



(11) **EP 4 344 978 A1**

(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**03.04.2024 Patentblatt 2024/14**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**B61L 15/00<sup>(2006.01)</sup> B61L 25/02<sup>(2006.01)</sup>**

(21) Anmeldenummer: **23197677.0**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**B61L 25/021; B61L 15/0072**

(22) Anmeldetag: **15.09.2023**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC ME MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA**  
Benannte Validierungsstaaten:  
**KH MA MD TN**

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

(72) Erfinder:  
• **Eberle, Daniel**  
**91054 Erlangen (DE)**  
• **Knoll, Markus**  
**96172 Mühlhausen (DE)**

(30) Priorität: **29.09.2022 DE 102022210315**

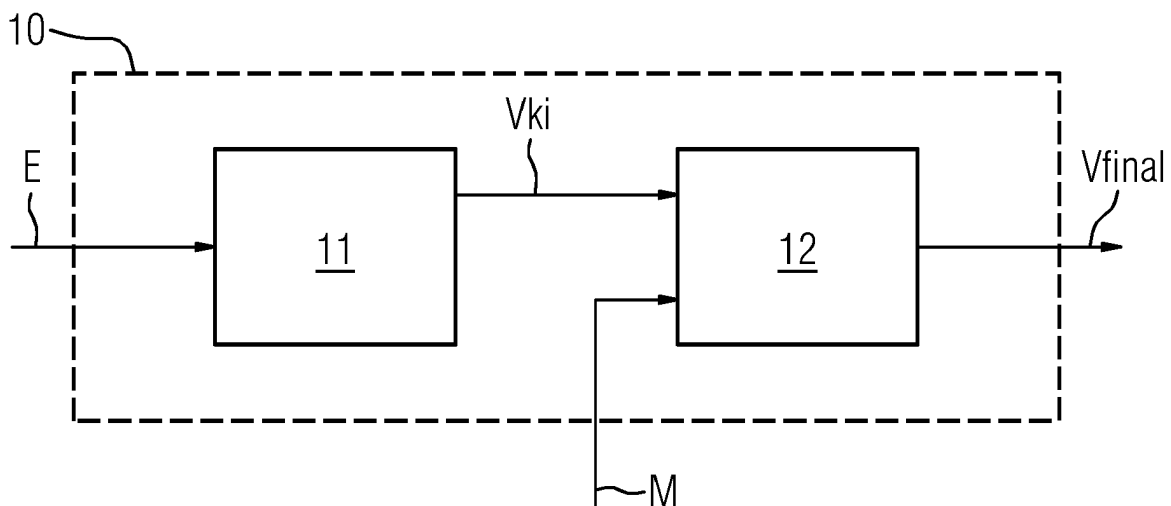
(74) Vertreter: **Siemens Patent Attorneys**  
**Postfach 22 16 34**  
**80506 München (DE)**

(54) **SCHÄTZEINRICHTUNG**

(57) Die Erfindung bezieht sich unter anderem auf eine Schätzeinrichtung (10) zum Schätzen eines eine Bewegungsgröße eines Schienenfahrzeugs (500) beschreibenden Bewegungswerts ( $V_{\text{final}}$ ,  $a_{\text{final}}$ ). Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass die Schätzeinrichtung (10) ein angelerntes System (11) künstlicher Intelligenz umfasst, das anhand von Messwerten ( $M$ ) einen Referenzwert ( $V_{\text{ki}}$ ,  $a_{\text{ki}}$ ) errechnet, und dem angelernten Sys-

tem (11) eine Korrektureinrichtung (12) nachgeordnet ist, die den Referenzwert ( $V_{\text{ki}}$ ,  $a_{\text{ki}}$ ) prüft und diesen als Bewegungswert ( $V_{\text{final}}$ ,  $a_{\text{final}}$ ) der Schätzeinrichtung (10) ausgibt, wenn der Referenzwert ( $V_{\text{ki}}$ ,  $a_{\text{ki}}$ ) eine Plausibilitätsprüfung besteht, und unter Bildung des Bewegungswerts ( $V_{\text{final}}$ ,  $a_{\text{final}}$ ) der Schätzeinrichtung (10) korrigiert, wenn der Referenzwert ( $V_{\text{ki}}$ ,  $a_{\text{ki}}$ ) die Plausibilitätsprüfung nicht besteht.

**FIG 1**



**EP 4 344 978 A1**

## Beschreibung

**[0001]** Im Bereich der Eisenbahntechnik ist es bekannt, Bewegungswerte wie Geschwindigkeitswerte oder Beschleunigungswerte zumindest auch anhand von Achsdrehzahlen zu ermitteln bzw. zu schätzen. Bei schlechten Haftwertverhältnissen (z. B. nassen Schienen oder Laub auf den Schienen) ist eine solche Schätzung jedoch sehr komplex, da bei schlechten Haftwertverhältnissen auch der Einfluss von Gleit- und Schleuderschutzregelungen zu berücksichtigen ist, die bei Schienenfahrzeugen üblich sind und auf die Radrotation und damit auf die gemessenen Achsgeschwindigkeiten einwirken.

**[0002]** Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, eine Schätzeinrichtung zum Schätzen eines eine Bewegungsgröße eines Schienenfahrzeugs beschreibenden Bewegungswerts anzugeben, die der obigen Problematik der komplexen Gesamtsituation Rechnung trägt.

**[0003]** Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch eine Schätzeinrichtung mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Schätzeinrichtung sind in Unteransprüchen angegeben.

**[0004]** Danach ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass die Schätzeinrichtung ein angelerntes System künstlicher Intelligenz umfasst, das anhand von Messwerten einen Referenzwert errechnet, und dem angelernten System eine Korrektureinrichtung nachgeordnet ist, die den Referenzwert prüft und diesen als Bewegungswert der Schätzeinrichtung ausgibt, wenn der Referenzwert eine Plausibilitätsprüfung besteht, und unter Bildung des Bewegungswerts der Schätzeinrichtung korrigiert, wenn der Referenzwert die Plausibilitätsprüfung nicht besteht.

**[0005]** Ein wesentlicher Vorteil der erfindungsgemäßen Schätzeinrichtung ist darin zu sehen, dass diese zumindest zweistufig ausgeführt ist. Eine erste Stufe wird durch ein angelerntes System künstlicher Intelligenz gebildet, das anhand von Messwerten den Bewegungswert errechnet. Das Anlernen von Systemen künstlicher Intelligenz ist heutzutage allgemein bekannt, sodass auf die diesbezügliche Fachliteratur verwiesen sei. Das Anlernen der ersten Stufe bzw. des Systems künstlicher Intelligenz erfolgt vorzugsweise anhand von Messwerten früherer Messschritte oder auf der Basis von Simulationsergebnissen. Die Genauigkeit bzw. die Sicherheit des von der ersten Stufe erzeugten Bewegungswerts kann jedoch unter Umständen über ein zulässiges Maß hinaus ungewiss oder sogar fehlerbehaftet sein, beispielsweise wenn eine zuvor noch nicht ausreichend trainierte Rad-Schiene-Haftsituation in Kombination mit einem Eingriff einer Gleit- und Schleuderschutzregelung auftritt. Aus diesem Grunde ist erfindungsgemäß die zweite Stufe in Form der Korrektureinrichtung vorgesehen, die die Bewegungswerte der ersten Stufe auf Plausibilität prüft. Die zweite Stufe ermöglicht es somit, das Gesamtsystem bzw. die Schätzeinrichtung insgesamt ohne großen Aufwand auf ein hohes Sicherheitsniveau

zu bringen.

**[0006]** Vorteilhaft ist es, wenn die Korrektureinrichtung zumindest zwei Achsgeschwindigkeitswerte, die jeweils die Achsgeschwindigkeit einer zugeordneten Achse des Schienenfahrzeugs angeben, berücksichtigt.

**[0007]** Bei einer ersten als besonders vorteilhaft angesehenen Ausführungsvariante ist vorgesehen, dass die Bewegungsgröße die Fahrzeuggeschwindigkeit ist und der Referenzwert des angelernten Systems und der Bewegungswert der Schätzeinrichtung Fahrzeuggeschwindigkeitswerte sind.

**[0008]** Bei der ersten Ausführungsvariante ist vorzugsweise vorgesehen, dass die Korrektureinrichtung den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems als unplausibel ansieht, wenn der Fahrzeuggeschwindigkeitswert während eines Bremsvorgangs kleiner als der höchste vorliegende Achsgeschwindigkeitswert ist und während eines Beschleunigungsvorgangs größer als der kleinste vorliegende Achsgeschwindigkeitswert ist.

**[0009]** Auch ist es vorteilhaft, wenn die Korrektureinrichtung den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems als unplausibel ansieht, wenn der aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeitswert während eines Bremsvorgangs kleiner als eine fortgeschriebene höchste Achsgeschwindigkeit ist, deren Abfallgeschwindigkeit durch einen vorgegebenen Fahrzeugverzögerungsmaximalwert begrenzt ist, wobei die Korrektureinrichtung in diesem Falle den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems vorzugsweise dann auf diese begrenzte Achsgeschwindigkeit korrigiert.

