 8 befahren werden dürfen. Beispielsweise kann die maximal zulässige Fahrgeschwindigkeit eines Schienenfahrzeugs 3, 4 aufgrund fehlender Plausibilität bezüglich der ermittelten Schienenverkehrsinformation 31 reduziert werden.

Die Verkehrskapazität, insbesondere die Dichte von Schienenfahrzeugen 3, 4, mit der ein Schienenstreckenabschnitt 6, 7, 8 befahren werden darf, hängt davon ab, wie groß die Fahrabstände zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schienenfahrzeugen 3, 4 sein müssen, um einen sicheren Betrieb des Schienenverkehrssystems 1 zuverlässig zu gewährleisten. Der zwingend erforderliche Mindest-Fahrabstand nimmt mit zunehmender Steuerkapazitätsklasse des jeweiligen Schienenfahrzeugs 3, 4 ab. Zum Erhöhen der Verkehrskapazität stark ausgelasteter Schienenstreckenabschnitte 6, 7, 8 können Schienenfahrzeuge 3, 4 aufgrund ihrer Steuerkapazitätsklassen in stark ausgelastete Schienenstreckenabschnitte 6, 7, 8, insbesondere aus weniger stark ausgelasteten Schienenstreckenabschnitten 6, 7, 8, verlagert

werden. Schienenfahrzeuge 3, 4 niedrigerer Steuerkapazitätsklassen können aus stark ausgelasteten Schienenstreckenabschnitten 6, 7, 8 in weniger stark ausgelastete Schienenstreckenabschnitte 6, 7, 8 verlagert werden.

- 5 Durch das Steuern des Schienenverkehrssystems 1 anhand des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung wird vorteilhaft erreicht, dass das Betreiben des Schienenverkehrssystems 1 besonders sicher erfolgen kann. Das Ver-
gleichen 33b unterschiedlicher Verkehrsinformationen 31, 32 erhöht die
Zuverlässigkeit der Informationsgrundlage zum Steuern der Schienenfahr-
10 zeuge 3, 4 und der Infrastruktureinrichtung 2. Die Steuerkapazitätsklasse eines Schienenfahrzeugs 3, 4 kann aufgrund der höheren Zuverlässigkeit dieser Schienenverkehrsinformationen 31, 32 gesteigert werden. Die Ver-
kehrskapazität des Schienennetzes 5 kann gesteigert werden. Insbesondere
kann die Verkehrskapazität bestimmter, stark ausgelasteter Schienenstre-
15 ckenabschnitte 6, 7, 8 gesteigert werden. Das Verfahren ist zum sicheren Betreiben eines Schienenverkehrssystems 1 mit sensorisch und prozesso-
risch gleich oder unterschiedlich ausgestatteten Schienenfahrzeugen 3, 4
geeignet. Insbesondere kann das Schienenverkehrssystem 1 im Mischbe-
trieb, mit Schienenfahrzeugen unterschiedlicher Steuerkapazitätsklassen,
20 betrieben werden. Das Verfahren ermöglicht das Betreiben eines Schienen-
verkehrssystems 1 in besonders sicherer, wirtschaftlicher und flexibler
Weise.

Patentansprüche

1. Verfahren zum sicheren Betreiben eines Schienenverkehrssystems (1), aufweisen die Schritte:
 - 5 1.1. Erfassen einer mit einer Zustandsgröße des Schienenverkehrssystems (1) korrelierenden ersten Schienenverkehrsinformation (31),
 - 1.2. Übermitteln einer zweiten Schienenverkehrsinformation (32, 42) die mit der Zustandsgröße des Schienenverkehrssystems (1) korreliert, zwischen einem ersten Schienenfahrzeug (3) und einer Infrastruktureinrichtung (2) und/oder einem zweiten Schienenfahrzeug (4),
 - 1.3. Bestimmen eines Vergleichsergebnisses anhand der ersten Schienenverkehrsinformation (31) und der zweiten Schienenverkehrsinformation (32, 42),
 - 15 1.4. Überprüfen der Plausibilität der ersten Schienenverkehrsinformation (31) und/oder der zweiten Schienenverkehrsinformation (32, 42) anhand des Vergleichsergebnisses, und
 - 1.5. Steuern des Schienenverkehrssystems (1) anhand des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung.
- 20 2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Schienenverkehrsinformation (31) mittels des ersten Schienenfahrzeugs (3) erfasst und, dass die zweite Schienenverkehrsinformation (32, 42) an das erste Schienenfahrzeug (3) übermittelt wird.
- 25 3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Schienenverkehrsinformation (31) mittels der Infrastruktureinrichtung (2) erfasst wird und, dass die zweite Schienenverkehrsinformation (32, 42) an die Infrastruktureinrichtung (2) übermittelt wird.

4. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die erste Schienenverkehrsinformation (31) und/oder die zweite Schienenverkehrsinformation (32, 42) auf einem sensorisch erfassten Messwert basieren.
- 5
5. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Überprüfen der Plausibilität in regelmäßigen zeitlichen Abständen erfolgt.
- 10
6. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** Steuern des Schienenverkehrssystems (1) mittels mindestens einer anhand des Vergleichsergebnisses geänderten Schienenverkehrsinformation (31, 32).
- 15
7. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** Kalibrieren des Erfassens der ersten Schienenverkehrsinformation (31) und/oder der zweiten Schienenverkehrsinformation (32, 42) anhand des Vergleichsergebnisses.
- 20
8. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** Steuern von Schienenfahrzeugen (3, 4) unterschiedlicher Steuerkapazitätsklassen in demselben Schienenverkehrssystem (1) in unterschiedlicher Weise.
- 25
9. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** Einstufen des mindestens einen Schienenfahrzeugs (3, 4) in eine höhere Steuerkapazitätsklasse aufgrund des Steuerns des Schienenverkehrssystems (1) anhand des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung.

10. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** Einstufen des mindestens einen Schienenfahrzeugs (3, 4) in eine höhere Steuerkapazitätsklasse aufgrund von kontinuierlichem Übermitteln der zweiten Schienenverkehrsinformationen (31, 32).
5
11. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** Einstufen des mindestens einen Schienenfahrzeugs (3, 4) in Abhängigkeit von dem Ergebnis der Plausibilitätsüberprüfung.
10
12. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** Verlagern mindestens eines Schienenfahrzeugs (3, 4) aufgrund dessen Steuerkapazitätsklasse in einen Schienenstreckenabschnitt (6, 7, 8) starker Auslastung zum Erhöhen der Verkehrskapazität.
15
13. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Steuern des Schienenverkehrssystems (1) anhand des Ergebnisses der Plausibilitätsüberprüfung das Festlegen einzuhaltender Fahrparameterbereiche und/oder befahrbarer Schienenstreckenabschnitte (6, 7, 8) umfasst.
20
14. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Steuern des Schienenverkehrssystems (1) zumindest teilweise auf Grundlage des Fahrens im wandernden Raumabstand erfolgt.
25
15. Verfahren nach einem der vorstehenden Ansprüche, **gekennzeichnet durch** Steuern der Infrastruktureinrichtung (2) aufgrund eines Steuerbefehls des mindestens einen Schienenfahrzeugs (3, 4).

- 16. Schienenverkehrssystem (1), aufweisend
 - 16.1. eine Infrastruktureinrichtung (2) und/oder
 - 16.2. mindestens ein Schienenfahrzeug (3, 4),
 - 5 16.3. wobei die Infrastruktureinrichtung (2) und/oder das mindestens eine Schienenfahrzeug (3, 4) mindestens eine Steuereinheit (22, 24) zum Ausführen eines Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 bis 15 aufweisen.