

(19)



(11)

EP 3 974 285 A1

(12)

EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:
30.03.2022 Patentblatt 2022/13

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B61L 15/00 ^(2006.01) **B61L 27/16** ^(2022.01)
B60W 50/00 ^(2006.01)

(21) Anmeldenummer: **21195718.8**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B61L 27/16; B60W 50/00; B61L 15/0072

(22) Anmeldetag: **09.09.2021**

(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 MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR
Benannte Erstreckungsstaaten:
BA ME
Benannte Validierungsstaaten:
KH MA MD TN

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

(72) Erfinder:
• **Hannemann, Philip**
91341 Röttenbach (DE)
• **Probst, Sebastian**
90408 Nürnberg (DE)

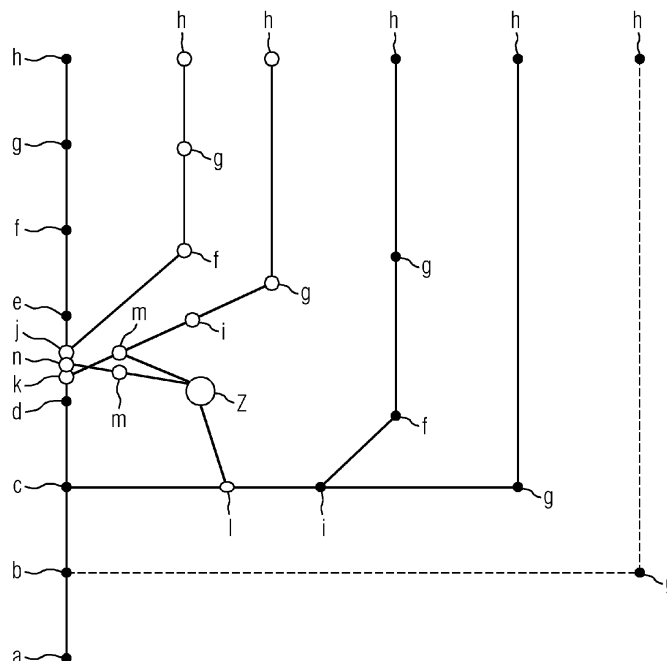
(30) Priorität: **28.09.2020 DE 102020212167**

(54) **VERFAHREN ZUM ERMITTELN EINER ENERGIESPARENDEN FAHRWEISE EINES SCHIENENFAHRZEUGS**

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Ermitteln einer energiesparenden Fahrweise für eine Fahrt eines Fahrzeugs, insbesondere eines Schienenfahrzeugs, auf einer zu befahrenden Strecke zwischen einem Startpunkt und einem Zielpunkt unter Einhaltung einer vorgegebenen maximalen Fahrtzeit. Dabei wird eine Ausgangsfahrweise in Form von Geschwindigkeitswerten über einem jeweiligen Ort gemäß einer Bestimmungsvorgabe ermittelt, wobei die Ausgangsfahrweise durch einen Ausgangsgraphen bildende Ausgangsknoten und Ausgangskanten beschrieben wird. Auf Basis des Aus-

gangsgraphen wird ein ergänzter Graph gebildet, indem zu den Ausgangskanten weitere Kanten hinzugefügt werden, wobei der ergänzte Graph zu der Ausgangsfahrweise alternative Fahrweisen definiert. Anschließend wird geprüft, welche der alternativen Fahrweisen die vorgegebene maximale Fahrtzeit einhalten und auf Basis des ergänzten Graphen ein Baum erzeugt, der die möglichen Fahrweisen unter Einhaltung der maximalen Fahrtzeit beschreibt. Auf Basis des Baums wird diejenige Fahrweise ausgewählt, die einen geringsten Energieverbrauch für die Fahrt benötigt.

FIG 8

**EP 3 974 285 A1**

Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zum Ermitteln einer energiesparenden Fahrweise für eine Fahrt eines Schienenfahrzeugs auf einer zu befahrenden Strecke zwischen einem Startpunkt und einem Zielpunkt unter Einhaltung einer vorgegebenen maximalen Fahrzeit.

[0002] Zur Optimierung der Fahrweise von Schienenfahrzeugen werden zunehmend Fahrerassistenzsysteme eingesetzt. Ziel der Optimierung ist häufig eine Reduktion des Energieverbrauchs und/oder Verbesserung der Pünktlichkeit. Die besten Resultate werden bislang erzielt, indem bei Schienenfahrzeugen die Fahrt unter Einbeziehung von Strecken-, Fahrplan- und Fahrzeugdaten simuliert wird. Für die Optimierung ist es dabei vorteilhaft, viele derartige Simulationen mit verschiedenen Fahrweisen durchzuführen, um darunter energiesparende Fahrweisen zu finden, die das Ziel pünktlich erreichen. Damit ist jedoch in der Regel ein sehr hoher Rechenaufwand verbunden, da gute Ergebnisse nur erzielt werden, wenn möglichst viele Parameter berücksichtigt werden.

[0003] Eine weitere Herausforderung besteht darin, dass während der Fahrt Abweichungen von der vorausgerechneten Fahrweise auftreten können. Diese können betrieblicher Natur sein, teilweise auf Nichtbeachtung der Fahrempfehlungen durch den Fahrzeugführer beruhen und/oder durch falsche oder unberücksichtigte Parameter (z.B. Wind) hervorgerufen werden.

[0004] Vorbekannte Systeme in Schienenfahrzeugen reagieren auf Veränderungen bzw. plötzlich auftretende Ereignisse üblicherweise mit einer vollständigen Neuberechnung hinsichtlich einer Optimierung der Fahrweise für die noch zu befahrende Strecke. Eine solche Neuberechnung erfordert aufgrund der in Schienenfahrzeug installierten Rechner-Hardware, welche vorwiegend hinsichtlich ihrer Robustheit und weniger hinsichtlich einer möglichst hohen Rechengeschwindigkeit ausgewählt wird sowie über viele Jahre eingesetzt wird, jedoch nachteilig einen langen Zeitraum von bis zu einigen Minuten.

[0005] Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Ermitteln einer energiesparenden Fahrweise anzugeben, das einfach und schnell durchführbar ist.

[0006] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch ein Verfahren mit den Merkmalen gemäß Patentanspruch 1 gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Verfahrens sind in abhängigen Patentansprüchen angegeben.

[0007] Danach ist erfindungsgemäß vorgesehen, dass eine Ausgangsfahrweise in Form von Geschwindigkeitswerten über dem jeweiligen Ort ermittelt wird gemäß einer Bestimmungsvorgabe für die Ausgangsfahrweise, die Ausgangsfahrweise durch einen Ausgangsgraphen beschrieben wird, der durch Ausgangsknoten und Ausgangskanten im Sinne der mathematischen Graphentheorie beschrieben wird, wobei jede der Ausgangskanten

jeweils zwei in der zeitlichen Abfolge aufeinanderfolgende Ausgangsknoten verbindet, auf Basis des Ausgangsgraphen ein ergänzter Graph gebildet wird, indem zu den Ausgangskanten des Ausgangsgraphen weitere Kanten hinzugefügt werden, wobei jede der hinzugefügten Kanten jeweils zwei Knoten verbindet, die im Ausgangsgraphen unverbunden sind oder von denen zumindest einer dort nicht vorhanden ist, wobei der ergänzte Graph durch die hinzugefügten weiteren Kanten zu der Ausgangsfahrweise alternative Fahrweisen definiert, geprüft wird, welche der alternativen Fahrweisen die vorgegebene maximale Fahrzeit einhalten und auf der Basis des ergänzten Graphen ein Baum erzeugt wird, der die möglichen Fahrweisen unter Einhaltung der maximalen Fahrzeit beschreibt, und auf Basis des Baums diejenige Fahrweise ausgewählt und als die zu ermittelnde energiesparende Fahrweise angesehen wird, die den geringsten Energieverbrauch für die Fahrt benötigt, wobei jeder der Knoten jeweils einen Ort des Fahrzeugs und die Geschwindigkeit des Fahrzeugs an diesem Ort definiert und wobei jede der Kanten jeweils eine Fahrstrategie aus einer vorgegebenen endlichen Anzahl an zulässigen Fahrstrategien den Energieverbrauch für die Fahrt zwischen den durch die jeweilige Kante verbundenen Knoten und eine Zeit für die Fahrt zwischen den durch die jeweilige Kante verbundenen Knoten beschreibt.

[0008] Ein wesentlicher Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass sich nach der erfindungsgemäß vorgesehenen Überführung der Ausgangsfahrweise in einen Ausgangsgraphen sehr einfach beispielsweise Heuristiken anwenden lassen, um den Ausgangsgraphen zu ergänzen und sinnvolle alternative Fahrweisen bzw. Ersatzfahrweisen zu ermitteln. Der so erstellte ergänzte Graph definiert anschließend eine Vielzahl an Fahrweisen und beschreibt diese in rechnermäßig einfach handhabbarer Form. Nach der Ermittlung des ergänzten Graphen kann beispielsweise allein auf diesen zurückgegriffen werden, sei es zur Bestimmung einer energiesparenden und fahrplangerechten Fahrweise vor Beginn der Fahrt, aber auch später während der Fahrt, indem Kanten, seien es Ausgangskanten, Hilfskanten oder sonstige Kanten des ergänzten Graphen, die zum Zeitpunkt der Erstellung des ergänzten Graphen berechnet wurden, hinsichtlich ihrer Kanteneigenschaften ausgelesen und berücksichtigt werden.

[0009] Vorteilhaft ist es, wenn die Bestimmungsvorgabe für die Ausgangsfahrweise eine schnellstmögliche Fahrweise zwischen dem Startpunkt und dem Zielpunkt festlegt.

[0010] Vorzugsweise werden als weitere Kanten Hilfskanten erster Art hinzugefügt, die jeweils zwei Ausgangsknoten verbinden, die im Ausgangsgraphen nicht unmittelbar miteinander verbunden sind.

[0011] Bei der Bildung des ergänzten Graphen werden vorzugsweise Hilfsknoten erster Art als weitere Knoten hinzugefügt, indem ausgewählte Ausgangsknoten jeweils mittels einer Hilfskante zweiter Art mit einem Zwischenpunkt auf einer der Hilfskanten erster Art oder mit

einem Zwischenpunkt auf einer der Ausgangskanten, mit der sie vorher nicht verbunden waren, verbunden werden.

[0012] Die ausgewählten Ausgangsknoten, die mit einem Zwischenpunkt auf einer der Hilfskanten erster Art oder einem Zwischenpunkt auf einer der Ausgangskanten verbunden werden, sind vorzugsweise solche auf einer Fahrkurve des Ausgangsgraphen.