**[0010]** Auch ist es vorteilhaft, wenn die Korrektureinrichtung den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems als unplausibel ansieht, wenn der aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeitswert während eines Beschleunigungsvorgangs größer als eine fortgeschriebene kleinste Achsgeschwindigkeit ist, deren Anstiegs geschwindigkeit durch einen vorgegebenen Fahrzeugbeschleunigungsmaximalwert begrenzt ist, wobei die Korrektureinrichtung in diesem Falle den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems dann vorzugsweise auf diese begrenzte Achsgeschwindigkeit korrigiert.

**[0011]** Auch kann in vorteilhafter Weise vorgesehen sein, dass die Korrektureinrichtung den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems als unplausibel ansieht, wenn der aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeitswert während eines Bremsvorgangs kleiner als eine fortgeschriebene höchste Achsgeschwindigkeit ist, wobei die fortgeschriebene höchste Achsgeschwindigkeit unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Fahrzeugverzögerungsmaximalwerts und des letzten höchsten Achsgeschwindigkeitswerts, der als plausibel eingestuft wurde, errechnet wird; die Korrektureinrichtung korrigiert den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems dann vorzugsweise auf diese fortgeschriebene höchste Achsgeschwindigkeit.

**[0012]** Darüber hinaus kann in vorteilhafter Weise vor-

gesehen sein, dass die Korrektureinrichtung den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems als unplausibel ansieht, wenn der aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems während eines Beschleunigungsvorgangs größer als eine fortgeschriebene kleinste Achsgeschwindigkeit ist, wobei die fortgeschriebene kleinste Achsgeschwindigkeit unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Fahrzeugbeschleunigungsmaximalwerts und des letzten kleinsten Achsgeschwindigkeitswerts, der als plausibel angesehen wurde, errechnet wird; die Korrektureinrichtung korrigiert den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems dann vorzugsweise auf diese fortgeschriebene kleinste Achsgeschwindigkeit.

**[0013]** Die Korrektureinrichtung verarbeitet vorzugsweise ein Eingangssignal, das die Radhaftung auf der Schiene beschreibt, beispielsweise anzeigt, ob die Radhaftung ein vorgegebenes Mindesthaftmaß erreicht oder überschreitet.

**[0014]** Von Vorteil ist es auch, wenn die Korrektureinrichtung die Radhaftung auf der Schiene berücksichtigt und unter Heranziehung des größten und kleinsten vorliegenden Achsgeschwindigkeitswerts ein achsbezogenes Band ermittelt, wobei sie bei Vorliegen guter Haftbedingungen den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems als unplausibel ansieht und diesen auf einen Bandwert (z. B. Grenze des Bands oder Wert innerhalb des Bands) des achsbezogenen Bands korrigiert, wenn der Fahrzeuggeschwindigkeitswert außerhalb dieses achsbezogenen Bands liegt.

**[0015]** Der größte Achsgeschwindigkeitswert bildet vorzugsweise den Maximalwert bzw. die obere Bandgrenze des achsbezogenen Bands; der kleinste Achsgeschwindigkeitswert bildet vorzugsweise den Minimalwert bzw. die untere Bandgrenze des achsbezogenen Bands.

**[0016]** Die Korrektureinrichtung korrigiert den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems vorzugsweise auf den höchsten vorliegenden Achsgeschwindigkeitswert, also auf den Bandmaximalwert, wenn der Fahrzeuggeschwindigkeitswert während eines Bremsvorgangs außerhalb des achsbezogenen Bands liegt.

**[0017]** Alternativ kann bei guten Haftbedingungen vorgesehen sein, dass die Korrektureinrichtung den Fahrzeuggeschwindigkeitswert auf die Mitte des achsbezogenen Bands korrigiert, wenn der Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems - unabhängig vom Fahrzeugzustand (Beschleunigen, Bremsen, Rollen) - außerhalb des achsbezogenen Bands liegt; denn bei guten Haftbedingungen entsprechen alle Achsgeschwindigkeiten weitestgehend (abgesehen von Messfehlern, Rauschen) der realen Fahrzeuggeschwindigkeit, sodass das achsbezogene Band sehr eng ist.

**[0018]** Die Korrektureinrichtung korrigiert den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems vorzugsweise auf den kleinsten vorliegenden Achsgeschwindigkeitswert, also auf den Bandminimalwert,

wenn der Fahrzeuggeschwindigkeitswert während eines Beschleunigungsvorgangs außerhalb des achsbezogenen Bands liegt.

**[0019]** Auch ist es vorteilhaft, wenn die Korrektureinrichtung den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems unter Berücksichtigung zumindest eines derjenigen Achsgeschwindigkeitswerte korrigiert, der sich auf eine für eine vorgegebene Mindestzeitspanne kraftfreie Achse bezieht.

**[0020]** Bei der letztgenannten Variante kann die Korrektureinrichtung zusätzlich zum Erhalt zumindest eines Achsgeschwindigkeitswerts, der sich auf eine für eine vorgegebene Mindestzeitspanne kraftfreie Achse bezieht, vorzugsweise ein Steuersignal erzeugen, mit dem die Achse für die vorgegebene Mindestzeitspanne kraftfrei geschaltet wird.

**[0021]** Bei Vorliegen schlechter Haftbedingungen ist es vorteilhaft, wenn die Korrektureinrichtung beim Bremsen ein fahrzeugbezogenes Bremsband bestimmt, indem sie den letzten Fahrzeuggeschwindigkeitswert, der bei Vorliegen guter Haftbedingungen als plausibel angesehen oder von der Korrektureinrichtung durch Korrektur ermittelt worden ist, unter Berücksichtigung eines Fahrzeugverzögerungsmaximalwerts und eines Fahrzeugverzögerungsminimalwerts fortschreibt.

**[0022]** Die Korrektureinrichtung korrigiert den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems vorzugsweise, indem sie beim Bremsen den Fahrzeuggeschwindigkeitswert auf den Maximalwert des Bremsbands reduziert, sofern der Fahrzeuggeschwindigkeitswert den Maximalwert des Bremsbands überschreitet, und auf den Minimalwert des Bremsbands erhöht, sofern der Fahrzeuggeschwindigkeitswert den Minimalwert des Bremsbands unterschreitet.

**[0023]** Bei Vorliegen schlechter Haftbedingungen ist es außerdem vorteilhaft, wenn die Korrektureinrichtung beim Beschleunigen ein fahrzeugbezogenes Beschleunigungsband bestimmt, indem sie den letzten Fahrzeuggeschwindigkeitswert, der bei Vorliegen guter Haftbedingungen als plausibel angesehen oder von der Korrektur einrichtung durch Korrektur ermittelt worden ist, unter Berücksichtigung eines Fahrzeugbeschleunigungsmaximalwerts und eines Fahrzeugbeschleunigungsminimalwerts fortschreibt.

**[0024]** Die Korrektureinrichtung korrigiert den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems vorzugsweise, indem sie beim Beschleunigen den Fahrzeuggeschwindigkeitswert auf den Maximalwert des Beschleunigungsbands reduziert, sofern der Fahrzeuggeschwindigkeitswert den Maximalwert des Beschleunigungsbands überschreitet, und auf den Minimalwert des Beschleunigungsbands erhöht, sofern der Fahrzeuggeschwindigkeitswert den Minimalwert des Beschleunigungsbands unterschreitet.

**[0025]** Die Korrektureinrichtung errechnet den Fahrzeugverzögerungsminimalwert und den Fahrzeugbeschleunigungsminimalwert vorzugsweise in Abhängigkeit von zumindest einem Beschleunigungsmesswert.

**[0026]** Bei einer zweiten als besonders vorteilhaft angesehenen Ausführungsvariante ist vorgesehen, dass die Bewegungsgröße die Fahrzeugbeschleunigung ist und der Referenzwert des angelernten Systems und der Bewegungswert der Schätzeinrichtung Fahrzeugbeschleunigungswerte sind.

**[0027]** Bei Vorliegen schlechter Haftbedingungen sieht die Korrektureinrichtung den Fahrzeugbeschleunigungswert des angelernten Systems vorzugsweise als plausibel an, wenn der Fahrzeugbeschleunigungswert in einem fahrzeugbezogenen Band liegt.

