



(11)

**EP 4 458 643 A1**

(12)

**EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:  
**06.11.2024 Patentblatt 2024/45**

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):  
**B61L 1/16 (2006.01) B61L 25/02 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **23171526.9**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):  
**B61L 1/165; B61L 1/169; B61L 25/021; B61L 1/162**

(22) Anmeldetag: **04.05.2023**

(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**

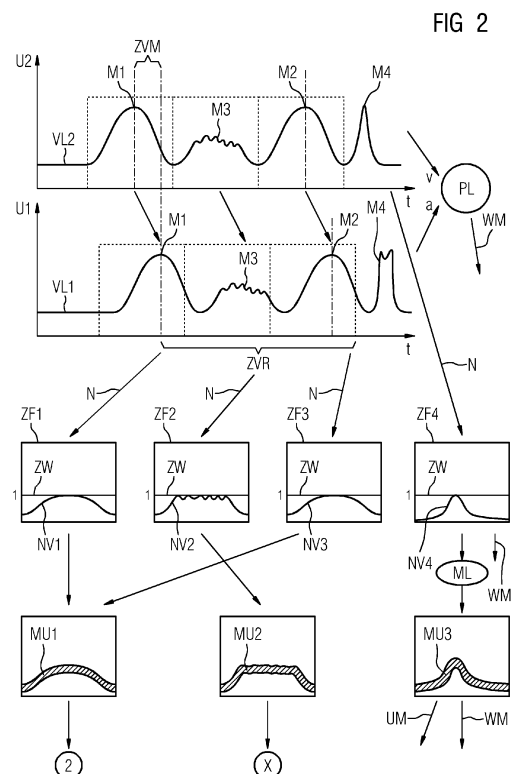
(71) Anmelder: **Siemens Mobility GmbH**  
**81739 München (DE)**

(72) Erfinder: **Braband, Jens**  
**38106 Braunschweig (DE)**

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

(54) **VERFAHREN ZUM ZÄHLEN VON ACHSEN MIT RECHNERGESTÜTZTER AUSWERTUNG UND FEHLERERKENNUNG**

(57) Beschrieben ist ein Verfahren zum Zählen von Achsen, bei dem ein an einem Gleis (GL) montierter Achszählsensor (AZ, AZ1, AZ2) von einem Rad (RD) passiert wird, der Achszählsensor (AZ, AZ1, AZ2) ein Messsignal (U1 ... U2) erzeugt, der Verlauf (VL1 ... VL2) des Messsignals (U1 ... U2) rechnergestützt ausgewertet wird, wobei das Rad (RD) identifiziert wird, bei dem Auswerten des Messsignals (U1 ... U2) in dem Verlauf (VL1 ... VL2) des Messsignals (U1 ... U2) nach mindestens einem Maximum (M1 ... M4) der der Amplitude des Messsignals (U1 ... U2) gesucht wird, der das Maximum enthaltende Verlauf (NV1 ... NV2) des Messsignals (U1 ... U2) mit Mustern (MU1 ... MU2) mindestens eines Verlaufes (VL1 ... VL2) für das Messsignal (U1 ... U2) bei Passieren eines Rades (RD) verglichen wird, in dem Fall einer gefundenen Übereinstimmung zwischen dem das Maximum enthaltenden Verlaufes mit einem der Muster (MU1 ... MU2) festgestellt wird, eine Warnmeldung generiert wird. Vorteilhaft können auf diese Weise Fehler und insbesondere auch Manipulationsversuche aufgedeckt werden, die im Rahmen des Achszähler Verfahrens auftreten. Geeignete Maßnahmen können rechtzeitig eingeleitet werden, bevor es zu Unfällen kommt.



## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Zählen von Achsen, bei dem ein an einem Gleis montierter Achszählsensor von einem Rad passiert wird, der Achszählsensor ein Messsignal erzeugt, der Verlauf des Messsignals rechnergestützt ausgewertet wird, wobei das Rad identifiziert wird. Außerdem betrifft die Erfindung ein Computerprogrammprodukt sowie eine Bereitstellungsvorrichtung für dieses Computerprogrammprodukt, wobei das Computerprogrammprodukt mit Programmbefehlen zur Durchführung dieses Verfahrens ausgestattet ist.

**[0002]** Bei der Achszählung durch Achszähler treten bekanntlich Störungen unterschiedlichster Natur auf, vom einfachen Rauschen oder Umwelteinflüssen bis hin zu herabhängenden Kabeln an Zügen oder sogenannten Spießgangeffekten bei Drehgestellen in engen Kurven. Daher besteht der Wunsch, insbesondere Störungen zu erkennen, die ähnlich zu Signalen von Rädern oder Drehgestellen sind, um die Radsignale zuverlässig erkennen zu können und insbesondere auch vorsätzliche Störungsversuche aufzudecken. Außerdem sind Bahn Infrastrukturen auch schlecht gegen böswillige Manipulationen zu schützen. So könnte ein Achszähler zum Beispiel durch Vorbeiführen von stählernen Gegenständen an der Sensorik derart beeinflusst werden, dass zusätzliche Zählimpulse ausgelöst würden. Insbesondere für derartige Störungen besteht ein großes Interesse, dass diese möglichst frühzeitig erkannt werden.

**[0003]** Ein verwandtes Problem muss beispielsweise bei der rechnergestützten Erkennung von Handschriften gelöst werden. Zur Erkennung von Handschriften beschreibt Claus Bahlmann et al. in IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE, VOL. 26, NO. 3, MARCH 2004 in dem Aufsatz "The Writer Independent Online Handwriting Recognition System frog on hand and Cluster Generative Statistical Dynamic Time Warping" ein geeignetes Verfahren. Hier gilt es, Buchstaben trotz der sich aus unterschiedlichen Handschriften ergebenden Unterschiede zu erkennen. Dies ist jedoch nicht ohne weiteres auf Achszähler zu übertragen, da bei Achszählern die Unterscheidung von Raddurchgängen anzeigenden Nutzsignalen und Störsignalen vorgenommen werden muss. Diese Prinzip ist gemäß EP 4124539 A1 auch schon bei der Mustererkennung von Achszählern angewendet worden.

**[0004]** Hierbei muss außerdem eine genügende Sicherheit erreicht werden. Es ist zu berücksichtigen, dass die Störsignale ein Ausmaß annehmen können, dass diese als Raddurchgang fehlinterpretiert werden. Hierfür soll ohne Beschränkung der Allgemeinheit folgendes Beispiel angegeben werden.

**[0005]** Ein Drehgestell besteht messtechnisch gesehen beispielsweise aus zwei aufeinander folgenden Rädern, also zwei Maxima der Signalamplitude des Messsignals mit einem gewissen Plateau dazwischen, die ein wiedererkennbares Muster ergeben.

**[0006]** Die Aufgabe der Erfindung ein Verfahren zum Zählen von Achsen anzugeben, welches eine vergleichsweise hohe Sicherheit gegen eine fälschliche Erkennung von Raddurchgängen durch böswillige Manipulationsversuche (im Folgenden als Manipulationen bezeichnet) aufweist. Außerdem besteht die Aufgabe der Erfindung darin, ein Computerprogrammprodukt sowie eine Bereitstellungsvorrichtung für dieses Computerprogrammprodukt anzugeben, mit dem das vorgenannte Verfahren durchgeführt werden kann.

**[0007]** Diese Aufgabe wird mit dem eingangs angegebenen Anspruchsgegenstand (Verfahren) bei dem

- beim Auswerten des Messsignals (U1 ... U2) in dem Verlauf (VL1 ... VL2) des Messsignals (U1 ... U2) nach mindestens einer Überschreitung eines vorgegebenen Schwellwertes oder einem Maximum (M1 ... M4) der Amplitude des Messsignals (U1 ... U2) gesucht wird,
- der das Maximum enthaltende Verlauf (NV1 ... NV2) des Messsignals (U1 ... U2) mit Mustern (M1 ... M2) mindestens eines Verlaufes (VL1 ... VL2) für das Messsignal (U1 ... U2) bei Passieren eines Rades (RD) verglichen wird,
- in dem Fall einer gefundenen Übereinstimmung zwischen dem das Maximum enthaltenden Verlaufes mit einem der Muster eine Achse gezählt wird,

erfindungsgemäß dadurch gelöst, dass in dem Fall, dass keine ausreichende Übereinstimmung zwischen dem das Maximum enthaltenden Verlauf mit einem der Muster festgestellt wird, eine Warnmeldung generiert wird.

**[0008]** Das Messsignal ist ein zeitlicher Verlauf der gemessenen Messgröße, vorzugsweise der Signalspannung, die bedingt durch das Passieren des Rades einer Achse, jedoch auch durch Störeinflüsse und evtl. Manipulationen jeweilige Maxima aufweist. Dies bedeutet, dass durch die rechnergestützte Auswertung des Messsignals das zu erfassende Ereignis erkannt werden kann, dass ein Rad den Achszählsensor passiert hat, jedoch auch Störsignale und Manipulationen fälschlich als ein solcher Raddurchgang erkannt werden können.

**[0009]** Das Maximum muss nichtnotwendigerweise das Startkriterium bei der Suche sein. Es kann auch nach dem Überschreiten eines Schwellwerts bei einer Auswertung begonnen werden. Dies ist aber nur eine Alternative bei stark gestörten Signalen.

**[0010]** Der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass das Verfahren zum Zählen von Achsen sozusagen gegen das unbemerkte Auftreten von Manipulationsversuchen gehärtet wird. Anders ausgedrückt erlangt das Achszählverfahren eine künstliche Intelligenz (d. h. Verbesserung einer Mustererkennung insbesondere durch Machine Learning) dadurch, dass zu erwartende Achszählergebnisse bekannt sind, wobei der Signalverlauf solcher Ergebnisse mit den gemessenen Messsignalen verglichen werden kann. Wenn keine Übereinstimmung eines vorliegenden Messergebnisses

mit einem regulären, d. h. zulässige Achszählergebnisse repräsentierenden Muster vorliegt, so liefert die dann generierte Warnmeldung hierauf einen Hinweis.