[0013] Jeder der Zwischenpunkte bildet vorzugsweise jeweils einen der Hilfsknoten erster Art, und jede der Hilfskanten zweiter Art definiert vorzugsweise eine andere Fahrstrategie als die den Zwischenpunkt aufweisende Kante. Durch die hinzugefügten Hilfskanten zweiter Art definiert der ergänzte Graph vorzugsweise zu der Ausgangsfahrweise weitere alternative Fahrweisen.

[0014] Vorteilhaft ist es, wenn geprüft wird, welche der weiteren alternativen Fahrweisen die vorgegebene maximale Fahrtzeit einhalten und der Baum unter Einbezug derjenigen weiteren alternativen Fahrweisen gebildet wird, die die maximale Fahrtzeit einhalten.

[0015] Besonders vorteilhaft ist es, wenn bei der Bildung des ergänzten Graphen noch andere zusätzliche Hilfsknoten und noch andere zusätzliche Hilfskanten gemäß weiteren Ergänzungsvorgaben hinzugefügt werden, wodurch noch weitere alternative Fahrweisen definiert werden.

[0016] Im letztgenannten Falle ist es vorteilhaft, wenn geprüft wird, welche der noch weiteren alternativen Fahrweisen die vorgegebene maximale Fahrtzeit einhalten und der Baum unter Einbezug auch derjenigen noch weiteren alternativen Fahrweisen gebildet wird, die die maximale Fahrtzeit einhalten.

[0017] Alle Kanten, insbesondere Ausgangskanten, Hilfskanten erster und, falls vorhanden, zweiter Art beschreiben vorzugsweise jeweils eine Fahrstrategie aus der vorgegebenen endlichen Anzahl an zulässigen Fahrstrategien, den Energieverbrauch für die Fahrt zwischen den durch die jeweilige Kante verbundenen Knoten und die Zeit für die Fahrt zwischen den durch die jeweilige Kante verbundenen Knoten.

[0018] Besonders vorteilhaft ist es, wenn alle Kanten egal welcher Kantenart eine identische Datenstruktur aufweisen.

[0019] Für die Kanten des Ausgangsgraphen und des ergänzten Graphen sind als zulässige Fahrstrategien vorzugsweise jeweils ein Beschleunigen mit zumindest einer vorgegebenen Beschleunigung, ein Halten einer Geschwindigkeit, ein Rollen und/oder ein Bremsen vorgesehen.

[0020] Bei einer bevorzugten Ausgestaltung des Verfahrens ist vorgesehen, dass die Hilfskanten erster Art als Fahrstrategie stets ein Halten der Geschwindigkeit definieren.

[0021] Alternativ oder zusätzlich kann in vorteilhafter Weise vorgesehen sein, dass die Hilfskanten zweiter Art als Fahrstrategie stets ein Rollen definieren.

[0022] Die Erfindung bezieht sich außerdem auf ein Verfahren zum Betreiben eines Fahrzeugs bei einer

Fahrt auf einer zu befahrenden Strecke zwischen einem Startpunkt und einem Zielpunkt unter Einhaltung einer vorgegebenen maximalen Fahrtzeit.

[0023] Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass auf Basis eines ergänzten Graphen und eines Baums, welche nach einem vorstehend beschriebenen Verfahren gebildet worden sind, und auf Basis einer ermittelten energiesparenden Fahrweise das Fahrzeug betrieben wird, geprüft wird, ob die tatsächliche Fahrweise der ermittelten energiesparenden Fahrweise entspricht und im Falle von Abweichungen auf der Basis des ergänzten Graphen geprüft wird, welche der dort definierten Fahrweisen noch anwendbar sind, um den Zielpunkt unter Einhaltung der vorgegebenen maximalen Fahrtzeit zu erreichen, und von den anwendbaren Fahrweisen mittels des Baums eine energiesparendste Ersatzfahrweise bestimmt wird, und das Fahrzeug gemäß der energiesparendsten Ersatzfahrweise betrieben wird.

[0024] Bezüglich der Vorteile und vorteilhafter Ausgestaltungen des Verfahrens zum Betreiben eines Fahrzeugs sei auf die obigen Ausführungen im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren zum Ermitteln einer energiesparenden Fahrweise und dessen vorteilhafter Ausgestaltungen verwiesen.

[0025] Die Erfindung bezieht sich außerdem auf ein Fahrzeug, insbesondere Schienenfahrzeug. Erfindungsgemäß ist vorgesehen, dass das Fahrzeug mit einer Ermittlungseinrichtung ausgestattet ist, welche dazu ausgestaltet ist, ein Verfahren entsprechend der vorstehenden Beschreibung durchzuführen.

[0026] Bezüglich der Vorteile und vorteilhafter Ausgestaltungen des erfindungsgemäßen Fahrzeugs sei auf die obigen Ausführungen im Zusammenhang mit dem erfindungsgemäßen Verfahren verwiesen.

[0027] Vorteilhaft weist die Ermittlungseinrichtung eine Recheneinrichtung und einen Speicher auf.

[0028] Besonders vorteilhaft ist es, wenn in dem Speicher ein Programmmodul abgespeichert ist, das bei Ausführung durch die Recheneinrichtung die Recheneinrichtung dazu veranlasst, Abweichungen einer aktuellen Fahrweise des Fahrzeugs von einer aus einem ergänzten Graphen ermittelten optimalen Fahrweise zu erkennen und eine neue alternative Fahrweise auf der Basis des ergänzten Graphen und einen möglichen Wechsel der Fahrstrategie zu ermitteln.

[0029] Alternativ oder zusätzlich kann in dem Speicher ein Programmmodul abgespeichert sein, das bei Ausführung durch die Recheneinrichtung die Recheneinrichtung dazu veranlasst, auf Basis einer Bestimmungsvorgabe für die Ausgangsfahrweise und Geschwindigkeitsbegrenzungen auf einer zu befahrenden Strecke zwischen einem Startpunkt und einem Zielpunkt eine Ausgangsfahrweise, einen Ausgangsgraphen, einen ergänzten Graphen und einen Baum zu ermitteln.

[0030] Vorzugsweise ist das erfindungsgemäße Fahrzeug als ein Schienenfahrzeug ausgestaltet.

[0031] Die Erfindung wird nachfolgend anhand von Ausführungsbeispielen näher erläutert; dabei zeigen bei-

spielhaft

- Fig. 1-5 ein Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes Verfahren zum Ermitteln eines ergänzten Graphen,
- Fig. 6 einen Baum, der auf der Basis des ergänzten Graphen gemäß Figur 5 erstellt worden ist,
- Fig. 7-8 die Heranziehung des ergänzten Graphen gemäß Figur 5 und des Baums gemäß Figur 6 zur Bestimmung einer Ersatzfahrweise,
- Fig. 9 ein Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes Schienenfahrzeug, und
- Fig. 10 ein weiteres Ausführungsbeispiel für ein erfindungsgemäßes Schienenfahrzeug.

[0032] In den Figuren werden für identische oder vergleichbare Komponenten stets dieselben Bezugszeichen verwendet.

[0033] Die Figur 1 zeigt in einer vereinfachten schematischen Darstellung eine energiesparende Fahrweise, nachfolgend Ausgangsfahrweise AFW genannt, für eine Fahrt eines Fahrzeugs zwischen einem Startpunkt X1 und einem Zielpunkt X8 unter Einhaltung einer vorgegebenen maximalen Fahrzeit bzw. eines entsprechenden Fahrplans.

[0034] Die energiesparende Ausgangsfahrweise AFW ist in einem ersten Verfahrensschritt in Form von Geschwindigkeitswerten V über dem jeweiligen Ort X gemäß einer vorgegebenen Bestimmungsvorgabe für die Ausgangsfahrweise AFWVO ermittelt worden und berücksichtigt eine Geschwindigkeitsbegrenzung V_{max}, die nicht überschritten werden darf. Besonders vorteilhaft ist es, wenn die Bestimmungsvorgabe die schnellstmögliche Fahrweise zwischen dem Startpunkt X1 und dem Zielpunkt X8 festlegt, wie in der Figur 1 beispielhaft gezeigt ist.

[0035] In einem nachfolgenden zweiten Verfahrensschritt, der in der Figur 2 gezeigt ist, wird die Ausgangsfahrweise AFW im Rahmen einer Diskretisierung durch einen Ausgangsgraphen AG nachgebildet, der durch Knoten, nachfolgend Ausgangsknoten a bis h genannt, und Kanten, nachfolgend Ausgangskanten K1 bis K7 genannt, im Sinne der mathematischen Graphentheorie beschrieben wird. Die Anordnung der Ausgangsknoten erfolgt vorzugsweise jeweils in konstanten Geschwindigkeitsschritten V₀.

[0036] Jede der Ausgangsknoten a bis h definiert jeweils einen Ort des Fahrzeugs und die Geschwindigkeit des Fahrzeugs an diesem Ort; so gibt der Ausgangsknoten b beispielsweise an, dass gemäß der Ausgangsfahrweise AFW das Fahrzeug an dem Ort X2 die Geschwindigkeit 2V₀ haben soll:

$$b = (X2, 2V_0).$$

[0037] Jede der Ausgangskanten K1 bis K7 verbindet jeweils zwei in der zeitlichen Abfolge aufeinanderfolgende Ausgangsknoten. Jede der Ausgangskanten K1 bis K7 beschreibt dabei jeweils eine Fahrstrategie aus einer vorgegebenen endlichen Anzahl an zulässigen Fahrstrategien, den Energieverbrauch für die Fahrt zwischen den durch die jeweilige Kante verbundenen Knoten und die Zeit für die Fahrt zwischen den durch die jeweilige Kante verbundenen Knoten.

[0038] Nachfolgend wird beispielhaft davon ausgegangen, dass die endliche Anzahl an zulässigen Fahrstrategien vier beträgt und die Fahrstrategien "Beschleunigen", "Rollen", "Geschwindigkeit halten" und "Bremsen" umfasst. Selbstverständlich können noch weitere andere Fahrstrategien vorgesehen werden, wie beispielsweise "Stark Bremsen", "Normal Bremsen", "Schwach Bremsen", "Stark Beschleunigen", "Normal Beschleunigen", "Schwach Beschleunigen" usw.

[0039] Die Kante K2 lässt sich somit beispielsweise in folgender Form beschreiben:

K2 = (Fahrstrategie = "Beschleunigen", Fahrzeit für die Fahrt zwischen den Orten X2 und X3, Energieverbrauch für die Fahrt zwischen den Orten X2 und X3)

[0040] Die Berechnung der Fahrzeit für die Fahrt zwischen den Orten X2 und X3 und die Berechnung des Energieverbrauchs für die Fahrt zwischen den Orten X2 und X3 kann auf der Basis der eingangs im Zusammenhang mit dem Stand der Technik beschriebenen Simulationsverfahren erfolgen und berücksichtigt vorzugsweise eine Vielzahl an Parametern, wie beispielsweise Gefälle, Gewicht des Fahrzeugs, Motorisierung usw. Die Berechnung für die anderen Kanten des Graphen AG bzw. des weiter unten beschriebenen ergänzten Graphen AG2 erfolgt vorzugsweise in entsprechender Weise.