**[0028]** Die Korrektureinrichtung begrenzt - zumindest bei schlechten Haftbedingungen - den Fahrzeugbeschleunigungswert des angelernten Systems betragsmäßig vorzugsweise nach unten auf einen Minimalwert (untere Bandgrenze) des vorgegebenen fahrzeugbezogenen Bandes und nach oben auf einen Maximalwert (obere Bandgrenze) des fahrzeugbezogenen Bandes, wenn der Fahrzeugbeschleunigungswert außerhalb des fahrzeugbezogenen Bandes liegt. Der Minimal- und Maximalwert des fahrzeugbezogenen Bandes hängen vorzugsweise jeweils davon ab, ob das Fahrzeug beschleunigt oder verzögert. Der Minimalwert des fahrzeugbezogenen Bandes entspricht beim Bremsen einer erwarteten Minimalverzögerung des Schienenfahrzeugs und beim Beschleunigen einer erwarteten Minimalbeschleunigung des Schienenfahrzeugs; der Maximalwert des fahrzeugbezogenen Bandes entspricht beim Bremsen einer erwarteten Maximalverzögerung des Schienenfahrzeugs und beim Beschleunigen einer erwarteten Maximalbeschleunigung des Schienenfahrzeugs.

**[0029]** Vorteilhaft ist es darüber hinaus, wenn die Korrektureinrichtung zumindest zwei Achsgeschwindigkeitswerte, die jeweils die Achsgeschwindigkeit einer zugeordneten Achse des Schienenfahrzeugs angeben, berücksichtigt und mit den Achsgeschwindigkeitswerten Achsbeschleunigungswerte errechnet, wobei der größte errechnete Achsbeschleunigungswert und der kleinste errechnete Achsbeschleunigungswert ein achsbezogenes Beschleunigungsband bilden.

**[0030]** Bei Vorliegen guter Haftbedingungen sieht die Korrektureinrichtung den Fahrzeugbeschleunigungswert des angelernten Systems vorzugsweise als plausibel an, wenn der Fahrzeugbeschleunigungswert in dem achsbezogenen Beschleunigungsband liegt. Andernfalls, wenn also der Fahrzeugbeschleunigungswert nicht in dem achsbezogenen Beschleunigungsband liegt und somit also unplausibel ist, korrigiert sie den Fahrzeugbeschleunigungswert des angelernten Systems vorzugsweise auf einen Bandwert (Grenze oder Wert innerhalb des Bands) des achsbezogenen Bands.

**[0031]** Beim Übergang von guten zu schlechten Haftbedingungen berücksichtigt die Korrektureinrichtung zur Plausibilitätsprüfung vorzugsweise ein Zwischenband, das ausgehend von dem achsbezogenen Beschleunigungsband auf das fahrzeugbezogene Band unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Maximalruckwertes vergrößert wird.

**[0032]** Auch ist es vorteilhaft, wenn die Korrektureinrichtung den Fahrzeugbeschleunigungswert des angelernten Systems unter Berücksichtigung zumindest eines derjenigen Achsbeschleunigungswerte korrigiert, der sich auf eine für eine vorgegebene Mindestzeitspanne kraftfreie Achse bezieht. Die Korrektureinrichtung kann zusätzlich zum Erhalt zumindest eines Achsbeschleunigungswerts, der sich auf eine für eine vorgegebene Mindestzeitspanne kraftfreie Achse bezieht, vorzugsweise ein Steuersignal erzeugen, mit dem die Achse für die vorgegebene Mindestzeitspanne kraftfrei geschaltet wird.

**[0033]** Die Erfindung bezieht sich außerdem auf ein Verfahren zum Schätzen eines eine Bewegungsgröße eines Schienenfahrzeugs beschreibenden Bewegungswerts. Erfindungsgemäß ist bezüglich eines solchen Verfahrens vorgesehen, dass mit einem angelernten System künstlicher Intelligenz anhand von Messwerten ein Referenzwert errechnet wird, der Referenzwert unverändert gelassen und als Bewegungswert ausgegeben wird, wenn der Referenzwert eine Plausibilitätsprüfung besteht, und der Referenzwert unter Bildung des Bewegungswerts korrigiert wird, wenn der Referenzwert die Plausibilitätsprüfung nicht besteht.

**[0034]** Bezüglich der Vorteile des erfindungsgemäßen Verfahrens und dessen vorteilhafter Ausgestaltungen sei auf die obigen Ausführungen im Zusammenhang mit der erfindungsgemäßen Schätzeinrichtung und deren vorteilhafter Ausgestaltungen verwiesen.

**[0035]** Die Erfindung bezieht sich außerdem auf ein Schienenfahrzeug. Erfindungsgemäß ist bezüglich des Schienenfahrzeugs vorgesehen, dass dieses eine Schätzeinrichtung - wie oben beschrieben - aufweist und/oder dazu ausgestaltet ist, ein Verfahren wie oben beschrieben - auszuführen.

**[0036]** Die Erfindung bezieht sich außerdem auf ein Computerprogrammprodukt. Erfindungsgemäß ist bezüglich des Computerprogrammprodukts vorgesehen, dass dieses bei Ausführung durch eine Recheneinrichtung die Recheneinrichtung veranlasst, ein Verfahren wie oben beschrieben auszuführen und/oder mit der Recheneinrichtung eine Schätzeinrichtung wie oben beschrieben zu bilden.

**[0037]** Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert; dabei zeigen beispielhaft

Figur 1 ein Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße Schätzeinrichtung zum Ermitteln eines Geschwindigkeitsschätzwertes,

Figur 2 eine vorteilhafte technische Realisierung der Schätzeinrichtung gemäß Figur 1,

Figur 3 anhand eines beispielhaften Bremsvorgangs eine vorteilhafte Arbeitsweise der Schätzeinrichtung gemäß den Figuren 1 und 2,

Figur 4 ein Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße Schätzeinrichtung, die einen Fahrzeugbeschleunigungswert ausgibt, und

Figur 5 ein Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes Schienenfahrzeug, das mit einer Schätzeinrichtung, beispielsweise einer Schätzeinrichtung gemäß Figur 1, 2 oder 4 ausgestattet ist.

**[0038]** In den Figuren werden der Übersicht halber für identische oder vergleichbare Komponenten dieselben Bezugszeichen verwendet.

**[0039]** Die Figur 1 zeigt ein Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße Schätzeinrichtung 10 zum Ermitteln eines die Geschwindigkeit eines Schienenfahrzeugs beschreibenden Bewegungswerts in Form eines Geschwindigkeitsschätzwerts  $V_{\text{final}}$ .

**[0040]** Die Schätzeinrichtung umfasst ein angelerntes System 11 künstlicher Intelligenz, das anhand von Messwerten E als Referenzwert einen Fahrzeuggeschwindigkeitswert  $V_{\text{ki}}$  errechnet. Dem angelernten System 11 künstlicher Intelligenz nachgeordnet ist eine Korrektureinrichtung 12, die den Fahrzeuggeschwindigkeitswert  $V_{\text{ki}}$  des angelernten Systems 11 unter Einbezug von Messwerten M, wie beispielsweise Achsgeschwindigkeitmesswerten und/oder Achsbeschleunigungsmesswerten, einer Plausibilitätsprüfung unterzieht.

**[0041]** Die Messwerte E, die das angelernte System 11 verarbeitet, und die Messwerte M, die die Korrektureinrichtung 12 verarbeitet, können identisch sein; alternativ können sich die Messwerte E und die Messwerte M unterscheiden.

**[0042]** Wird die Plausibilitätsprüfung bestanden, so gibt die Korrektureinrichtung 12 den Fahrzeuggeschwindigkeitswert  $V_{\text{ki}}$  des angelernten Systems 11 als finalen Bewegungswert in Form des Geschwindigkeitsschätzwerts  $V_{\text{final}}$  der Schätzeinrichtung 10 aus. Falls der Fahrzeuggeschwindigkeitswert  $V_{\text{ki}}$  des angelernten Systems 11 die Plausibilitätsprüfung nicht besteht, so korrigiert die Korrektureinrichtung 12 den Fahrzeuggeschwindigkeitswert  $V_{\text{ki}}$  und gibt den korrigierten Fahrzeuggeschwindigkeitswert als Geschwindigkeitsschätzwert  $V_{\text{final}}$  der Schätzeinrichtung 10 aus.

**[0043]** Die Figur 2 zeigt eine vorteilhafte technische Realisierung der Schätzeinrichtung 10 gemäß Figur 1. Die Schätzeinrichtung 10 wird durch eine Recheneinrichtung 100 und einen Speicher 110 gebildet. In dem Speicher 110 ist ein Softwaremodul 111 abgespeichert, das bei Ausführung durch die Recheneinrichtung 100 das angelernte System 11 bildet. Ein in dem Speicher 110 abgespeichertes Softwaremodul 112 bildet bei Ausführung durch die Recheneinrichtung 100 die Korrektureinrichtung 12.

**[0044]** Die Figur 3 erläutert anhand eines beispielhaften Bremsvorgangs eine vorteilhafte Arbeitsweise der Korrektureinrichtung 12. Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 3 verarbeitet die Korrektureinrichtung 12

als Messwerte M Achsgeschwindigkeitswerte  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  und  $V_4$ , die die gemessenen Achsgeschwindigkeiten von vier Achsen des Schienenfahrzeugs angeben.