**[0011]** Die Warnmeldung kann zu unterschiedlichen Maßnahmen führen. Ein Manipulationsversuch an sich muss nicht zwangsläufig sofort ein Sicherheitsrisiko im Bahnbetrieb darstellen. Wenn in der Nähe des Achszählers beispielsweise gerade keine Züge unterwegs sind, so kann die Warnmeldung zu einer weiteren Überwachung des Betroffenen Achszählers genutzt werden und es kann beispielsweise Wartungspersonal zum Achszähler entsandt werden, um diesen zu überprüfen. Eventuell handelt es sich auch um einen technischen Fehler, der behoben werden könnte.

**[0012]** Befinden sich Züge in der Nähe des Achszählers oder wiederholen sich die Vorfälle, können aus der Warnmeldung auch weitergehende Konsequenzen abgeleitet werden (z. B. im Sinne eines Security Monitoring) bis hin zu einem Aussetzen des Betriebes der Betroffenen Strecke. Auch kann hinsichtlich des aufgetretenen Fehlers ein Mustervergleich dahingehend erfolgen, dass die von den regulären Mustern, die oben genannt wurden, abweichenden Messergebnisse untereinander verglichen werden, um festzustellen, ob diese einem Fehlermuster sprechen. Dies kann sowohl an einer Fehlfunktion des Achszählers als auch an einer bestimmten Art des Manipulationsversuches liegen (hierzu im Folgenden noch mehr).

**[0013]** Unter "rechnergestützt" oder "computerimplementiert" kann im Zusammenhang mit der Erfindung eine Implementierung des Verfahrens verstanden werden, bei dem mindestens ein Computer oder Prozessor mindestens einen Verfahrensschritt des Verfahrens ausführt.

**[0014]** Der Ausdruck "Rechner" oder "Computer" deckt alle elektronischen Geräte mit Datenverarbeitungseigenschaften ab. Computer können beispielsweise Personal Computer, Server, Handheld-Computer, Mobilfunkgeräte und andere Kommunikationsgeräte, die rechnergestützt Daten verarbeiten, Prozessoren und andere elektronische Geräte zur Datenverarbeitung sein, die vorzugsweise auch zu einem Netzwerk zusammengeschlossen sein können.

**[0015]** Unter einem "Prozessor" kann im Zusammenhang mit der Erfindung beispielsweise einen Wandler einen Sensor zur Erzeugung von Messsignalen oder eine elektronische Schaltung, verstanden werden. Bei einem Prozessor kann es sich insbesondere um einen Hauptprozessor (engl. Central Processing Unit, CPU), einen Mikroprozessor, einen Mikrocontroller, oder einen digitalen Signalprozessor, möglicherweise in Kombination mit einer Speichereinheit zum Speichern von Programmbefehlen, etc. handeln. Auch kann unter einem Prozessor ein virtualisierter Prozessor oder eine Soft-CPU verstanden werden.

**[0016]** Unter einer "Speichereinheit" kann im Zusammenhang mit der Erfindung beispielsweise ein computerlesbarer Speicher in Form eines Arbeitsspeichers

(engl. Random-Access Memory, RAM) oder Datenspeichers (Festplatte oder Datenträger) verstanden werden.

**[0017]** Als "Schnittstellen" können hardwaretechnisch, beispielsweise kabelgebunden oder als Funkverbindung, und/oder softwaretechnisch, beispielweise als Interaktion zwischen einzelnen Programmmodulen oder Programmteilen eines oder mehrerer Computerprogramme, realisiert sein.

**[0018]** Als "Programmmodule" sollen einzelne Funktionseinheiten verstanden werden, die einen erfindungsgemäßen Programmablauf von Verfahrensschritten ermöglichen. Diese Funktionseinheiten können in einem einzigen Computerprogramm oder in mehreren miteinander kommunizierenden Computerprogrammen verwirklicht sein. Die hierbei realisierten Schnittstellen können softwaretechnisch innerhalb eines einzigen Prozessors umgesetzt sein oder hardwaretechnisch, wenn mehrere Prozessoren zum Einsatz kommen.

**[0019]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass bei dem Auswerten des Messsignals in dem Verlauf des Messsignals nach mindestens einem Maximum der Signalamplitude gesucht wird, die Amplitude des Messsignals bei einer Amplitudennormierung derart normiert wird, dass das Maximum mit einem vorgegebenen Zielwert identisch ist, für den Verlauf des Messsignals vor und hinter dem Maximum einer dynamische Zeitnormierung durchgeführt wird, wobei der durch Amplitudennormierung und Zeitnormierung normierte Verlauf des Messsignals mit Mustern sowohl mindestens eines Verlaufes für das Messsignal bei Passieren eines Rades als auch mindestens eines Verlaufes für das Messsignal bei Auftreten eines Fehlers verglichen wird.

**[0020]** Gemäß dieser Ausgestaltung wird auf das Messergebnis sowohl eine Amplitudennormierung als auch eine dynamische Zeitnormierung, auch Dynamic Time Wrapping (im Folgenden kurz DTW) genannt, angewendet. Dies hat den Vorteil, dass das Messsignal sowohl hinsichtlich der Amplitude seines Maximums als auch hinsichtlich der Länge seines zeitlichen Verlaufs normiert wird. Dies erleichtert anschließend den Vergleich des auszuwertenden Verlaufes des Messsignals mit vorgegebener Zeitdauer und vorgegebener maximaler Amplitude mit Mustern verschiedener Verläufe (hierzu im Folgenden noch mehr). Damit wird die Zuverlässigkeit einer Mustererkennung für Raddurchgänge verbessert und die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von falschen Auswertungsergebnisse insbesondere auch aufgrund von Manipulationen minimiert.

**[0021]** Die Amplitudennormierung läuft derart ab, dass das Maximum des betrachteten Verlaufes des Messsignals nach der Normierung mit einem vorgegebenen Zielwert identisch ist. Vorzugsweise kann auf 1 normiert werden, d. h. dass der Zielwert gleich 1 ist. Dies ist allerdings nicht unbedingt erforderlich. Von Bedeutung ist, dass der vorgegebene Zielwert des Maximums mit den Maxima übereinstimmt, welche in den Mustern enthalten sind, mit denen der betreffende Verlauf des Messsignals vergli-

chen werden soll.

**[0022]** Das DTW wird durchgeführt, um in einem zeitlich begrenzten Ausschnitt des gesamten Verlaufes des Messsignals, der sich vor und hinter dem Maximum erstreckt, zu identifizieren, welcher zwecks Erkennung von Raddurchgängen oder auftretenden Fehlern mit Mustern verglichen werden soll. Da ein Raddurchlauf einen Signalverlauf erzeugt, der bis zu einem Maximum ansteigt und anschließend wieder abfällt, ist in den durch das DTW identifizierten Verläufen jeweils ein Maximum enthalten.

**[0023]** Eine Zeitnormierung erfolgt zu dem Zweck, dass ein Vergleich des betreffenden Verlaufes des Messsignals mit den Mustern durchgeführt werden kann. Hierbei ist insbesondere zu berücksichtigen, dass der Verlauf des Messsignals insbesondere von der Geschwindigkeit des den Achszählsensor passierenden Fahrzeugs abhängig ist. Eine höhere Geschwindigkeit erzeugt einen steileren kürzeren Anstieg bis zum Maximum (und anschließenden einen entsprechenden Abfall). Eine geringere Geschwindigkeit erzeugt im Vergleich hierzu einen flacheren, längeren Anstieg bis zum Maximum (und anschließend einen entsprechenden Abfall).

**[0024]** Bekannt ist das Prinzip von DTW zum Beispiel aus der Spracherkennung (das Erkennen von Sprechmerkmalen beim Diktieren): Hier sollen durch den Vergleich mit gespeicherten Sprachmustern einzelne Wörter aus einem gesprochenen Text erkannt werden. Ein Problem besteht darin, dass die Wörter oft unterschiedlich ausgesprochen werden. Vor allem Vokale werden oft länger oder kürzer gesprochen. Für einen erfolgreichen Mustervergleich sollte das Wort also entsprechend gedehnt bzw. gestaucht werden, jedoch nicht gleichmäßig, sondern vor allem an den Vokalen, die länger bzw. kürzer gesprochen wurden. Der Dynamic-time-warping-Algorithmus leistet diese adaptive Zeitnormierung. Ein anderer Anwendungsfall ist die Erkennung von Handschrift. Hier erfolgt eine Mustererkennung einzelner Buchstaben, wobei es Ziel ist, die Buchstaben bei unterschiedlichen Handschriften zu erkennen.

**[0025]** Diese Ausgestaltung macht sich die Erkenntnis zu Nutze, dass im Vergleich zu einer Schrifterkennung oder Spracherkennung die Messsignale eines Achszählers eine vergleichsweise geringe Komplexität aufweisen. Andererseits gibt es jedoch Fehler, die mit einem Raddurchlauf verwechselt werden können und deshalb zu falschen Ergebnissen bei der Auswertung führen. Diese müssen trotz der vergleichsweise geringen Komplexität der Muster zuverlässig erkannt werden. Hier setzt die Erfindung an, indem Muster nicht nur für die zu erkennenden Ereignisse eines Raddurchlaufs verschiedener Fahrzeuge definiert werden, sondern auch für typischerweise auftretende Fehler, die dann als solche erkannt werden und nicht mit einem Raddurchlauf verwechselt werden können.