[0041] Auf der Basis des Ausgangsgraphen AG wird in einem dritten Verfahrensschritt ein ergänzter Graph AG2 (vgl. Figur 3) gebildet, indem zusätzlich zu den Ausgangskanten K1 bis K7 des Ausgangsgraphen AG weitere Kanten K8 und K9, nachfolgend Hilfskanten erster Art genannt, hinzugefügt werden. Jede der Hilfskanten K8 und K9 erster Art verbindet jeweils zwei Ausgangsknoten, die im Ausgangsgraphen AG unverbunden sind. Bei dem Beispiel gemäß Figur 3 verbindet die Hilfskante K8 die Knoten c und f und die Hilfskante K9 die Knoten b und g.

[0042] Die Hilfskanten erster Art werden vorzugsweise gebildet, indem für Ausgangsknoten, deren jeweils nachfolgender Ausgangsknoten im Ausgangsgraphen AG durch die Fahrstrategie "Beschleunigen" erreicht wird, eine Kante mit der Fahrstrategie "Geschwindigkeiten halten" angefügt wird.

[0043] Durch die zugefügten Hilfskanten erster Art werden zu der Ausgangsfahrweise AFW gemäß Figur 1 alternative Fahrweisen definiert, die zu einer längeren

Fahrzeit als die schnellstmögliche Fahrweise, wie sie in der Figur 1 gezeigt ist, führen.

[0044] Bei der Bildung des ergänzten Graphen AG2 werden in einem vierten Verfahrensschritt (vgl. Figur 4) noch weitere Knoten, nachfolgend Hilfsknoten erster Art genannt, hinzugefügt, indem ausgewählte Ausgangsknoten jeweils mittels einer Hilfskante zweiter Art mit einem Zwischenpunkt auf einer der Hilfskanten erster Art verbunden werden.

[0045] Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 4 wird jeweils an solche Ausgangsknoten, die im Ausgangsgraphen AG durch die Fahrstrategie "Bremsen" erreicht werden, eine Kante mit der Fahrstrategie "Rollen" angefügt, und zwar rekursiv entgegen der Fahrtrichtung. Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 4 sind dies die Ausgangsknoten f und g.

[0046] Durch das beschriebene Anfügen einer Kante mit der Fahrstrategie "Rollen" entstehen in der Figur 4 Hilfskanten K10 und K11 zweiter Art.

[0047] Die Hilfskante K10 schneidet die Hilfskante K8 erster Art; der Schnittpunkt bzw. der Zwischenpunkt auf der Hilfskante K8 bildet nun einen Hilfsknoten i erster Art.

[0048] Die Hilfskante K11 schneidet die Ausgangskante K4 des Ausgangsgraphen AG; der Schnittpunkt bzw. der Zwischenpunkt auf der Ausgangskante K4 bildet nun einen Hilfsknoten j erster Art.

[0049] Auch kann im Rahmen eines fünften Verfahrensschritts (vgl. Figur 5) an den oder die Schnittpunkte auf Hilfskanten erster Art bzw. an die Hilfsknoten erster Art eine Kante mit der Fahrstrategie "Rollen" angefügt werden, und zwar rekursiv entgegen der Fahrtrichtung. Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Figur 5 ist dies lediglich bei dem Ausgangsknoten i möglich, an den eine zusätzliche Hilfskante K12 angefügt wird.

[0050] Durch die zugefügten Hilfskanten K10, K11 und K12 definiert der ergänzte Graph AG2 zu der Ausgangsfahrweise AFW gemäß Figur 1 weitere alternative Fahrweisen.

[0051] Anschließend wird in einem sechsten Verfahrensschritt geprüft, welche der alternativen Fahrweisen die vorgegebene maximale Fahrzeit einhalten.

[0052] Zu diesem Zweck wird auf der Basis des ergänzten Graphen AG2 nachfolgend eine Baumstruktur bzw. ein Baum B (vgl. Figur 6) erzeugt, der die möglichen Fahrweisen visualisiert. Es lässt sich in der Figur 5 erkennen, dass die durch die Schnittpunkte bzw. Hilfsknoten i, j und k geschnittenen Kanten K4 und K8 hierfür noch hinsichtlich der Eigenschaften ihrer Unterabschnitte K4a, K4b und K4c bzw. K8a und K8b (siehe Figur 6) berechnet werden müssen.

[0053] Die Figur 6 zeigt den resultierenden Baum B, wobei beispielhaft davon ausgegangen wird, dass die Fahrweise über die Knoten a, b, g und h zu langsam ist und für die weitere Betrachtung unberücksichtigt bleiben kann; alle anderen Fahrweisen sind fahrplangerecht bzw. halten die maximal erlaubte Fahrzeit ein.

[0054] Anhand des Baums B gemäß Figur 6 lässt sich anschließend in einfacher Weise derjenige Zweig be-

stimmen, der ausgehend von der Wurzel bzw. dem Ausgangsknoten a bis zum Zielknoten h, den man auch als Blattknoten bezeichnen kann, den kleinsten Energieverbrauch aufweist; hierzu müssen nur die durch jeweiligen Kanten definierten Energieverbräuche aufsummiert werden.

[0055] Auf der Basis des Baums B gemäß Figur 6 und dem ergänzten Graphen AG gemäß Figur 5 kann nun ein Fahrzeug, beispielsweise ein Schienenfahrzeug, so gesteuert werden, dass eine sehr energiesparende Fahrweise erreicht wird.

[0056] Falls das Fahrzeug von der ermittelten Fahrweise abweicht, wird die Geschwindigkeit Vist des Schienenfahrzeugs nicht mehr zu dem jeweiligen Ort Xist des Schienenfahrzeugs passen (siehe Figur 7); der entsprechende Punkt (Vist, Xist) im V-X-Diagramm ist in Figur 7 beispielhaft eingezeichnet und wird nachfolgend Ist-Knoten Z genannt.

[0057] Im Falle einer solchen Abweichung kann auf der Basis des ergänzten Graphen AG2 geprüft werden, welche der dort definierten Fahrweisen noch angewandt werden können, um den Zielpunkt X8 unter Einhaltung der vorgegebenen maximalen Fahrzeit noch zu erreichen.

[0058] In einer besonders einfachen Weise lassen sich die noch anwendbaren Fahrweisen auffinden, indem ausgehend von dem Ist-Knoten Z alle Kanten, die durch Beschleunigen gekreuzt werden können, und/oder zumindest eine Kante, die durch Rollen gekreuzt werden kann, gesucht werden. Die entsprechenden Schnittpunkte bilden in der Figur 7 neue Knoten, nachfolgend Korrekturknoten genannt, die mit den Bezugszeichen l, m und n gekennzeichnet sind, sowie zusätzliche, bezüglich ihrer Eigenschaften neu zu berechnende Kanten zwischen dem jeweiligen Ist-Knoten Z und den ermittelten Korrekturknoten l, m und n.

[0059] Die Position des Ist-Knotens Z und der Korrekturknoten l, m und n im Baum B ist beispielhaft in der Figur 8 gezeigt. Die Zweige, die einen der Korrekturknoten aufweisen und über diesen mit dem Ist-Knoten Z verbunden sind, werden nachfolgend bezüglich ihres Energieverbrauchs im verbleibenden zu befahrenden Streckenabschnitt zwischen dem Ist-Knoten Z und dem Blattknoten h sowie bezüglich der jeweiligen Fahrzeit verglichen, und es wird derjenige Zweig ausgesucht, der den kleinsten Energieverbrauch unter Einhaltung der verbleibenden zulässigen Fahrzeit bzw. unter Einhaltung des Fahrplans aufweist.

[0060] Ein wesentlicher Vorteil des oben beispielhaft beschriebenen Verfahrens ist darin zu sehen, dass im Falle einer Abweichung von einer gewünschten Fahrweise keine Neuberechnung der Fahrweise für die gesamte verbleibende Reststrecke erfolgen muss. Es reicht nämlich, die Neuberechnung lediglich vom Ist-Knoten Z aus für Kanten bis zu den nächstliegenden Folgeknoten des vor Fahrtantritt errechneten ergänzten Graphen AG2, hier also bis zu den Knoten j und i, durchzuführen; ab dann kann auf die bereits vorliegenden Daten bzw. be-

reits berechneten Kanten des Baums B gemäß Figur 6 zurückgegriffen werden, die bereits vor Fahrtbeginn berechnet worden sind.

[0061] Im Zusammenhang mit den Figuren 1 bis 8 wurde beispielhaft erläutert, wie auf der Basis einer Ausgangsfahrweise AFW und eines Ausgangsgraphen AG unter Heranziehung von Fahrstrategiewechseln, die während der Fahrt denkbar und unter Umständen vorteilhaft sein könnten, also auf der Basis von Heuristik, alternative Fahrweisen erarbeitet werden können und anschließend von den so erarbeiteten alternativen Fahrweisen die jeweils vorteilhafteste herausgesucht werden kann.

[0062] Zu einem späteren Zeitpunkt, beispielsweise während der Fahrt eines Fahrzeugs, kann auf die vorher ermittelten alternativen Fahrweisen wieder zurückgegriffen werden, ohne eine komplette Neuberechnung der noch zurückzulegenden Fahrstrecke vornehmen zu müssen, wodurch - verglichen mit einer kompletten Neuberechnung - erheblich Rechenzeit eingespart werden kann.

[0063] Im Zusammenhang mit den Figuren 1 bis 8 wurden Fahrstrategiewechsel von "Beschleunigen" in "Geschwindigkeit halten", von "Geschwindigkeit halten" in "Rollen" und von "Rollen" in "Bremsen" erläutert; zusätzlich zu diesen oder alternativ zu diesen sind auch andere Strategiewechsel denkbar, insbesondere, wenn die endliche Anzahl an zulässigen Fahrstrategien mehr als vier beträgt und weitere andere Fahrstrategien vorgesehen werden, wie beispielsweise "Stark Bremsen", "Normal Bremsen", "Schwach Bremsen", "Stark Beschleunigen", "Normal Beschleunigen", "Schwach Beschleunigen" usw. An dem Grundprinzip, vorzugsweise auf der Basis von Heuristiken nur sinnvoll erscheinende Fahrstrategiewechsel zu erlauben bzw. zu berücksichtigen, ändert sich dadurch nichts.