**[0045]** Ausgehend von einem Ausgangsgeschwindigkeitswert Vaus, der die Geschwindigkeit des Schienenfahrzeugs zu Beginn des Bremsvorgangs beschreibt, ermittelt die Korrektureinrichtung 12 ein Geschwindigkeitsband 200, das durch einen Bandminimalwert 201 und einen Bandmaximalwert 202 begrenzt wird. Als Ausgangsgeschwindigkeitswert Vaus kann beispielsweise der größte der vier Achsgeschwindigkeitswerte  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$  und  $V_4$  herangezogen werden.

**[0046]** Der Bandminimalwert 201 des Geschwindigkeitsbands 200 wird zunächst durch Fortschreibung des Ausgangsgeschwindigkeitswerts Vaus unter Berücksichtigung eines für das Schienenfahrzeug als realistisch angenommenen Fahrzeugverzögerungsmaximalwerts errechnet. Der Bandmaximalwert 202 des Geschwindigkeitsbands 200 wird durch Fortschreibung des Ausgangsgeschwindigkeitswerts Vaus unter Berücksichtigung eines für das Schienenfahrzeug als realistisch angenommenen Fahrzeugverzögerungsminimalwerts errechnet.

**[0047]** Bei dem in der Figur 3 beispielhaft gezeigten Szenario wird davon ausgegangen, dass der Fahrzeuggeschwindigkeitswert  $V_{\text{ki}}$  in dem ersten Zeitabschnitt zwischen dem Beginn (Zeitpunkt  $t_0$ ) des Bremsvorgangs und einem Zeitpunkt  $t_1$  in dem Geschwindigkeitsband 200 liegt. Die Korrektureinrichtung 12 sieht den Fahrzeuggeschwindigkeitswert  $V_{\text{ki}}$  daher als plausibel an und gibt diesen als Geschwindigkeitsschätzwert  $V_{\text{final}}$  der Schätzeinrichtung 10 aus.

**[0048]** Die Achsgeschwindigkeitswerte  $V_1$  bis  $V_4$  liegen im ersten Zeitabschnitt unterhalb des Geschwindigkeitsbands 200, beispielsweise weil es einen Schlupf zwischen Rad und Schiene aufgrund schlechter Haftung gibt; dies spielt jedoch für das Geschwindigkeitsband 200 bis zum Zeitpunkt  $t_1$  keine Rolle.

**[0049]** In dem nachfolgenden zweiten Zeitabschnitt zwischen den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$  überschreitet der Achsgeschwindigkeitswert  $V_1$  der schnellsten Achse den Bandminimalwert 201. Dies bedeutet, dass das Schienenfahrzeug tatsächlich schneller ist, als dies bei maximaler Fahrzeugverzögerung der Fall wäre; das Schienenfahrzeug wird also nicht so schnell gebremst, wie es als maximal möglich angenommen wird. Aus diesem Grunde modifiziert die Korrektureinrichtung 12 nun das Geschwindigkeitsband 200, indem es den Bandminimalwert 201 anhebt, und zwar auf den Achsgeschwindigkeitswert  $V_1$  der schnellsten Achse.

**[0050]** Da in dem zweiten Zeitabschnitt zwischen den Zeitpunkten  $t_1$  und  $t_2$  der Fahrzeuggeschwindigkeitswert  $V_{\text{ki}}$  des angelernten Systems 11 immer noch in dem Geschwindigkeitsband 200 liegt, sieht die Korrektureinrichtung 12 den Fahrzeuggeschwindigkeitswert  $V_{\text{ki}}$  weiterhin als plausibel an und gibt diesen als Geschwindigkeitsschätzwert  $V_{\text{final}}$  der Schätzeinrichtung 10 aus.

**[0051]** Zum Zeitpunkt  $t_2$  erreicht der Fahrzeugge-

schwindigkeitswert  $V_{ki}$  den Bandminimalwert 201. Da die Korrektoreinrichtung 12 davon ausgeht, dass die Geschwindigkeit des Schienenfahrzeugs nicht kleiner sein kann als der höchste Achsgeschwindigkeitswert  $V_1$  bzw. der Bandminimalwert 201, korrigiert die Korrektoreinrichtung 12 nun den Fahrzeuggeschwindigkeitswert  $V_{ki}$  des angelernten Systems 11, indem sie diesen auf den Bandminimalwert 201 anhebt. In dem dritten Zeitabschnitt zwischen den Zeitpunkten  $t_2$  und  $t_3$  wird als Geschwindigkeitsschätzwert  $V_{final}$  der Schätzeinrichtung 10 somit der Bandminimalwert 201 ausgegeben.

**[0052]** In einem nachfolgenden vierten Zeitabschnitt, der durch die Zeitpunkte  $t_3$  und  $t_4$  in Figur 3 begrenzt ist, vergrößert sich das Geschwindigkeitsband 200 wieder aufgrund des Abfalls des Achsgeschwindigkeitswerts  $V_1$  der schnellsten Achse, sodass der Fahrzeuggeschwindigkeitswert  $V_{ki}$  des angelernten Systems 11 nun wieder in dem Geschwindigkeitsband 200 liegt und als Geschwindigkeitsschätzwert  $V_{final}$  der Schätzeinrichtung 10 ausgegeben wird.

**[0053]** Die oben im Zusammenhang mit der Figur 3 beispielhaft beschriebenen Prinzipien einer Plausibilitätsprüfung und Korrektur können analog für Beschleunigungsvorgänge angewandt werden.

**[0054]** Die Figur 4 zeigt ein Ausführungsbeispiel für eine erfindungsgemäße Schätzeinrichtung 10, bei der ein angelerntes System 11 künstlicher Intelligenz anhand von Messwerten  $E$  als Referenzwert einen Fahrzeugbeschleunigungswert  $a_{ki}$  errechnet. Dem angelernten System 11 nachgeordnet ist eine Korrektoreinrichtung 12, die den Fahrzeugbeschleunigungswert  $a_{ki}$  unter Einbezug von Messwerten  $M$  wie beispielsweise Achsgeschwindigkeitsmesswerten und/oder Achsbeschleunigungsmesswerten, einer Plausibilitätsprüfung unterzieht und den Fahrzeugbeschleunigungswert  $a_{ki}$  korrigiert, wenn er als unplausibel angesehen wird, und andernfalls unkorrigiert als Fahrzeugbeschleunigungsschätzwert  $a_{final}$  der Schätzeinrichtung 10 ausgibt.

**[0055]** Bezüglich der Arbeitsweise der Korrektoreinrichtung 12 gemäß Figur 4 gelten die obigen im Zusammenhang mit der Figur 3 beispielhaft erläuterten Prinzipien entsprechend, wenn anstelle von Geschwindigkeitsbändern Beschleunigungsbänder herangezogen werden.

**[0056]** Bei Vorliegen guter Haftbedingungen sieht die Korrektoreinrichtung 12 den Fahrzeugbeschleunigungswert  $a_{ki}$  vorzugsweise als plausibel an, wenn der Fahrzeugbeschleunigungswert  $a_{ki}$  in einem achsbezogenen Beschleunigungsband liegt. Liegt er nicht in diesem achsbezogenen Beschleunigungsband, so korrigiert die Korrektoreinrichtung 12 den Fahrzeugbeschleunigungswert  $a_{ki}$ , indem sie ihn beispielsweise auf einen Bandwert des achsbezogenen Beschleunigungsbands korrigiert.

**[0057]** Bei Vorliegen schlechter Haftbedingungen sieht die Korrektoreinrichtung 12 den Fahrzeugbeschleunigungswert  $a_{ki}$  vorzugsweise als plausibel an, wenn er in einem fahrzeugbezogenen Beschleunigungsband liegt. Liegt er nicht in dem fahrzeugbezogenen Be-

schleunigungsband, so korrigiert die Korrektoreinrichtung 12 den Fahrzeugbeschleunigungswert  $a_{ki}$ , indem sie ihn beispielsweise auf einen Bandwert des fahrzeugbezogenen Beschleunigungsbands korrigiert.

**[0058]** Im Falle eines Übergangs von guten zu schlechten Haftbedingungen berücksichtigt die Korrektoreinrichtung 12 zur Plausibilitätsprüfung vorzugsweise ein Zwischenband, das ausgehend von dem achsbezogenen Beschleunigungsband auf das fahrzeugbezogene Band unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Maximalruckwertes vergrößert wird.

**[0059]** Die Figur 5 zeigt ein Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes Schienenfahrzeug 500, das mit einer Schätzeinrichtung 10, beispielsweise einer Schätzeinrichtung gemäß Figur 1, 2 oder 4, ausgestattet ist. Die Schätzeinrichtung ist vorzugsweise in einem Fahrzeugsteuergerät 510 des Schienenfahrzeugs 500 integriert.