**[0026]** Mit anderen Worten zielt diese Ausgestaltung darauf, nicht nur die Ereignisse zu erkennen, deren Auftreten gewünscht ist und gezählt werden soll, sondern

bewusst auch die Ereignisse zu erkennen, die nicht auftreten sollen, demzufolge nicht gezählt werden sollen, jedoch fälschlich als zu zählende Ereignis erkannt werden könnten. Werden diese Ereignisse sicher als Fehler erkannt, so können diese als Zählereignis ausgeschlossen werden, selbst wenn ihre Bewertung als zu zählendes Ereignis eines Raddurchlaufs unsicher wäre. Hierin liegt der erfindungsgemäße Mehrwert einer Steigerung der Erkennungszuverlässigkeit.

**[0027]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass der durch Amplitudennormierung und Zeitnormierung normierte Verlauf des Messsignals mit zumindest einem Muster eines Verlaufes für das Messsignal bei Auftreten eines bei der Kurvenfahrt von Drehgestellen auftretenden Spießgangs verglichen wird.

**[0028]** Wie bereits erwähnt, handelt es sich bei einem Spießgang um eine messbare Signalüberhöhung des Messsignals eines Achszählsensors, der ein Maximum zwischen den beiden Maxima der Raddurchgänge eines Drehgestells erzeugt. Ein Spießgang tritt vorzugsweise auf, wenn der Achszählsensor in einer Kurve verbaut wird und die Messung während der Kurvenfahrt des Drehgestells stattfindet.

**[0029]** Werden mögliche Spießgangeffekte als Muster von auftretenden Fehlern definiert, so kann bei Auftreten eines Spießgangs während der Messung durch einen Achszählsensor insbesondere im Rahmen des DTW ein Verlauf erzeugt werden, welcher nach Vergleich mit dem für den Spießgang vorliegenden Muster diesem Fehler zugeordnet werden kann. Wenn diese Zuordnung eindeutig ist, kann der betreffende Verlauf des Messsignals von einer Zuordnung des Ereignisses eines Raddurchgangs ausgeschlossen werden. Dies ist insbesondere dann von Vorteil, wenn eine Zuordnung zu einem Raddurchgang grenzwertig wäre und im Zweifelsfalle fälschlich eine nicht vorhandene Achse gezählt werden würde.

**[0030]** Mit anderen Worten gibt es Fälle, bei denen das erfindungsgemäße Verfahren mit einer höheren Sicherheit bei dem Zählen von zu einem Drehgestell gehörenden Achsen verwendet werden kann. Das Auftreten von falsch gezählten Achsen kann daher ausgeschlossen oder die Wahrscheinlichkeit eines solchen Ereignisses zumindest verringert werden. Damit steigt aber auch die Wahrscheinlichkeit, dass die Ermittlung von Abweichungen auf einen Manipulationsversuch zurückzuführen ist und infolgedessen ein Warnsignal zu erzeugen ist. Hierdurch kann die Wahrscheinlichkeit einer Aufdeckung von Manipulationsversuchen insbesondere im Personenverkehr, in dem fast ausschließlich Fahrzeuge mit Drehgestellen und Doppelachsen zum Einsatz kommen, vorteilhaft erhöht werden. Gleichzeitig sinkt die Wahrscheinlichkeit, dass das Auftreten anderer Fehler zu einem Warnsignal führt, welches beispielsweise eine Betriebsunterbrechung auslösen würde.

**[0031]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass ein Achszähler verwendet wird, der in Fahrtrichtung hintereinander angeordnet einen ersten Achszählsensor und einen zweiten Achszählsensor auf-

weist, wobei das Verfahren nacheinander für den ersten Achszählsensor und den zweiten Achszählsensor durchlaufen wird.

**[0032]** Hierbei handelt es sich um sogenannte Doppelachszähler, deren Einsatz weit verbreitet ist. Die beiden verbauten Achszählsensoren, also der erste Achszählsensor und der zweite Achszählsensor erzeugen daher in kurzer Folge jeweils dieselben Maxima im zeitlichen Verlauf des Messsignals, zumindest, wenn keine Störungen vorliegen. In diesem Fall entsprechen die Maxima den gezählten Rädern. Ansonsten können ebenfalls Störsignale erfasst werden, die zu Maxima führen.

**[0033]** Die Verwendung von zwei Achszählsensoren ändert am Funktionsprinzip des Achszählers nichts. Der erste Achszählsensor und der zweite Achszählsensor funktionieren genauso, wie der Achszählsensor eines Achszählers, in dem nur ein einziger Achszählsensor verbaut ist. Die im Zusammenhang mit dieser Erfindung gemachten Aussagen treffen daher gleichermaßen für den Achszählsensor oder den ersten Achszählsensor sowie den zweiten Achszählsensor zu, wenn nicht anders beschrieben.

**[0034]** Die Verwendung eines ersten Achszählsensors und eines zweiten Achszählsensors hat den Vorteil, dass der Achszähler eine höhere Sicherheit gegen Ausfall aufweist. Damit sinkt, wie bereits beschrieben, die Wahrscheinlichkeit, dass Fehler fälschlich als Manipulationen gedeutet werden und nach Ausgeben eines Warnsignals der Betrieb zum Stillstand kommt.

**[0035]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Maxima in dem durch den ersten Achszählsensor erfassten ersten Verlauf und den durch den zweiten Achszählsensor erfassten zweiten Verlauf verglichen werden und nur diejenigen Maxima in dem durch Amplitudennormierung und Zeitnormierung normierten ersten Verlauf und zweiten Verlauf des Messsignals mit Mustern verglichen werden, die sowohl im ersten Verlauf als auch im zweiten Verlauf vorhanden sind.

**[0036]** Diese Ausgestaltung der Erfindung macht sich die Erkenntnis zu Nutze, dass das Ereignis eines Passierens eines Rades am Achszählsensor vorbei zuverlässig als Maximum in dem Verlauf des Messsignals erkannt wird. Daher müssen diese Maxima auch in beiden gemessenen Verläufen der Messsignale vorkommen. Kommt ein Maximum nur in einem der beiden Verläufe der Messsignale vor, so ist der Rückschluss zulässig, dass es sich hierbei um ein Störsignal handelt, welches an sich nicht gezählt werden soll. Hier ist auch die Wahrscheinlichkeit gegeben, dass es sich um einen Manipulationsversuch handelt. Dieser kann vorteilhaft zuverlässig ausgegeben werden, in dem ein Warnsignal generiert wird.

**[0037]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass die Maxima in dem durch den ersten Achszählsensor erfassten ersten Verlauf und dem durch den zweiten Achszählsensor erfassten zweiten Verlauf verglichen werden und der Verlauf des Messsignals vor und hinter einem Maximum, der bei der dynamische Zeit-

normierung berücksichtigt werden soll, unter Berücksichtigung eines Zeitversatzes zwischen einem vergleichbaren Maximum des ersten Verlaufes und des zweiten Verlaufes bestimmt wird.

**[0038]** Werden in dem ersten Verlauf und dem zweiten Verlauf Maxima aufgefunden, die einander entsprechen, kann der aus diesen bestimmbare Zeitversatz vorteilhaft genutzt werden, um ein geschwindigkeitsabhängiges Maß für die zeitlichen Grenzen des bei der dynamischen Zeitnormierung zu berücksichtigenden Verlaufes zu bekommen. Hierdurch wird vorteilhaft sichergestellt, dass der Verlauf bei der dynamischen Zeitnormierung eine genügende Spannweite hat, um die zu beurteilenden Charakteristika für einen späteren Vergleich mit den Mustern zu enthalten. In der Konsequenz steigt die Zuverlässigkeit des Erkennungsverfahrens, weswegen auch Manipulationsversuche mit einer höheren Sicherheit erkannt werden können. Damit sinkt, wie bereits beschrieben, die Wahrscheinlichkeit, dass Fehler fälschlich als Manipulationen gedeutet werden und nach Ausgeben eines Warnsignals der Betrieb zum Stillstand kommt.

**[0039]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass der durch Amplitudennormierung und Zeitnormierung normierte Verlauf des Messsignals mit Mustern sowohl mindestens eines Verlaufes für das Messsignal bei Passieren eines einzelnen Rades als auch mindestens eines Verlaufes für das Messsignal bei Passieren von zwei Rädern eines Drehgestells verglichen wird.

**[0040]** Diese Ausgestaltung der Erfindung macht sich die Erkenntnis zu Nutze, dass die Doppelachse eines Drehgestells, also die beiden Räder, die den Achszählsensor in diesem Fall passieren, ein charakteristisches Muster mit zwei Maxima ergeben. Werden diese beiden Maxima als zum Drehgestell gehörig durch das DTW identifiziert, so kann eine Normierung mit Bezug auf dieses Doppelereignis erfolgen. Anschließend kann dieses mit dem zugehörigen Muster verglichen werden. Hierdurch wird eine weitere Steigerung der Zuverlässigkeit erzielt. Gleichzeitig ist ein solches Doppelsignal durch eine böswillige Manipulation schwieriger herzustellen, sodass die Wahrscheinlichkeit, dass ein Manipulationsversuch aufgedeckt wird, vorteilhaft steigt. Dies ist insbesondere im Personenverkehr von besonderer Bedeutung, wo durch eine Manipulation Menschenleben gefährdet werden. Im Personenverkehr sind allerdings fast ausschließlich Fahrzeuge mit Drehgestellen und Doppelachsen im Einsatz, sodass hier ein Zugewinn an Sicherheit erlangt werden kann.

**[0041]** Gemäß einer Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass ein Vergleichen mit Mustern eines Verlaufes für das Messsignal bei Passieren von zwei Rädern eines Drehgestells nur dann durchgeführt wird, wenn der zeitliche Versatz der Maxima in dem Verlauf des Messsignals einen in Abhängigkeit der Geschwindigkeit eines den Achszählsensor passierenden Fahrzeugs vorgegebenen Grenzwert nicht überschreitet.