[0064] Die Figur 9 zeigt ein Ausführungsbeispiel für ein Schienenfahrzeug 10, das mit einer Ermittlungseinrichtung für Fahrweisen 11 ausgestattet ist. Die Ermittlungseinrichtung 11 umfasst eine Recheneinrichtung 100 und einen Speicher 110, in dem ein Programmmodul SPM1, ein ergänzter Graph AG2, der beispielsweise dem ergänzten Graphen AG2 gemäß Figur 5 entsprechen kann, und ein Baum B, der dem Baum B gemäß Figur 6 entsprechen kann, abgespeichert sind. Bei Ausführung des Programmmoduls SPM1 wird die Recheneinrichtung 100 Abweichungen der aktuellen Fahrweise des Schienenfahrzeugs 10 von einer aus dem ergänzten Graphen AG2 ermittelten optimalen Fahrweise erkennen und eine neue alternative Fahrweise auf der Basis denkbarer Fahrstrategiewechsel ermitteln, wie dies im Zusammenhang mit den Figuren 7 und 8 oben erläutert wurde.

[0065] Die jeweils von der Recheneinrichtung 100 ermittelte Ersatzfahrweise kann zu einem Fahrerassistenzsystem 12 des Schienenfahrzeugs oder - im Falle eines autonom fahrenden Schienenfahrzeugs 10 - zu einer Fahrzeugsteuereinrichtung 13 übermittelt werden. Alternativ kann die Ermittlungseinrichtung 11 auch in dem

Fahrerassistenzsystem 12 oder in der Fahrzeugsteuereinrichtung 13 als Zusatzkomponente integriert sein.

[0066] Die Figur 10 zeigt ein Ausführungsbeispiel für ein Schienenfahrzeug 10, bei dem die Ermittlungseinrichtung 11 zusätzlich zu dem Programmmodul SPM1 gemäß Figur 9, nachfolgend erstes Programmmodul genannt, ein zweites Programmmodul SPM2 aufweist.

[0067] Bei Ausführung durch die Recheneinrichtung 100 bildet das zweite Programmmodul SPM2

- auf der Basis einer Bestimmungsvorgabe AFWVO und Geschwindigkeitsbegrenzungen V_{max} auf einer zu befahrenden Strecke zwischen einem Startpunkt X1 und einem Zielpunkt X8 eine Ausgangsfahrweise AFW, die beispielsweise der Ausgangsfahrweise AFW gemäß Figur 1 entsprechen kann,
- einen Ausgangsgraphen AG, der beispielsweise dem Ausgangsgraphen AG gemäß Figur 2 entsprechen kann,
- einen ergänzten Graphen AG2, der beispielsweise dem ergänzten Graphen AG2 gemäß Figur 5 entsprechen kann, und
- einen Baum B, der dem Baum B gemäß Figur 6 entsprechen kann,

und zwar vorzugsweise wie dies oben im Zusammenhang mit den Figuren 1 bis 6 und dem dort beschriebenen heuristischen Lösungsansatz beispielhaft erläutert wurde.

[0068] Auf der Basis der Arbeitsergebnisse des zweiten Programmmoduls SPM2, also des ergänzten Graphen AG2 und des Baums B, kann das erste Programmmodul SPM1 arbeiten, wie dies im Zusammenhang mit der Figur 9 erläutert wurde.

[0069] Die Ermittlungseinrichtung 11 gemäß Figur 10 kann eine separate Komponente sein oder in dem Fahrerassistenzsystem 12 oder in der Fahrzeugsteuereinrichtung 13 als Zusatzkomponente integriert sein.

40 Bezugszeichenliste

[0070]

10	Schienenfahrzeug
11	Ermittlungseinrichtung für Fahrweisen
12	Fahrerassistenzsystem
13	Fahrzeugsteuereinrichtung
100	Recheneinrichtung
110	Speicher
a bis h	Ausgangsknoten
AFW	Ausgangsfahrweise
AFWVO	Bestimmungsvorgabe für Ausgangsfahrweise
AG	Ausgangsgraph
AG2	ergänzter Graph
B	Baum
i	Hilfsknoten erster Art
j	Hilfsknoten erster Art

k	Hilfsknoten	
K1 bis K7	Ausgangskanten	
K4a	Unterabschnitt	
K4b	Unterabschnitt	
K4c	Unterabschnitt	5
K8a	Unterabschnitt	
K8b	Unterabschnitt	
K8	Hilfskante erster Art	
K9	Hilfskante erster Art	
K10	Hilfskante zweiter Art	10
K11	Hilfskante zweiter Art	
K12	Hilfskante	
l	Korrekturknoten	
m	Korrekturknoten	
n	Korrekturknoten	15
SPM1	Programmmodul	
SPM2	Programmmodul	
V	Geschwindigkeitswert	
Vist	Geschwindigkeit	
Vmax	Geschwindigkeitsbegrenzung	20
X	Ort	
X1	Startpunkt	
X8	Zielpunkt	
Xist	Ort	
Z	Ist-Knoten	25

Patentansprüche

1. Verfahren zum Ermitteln einer energiesparenden Fahrweise für eine Fahrt eines Fahrzeugs auf einer zu befahrenden Strecke zwischen einem Startpunkt (X1) und einem Zielpunkt (X8) unter Einhaltung einer vorgegebenen maximalen Fahrtzeit, **dadurch gekennzeichnet, dass**
 - eine Ausgangsfahrweise (AFW) in Form von Geschwindigkeitswerten (V) über einem jeweiligen Ort (X) ermittelt wird gemäß einer Bestimmungsvorgabe (AFWVO) für die Ausgangsfahrweise,
 - die Ausgangsfahrweise (AFW) durch einen Ausgangsgraphen (AG) beschrieben wird, der durch Ausgangsknoten (a-h) und Ausgangskanten (K1-K7) im Sinne der mathematischen Graphentheorie beschrieben wird, wobei jede der Ausgangskanten (K1-K7) jeweils zwei in der zeitlichen Abfolge aufeinanderfolgende Ausgangsknoten (a-h) verbindet,
 - auf Basis des Ausgangsgraphen (AG) ein ergänzter Graph (AG2) gebildet wird, indem zu den Ausgangskanten (K1-K7) des Ausgangsgraphen (AG) weitere Kanten hinzugefügt werden, wobei jede der hinzugefügten weiteren Kanten jeweils zwei Knoten verbindet, die im Ausgangsgraphen (AG) unverbunden sind oder von denen zumindest einer dort nicht vorhanden ist, wobei der ergänzte Graph (AG2) durch die

hinzugefügten weiteren Kanten zu der Ausgangsfahrweise (AFW) alternative Fahrweisen definiert,

- geprüft wird, welche der alternativen Fahrweisen die vorgegebene maximale Fahrtzeit einhalten und auf Basis des ergänzten Graphen (AG2) ein Baum (B) erzeugt wird, der die möglichen Fahrweisen unter Einhaltung der maximalen Fahrtzeit beschreibt, und
- auf Basis des erzeugten Baums (B) diejenige Fahrweise ausgewählt und als die zu ermittelnde energiesparende Fahrweise angesehen wird, die einen geringsten Energieverbrauch für die Fahrt benötigt,
- wobei jeder der Knoten jeweils einen Ort (X) des Fahrzeugs und die Geschwindigkeit (V) des Fahrzeugs an diesem Ort (X) definiert, und
- wobei jede der Kanten jeweils eine Fahrstrategie aus einer vorgegebenen endlichen Anzahl an zulässigen Fahrstrategien, den Energieverbrauch für die Fahrt zwischen den durch die jeweilige Kante verbundenen Knoten und eine Zeit für die Fahrt zwischen den durch die jeweilige Kante verbundenen Knoten beschreibt.

2. Verfahren nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Bestimmungsvorgabe (AFWVO) für die Ausgangsfahrweise eine schnellstmögliche Fahrweise zwischen dem Startpunkt (X1) und dem Zielpunkt (X8) festlegt.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** als weitere Kanten Hilfskanten erster Art (K8, K9) hinzugefügt werden, die jeweils zwei Ausgangsknoten (c-f, b-g) verbinden, die im Ausgangsgraphen (AG) unverbunden sind.
4. Verfahren nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** bei der Bildung des ergänzten Graphen (AG2) Hilfsknoten erster Art (i, j, k) hinzugefügt werden, indem ausgewählte Ausgangsknoten (f, g) jeweils mittels einer Hilfskante zweiter Art (K10) mit einem Zwischenpunkt (i) auf einer der Hilfskanten erster Art (K8) oder mit einem Zwischenpunkt (j) auf einer der Ausgangskanten (K4), mit der sie vorher nicht verbunden waren, verbunden werden,
 - wobei jeder der Zwischenpunkte (i, j) jeweils einen der Hilfsknoten erster Art bildet,
 - wobei jede der Hilfskanten zweiter Art (K10, K11) eine andere Fahrstrategie definiert als die den Zwischenpunkt (i) bildende Hilfskante erster Art (K10) oder die den Zwischenpunkt (j) bildende Ausgangskante (K4),
 - wobei der ergänzte Graph (AG2) durch die hinzugefügten Hilfskanten zweiter Art (K10, K11)