**[0060]** Die oben beschriebenen Ausführungsbeispiele können einzelne oder mehrere der nachfolgend stichpunktartig aufgeführten Vorteile bzw. Eigenschaften aufweisen:

- Das System 11 künstlicher Intelligenz basiert vorzugsweise auf Intelligenz (KI) mittels Machine Learning, z. B. auf der Basis eines neuronalen Netzes. Der KI werden als Eingangsgrößen vorzugsweise die Achsdrehzahlen oder Achsgeschwindigkeiten, ggf. noch ein Beschleunigungssignal, übergeben und aus diesen Messwerten zzgl. deren Zeitverlauf in der Vergangenheit ermittelt die KI vorzugsweise die aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeit. Die KI wird vorzugsweise mit zahlreichen Messdaten aus bestehenden Projekten trainiert und kann mit neu hinzukommenden Messdaten weiter trainiert/verbessert werden. Das Kriterium für das Training ist eine möglichst geringe Abweichung zur realen Fahrzeuggeschwindigkeit, wobei z. B. aus Sicht Bremse eine Abweichung nach unten hin unkritischer ist als eine Abweichung nach oben. D. h. das Kriterium zum Trainieren kann abhängig von der Anwendung sein. Denkbar ist auch, die KI im Betrieb immer weiter lernen zu lassen, z. B. mit einer aus zugewiesenen Größen ermittelten, aber nicht immer verfügbaren Fahrzeuggeschwindigkeit. Damit könnte die Genauigkeit im Betrieb weiter verbessert werden. Auch kann die KI im Labor trainiert und das fertig trainierte Netz dann in die Steuerung integriert werden, sodass das Verhalten auf der Steuerung reproduzierbar bleibt. Für sicherheitsrelevante Funktionen kann ein Training auf dem Fahrzeug denkbar sein, wenn das Ergebnis der KI dafür noch nachgelagert plausibilisiert bzw. im Wertebereich begrenzt wird. Unter Einbeziehung weiterer im Zug/Wagen/Fahrzeug verfügbaren Messgrößen wie die Beladung, die Bremskraft und/oder die Soll-Verzögerung könnte das Ergebnis der KI ebenfalls weiter verbessert werden.
- Für die Plausibilitätsprüfung und Korrektur werden vorzugsweise folgende Kriterien herangezogen:

Kriterium 1: Die Referenzgeschwindigkeit muss beim Bremsen immer mindestens so groß sein wie die schnellste Achse, beim Beschleunigen höchstens so groß sein wie die langsamste Achse.

Kriterium 2: Die Begrenzung aus Kriterium 1 gilt auch für fiktive Achsgeschwindigkeiten, die aus dem Gradienten (entspricht maximaler physikalisch möglicher Fahrzeugverzögerung bzw. -beschleunigung) der schnellsten bzw. langsamsten Achse gebildet werden.

Kriterium 3: Wenn erkannt wird, dass keine schlechten Haftwertbedingungen vorliegen bzw. die Achsgeschwindigkeiten der Fahrzeuggeschwindigkeit weitestgehend entsprechen (z. B. bei trockener Schiene), dann muss die Referenzgeschwindigkeit zwischen der schnellsten und der langsamsten Achse liegen. Zusätzlich kann die Referenzgeschwindigkeit auf oder in Richtung einer Achsgeschwindigkeit korrigiert werden, deren Achse eine gewisse Mindestzeit kräftefrei ist. Bei zu großem Abstand der Begrenzungen kann durch entsprechende Steuerungssignale eine Achse für diese Mindestzeit kräftefrei geschaltet werden.

Kriterium 4: Wenn Kriterium 3 nicht mehr erfüllt ist, also schlechte Haftbedingungen vorliegen, darf sich die Referenzgeschwindigkeit nur innerhalb eines gewissen Gradienten (entspricht maximaler physikalisch möglicher Fahrzeugverzögerung oder -beschleunigung) bewegen, ausgehend von dem Geschwindigkeitsband auf dem die Referenzgeschwindigkeit eingeschränkt war, als Kriterium 3 noch erfüllt war. Kriterium 5: Wenn Kriterium 3 nicht mehr erfüllt ist, also schlechte Haftbedingungen vorliegen, muss beim Beschleunigen/Bremsen eine Mindestbeschleunigung/-Verzögerung der Referenzgeschwindigkeit erfüllt sein, ausgehend vom Geschwindigkeitsband, als Kriterium 3 noch erfüllt war. Grundlage für diese Mindestbeschleunigung bzw. Verzögerung kann auch ein gemessenes Beschleunigungssignal sein.

- Die für die Begrenzungen verwendete physikalisch mögliche Fahrzeugbeschleunigung bzw. Verzögerung kann auch situationsabhängig angepasst werden. Z. B. wird bei Not- oder Schnellbremse vorzugsweise eine betragsmäßig höhere Verzögerung angenommen als bei reiner Betriebsbremse. Wenn die Stellung des Fahr- oder -Bremskraftstellers mit einem passenden Sicherheitsniveau zur Verfügung steht, kann aus dessen Auslenkung ebenfalls die betragsmäßig maximal mögliche Fahrzeugbeschleunigung genauer ermittelt werden.
- Mit den gleichen Methoden kann auch die für manche Anwendungen relevante Größe der Fahrzeugbeschleunigung ermittelt werden (schließt auch eine

Verzögerung als negative Beschleunigung ein). Hier gibt es dann nachgelagert beispielsweise folgende Kriterien:

Kriterium 1: Die durch die KI ermittelte Beschleunigung wird vorzugsweise auf die physikalisch mögliche Fahrzeugbeschleunigung begrenzt.

Kriterium 2: Wenn gute Haftwertbedingungen erkannt werden, wird die Beschleunigung aus der KI auf den Wertebereich der aus den gemessenen Achsdrehzahlen ermittelten Beschleunigungen eingegrenzt. Bei kräftefreien Achsen kann die Beschleunigung analog zu oben auf oder in Richtung der entsprechenden Achsbeschleunigung gesetzt werden. Kriterium 3: Der Übergang von der Begrenzung aus Kriterium 2 und 3 kann noch gerampt werden, wobei die Steilheitsbegrenzung auf Grundlage des maximal physikalisch möglichen Rucks (Änderung der Beschleunigung pro Zeit) des Fahrzeugs gebildet wird, ggf. auch unter Berücksichtigung der Betriebsart des Fahrzeugs.

- Ein Vorteil der obigen Ausführungsbeispiele ist, dass durch die Nutzung einer künstlichen Intelligenz bei gleichen Eingangsgrößen die Güte der ermittelten Referenzgeschwindigkeit und -beschleunigung, also eine möglichst kleine Abweichung zur realen Fahrzeuggeschwindigkeit und -beschleunigung, verbessert werden kann. Dies ist u. a. dadurch begründet, dass durch die Automatisierung des Trainings in relativ kurzer Zeit große Datenmengen und damit eine Vielzahl an Szenarien berücksichtigt werden können. Insbesondere kann durch ein automatisiertes Training der KI mit der großen Anzahl an realen Fahrdaten eine Vielzahl unterschiedlicher und ggf. neu hinzukommender Szenarien bei neuen Daten in kurzer Zeit (da automatisiert) berücksichtigt werden. Der bei aktuellen Lösungen teilweise große Aufwand, mit hohem Expertenwissen (nachträglich) zusätzliche Szenarien bzw. Signalverläufe im Algorithmus zu berücksichtigen, fällt damit großteils weg. Die für die Referenzgeschwindigkeitsbildung nützliche Größe des zeitlichen Verlaufs der Achsdrehzahlen in der Vergangenheit und ggf. neu hinzukommende Eingangsgrößen können in der KI deutlich einfacher und mit deutlich weniger Expertenwissen (durch automatisiertes Training) berücksichtigt werden als in den anderen Lösungen.

**[0061]** Abschließend sei erwähnt, dass die Merkmale aller oben beschriebenen Ausführungsbeispiele untereinander in beliebiger Weise kombiniert werden können, um weitere andere Ausführungsbeispiele der Erfindung zu bilden.

**[0062]** Auch können alle Merkmale von Unteransprüchen jeweils für sich mit jedem der nebengeordneten Ansprüche kombiniert werden, und zwar jeweils für sich al-

lein oder in beliebiger Kombination mit einem oder anderen Unteransprüchen, um weitere andere Ausführungsbeispiele zu erhalten.

## Patentansprüche

1. Schätzeinrichtung (10) zum Schätzen eines eine Bewegungsgröße eines Schienenfahrzeugs (500) beschreibenden Bewegungswerts ( $V_{\text{final}}$ ,  $a_{\text{final}}$ ),  
**dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Schätzeinrichtung (10) ein angelerntes System (11) künstlicher Intelligenz umfasst, das anhand von Messwerten (M) einen Referenzwert ( $V_{\text{ki}}$ ,  $a_{\text{ki}}$ ) errechnet, und
- dem angelernten System (11) eine Korrektureinrichtung (12) nachgeordnet ist, die den Referenzwert ( $V_{\text{ki}}$ ,  $a_{\text{ki}}$ ) prüft und diesen als Bewegungswert ( $V_{\text{final}}$ ,  $a_{\text{final}}$ ) der Schätzeinrichtung (10) ausgibt, wenn der Referenzwert ( $V_{\text{ki}}$ ,  $a_{\text{ki}}$ ) eine Plausibilitätsprüfung besteht, und unter Bildung des Bewegungswerts ( $V_{\text{final}}$ ,  $a_{\text{final}}$ ) der Schätzeinrichtung (10) korrigiert, wenn der Referenzwert ( $V_{\text{ki}}$ ,  $a_{\text{ki}}$ ) die Plausibilitätsprüfung nicht besteht.