**[0042]** Dieser Maßnahme liegt die Erkenntnis zugrun-

de, dass bei dem Passieren eines Drehgestells der Achszählsensor in kurzer Zeitfolge hintereinander zwei Maxima aufzeichnet. Mit anderen Worten kann ausgeschlossen werden, dass es sich um ein Drehgestell handelt, wenn die Maxima nicht innerhalb eines geschwindigkeitsabhängigen, für Drehgestelle charakteristischen Zeitintervalls gemessen werden. Dies bedeutet auch hinsichtlich der Erkennung von Manipulationen einen zusätzlichen Sicherheitsgewinn. Gelingt es bei der Manipulation nicht, dieses Kriterium zu erfüllen, so werden die Signale aus dem Manipulationsversuch gar nicht erst als Drehgestell erkannt. Der nachgelagerte Verfahrensschritt, dass aufgrund einer Fehlerkennung eine Warnmeldung ausgegeben werden muss, tritt somit gar nicht ein, was vorteilhaft den Betrieb des Schienenverkehrs mit weniger Störungen ermöglicht.

**[0043]** Um den Grenzwert vorgeben zu können, muss die Geschwindigkeit des Fahrzeugs, welches den Achszählsensor überquert, bekannt sein. Hierfür gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. Die Geschwindigkeit kann beispielsweise mittels eines anderen Sensors ermittelt und als Eingangsgröße in das Verfahren eingespeist werden. Beispielsweise kann die Geschwindigkeit im Fahrzeug gemessen werden und über Funk an einen Computer übertragen werden, der die Berechnungen des erfindungsgemäßen Verfahrens durchführt.

**[0044]** Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Geschwindigkeit aus dem Zusammenhang eines Musters von Maxima (entsprechend den Achszählpulsen) zu schätzen. Drehgestelle werden üblicherweise bei Fahrzeugen einer gewissen Länge verbaut, sodass Drehgestelle jeweils nah beieinanderliegende Maxima erzeugen und dann eine längere Pause (Passieren der Fahrzeugmitte) oder eine kürzere Pause (zwischen zwei gekoppelten Fahrzeugen) auftritt. Aus dem Verhältnis der Pausen lässt sich die Geschwindigkeit abschätzen und somit auch der geschwindigkeitsabhängige Grenzwert bestimmen.

**[0045]** Eine weitere Möglichkeit besteht darin, sogenannte Doppelachszähler zu verwenden, bei denen zwei Achszählsensoren in kurzer Folge verbaut sind. Da der Abstand der Achszählsensoren bekannt ist, kann durch eine Bestimmung des Zeitversatzes der durch dasselbe Rad in den beiden Achszählsensoren erzeugten Maxima auf die Geschwindigkeit geschlossen werden (hierzu im Folgenden noch mehr).

**[0046]** Gemäß einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass

- Geschwindigkeit unter Berücksichtigung von zwei Achsen eines den Achszähler (AZL) überquerenden Fahrzeugs oder von einer Achse des überquerenden Fahrzeugs, welche den ersten Achszählsensor (AZ1) und den zweiten Achszählsensor (AZ2) des Achszählers (AZL) überquert, berechnet wird,
- überprüft wird, ob die berechnete Geschwindigkeit in einem zulässigen Geschwindigkeitsintervall liegt,
- die Warnmeldung auch generiert wird, wenn die Ge-

schwindigkeit außerhalb des zulässigen Geschwindigkeitsintervalls liegt.

**[0047]** Hierdurch ist vorteilhaft eine zusätzliche Plausibilisierung der Achszählsignale möglich. Es ist nämlich sehr schwer, mehrere Signale nacheinander an einem Achszähler oder unterschiedlichen Achszählern so zu generieren, dass die manipulierten Signale einer Prüfung hinsichtlich der Geschwindigkeit des Zuges ebenfalls standhalten. Selbst, wenn also die Einzelsignale täuschend ähnlich sind, kann aus unwahrscheinlichen berechneten Geschwindigkeitswerten darauf geschlossen werden, dass ein Fehler oder Manipulationsversuch vorliegt.

**[0048]** Gemäß einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass

- aus der berechneten Geschwindigkeit von mehreren Achsen des Fahrzeugs die Beschleunigung des Fahrzeugs berechnet wird,
- überprüft wird, ob die berechnete Beschleunigung in einem zulässigen Beschleunigungsintervall liegt,
- die Warnmeldung auch generiert wird, wenn die Beschleunigung außerhalb des zulässigen Beschleunigungsintervalls liegt.

**[0049]** Das für die Geschwindigkeit oben Angegebene gilt insbesondere auch für die Beschleunigung. Werden mehrere Geschwindigkeiten des den Achszähler überquerenden Fahrzeuges gemessen, so kann aus einer Entwicklung der Geschwindigkeit während des Durchlaufens des Messverfahrens darauf geschlossen werden, ob der Zug beschleunigt, gebremst oder mit gleichbleibender Geschwindigkeit betrieben wird. Hierbei sind einerseits bestimmte Beschleunigungswerte aufgrund der Trägheit unwahrscheinlich. Zum anderen ist es aber auch unwahrscheinlich, wenn die Beschleunigung zwar innerhalb des Intervalls liegt, jedoch schnelle Sprünge in der zeitlichen Abfolge von Einzelmessungen festgestellt werden. Insbesondere wiederholte Sprünge zwischen positiven Beschleunigungswerten und negativen Beschleunigungswerten, welche eine Verzögerung beschreiben, lassen auf einen Fehler oder einen Manipulationsversuch schließen.

**[0050]** Gemäß einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass in dem Fall, dass keine Übereinstimmung zwischen dem das Maximum enthaltenden Verlauf mit einem der Muster festgestellt wird, ein das betreffende Messsignal repräsentierendes Fehlermuster erzeugt und gespeichert wird.

**[0051]** Durch diese Maßnahme ist es vorteilhaft möglich, dass der Achszähler mögliche Fehler und insbesondere auch Manipulationsversuche später wiedererkennt. Hierdurch kann (zukünftig) bereits durch Auswerten des ungewöhnlichen Messsignals ebenfalls mittels eines Mustervergleichs bestimmt werden, ob zusätzliche Informationen hinsichtlich der Art und Weise des Abweichens vom zu erwartenden Ergebnis bereits vorliegen. Im Ein-

zelen kann dieser Abgleich wie folgt vorgenommen werden.

**[0052]** Gemäß einer besonderen Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, dass in dem Fall, dass keine Übereinstimmung zwischen dem das Maximum enthaltenden Verlauf mit einem der Muster festgestellt wird,

- der das Maximum enthaltende Verlauf mit gespeicherten Fehlermustern verglichen wird,
- in dem Fall einer gefundenen Übereinstimmung zwischen dem das Maximum enthaltenden Verlauf mit einem der Fehlermuster ein Übereinstimmungsmeldung generiert wird.

**[0053]** Die Übereinstimmungsmeldung kann im weiteren Verlauf des Verfahrens in Verbindung mit dem betreffenden erkannten Fehlermuster verwendet werden, um vorteilhaft gezieltere Maßnahmen einzuleiten. Beispielsweise kann, wenn zuverlässig ein Manipulationsversuch aufgedeckt wurde, die Polizei oder Sicherheitspersonal eingeschaltet werden. Wenn zuverlässig ein Fehler aufgedeckt wurde, kann eine Wartungsmaßnahme durchgeführt werden oder Wartungspersonal zum betreffenden Achszähler entsandt werden.

**[0054]** Um den Betrieb des Achszählers zu verbessern und insbesondere auch Manipulationsversuche immer zuverlässiger aufdecken zu können, kann vorteilhaft künstliche Intelligenz angewendet werden, die ein maschinelles Lernen ermöglicht. Hierdurch wird die Mustererkennung sukzessive verbessert, wobei gleichzeitig auch das Erkennen von regulären Mustern (d. h. zulässige Achszählergebnisse beschreibende Muster) weiter verbessert werden kann.

**[0055]** Hierbei ist zu berücksichtigen, dass anders als bei typischen Fehlern, wie beispielsweise dem genannten Spießgang bei Doppelgestellten, eine Typisierung von Manipulationsversuchen in Form von Fehlermustern im Voraus nicht möglich ist, da noch nicht bekannt ist, mit welchen Mitteln böswillig die Manipulation erzeugt werden soll. Hier setzt die Erfindung an, indem ein maschinelles Lernen angewendet wird, damit das Verfahren sich sozusagen selbst aktualisieren kann und damit eine schnelle Anpassung an sich ändernde Manipulationsstrategien möglich wird.

**[0056]** Unter künstlicher Intelligenz (im Folgenden auch mit KI abgekürzt), auch Artificial Intelligence genannt, ist im Rahmen dieser Erfindung im engeren Sinne die Fähigkeit eines rechnergestützten maschinellen Lernens, auch Machine Learning genannt, (im Folgenden auch mit ML abgekürzt) zu verstehen. Es geht dabei um das statistische Lernen der Parametrisierung von Algorithmen, vorzugsweise für sehr komplexe Anwendungsfälle. Mittels ML erkennt und erlernt das System anhand von zuvor eingegebenen Lerndaten Muster und Gesetzmäßigkeiten bei den erfassten Prozessdaten. Mithilfe geeigneter Algorithmen können durch ML eigenständig Lösungen zu aufkommenden Problemstellungen gefunden werden. ML gliedert sich in drei Felder - überwachtes

Lernen, unüberwachtes Lernen und bestärkendes Lernen (Reinforcement Learning), mit spezifischeren Anwendungen, zum Beispiel Regression und Klassifikation, Strukturerkennung und -vorhersage, Datengenerierung (Sampling) oder autonomes Handeln.