- zu der Ausgangsfahrweise (AFW) weitere alternative Fahrweisen definiert, und
 - geprüft wird, welche der weiteren alternativen Fahrweisen die vorgegebene maximale Fahrtzeit einhalten und der Baum (B) unter Einbezug derjenigen weiteren alternativen Fahrweisen gebildet wird, die die maximale Fahrtzeit einhalten.
- 5
5. Verfahren nach Anspruch 4,
dadurch gekennzeichnet, dass
- 10
- bei der Bildung des ergänzten Graphen (AG2) noch andere zusätzliche Hilfsknoten (k) und noch andere zusätzliche Hilfskanten (K12) gemäß weiteren Ergänzungsvorgaben hinzugefügt werden, wodurch noch weitere alternative Fahrweisen definiert werden, und
 - geprüft wird, welche der noch weiteren alternativen Fahrweisen die vorgegebene maximale Fahrtzeit einhalten und der Baum (B) unter Einbezug auch derjenigen noch weiteren alternativen Fahrweisen gebildet wird, die die maximale Fahrtzeit einhalten.
- 15
- 20
- 25
- 30
- 35
- 40
- 45
- 50
- 55
6. Verfahren nach Anspruch 4 oder 5,
dadurch gekennzeichnet, dass für die Ausgangskanten des Ausgangsgraphen (AG) und die weiteren Kanten des ergänzten Graphen (AG2) als zulässige Fahrstrategien jeweils ein Beschleunigen mit zumindest einer vorgegebenen Beschleunigung, ein Halten einer Geschwindigkeit, ein Rollen und/oder ein Bremsen vorgesehen sind.
7. Verfahren nach Anspruch 6,
dadurch gekennzeichnet, dass die Hilfskanten erster Art (K8, K9) als Fahrstrategie das Halten einer Geschwindigkeit definieren.
8. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7,
dadurch gekennzeichnet, dass die Hilfskanten zweiter Art (K10, K11) als Fahrstrategie das Rollen definieren.
9. Verfahren zum Betreiben eines Fahrzeugs bei einer Fahrt auf einer zu befahrenden Strecke zwischen einem Startpunkt (X1) und einem Zielpunkt (X8) unter Einhaltung einer vorgegebenen maximalen Fahrtzeit,
dadurch gekennzeichnet, dass
- auf Basis eines ergänzten Graphen (AG2) und eines Baums (B), welche nach einem Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 gebildet worden sind, und auf Basis einer ermittelten energiesparenden Fahrweise das Fahrzeug betrieben wird,
 - geprüft wird, ob die tatsächliche Fahrweise der
- ermittelten energiesparenden Fahrweise entspricht und im Falle von Abweichungen auf Basis des ergänzten Graphen (AG2) geprüft wird, welche der dort definierten Fahrweisen noch anwendbar sind, um den Zielpunkt (X8) unter Einhaltung der vorgegebenen maximalen Fahrtzeit zu erreichen, und von den anwendbaren Fahrweisen mittels des Baums (B) eine energiesparendste Ersatzfahrweise bestimmt wird, und
 - das Fahrzeug gemäß der energiesparendsten Ersatzfahrweise betrieben wird.
10. Fahrzeug,
dadurch gekennzeichnet, dass es mit einer Ermittlungseinrichtung (11) für Fahrweisen ausgestattet ist, welche dazu ausgestaltet ist, ein Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8 und/oder ein Verfahren nach Anspruch 9 durchzuführen.
11. Fahrzeug nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass
- die Ermittlungseinrichtung (11) eine Recheneinrichtung (100) und einen Speicher (110) aufweist, in welchem ein Programmmodul (SPM1) abgespeichert ist, und
 - bei Ausführung des Programmmoduls (SPM1) durch die Recheneinrichtung (100) die Recheneinrichtung (100) Abweichungen einer aktuellen Fahrweise des Fahrzeugs von einer aus einem ergänzten Graphen (AG2) (AG2) ermittelten optimalen Fahrweise erkennt und eine neue alternative Fahrweise auf Basis des ergänzten Graphen (AG2) und einen möglichen Wechsel der Fahrstrategie ermittelt.
12. Fahrzeug nach Anspruch 10 oder 11,
dadurch gekennzeichnet, dass
- die Ermittlungseinrichtung (11) eine Recheneinrichtung (100) und einen Speicher (110) aufweist, in dem ein Programmmodul (SPM2) abgespeichert ist und
 - bei Ausführung des Programmmoduls (SPM2) durch die Recheneinrichtung (100) die Recheneinrichtung (100) auf Basis einer Bestimmungsvorgabe (AFWVO) und Geschwindigkeitsbegrenzungen auf der zu befahrenden Strecke zwischen dem Startpunkt (X1) und dem Zielpunkt (X8) eine Ausgangsfahrweise (AFW), einen Ausgangsgraphen (AG), einen ergänzten Graphen (AG2) und einen Baum (B) ermittelt.
13. Fahrzeug nach einem der Ansprüche 10 bis 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** es als ein Schienenfahrzeug (10) ausgestaltet ist.