2. Schätzeinrichtung (10) nach Anspruch 1,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Korrektureinrichtung (12) zumindest zwei Achsgeschwindigkeitswerte ( $V_1$ - $V_4$ ), die jeweils die Achsgeschwindigkeit einer zugeordneten Achse des Schienenfahrzeugs (500) angeben, berücksichtigt.

3. Schätzeinrichtung (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Bewegungsgröße die Fahrzeuggeschwindigkeit ist und der Referenzwert ( $V_{\text{ki}}$ ) des angelernten Systems (11) und der Bewegungswert ( $V_{\text{final}}$ ) der Schätzeinrichtung (10) Fahrzeuggeschwindigkeitswerte sind.

4. Schätzeinrichtung (10) nach Anspruch 3,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Korrektureinrichtung (12) den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems (11) als unplausibel ansieht, wenn der aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeitswert während eines Bremsvorgangs kleiner als eine höchste Achsgeschwindigkeit ist, deren Abfallgeschwindigkeit durch einen vorgegebenen Fahrzeugverzögerungsmaximalwert begrenzt ist, und die Korrektureinrichtung (12) den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems (11) dann auf diese begrenzte höchste Achsge-

schwindigkeit korrigiert, und/oder

- die Korrektureinrichtung (12) den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems (11) als unplausibel ansieht, wenn der aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeitswert während eines Beschleunigungsvorgangs größer als eine kleinste Achsgeschwindigkeit ist, deren Anstiegsgeschwindigkeit durch einen vorgegebenen Fahrzeugbeschleunigungsmaximalwert begrenzt ist, und die Korrektureinrichtung (12) den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems (11) dann auf diese begrenzte kleinste Achsgeschwindigkeit korrigiert.

5. Schätzeinrichtung (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche 3 bis 4,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**

- die Korrektureinrichtung (12) die Radhaftung auf der Schiene berücksichtigt und unter Heranziehung des größten und kleinsten vorliegenden Achsgeschwindigkeitswerts ein achsbezogenes Band ermittelt,
- wobei sie bei Vorliegen guter Haftbedingungen den Fahrzeuggeschwindigkeitswert als unplausibel ansieht und diesen auf einen Bandwert des achsbezogenen Bands korrigiert, wenn der Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems (11) außerhalb dieses achsbezogenen Bands liegt.

6. Schätzeinrichtung (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche 3 bis 5,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**

die Korrektureinrichtung (12) den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems (11) unter Berücksichtigung zumindest eines derjenigen Achsgeschwindigkeitswerte ( $V_1$ - $V_4$ ) korrigiert, der sich auf eine für eine vorgegebene Mindestzeitspanne kraftfreie Achse bezieht.

7. Schätzeinrichtung (10) nach Anspruch 6,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Korrektureinrichtung (12) zum Erhalt zumindest eines Achsgeschwindigkeitswerts, der sich auf eine für eine vorgegebene Mindestzeitspanne kraftfreie Achse bezieht, ein Steuersignal erzeugt, mit dem die Achse für die vorgegebene Mindestzeitspanne kraftfrei geschaltet wird.

8. Schätzeinrichtung (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche 3 bis 7,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
die Korrektureinrichtung (12) bei Vorliegen schlechter Haftbedingungen

- beim Bremsen ein fahrzeugbezogenes Bremsband bestimmt, indem sie den letzten Fahrzeug-

- geschwindigkeitswert, der bei Vorliegen guter Haftbedingungen als plausibel angesehen oder von der Korrektereinrichtung (12) durch Korrektur ermittelt worden ist, unter Berücksichtigung eines Fahrzeugverzögerungsmaximalwerts und eines Fahrzeugverzögerungsminimalwerts fortschreibt, und/oder
- beim Beschleunigen ein fahrzeugbezogenes Beschleunigungsband bestimmt, indem sie den letzten Fahrzeuggeschwindigkeitswert, der bei Vorliegen guter Haftbedingungen als plausibel angesehen oder von der Korrektereinrichtung (12) durch Korrektur ermittelt worden ist, unter Berücksichtigung eines Fahrzeugbeschleunigungsmaximalwerts und eines Fahrzeugbeschleunigungsminimalwerts fortschreibt.
9. Schätzeinrichtung (10) nach Anspruch 8, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Korrektereinrichtung (12) den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems (11) korrigiert, indem sie
- beim Bremsen den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems (11) auf den Maximalwert des Bremsbands reduziert, sofern der Fahrzeuggeschwindigkeitswert den Maximalwert des Bremsbands überschreitet, und auf den Minimalwert des Bremsbands erhöht, sofern der Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems (11) den Minimalwert des Bremsbands unterschreitet, und/oder
  - beim Beschleunigen den Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems (11) auf den Maximalwert des Beschleunigungsbands reduziert, sofern der Fahrzeuggeschwindigkeitswert des angelernten Systems (11) den Maximalwert des Beschleunigungsbands überschreitet, und auf den Minimalwert des Beschleunigungsbands erhöht, sofern der Fahrzeuggeschwindigkeitswert den Minimalwert des Beschleunigungsbands unterschreitet.
10. Schätzeinrichtung (10) nach Anspruch 8 oder 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Korrektereinrichtung (12) den Fahrzeugverzögerungsminimalwert und den Fahrzeugbeschleunigungsminimalwert in Abhängigkeit von zumindest einem Beschleunigungsmesswert errechnet.
11. Schätzeinrichtung (10) nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bewegungsgröße die Fahrzeugbeschleunigung ist und der Referenzwert (aki) des angelernten Systems (11) und der Bewegungswert (afinal) der Schätzeinrichtung (10) Fahrzeugbeschleunigungswerte sind.
12. Schätzeinrichtung (10) nach Anspruch 11, **dadurch gekennzeichnet, dass**
- die Korrektereinrichtung (12) zumindest zwei Achsgeschwindigkeitswerte (V1-V4), die jeweils die Achsgeschwindigkeit einer zugeordneten Achse des Schienenfahrzeugs (500) angeben, berücksichtigt und mit den Achsgeschwindigkeitswerten Achsbeschleunigungswerte errechnet, wobei der größte errechnete Achsbeschleunigungswert und der kleinste errechnete Achsbeschleunigungswert ein achsbezogenes Band bilden,
  - die Korrektereinrichtung (12) bei Vorliegen guter Haftbedingungen den Fahrzeugbeschleunigungswert als plausibel ansieht, wenn der Fahrzeugbeschleunigungswert in dem achsbezogenen Band liegt und andernfalls den Fahrzeugbeschleunigungswert auf einen Bandwert des achsbezogenen Bands korrigiert,
  - die Korrektereinrichtung (12) bei Vorliegen schlechter Haftbedingungen den Fahrzeugbeschleunigungswert als plausibel ansieht, wenn der Fahrzeugbeschleunigungswert in einem vorgegebenen fahrzeugbezogenen Band liegt, und
  - die Korrektereinrichtung (12) beim Übergang von guten zu schlechten Haftbedingungen zur Plausibilitätsprüfung ein Zwischenband berücksichtigt, das ausgehend von dem achsbezogenen Beschleunigungsband auf das fahrzeugbezogene Band unter Berücksichtigung eines vorgegebenen Maximalruckwertes vergrößert wird.
13. Schätzeinrichtung (10) nach Anspruch 11 oder 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Korrektereinrichtung (12) bei schlechten Haftbedingungen den Fahrzeugbeschleunigungswert betragsmäßig nach unten auf einen Mindestwert des vorgegebenen fahrzeugbezogenen Bandes und nach oben auf einen Maximalwert des fahrzeugbezogenen Bandes begrenzt, wobei Mindest- und Maximalwert des fahrzeugbezogenen Bandes vorzugsweise jeweils davon abhängen, ob das Fahrzeug beschleunigt oder verzögert.
14. Schätzeinrichtung (10) nach einem der voranstehenden Ansprüche 11 bis 13, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Korrektereinrichtung (12) den Fahrzeugbeschleunigungswert unter Berücksichtigung zumindest eines derjenigen Achsbeschleunigungswerte korrigiert, der sich auf eine für eine vorgegebene Mindestzeitspanne kraftfreie Achse bezieht.
15. Verfahren zum Schätzen eines eine Bewegungsgröße eines Schienenfahrzeugs (500) beschreibenden

Bewegungswerts ( $V_{\text{final}}$ ,  $a_{\text{final}}$ ),  
**dadurch gekennzeichnet, dass**