**[0057]** Beim überwachten Lernen wird das System durch den Zusammenhang von Eingabe und zugehöriger Ausgabe bekannter Daten trainiert und erlernt auf diese Weise approximativ funktionale Zusammenhänge. Dabei kommt es auf die Verfügbarkeit geeigneter und ausreichender Daten an, denn wenn das System mit ungeeigneten (z.B. nicht-repräsentativen) Daten trainiert wird, so lernt es fehlerhafte funktionale Zusammenhänge. Beim unüberwachten Lernen wird das System ebenfalls mit Beispieldaten trainiert, jedoch nur mit Eingabedaten und ohne Zusammenhang zu einer bekannten Ausgabe. Es lernt, wie Datengruppen zu bilden und zu erweitern sind, was typisch für den betreffenden Anwendungsfall ist und wo Abweichungen bzw. Anomalien auftreten. Dadurch lassen sich Anwendungsfälle beschreiben und Fehlerzustände entdecken. Beim bestärkenden Lernen lernt das System durch Versuch und Irrtum, indem es zu gegebenen Problemstellungen Lösungen vorschlägt und über eine Feedbackfunktion eine positive oder negative Bewertung zu diesem Vorschlag erhält. Je nach Belohnungsmechanismus erlernt das KI-System, entsprechende Funktionen auszuführen.

**[0058]** Das maschinelle Lernen kann beispielsweise durch künstliche neuronale Netze (im Folgenden Artificial neural Network, kurz ANN genannt) durchgeführt werden. Künstliche neuronale Netze basieren meist auf der Vernetzung vieler Neuronen, beispielsweise McCulloch-Pitts-Neuronen oder leichter Abwandlungen davon. Grundsätzlich können auch andere künstliche Neuronen Anwendung in ANN finden, z. B. das High-Order-Neuron. Die Topologie eines Netzes (die Zuordnung von Verbindungen zu Knoten) muss abhängig von seiner Aufgabe bestimmt werden. Nach der Konstruktion eines Netzes folgt die Trainingsphase, in der das Netz "lernt". Dabei kann ein Netz beispielsweise durch folgende Methoden lernen:

Entwicklung neuer Verbindungen  
Löschen existierender Verbindungen  
Ändern der Gewichtung (der Gewichte von Neuron j zu Neuron i)  
Anpassen der Schwellenwerte der Neuronen, sofern diese Schwellenwerte besitzen  
Hinzufügen oder Löschen von Neuronen  
Modifikation von Aktivierungs-, Propagierungs- oder Ausgabefunktion

**[0059]** Außerdem verändert sich das Lernverhalten bei Veränderung der Aktivierungsfunktion der Neuronen oder der Lernrate des Netzes. Praktisch gesehen lernt ein ANN hauptsächlich durch Modifikation der Gewichte der Neuronen. Eine Anpassung des Schwellwertes kann hierbei durch ein Neuron miterledigt werden. Dadurch sind ANN in der Lage, komplizierte nichtlineare Funktio-

nen über einen Lernalgorithmus, der durch iterative oder rekursive Vorgehensweise aus vorhandenen Ein- und gewünschten Ausgangswerten alle Parameter der Funktion zu bestimmen versucht, zu erlernen. ANN sind dabei eine Realisierung des konnektionistischen Paradigmas, nach dem die Funktion aus vielen einfachen gleichartigen Teilen besteht. Erst in ihrer Summe wird das Verhalten komplex.

**[0060]** Des Weiteren wird ein Computerprogrammprodukt mit Programmbefehlen zur Durchführung des genannten erfindungsgemäßen Verfahrens und/oder dessen Ausführungsbeispielen beansprucht, wobei mittels des Computerprogrammprodukts jeweils das erfindungsgemäße Verfahren und/oder dessen Ausführungsbeispiele durchführbar sind.

**[0061]** Darüber hinaus wird eine Bereitstellungsvorrichtung zum Speichern und/oder Bereitstellen des Computerprogrammprodukts beansprucht. Die Bereitstellungsvorrichtung ist beispielsweise ein Speichereinheit, die das Computerprogrammprodukt speichert und/oder bereitstellt. Alternativ und/oder zusätzlich ist die Bereitstellungsvorrichtung beispielsweise ein Netzwerkdienst, ein Computersystem, ein Serversystem, insbesondere ein verteiltes, beispielsweise cloudbasiertes Computersystem und/oder virtuelles Rechnersystem, welches das Computerprogrammprodukt vorzugsweise in Form eines Datenstroms speichert und/oder bereitstellt.

**[0062]** Die Bereitstellung erfolgt in Form eines Programmdateiblocks als Datei, insbesondere als Downloaddatei, oder als Datenstrom, insbesondere als Downloaddatenstrom, des Computerprogrammprodukts. Diese Bereitstellung kann beispielsweise aber auch als partieller Download erfolgen, der aus mehreren Teilen besteht. Ein solches Computerprogrammprodukt wird beispielsweise unter Verwendung der Bereitstellungsvorrichtung in ein System eingelesen, sodass das erfindungsgemäße Verfahren auf einem Computer zur Ausführung gebracht wird.

**[0063]** Weitere Einzelheiten der Erfindung werden nachfolgend anhand der Zeichnung beschrieben. Gleiche oder sich entsprechende Zeichnungselemente sind jeweils mit den gleichen Bezugszeichen versehen und werden nur insoweit mehrfach erläutert, wie sich Unterschiede zwischen den einzelnen Figuren ergeben.

**[0064]** Bei den im Folgenden erläuterten Ausführungsbeispielen handelt es sich um bevorzugte Ausführungsformen der Erfindung. Bei den Ausführungsbeispielen stellen die beschriebenen Komponenten der Ausführungsformen jeweils einzelne, unabhängig voneinander zu betrachtende Merkmale der Erfindung dar, welche die Erfindung jeweils auch unabhängig voneinander weiterbilden und damit auch einzeln oder in einer anderen als der gezeigten Kombination als Bestandteil der Erfindung anzusehen sind. Des Weiteren sind die beschriebenen Komponenten auch durch mit den vorstehend beschriebenen Merkmalen der Erfindung kombinierbar.

**[0065]** Es zeigen:

Figur 1 ein Ausführungsbeispiel der erfindungsgemäßen Vorrichtung mit ihren Wirkzusammenhängen schematisch mit einer Computer-Infrastruktur als Blockschaltbild, wobei die einzelnen Funktionseinheiten Programmmodule enthalten, die jeweils in einem oder mehreren Prozessoren ablaufen können und die Schnittstellen demgemäß softwaretechnisch oder hardwaretechnisch ausgeführt sein können,

Figur 2 ein Ausführungsbeispiel des erfindungsgemäßen Verfahrens, wobei die einzelnen Verfahrensschritte einzeln oder in Gruppen durch Programmmodule verwirklicht sein können und wobei die Schnittstellen gemäß Figur 1 beispielhaft angedeutet sind.

**[0066]** In Figur 1 ist ein Fahrzeug FZ dargestellt, welches in einer Fahrtrichtung FR auf einem Gleis GL unterwegs ist. Das Fahrzeug FZ weist Drehgestelle DG, die jeweils mit zwei Achsen versehen sind. Diese werden in Figur 1 durch Räder RD angedeutet.

**[0067]** Sobald die Räder RD über einen Achszähler AZL, aufweisend einen ersten Achszählsensor AZ1 und einen zweiten Achszählsensor AZ2, passiert, wird ein Impuls im Verlauf des Messsignals U1, U2 (vgl. Figur 2) erzeugt (hierzu im Folgenden mehr).

**[0068]** Der Achszähler AZL ist mit einer Auswerteeinheit AE verbunden, die einen ersten Computer CP1 aufweist. Dieser Computer CP1 ist über eine sechste Schnittstelle S6 sowohl mit dem ersten Achszählsensor AZ1 als auch mit dem zweiten Achszählsensor AZ2 verbunden. Anstelle zweier Achszählsensoren kann auch ein einzelner Achszählsensor AZ zum Einsatz kommen, daher ist einer der beiden Achszählsensoren sowohl mit dem Bezugszeichen AZ als auch mit dem Bezugszeichen AZ1 bezeichnet.

**[0069]** In der Auswerteeinheit AE ist außerdem eine erste Speichereinrichtung SE1 untergebracht, die über eine fünfte Schnittstelle S5 mit dem ersten Computer CP1 verbunden ist. Diese enthält beispielsweise ein Programm zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens sowie eine Bibliothek mit verschiedenen Mustern M1, M2 (vgl. Figur 2), die für bestimmte zu messende Verläufe VL1, VL2, repräsentiert durch normierte Verläufe NV1, NV2, NV3 verwendet werden (vgl. Figur 2).

**[0070]** Weiterhin ist der erste Computer CP1 über eine dritte Schnittstelle S3 mit einem zweiten Computer CP2 in einer Leitzentrale LZ verbunden. Der zweite Computer CP2 ist überdies über eine vierte Schnittstelle S4 mit einer zweiten Speichereinrichtung SE2 verbunden. Die Leitzentrale steht stellvertretend für eine streckenseitige Einrichtung, wie ein Stellwerk oder ein automatisches Zugbeeinflussungssystem.

**[0071]** Das Fahrzeug FZ sowie die Leitzentrale LZ weisen Antennen AT auf, sodass diese über eine zweite Schnittstelle S2 miteinander kommunizieren können. Außerdem kann das Fahrzeug FZ über eine erste Schnitt-



stelle S1 mit einem Satelliten STL kommunizieren. Auf diese Weise ist beispielsweise eine Ortung des Fahrzeugs FZ möglich, wobei es sich bei dem Satelliten STL um einen Navigationssatelliten handelt.

**[0072]** Das erfindungsgemäße Verfahren weist Programmmodule auf, die wahlweise im ersten Computer CP1 oder im zweiten Computer CP2 ablaufen können. Dies hängt davon ab, wie "intelligent" die durch den Achszähler AZL und die Auswerteeinheit AE gebildete Anordnung zum Achszählen ausgebildet ist.