FIG 1

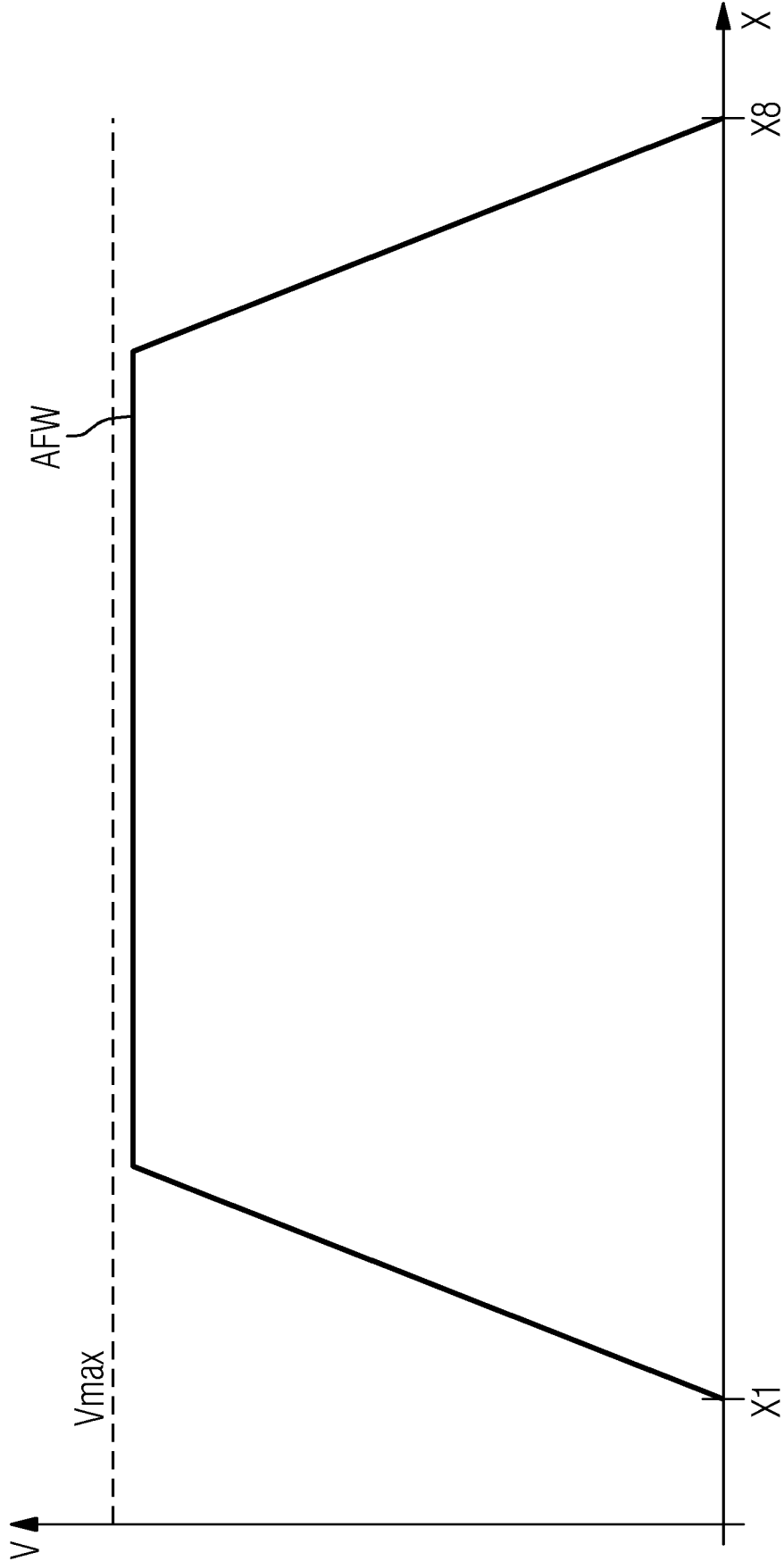


FIG 2

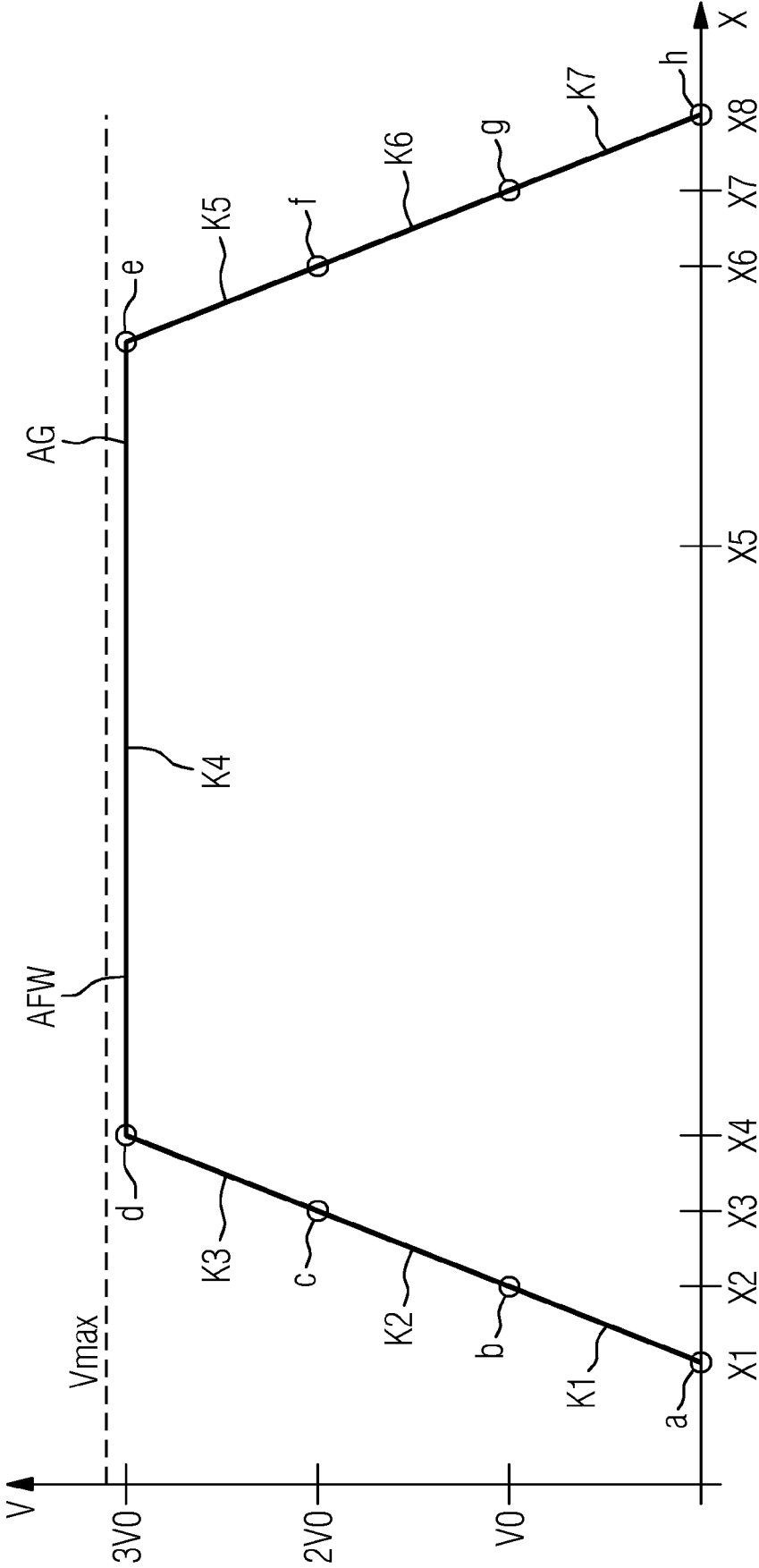


FIG 3

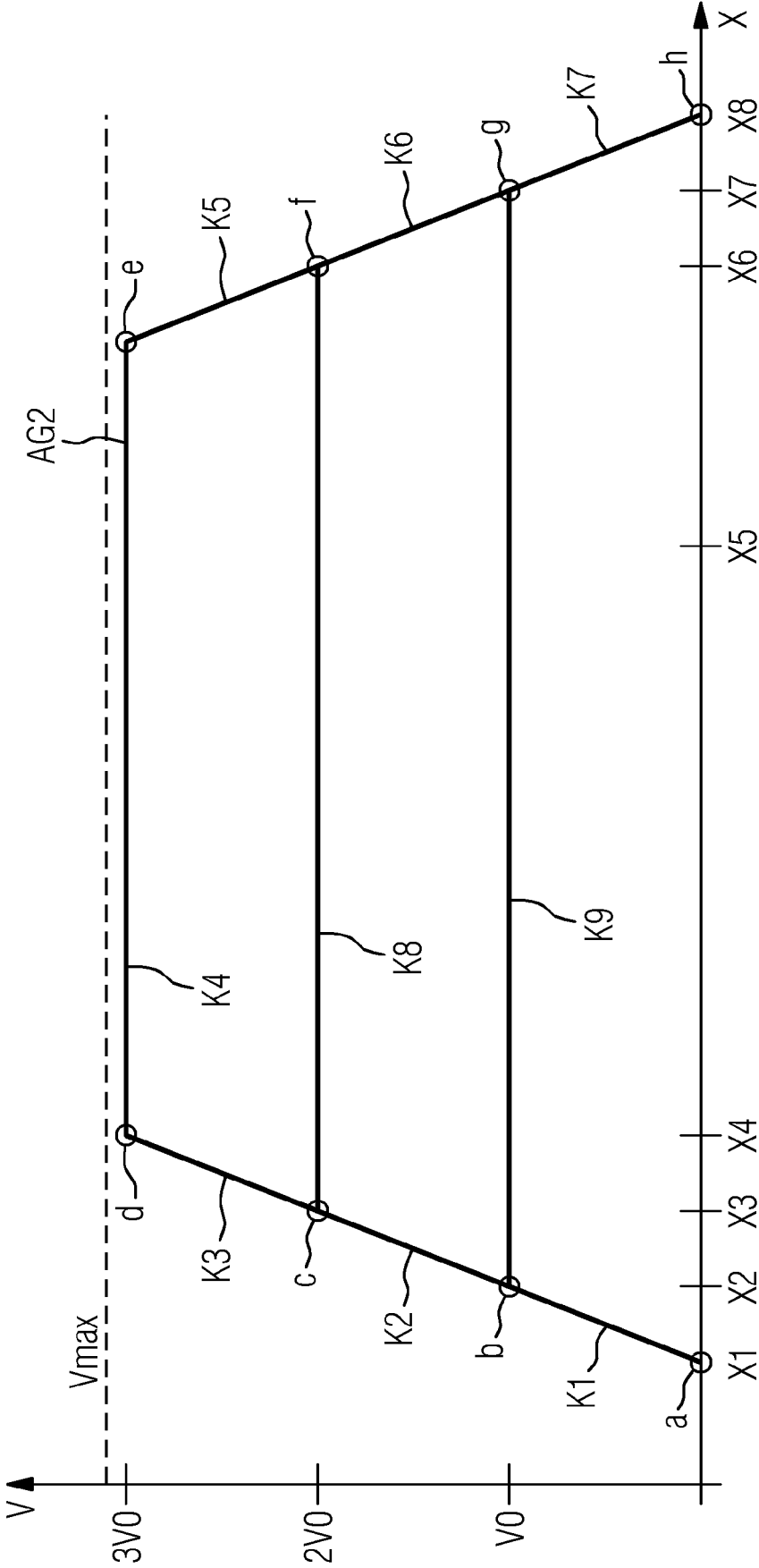


FIG 4

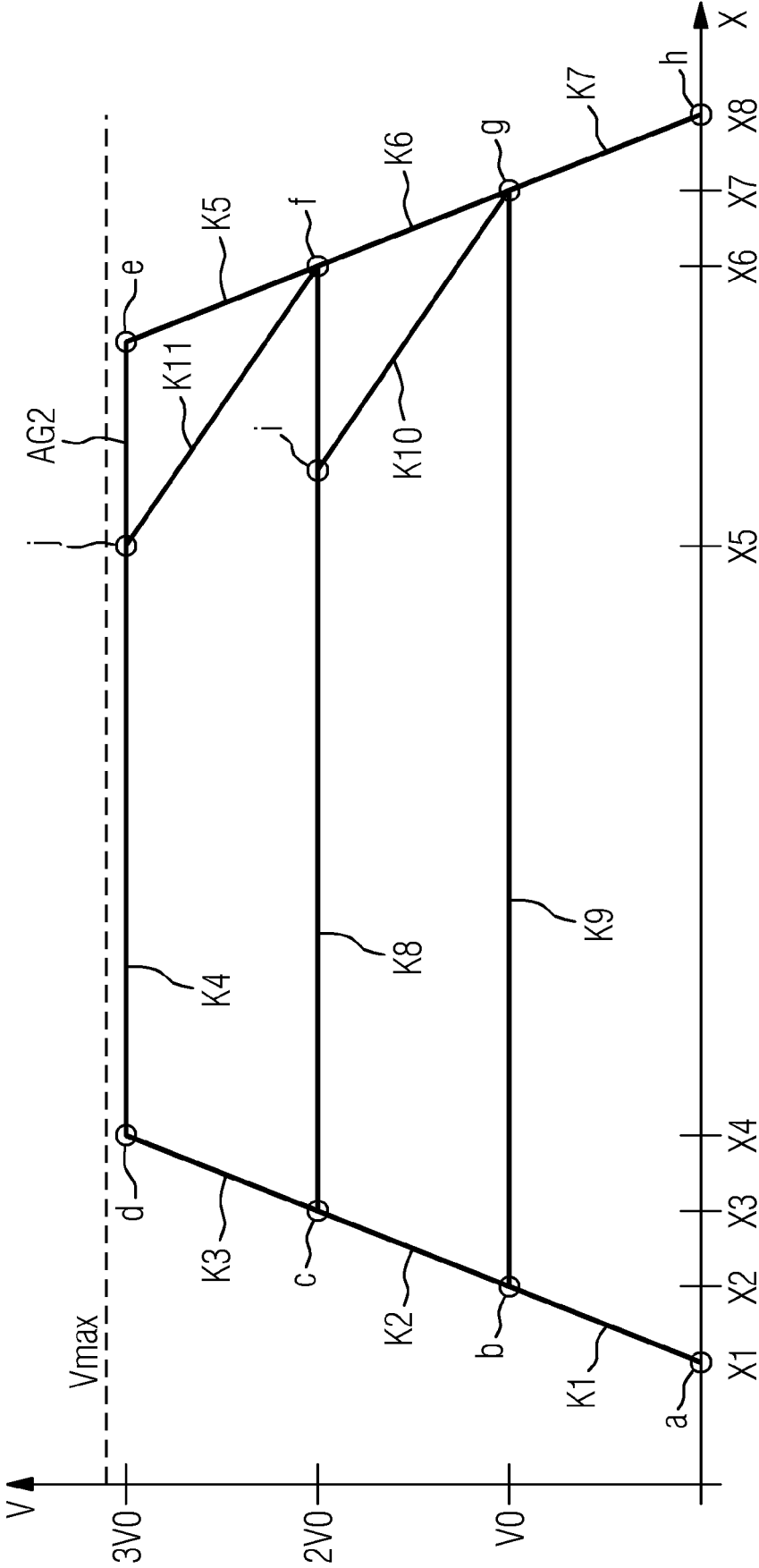
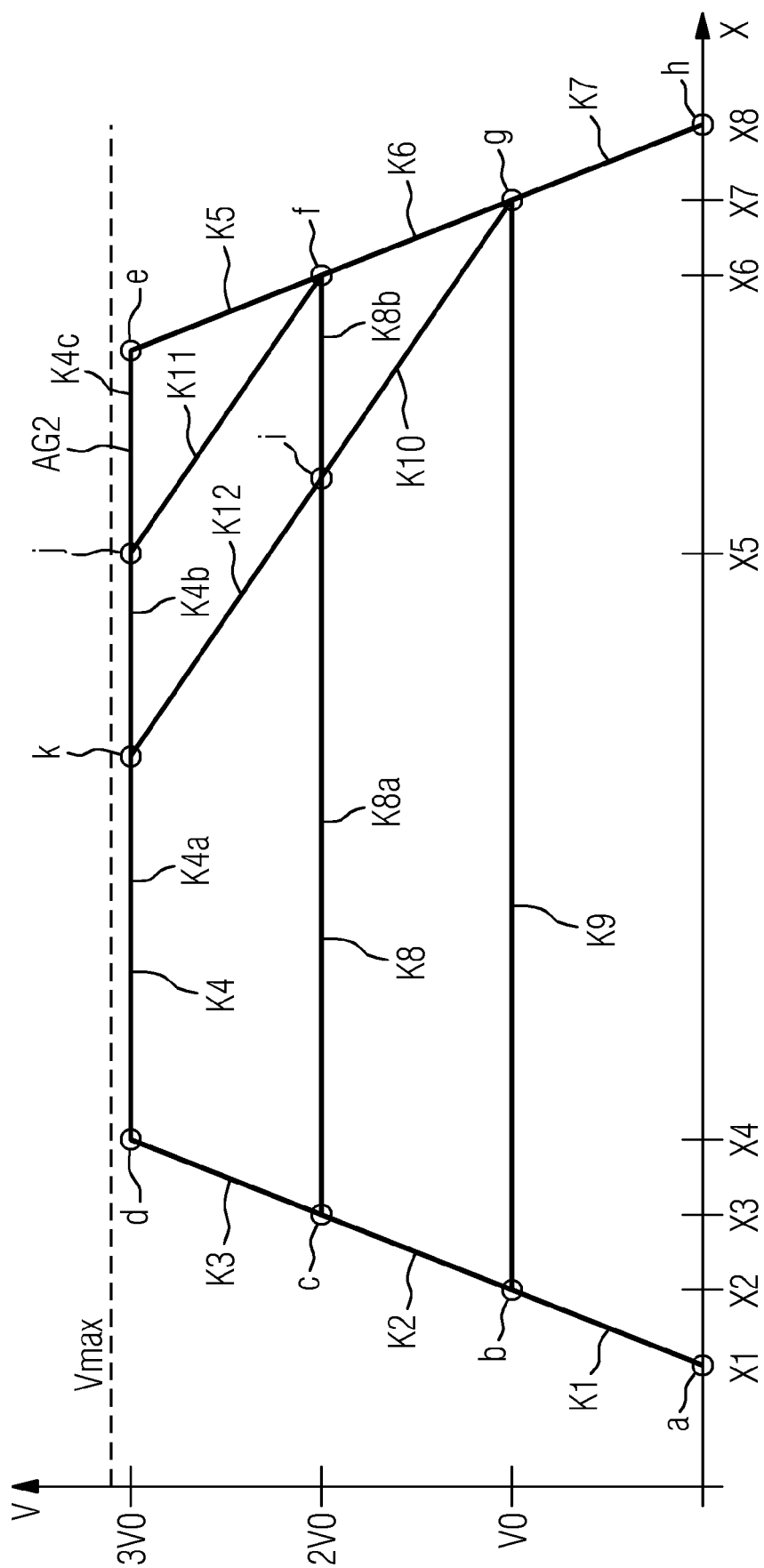