- mit einem angelernten System (11) künstlicher Intelligenz anhand von Messwerten (M) ein Referenzwert ( $V_{ki}$ ,  $a_{ki}$ ) errechnet wird, 5
- der Referenzwert ( $V_{ki}$ ,  $a_{ki}$ ) unverändert gelassen und als Bewegungswert ( $V_{\text{final}}$ ,  $a_{\text{final}}$ ) ausgegeben wird, wenn der Referenzwert ( $V_{ki}$ ,  $a_{ki}$ ) eine Plausibilitätsprüfung besteht, und 10
- der Referenzwert ( $V_{ki}$ ,  $a_{ki}$ ) unter Bildung des Bewegungswerts ( $V_{\text{final}}$ ,  $a_{\text{final}}$ ) korrigiert wird, wenn der Referenzwert ( $V_{ki}$ ,  $a_{ki}$ ) die Plausibilitätsprüfung nicht besteht. 15

16. Computerprogrammprodukt,  
**dadurch gekennzeichnet, dass**  
 das Computerprogrammprodukt derart ausgestaltet ist, dass es bei Ausführung durch eine Recheneinrichtung diese veranlasst, ein Verfahren nach Anspruch 15 auszuführen und/oder mit der Recheneinrichtung eine Schätzeinrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 14 zu bilden. 20