**[0073]** In Figur 2 ist der Ablauf des erfindungsgemäßen Verfahrens anhand eines Flussdiagramms dargestellt. Hierbei werden schematische Darstellungen der Signalverläufe gewählt, um die einzelnen Verfahrensschritte zu erläutern. Im oberen Teil der Figur 2 sind die Verläufe VL1 des ersten Achszählersensors AZ1 und VL2 des zweiten Achszählersensors AZ2 dargestellt. Zu diesem Zweck ist ein Diagramm gewählt, bei dem das Messsignal U1, U2 in Form einer Ausgangsspannung über die Zeit t dargestellt ist. Im unteren Teil von Figur 2 sind die nachfolgenden Verarbeitungsschritte einer Normierung mit dem Ergebnis normierter Verläufe NV1, NV2, NV3, NV4 sowie ein Vergleich mit Mustern M1, M2 dargestellt. Den Abgleich mit diesen Mustern beherrscht das Verfahren bereits im am Anfang des Verfahrensablaufes dieses Ausführungsbeispiels des Verfahrens. Der Abgleich kann wie beschrieben durch ein Machine Learning gefunden oder optimiert worden sein.

**[0074]** Bei den in Figur 2 dargestellten Verfahren wird, wie bereits erwähnt, der Achszähler AZL gemäß Figur 1 mit einem ersten Achszählersensor AZ1 und einem zweiten Achszählersensor AZ2 verwendet. Genauso vorstellbar ist die Verwendung eines Achszählers mit nur einem Achszählersensors AZ, wobei die Figur 2 ähnlich aussehen würde, d. h. das Diagramm des Verlaufs VL1 sowie die damit verbundenen Maßnahmen, angedeutet durch Pfeile, würden wegfallen.

**[0075]** Anhand des Verlaufs VL1 und des Verlaufs VL2 lässt sich zunächst erkennen, dass die Achszählersensoren AZ1, AZ2 mit einem lateralen Versatz in Fahrtrichtung im Gleis GL verbaut sind. Dies führt zu einem Zeitversatz ZVM vergleichbarer Maxima. Dies ist in Figur 2 angedeutet, indem das aufgrund des Durchgangs des ersten Rades RD des Drehgestells DG erzeugte erste Maximum M1 im ersten Verlauf VL1 und im zweiten Verlauf VL2 ausgewählt wurden.

**[0076]** Weiterhin ist in den Verläufen VL1, VL2 zu erkennen, dass es sich um eine Überfahrt von zwei Rädern (Achsen) eines Drehgestells handelt. Dies ist zu erkennen, da in den Verläufen VL1, VL2 neben dem zeitversetzten ersten Maximum M1 ein weiteres, ebenfalls um den Zeitversatz ZVM verschobenes zweites Maximum M2 zu erkennen ist, welches große Ähnlichkeit mit dem ersten Maximum M1 aufweist. Das erste Maximum M1 und das zweite Maximum M2 sind jeweils um einen Zeitversatz ZVR jeweils zwischen den Raddurchgängen voneinander entfernt. Dieser Zeitversatz ZVR entspricht gerade der Zeitdifferenz, die zwischen dem Raddurch-

gang des ersten Rades des Drehgestells DG und des zweiten Rades RD des Drehgestells DG liegt.

**[0077]** Aus dem Zeitversatz lässt sich eine Geschwindigkeit v des über den Achszähler überquerenden Fahrzeuges berechnen. Durch Ableitung der Geschwindigkeit v lässt sich auch auf die Beschleunigung a schließen. Dies ist jedoch nur möglich, wenn weitere Achszählimpulse von anderen Achsen des Fahrzeugs (die in Figur 2 nicht dargestellt sind) vorliegen.

**[0078]** Die berechneten Werte für die Geschwindigkeit v und die Beschleunigung a können in einem Plausibilisierungsschritt PL dahingehend untersucht werden, ob diese Werte für den überquerenden Fahrzeug überhaupt realistisch sind. Hierfür können beispielsweise ein Geschwindigkeitsintervall und ein Beschleunigungsintervall definiert werden, die auch fahrzeugspezifisch definiert sein können. In letzterem Falle müssen für die Auswahl der betreffenden Geschwindigkeitsintervalle und Beschleunigungsintervalle jedoch auch Daten aus der im Folgenden beschriebenen Mustererkennung hinzugezogen werden, die es ermöglichen, einen bestimmten Fahrzeugtyp zu identifizieren.

**[0079]** Wenn der Plausibilisierungsschritt PL ergibt, dass die Geschwindigkeit und/oder Beschleunigungswerte nicht plausibel sind, (also beispielsweise nicht in den betreffenden Geschwindigkeitsintervallen und Beschleunigungsintervallen liegen) wird eine Warnmeldung generiert und beispielsweise über ein Ausgabegerät ausgegeben.

**[0080]** Um die normierten Verläufe NV1, NV2, NV3, NV4 zu erzeugen, wird gemäß dem erfindungsgemäßen Verfahren in nicht näher dargestellter Weise eine Normierung N durchgeführt. Diese Normierung beinhaltet eine Amplitudennormierung des Messsignals U1, U2 auf einen Zielwert ZW, der im Ausführungsbeispiel gemäß Figur 2 bei 1 liegt. Außerdem wird eine dynamische Zeitnormierung durchgeführt, wobei der erste Verlauf VL1 bzw. der zweite Verlauf VL2 jeweils vor und hinter dem identifizierten Maximum M1, M2, M3 soweit betrachtet wird, dass der mit dem Maximum M1, M2, M3 verbundene Verlauf charakterisierbar ist (und mit Mustern MU1, MU2, MU3 verglichen werden kann, hierzu im Folgenden noch mehr). Dadurch entstehen die normierten Verläufe NV1, NV2, NV3, NV4 gleichsam in Zeitfenstern ZF1, ZF2, ZF3, die in ihrer zeitlichen Ausdehnung den Mustern MU1, MU2, MU3 entsprechen.

**[0081]** Wie zu erkennen ist, führt die Auswertung des ersten Maximums M1 zur Generierung des ersten normierten Verlaufs NV1 und die Auswertung des zweiten Maximums M2 zu einer Generierung des dritten normierten Verlaufs NV3. Weiterhin ist ein drittes Maximum M3 und eine viertes Maximum M4 sowohl im ersten Verlauf VL1 als auch im zweiten Verlauf VL2 zu erkennen, welches zur Generierung eines zweiten normierten Verlaufs NV2 und eines vierten normierten Verlaufes NV4 führt.

**[0082]** Im letzten Schritt erfolgt ein Mustervergleich der normierten Verläufe NV1, NV2, NV3. Hierbei ergibt sich, dass der erste normierte Verlauf NV1 und der dritte nor-

mierte Verlauf NV3 jeweils mit dem ersten Muster MU1 übereinstimmt, welcher einen Raddurchlauf repräsentiert. Dies führt zu einem Zählergebnis von 2. Der zweite normierte Verlauf NV2 wird mittels des zweiten Musters MU2 identifiziert, welches einen Spießgang repräsentiert. Daher wird der normierte Verlauf NV2 von einer Zählung ausgeschlossen (angedeutet mit einem X). Ansonsten wird in dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 2 keine Warnmeldung erzeugt, da der aufgetretene Fehler zuverlässig erkannt wurde als ein Phänomen, welches bei Drehgestellen unter bestimmten Bedingungen auftreten kann. Daher ist kein Handlungsbedarf erforderlich.

**[0083]** Anders als das erste Muster MU1 und das zweite Muster MU2 existiert das Fehlermuster MU3 vor dem Auftreten des vierten Messsignals M4 noch nicht. Nachdem das normierte Messsignal M4 nach dem ersten Auftreten nicht erkannt werden konnte, wird bei seinem erstmaligen Auftreten eine Warnmeldung WM generiert und ausgegeben.

**[0084]** Gleichzeitig wird das Messsignal abgespeichert und im weiteren Verlauf des Verfahrens ein maschinelles Lernen ML angewendet. Hierbei können Verwandtschaften zu vergleichbaren Vorfällen, d. h. erneuter Generierung eines Messsignals mit der Charakteristik des vierten Messsignals M4 festgestellt werden. Diese Feststellungen tragen als Ergebnis des maschinellen Lernens dazu bei, dass ein Fehlermuster MU3 generiert wird und nach Generierung dieses Fehlermusters auch der normierte Verlauf des vierten Messsignals wiedererkannt werden kann. In diesen Fällen wird durch Erkennung des Fehlermusters MU3 eine Warnmeldung WM und eine Übereinstimmungsmeldung UM generiert, wobei Letztere an zusätzliche spezifische Maßnahmen in Abhängigkeit des erkannten Fehlermusters MU3 gekoppelt ist.

**[0085]** Handelt es sich um einen durch das Fehlermuster MU3 bekannten Manipulationsversuch können beispielsweise andere Maßnahmen eingeleitet werden, als wenn es sich um das Auftreten eines durch das Muster MU3 bekannten Fehlers handelt (wie bereits beschrieben wurde).

**[0086]** In Figur 2 ist angedeutet, dass das Muster MU1 das zweite Muster MU2 und das dritte Muster MU3 einen schraffiert gekennzeichneten Vertrauensbereich aufweist, der hinsichtlich der normierten Verläufe NV1, NV2, NV3 gewisse Schwankungen zulässt. Dies trägt dem Umstand Rechnung, dass die gemessenen Verläufe VL1, VL2 gewissen Toleranzschwankungen unterliegen. Neben einer Messtoleranz ist auch zu berücksichtigen, dass unterschiedliche Fahrzeuge unterschiedliche Messsignale erzeugen, die z. B. von Gegebenheiten wie dem Radverschleiß des Fahrzeugs abhängig sind.