FIG 5



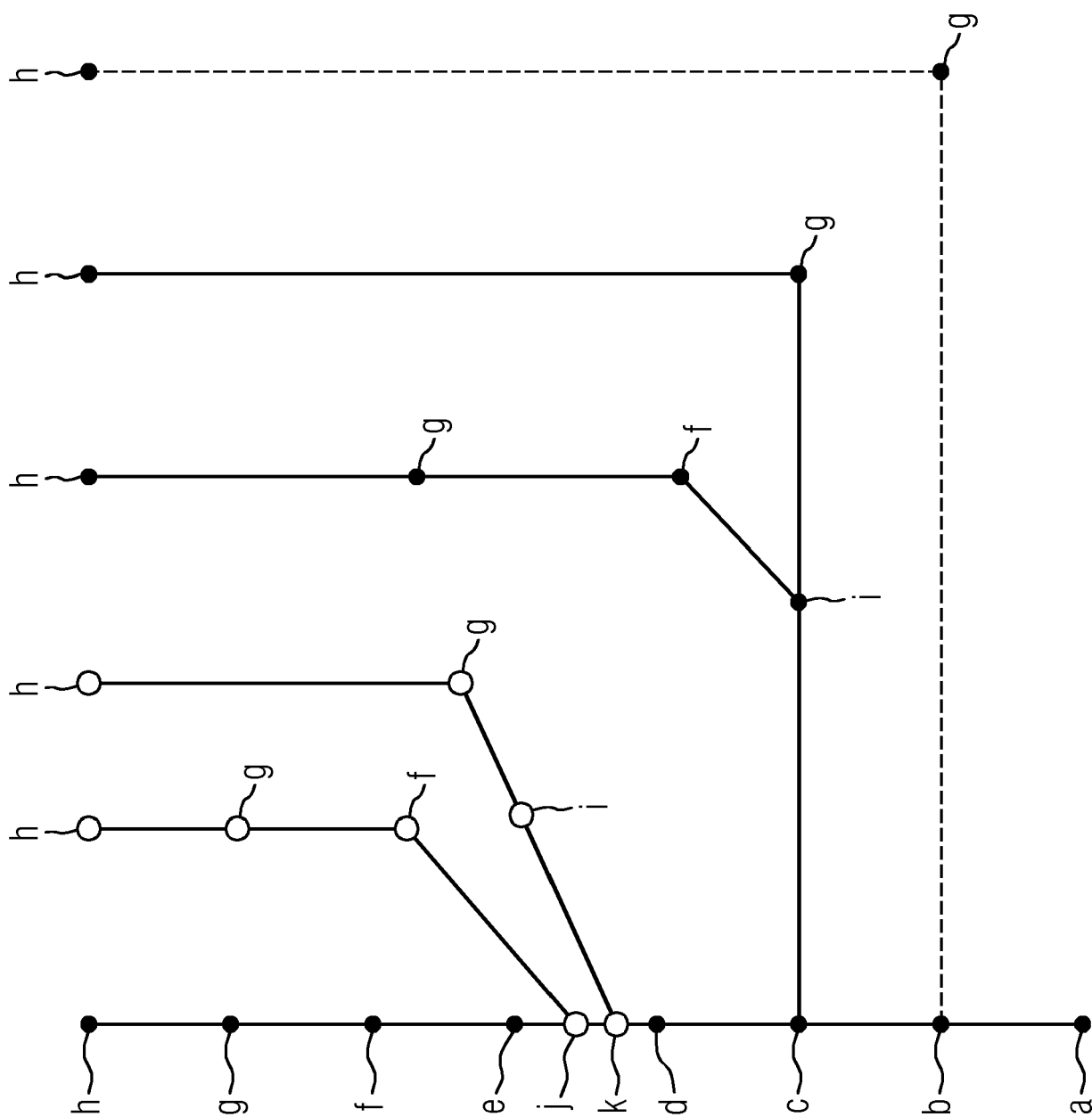
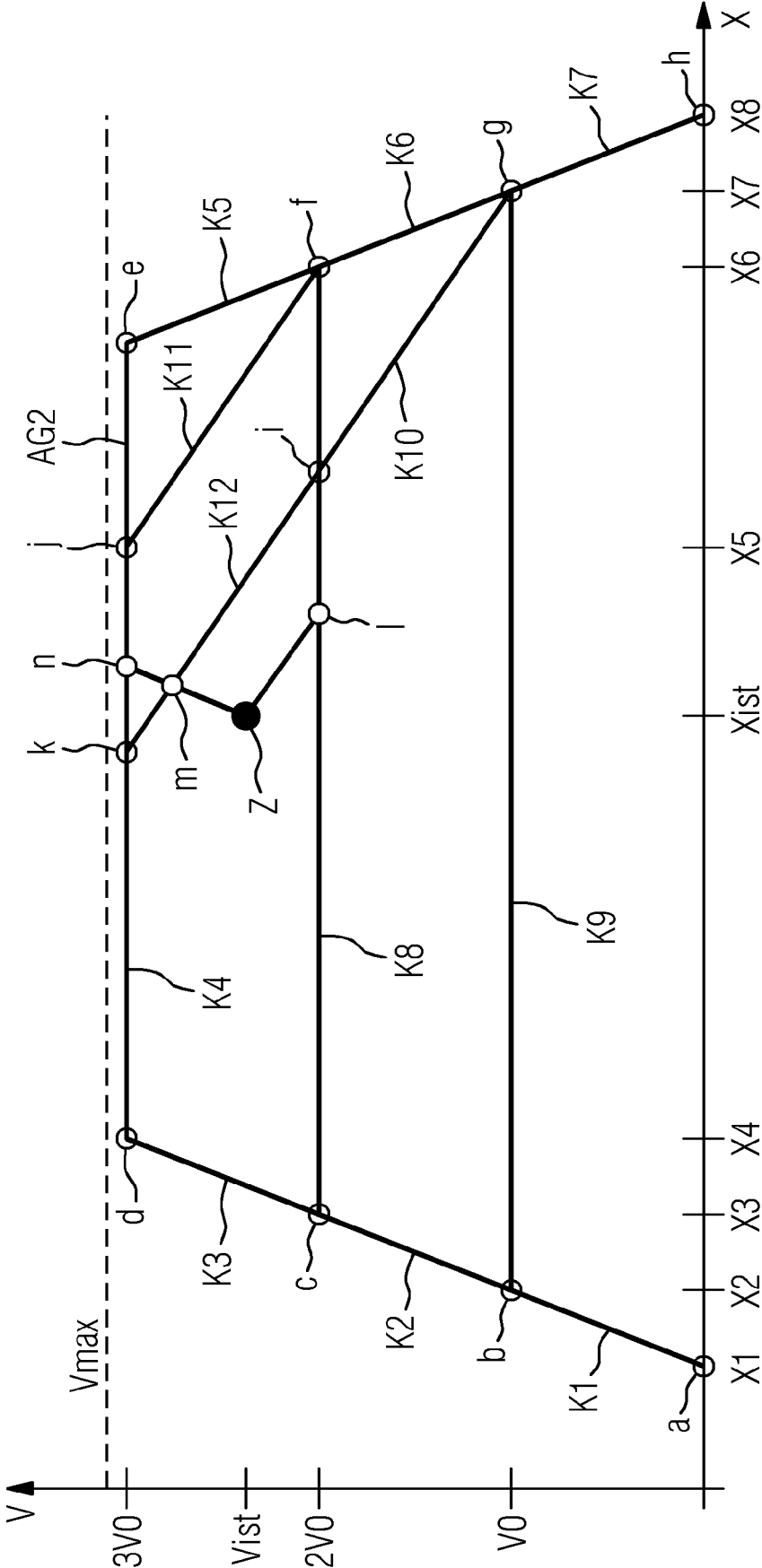