25

30

35

40

45

50

55

FIG 1

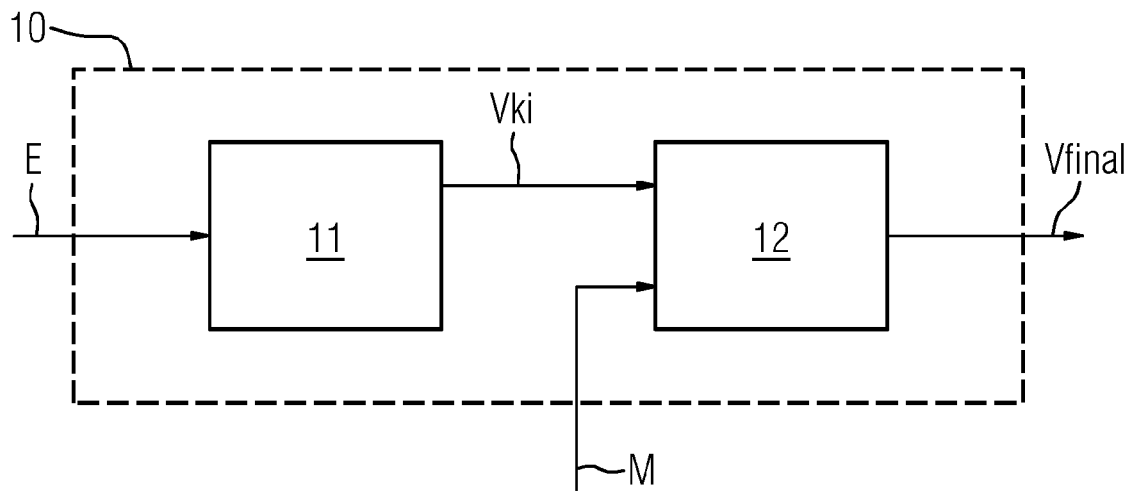


FIG 2

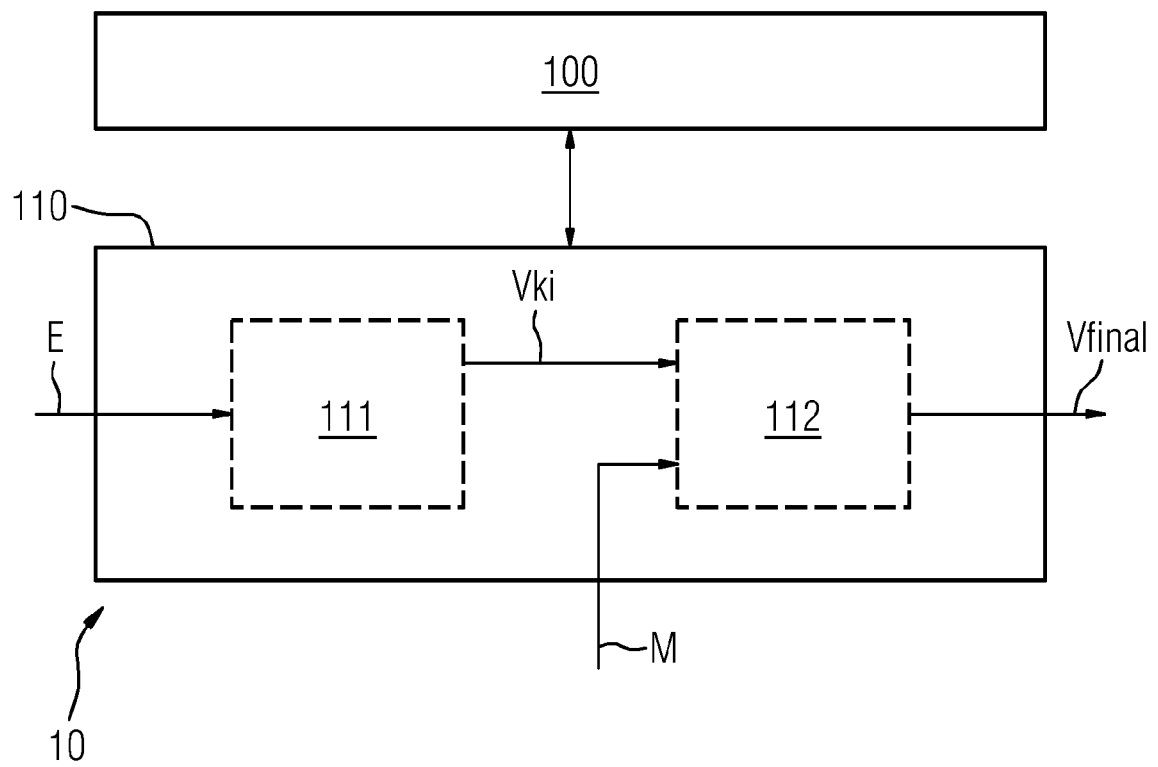


FIG 3

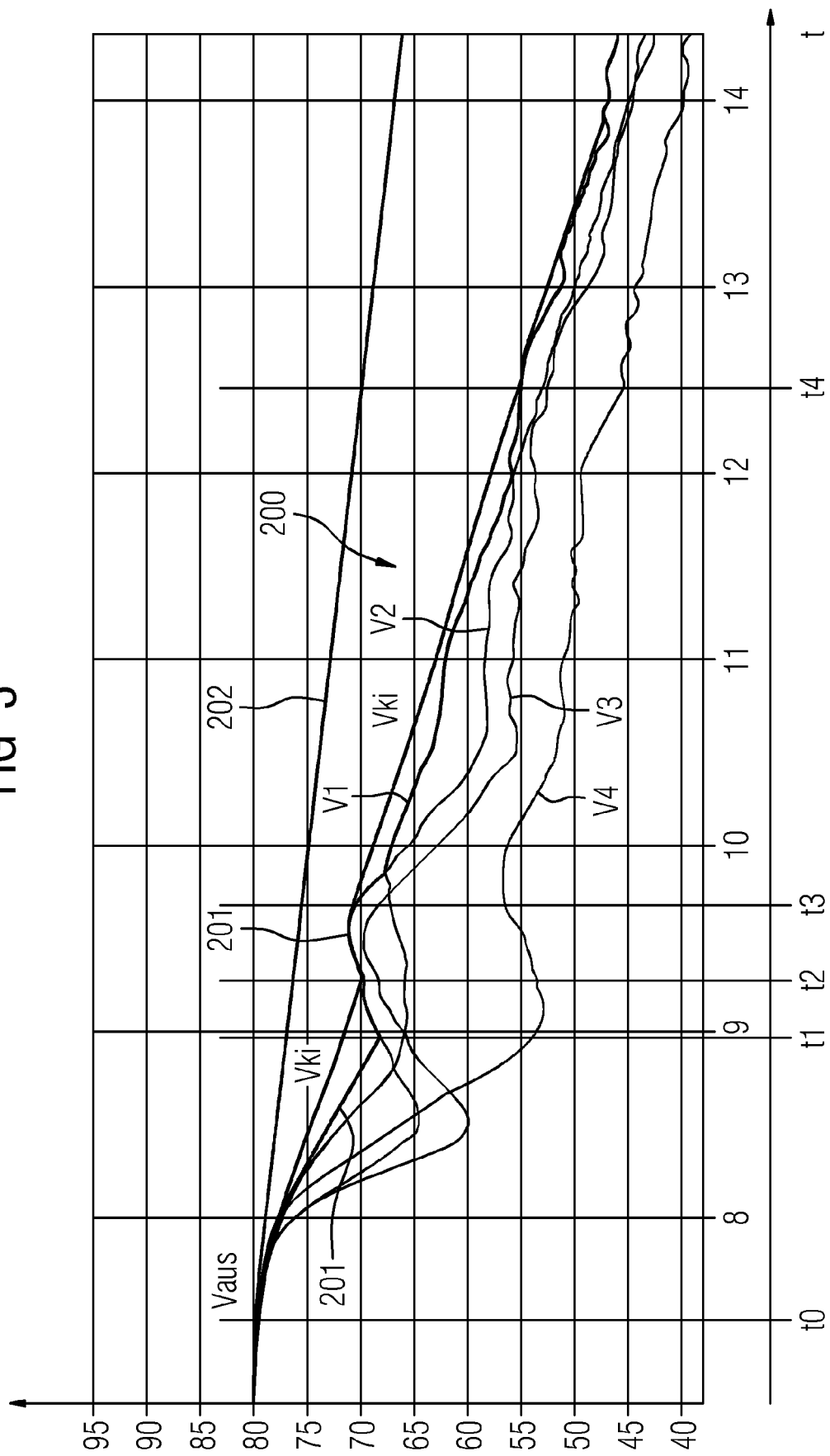


FIG 4

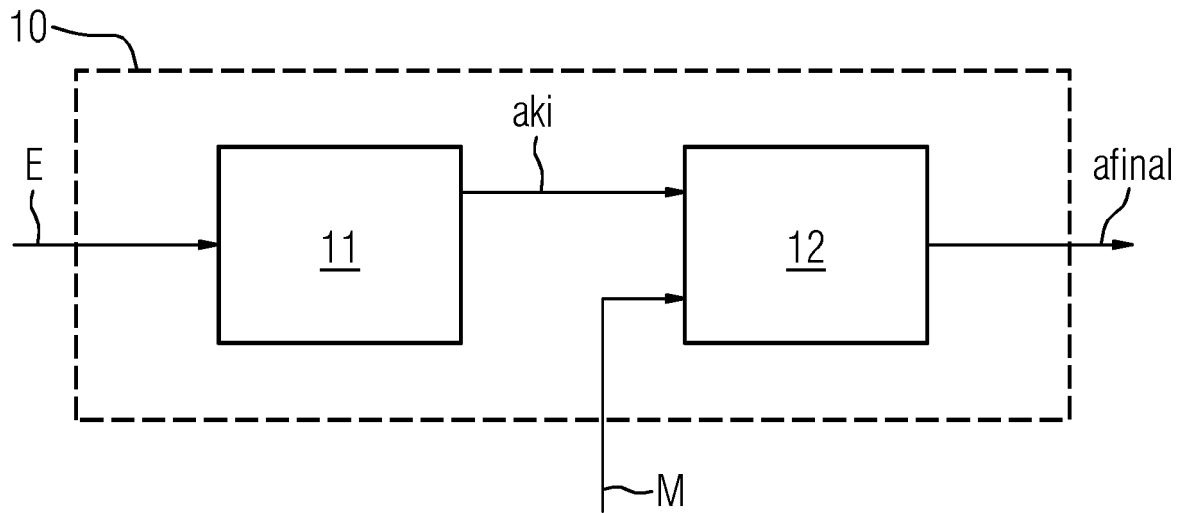
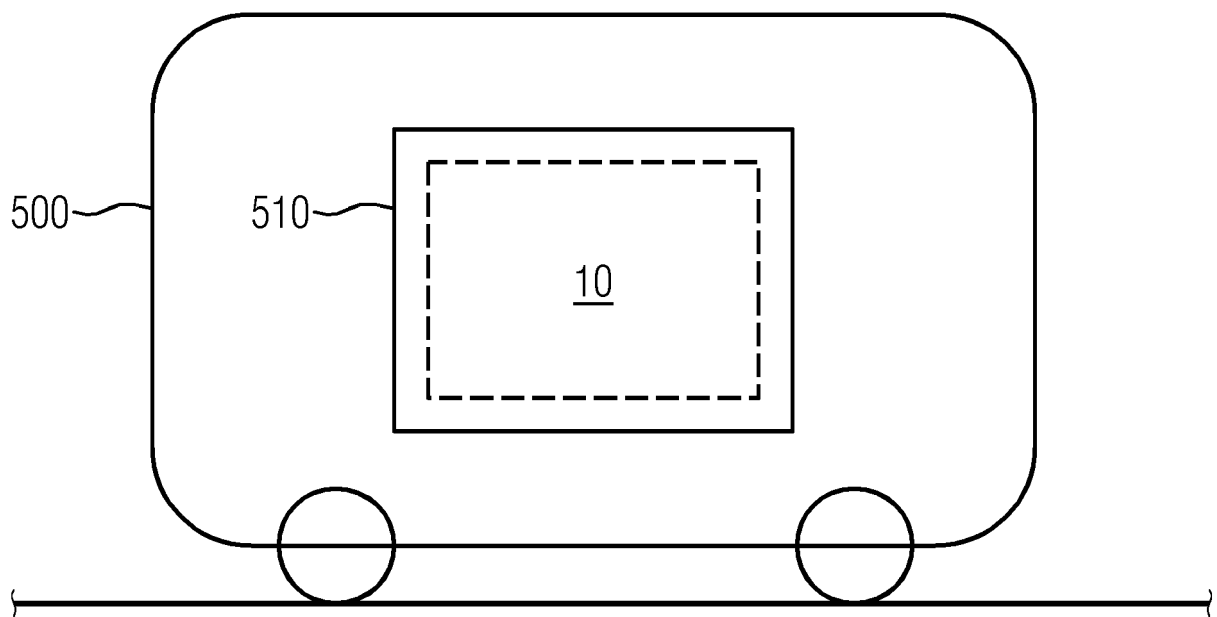


FIG 5





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 19 7677

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

| EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                                                                  |                                                        |                                    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Kategorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile                                                                              | Betrifft Anspruch                                      | KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC) |
| X                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | DE 10 2013 201594 A1 (SIEMENS AG [DE])<br>11. September 2014 (2014-09-11)<br>* Absätze [0001], [0005], [0016], [0020] und [0021] *<br>-----                      | 1-16                                                   | INV.<br>B61L15/00<br>B61L25/02     |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | EP 3 663 769 A1 (MAGSENS<br>UNTERNEHMERGESELLSCHAFT<br>HAFTUNGSBESCHRAENKT [DE])<br>10. Juni 2020 (2020-06-10)<br>* Absätze [0013] und [0014] *<br>-----         | 1-16                                                   |                                    |
| A                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | DE 10 2016 005248 A1 (KNORR-BREMSE SYSTEME<br>FÜR SCHIENENFAHRZEUGE GMBH [DE])<br>2. November 2017 (2017-11-02)<br>* Figur 1; Absätze [0043] - [0046] *<br>----- | 1-16                                                   |                                    |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                  |                                                        | RECHERCHIERTE<br>SACHGEBIETE (IPC) |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                  |                                                        | B61L                               |
| Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                  |                                                        |                                    |
| Recherchenort<br><b>München</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                  | Abschlußdatum der Recherche<br><b>21. Februar 2024</b> | Prüfer<br><b>Plützer, Stefan</b>   |
| KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE<br>X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet<br>Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie<br>A : technologischer Hintergrund<br>O : nichtschriftliche Offenbarung<br>P : Zwischenliteratur<br>T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze<br>E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist<br>D : in der Anmeldung angeführtes Dokument<br>L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument<br>& : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument |                                                                                                                                                                  |                                                        |                                    |

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.****EP 23 19 7677**

5 In diesem Anhang sind die Mitglieder der Patentfamilien der im obengenannten europäischen Recherchenbericht angeführten Patentedokumente angegeben.  
Die Angaben über die Familienmitglieder entsprechen dem Stand der Datei des Europäischen Patentamts am  
Diese Angaben dienen nur zur Unterrichtung und erfolgen ohne Gewähr.

**21-02-2024**

| 10 | Im Recherchenbericht<br>angeführtes Patentedokument | Datum der<br>Veröffentlichung | Mitglied(er) der<br>Patentfamilie                                            | Datum der<br>Veröffentlichung                               |
|----|-----------------------------------------------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
|    | <b>DE 102013201594 A1</b>                           | <b>11-09-2014</b>             | <b>KEINE</b>                                                                 |                                                             |
| 15 | <b>EP 3663769 A1</b>                                | <b>10-06-2020</b>             | <b>DE 202018107011 U1</b><br><b>EP 3663769 A1</b>                            | <b>21-02-2019</b><br><b>10-06-2020</b>                      |
| 20 | <b>DE 102016005248 A1</b>                           | <b>02-11-2017</b>             | <b>DE 102016005248 A1</b><br><b>EP 3448728 A1</b><br><b>WO 2017186707 A1</b> | <b>02-11-2017</b><br><b>06-03-2019</b><br><b>02-11-2017</b> |
| 25 |                                                     |                               |                                                                              |                                                             |
| 30 |                                                     |                               |                                                                              |                                                             |
| 35 |                                                     |                               |                                                                              |                                                             |
| 40 |                                                     |                               |                                                                              |                                                             |
| 45 |                                                     |                               |                                                                              |                                                             |
| 50 |                                                     |                               |                                                                              |                                                             |
| 55 |                                                     |                               |                                                                              |                                                             |

EPO FORM P0461

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