Bezugszeichenliste

**[0087]**

LZ	Leitzentrale
FZ	Fahrzeug
DG	Drehgestell
RD	Rad
5 FR	Fahrtrichtung
GL	Gleis
AT	Antenne
STL	Satellit
AZL	Achszähler
10 AZ, AZ1, AZ2	Achszählsensor
AE	Auswerteeinheit
CP1 ... CP2	Computer
SE1 ... SE2	Speichereinrichtung
S1 ... S5	Schnittstelle
15 VL1 ... VL2	Verlauf
M1 ... M4	Maximum
NV1 ... NV4	normierter Verlauf
ZF1 ... ZF4	Zeitfenster
20 U1 ... U2	Messsignal
MU1 ... MU3	Muster
N	Normierung
ZW	Zielwert
ZVM	Zeitersatz zwischen vergleichbaren Ma-
25 ZVR	xima
2	Zeitversatz zwischen Raddurchgängen
X	Zählergebnis
30 v	Ausschluss
a	Geschwindigkeit des Fahrzeugs
PL	Beschleunigung des Fahrzeugs
WM	Plausibilisierungsschritt
ML	Warnmeldung
35	maschineller Lernschritt

## Patentansprüche

### 1. Verfahren zum Zählen von Achsen, bei dem

- ein an einem Gleis (GL) montierter Achszählsensor (AZ, AZ1, AZ2) von einem Rad (RD) passiert wird,
- der Achszählsensor (AZ, AZ1, AZ2) ein Messsignal (U1 ... U2) erzeugt,
- der Verlauf (VL1 ... VL2) des Messsignals (U1 ... U2) rechnergestützt ausgewertet wird, wobei das Rad (RD) identifiziert wird,
- bei dem Auswerten des Messsignals (U1 ... U2) in dem Verlauf (VL1 ... VL2) des Messsignals (U1 ... U2) nach mindestens einer Überschreitung eines vorgegebenen Schwellwertes oder einem Maximum (M1 ... M4) der Amplitude des Messsignals (U1 ... U2) gesucht wird,
- der das Maximum enthaltende Verlauf (NV1 ... NV2) des Messsignals (U1 ... U2) mit Mustern (MU1 ... MU2) mindestens eines Verlaufes (VL1 ... VL2) für das Messsignal (U1 ... U2) bei

Passieren eines Rades (RD) verglichen wird,  
 • in dem Fall einer gefundenen Übereinstimmung zwischen dem das Maximum enthalten-  
 den Verlaufes mit einem der Muster eine Achse  
 gezählt wird,

5

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** in dem Fall, dass keine Übereinstimmung zwi-  
 schen dem das Maximum enthaltenden Verlauf mit  
 einem der Muster (MU1 ... MU3) festgestellt wird,  
 eine Warnmeldung (WM) generiert wird.

10

## 2. Verfahren nach Anspruch 1

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** bei dem Auswerten des Messsignals  
 (U1 ... U2)

15

- die Amplitude des Messsignals (U1 ... U2)  
 bei einer Amplitudennormierung derart nor-  
 miert wird, dass das Maximum (M1 ... M4)  
 mit einem vorgegebenen Zielwert (ZW)  
 identisch ist,
- für den Verlauf (VL1 ... VL2) des Messsi-  
 gnals (U1 ... U2) vor und hinter dem Maxi-  
 mum (M1 ... M4) eine dynamische Zeitnor-  
 mierung durchgeführt wird,

20

wobei der durch Amplitudennormierung und  
 Zeitnormierung normierte Verlauf (NV1 ... NV2)  
 des Messsignals (U1 ... U2) mit Mustern  
 (MU1 ... MU3) mindestens eines ebenfalls nor-  
 mierten Verlaufes (VL1 ... VL2) für das Messsi-  
 gnal (U1 ... U2) bei Passieren eines Rades (RD)  
 verglichen wird.

30

35

## 3. Verfahren nach Anspruch 2,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** der durch Amplitudennormierung und Zeitnor-  
 mierung normierte Verlauf (NV1 ... NV4) des Mess-  
 signals (U1 ... U2) auch mit Mustern (MU1 ... MU3)  
 mindestens eines Verlaufes (VL1 ... VL2) für das  
 Messsignal (U1 ... U2) bei Auftreten eines Fehlers  
 verglichen wird.

40

## 4. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprü- che,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** der durch Amplitudennormierung und Zeitnor-  
 mierung normierte Verlauf (NV1 ... NV2) des Mess-  
 signals (U1 ... U2) mit zumindest einem Muster  
 (MU1 ... MU2) eines Verlaufes (VL1 ... VL2) für das  
 Messsignal (U1 ... U2) bei Auftreten eines bei der  
 Kurvenfahrt von Drehgestellen (DG) auftretenden  
 Spießgangs verglichen wird.

50

55

## 5. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprü- che,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** ein Achszähler (AZL) verwendet wird, der in  
 Fahrtrichtung (FR) hintereinander angeordnet einen  
 ersten Achszählsensor (AZ1) und einen zweiten  
 Achszählsensor (AZ2) aufweist, wobei das Verfah-  
 ren nacheinander für den ersten Achszählsensor  
 (AZ1) und den zweiten Achszählsensor (AZ2) durch-  
 laufen wird.

## 6. Verfahren nach Anspruch 5,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** die Maxima in dem durch den ersten Achs-  
 zählsensor (AZ1) erfassten ersten Verlauf (VL1) und  
 dem durch den zweiten Achszählsensor (AZ2) er-  
 fassten zweiten Verlauf (VL2) verglichen werden  
 und nur diejenigen Maxima in dem durch Amplitu-  
 dennormierung und Zeitnormierung normierten ers-  
 ten Verlauf (VL1) und zweiten Verlauf (VL2) des  
 Messsignals (U1 ... U2) mit Mustern (MU1 ... MU2)  
 verglichen werden, die sowohl im ersten Verlauf  
 (VL1) als auch im zweiten Verlauf (VL2) vorhanden  
 sind.

15

## 7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass** die Maxima in dem durch den ersten Achs-  
 zählsensor (AZ1) erfassten ersten Verlauf (VL1) und  
 den durch den zweiten Achszählsensor (AZ2) er-  
 fassten zweiten Verlauf (VL2) verglichen werden  
 und der Verlauf (VL1 ... VL2) des Messsignals (U1 ...  
 U2) vor und hinter einem Maximum (M1 ... M4), der  
 bei der dynamischen Zeitnormierung berücksichtigt  
 werden soll, unter Berücksichtigung eines Zeitver-  
 satzes zwischen einem vergleichbaren Maximum  
 (M1 ... M4) des ersten Verlaufes (VL1) und des zwei-  
 ten Verlaufes (VL2) bestimmt wird.

25

30

35

## 8. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprü- che,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass**

- Geschwindigkeit unter Berücksichtigung von  
 zwei Achsen eines den Achszähler (AZL) über-  
 querenden Fahrzeugs oder von einer Achse des  
 überquerenden Fahrzeugs, welche den ersten  
 Achszählsensor (AZ1) und den zweiten Achs-  
 zählsensor (AZ2) des Achszählers (AZL) über-  
 quert, berechnet wird,
- überprüft wird, ob die berechnete Geschwin-  
 digkeit (v) in einem zulässigen Geschwindig-  
 keitsintervall liegt,
- die Warnmeldung (WM) auch generiert wird,  
 wenn die Geschwindigkeit außerhalb des zuläs-  
 sigen Geschwindigkeitsintervalls liegt.

40

## 9. Verfahren nach Anspruch 8,

**dadurch gekennzeichnet,**

**dass**

- aus der berechneten Geschwindigkeit von mehreren Achsen des Fahrzeugs die Beschleunigung (a) des Fahrzeugs berechnet wird, 5
- überprüft wird, ob die berechnete Beschleunigung in einem zulässigen Beschleunigungsintervall liegt,
- die Warnmeldung (WM) auch generiert wird, wenn die Beschleunigung außerhalb des zulässigen Beschleunigungsintervalls liegt. 10

10. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, 15
- dadurch gekennzeichnet,**
- dass** in dem Fall, dass keine Übereinstimmung zwischen dem das Maximum enthaltenden Verlauf mit einem der Muster (MU1 ... MU2) festgestellt wird, ein das betreffende Messsignal repräsentierendes Fehlermuster (MU3) erzeugt und gespeichert wird. 20
11. Verfahren nach einem der voranstehenden Ansprüche, 25
- dadurch gekennzeichnet,**
- dass** in dem Fall, dass keine Übereinstimmung zwischen dem das Maximum enthaltenden Verlauf mit einem der Muster (MU1 ... MU2) festgestellt wird, 30
- der das Maximum enthaltende Verlauf mit gespeicherten Fehlermustern (MU3) verglichen wird, 30
  - in dem Fall einer gefundenen Übereinstimmung zwischen dem das Maximum enthaltenden Verlauf mit einem der Fehlermuster ein Übereinstimmungsmeldung (UM) generiert wird. 35
12. Computerprogrammprodukt mit Programmbefehlen zur Durchführung des Verfahrens nach einem der Ansprüche 1 - 7. 40
13. Bereitstellungsvorrichtung für das Computerprogrammprodukt nach dem letzten voranstehenden Anspruch, wobei die Bereitstellungsvorrichtung das Computerprogrammprodukt speichert und/oder bereitstellt. 45