FIG 6

FIG 7



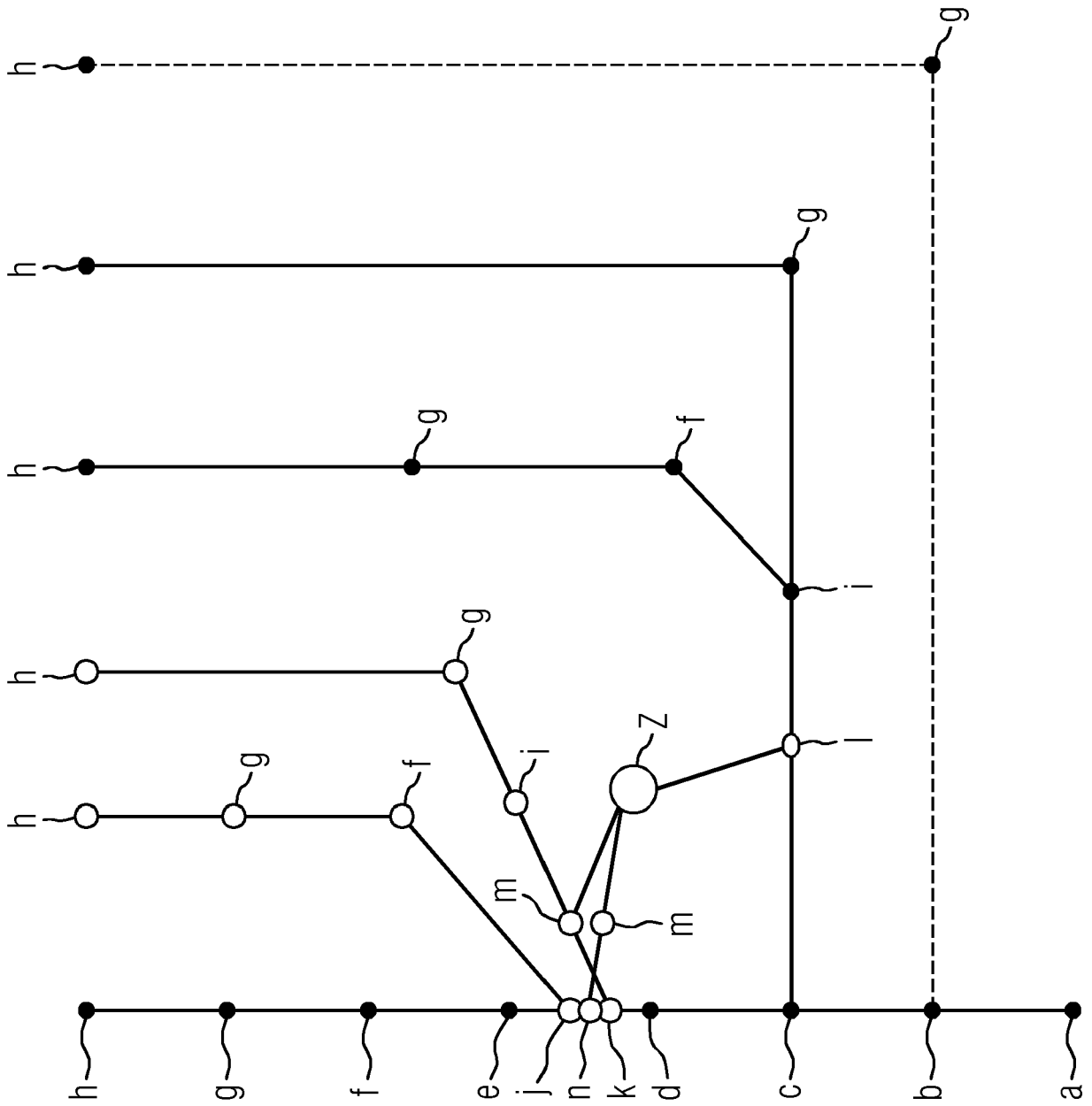


FIG 8

FIG 9

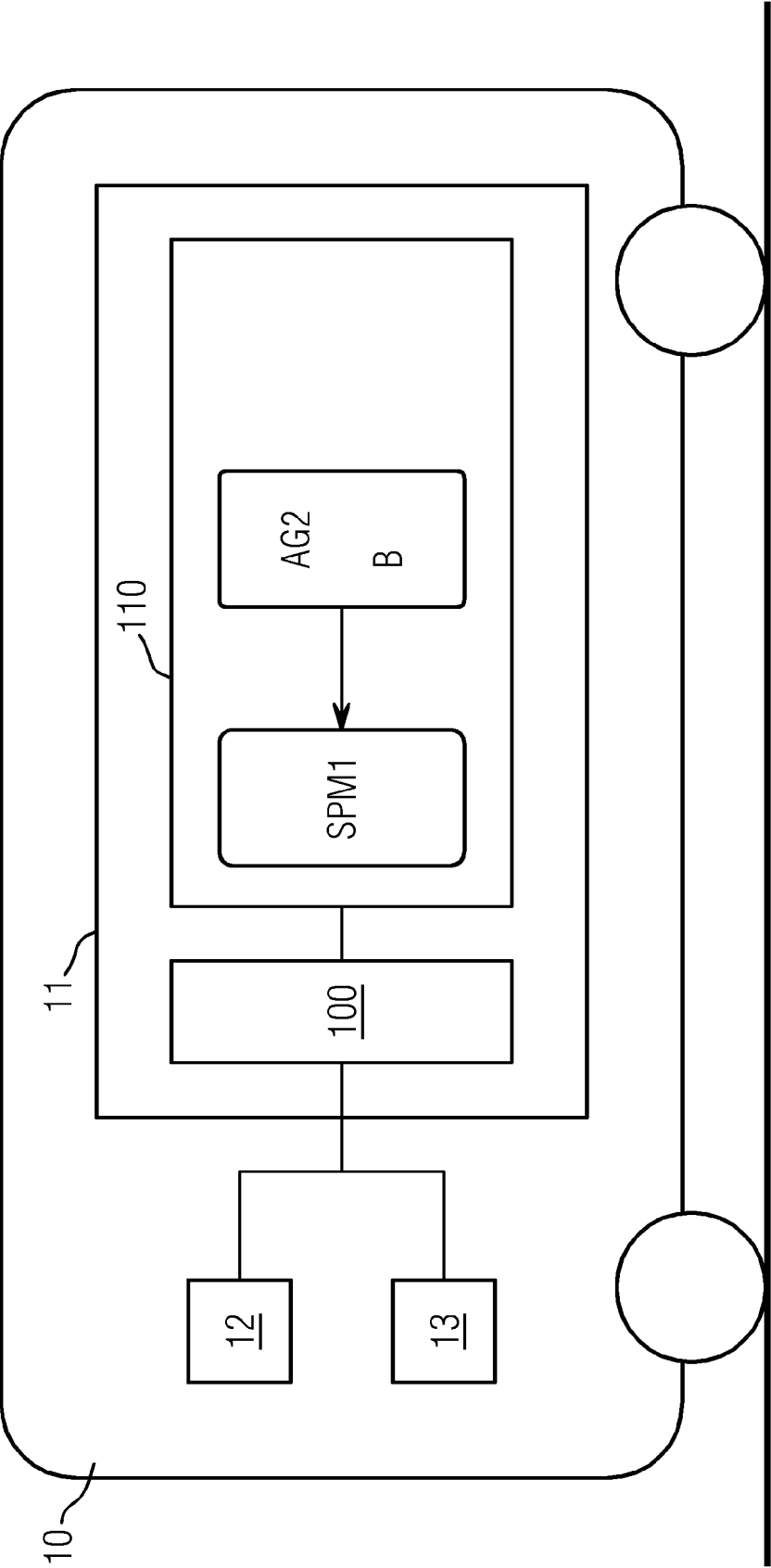
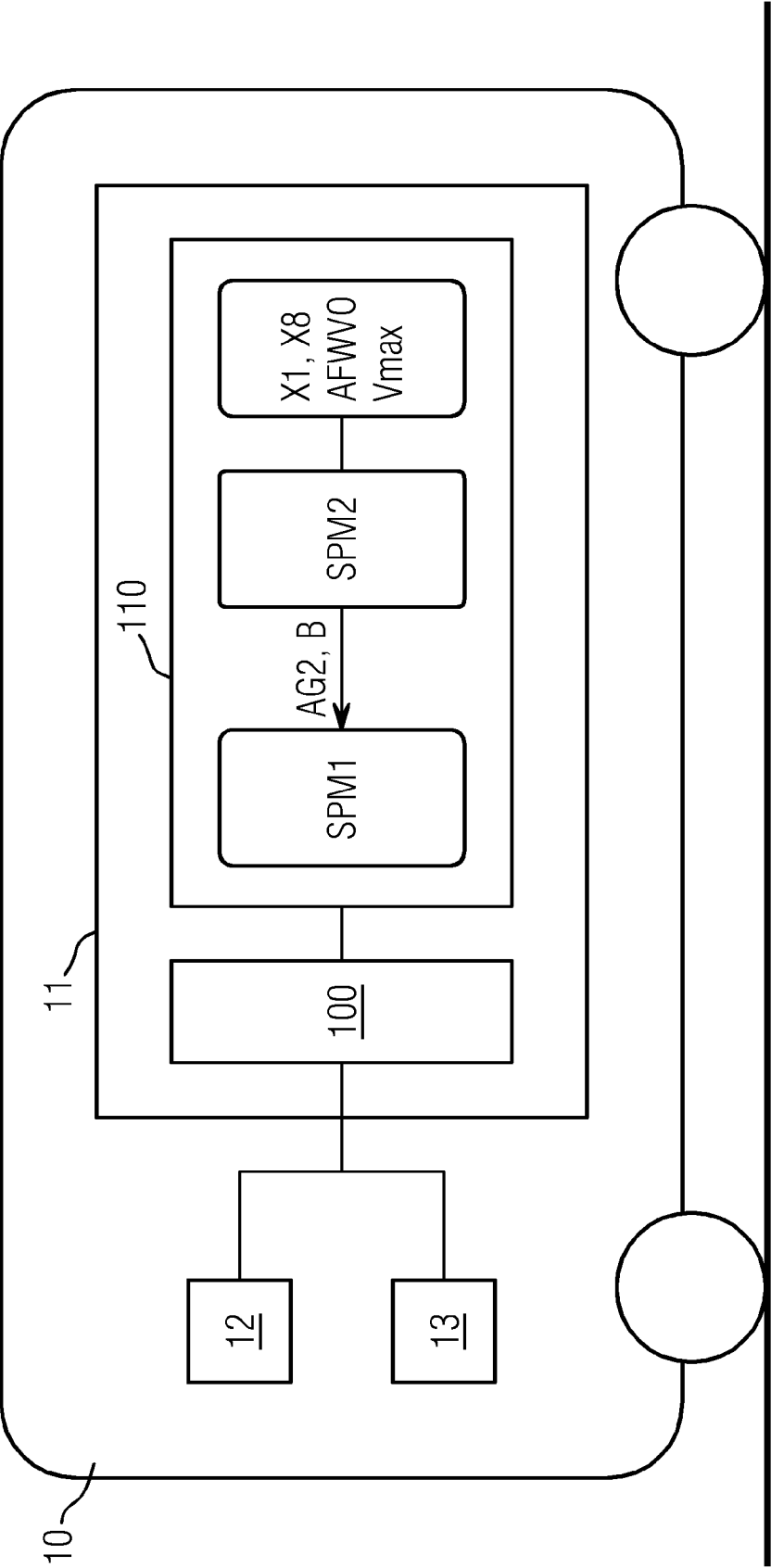


FIG 10





EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 21 19 5718

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

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 2010 029467 A1 (FORD GLOBAL TECH LLC [US]) 1. Dezember 2011 (2011-12-01) * Figuren 1 - 5; Absätze [0001], [0008], [0019], [0027], [0032] and [0033] * -----	1-13	INV. B61L15/00 B61L27/16 B60W50/00
A	US 2018/129214 A1 (DÜRING MICHAEL [DE] ET AL) 10. Mai 2018 (2018-05-10) * Figur 2; Absatz [0065] * -----	1-13	
			RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC)
			B61L B60W
1 Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 15. Februar 2022	Prüfer Plützer, Stefan
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 21 19 5718

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.

15-02-2022

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
	DE 102010029467 A1	01-12-2011	CN 102310859 A	11-01-2012
			DE 102010029467 A1	01-12-2011
			US 2011221586 A1	15-09-2011
15	-----	-----	-----	-----
	US 2018129214 A1	10-05-2018	CN 107567405 A	09-01-2018
			DE 102015208790 A1	17-11-2016
			US 2018129214 A1	10-05-2018
			WO 2016180596 A1	17-11-2016
20	-----	-----	-----	-----
25				
30				
35				
40				
45				
50				
55				

EPO FORM P0461

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