50

55

FIG 1

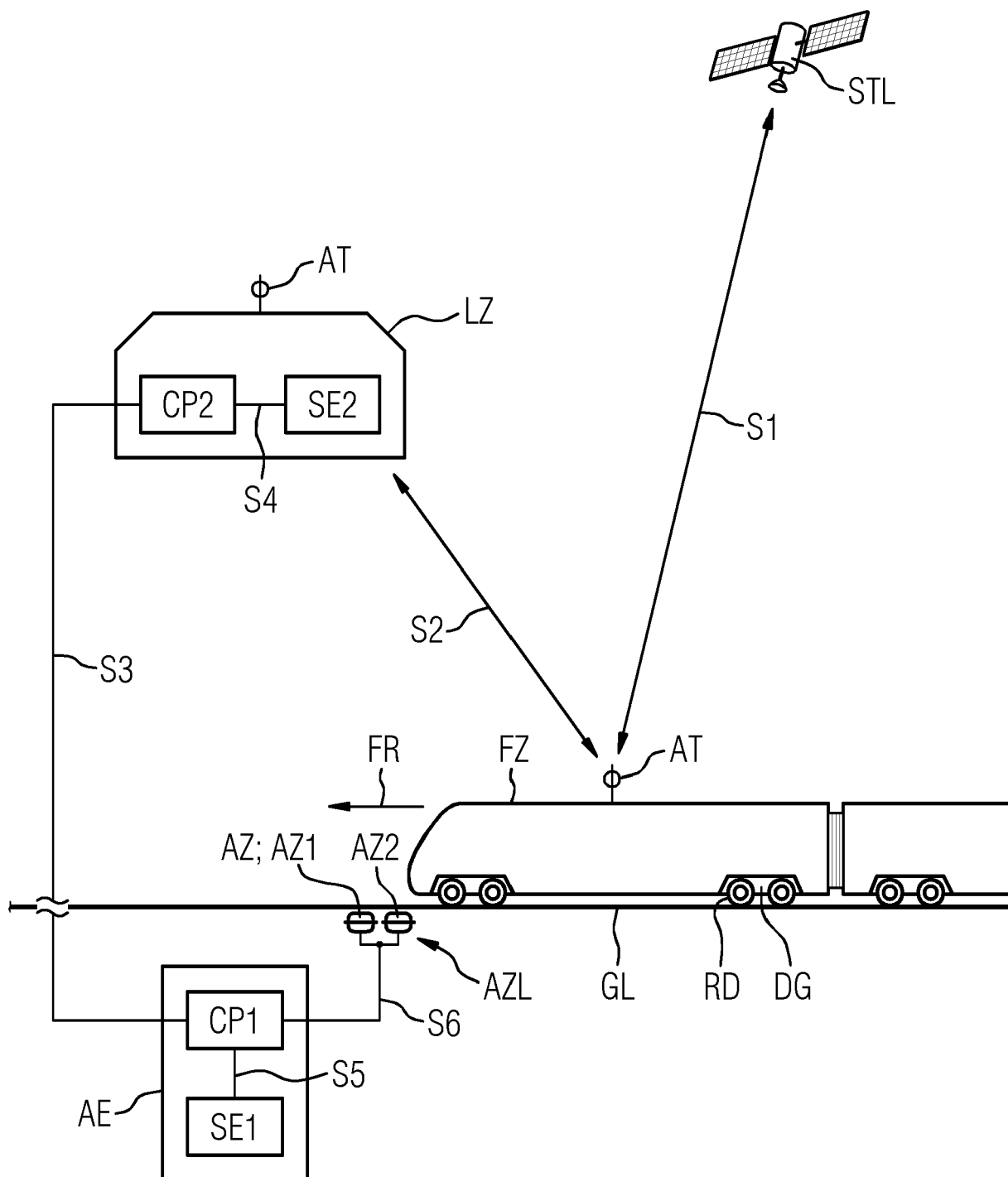
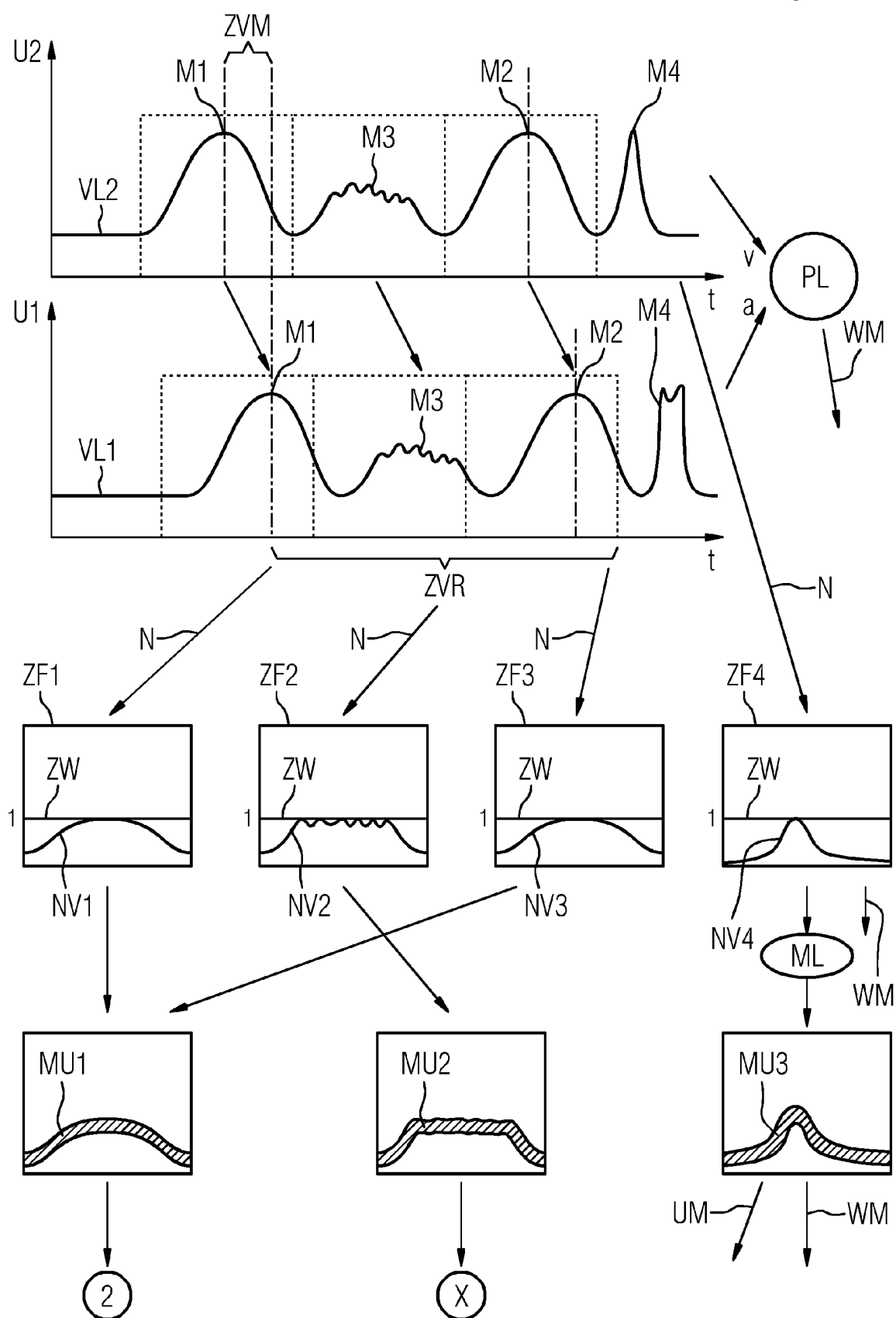


FIG 2





## EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 23 17 1526

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

1

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)
Y	EP 4 124 539 A1 (SIEMENS MOBILITY GMBH [DE]) 1. Februar 2023 (2023-02-01) * Absätze [0008], [0062]; Ansprüche 1, 4, 5, 6, 7; Abbildung 2 *	1-13	INV. B61L1/16 B61L25/02
Y	US 10 144 439 B2 (THALES DEUTSCHLAND GMBH [DE]) 4. Dezember 2018 (2018-12-04) * Spalte 3, Zeile 56 - Zeile 64 *	1-13	
Y	US 7 890 223 B1 (YOUNG RALPH [US]) 15. Februar 2011 (2011-02-15) * Anspruch 4 *	8,9	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B61L
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort <b>München</b>		Abschlußdatum der Recherche <b>3. August 2023</b>	Prüfer <b>Amidjee, Samir</b>
KATEGORIE DER GENANNTEN DOKUMENTE X : von besonderer Bedeutung allein betrachtet Y : von besonderer Bedeutung in Verbindung mit einer anderen Veröffentlichung derselben Kategorie A : technologischer Hintergrund O : nichtschriftliche Offenbarung P : Zwischenliteratur		T : der Erfindung zugrunde liegende Theorien oder Grundsätze E : älteres Patentdokument, das jedoch erst am oder nach dem Anmeldedatum veröffentlicht worden ist D : in der Anmeldung angeführtes Dokument L : aus anderen Gründen angeführtes Dokument ..... & : Mitglied der gleichen Patentfamilie, übereinstimmendes Dokument	

**ANHANG ZUM EUROPÄISCHEN RECHERCHENBERICHT  
 ÜBER DIE EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG NR.**

EP 23 17 1526

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.

03-08-2023

Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
<b>EP 4124539 A1</b>	<b>01-02-2023</b>	<b>AU 2022209303 A1</b>	<b>16-02-2023</b>
		<b>CN 115675568 A</b>	<b>03-02-2023</b>
		<b>EP 4124539 A1</b>	<b>01-02-2023</b>
<b>US 10144439 B2</b>	<b>04-12-2018</b>	<b>AU 2015208353 A1</b>	<b>21-07-2016</b>
		<b>AU 2019261670 A1</b>	<b>28-11-2019</b>
		<b>CN 106029466 A</b>	<b>12-10-2016</b>
		<b>DK 2899093 T3</b>	<b>13-08-2018</b>
		<b>EP 2899093 A1</b>	<b>29-07-2015</b>
		<b>ES 2674936 T3</b>	<b>05-07-2018</b>
		<b>KR 20160113173 A</b>	<b>28-09-2016</b>
		<b>KR 20190095554 A</b>	<b>14-08-2019</b>
		<b>PL 2899093 T3</b>	<b>30-11-2018</b>
		<b>PT 2899093 T</b>	<b>18-10-2018</b>
		<b>US 2016332644 A1</b>	<b>17-11-2016</b>
		<b>WO 2015110371 A1</b>	<b>30-07-2015</b>
<b>US 7890223 B1</b>	<b>15-02-2011</b>	<b>KEINE</b>	

EPO FORM P0461

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



**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 4124539 A1 [0003]

**In der Beschreibung aufgeführte Nicht-Patentliteratur**

- **CLAUS BAHLMANN et al.** *IEEE TRANSACTIONS ON PATTERN ANALYSIS AND MACHINE INTELLIGENCE*, März 2004, vol. 26 (3 [0003]