



(12) **EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG**

(43) Veröffentlichungstag:
03.05.2023 Patentblatt 2023/18

(51) Internationale Patentklassifikation (IPC):
B61L 3/00 (2006.01)

(21) Anmeldenummer: **21205619.6**

(52) Gemeinsame Patentklassifikation (CPC):
B61L 3/008; B61L 27/20; B61L 2027/202

(22) Anmeldetag: **29.10.2021**

(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

(72) Erfinder:
• **SENN, Christina**
8320 Fehraltorf (CH)
• **STAMM, Bernhard**
8500 Frauenfeld (CH)
• **MÜLLER, Claudio**
8154 Oberglatt (CH)
• **STAUBLI, Roger**
8046 Zürich (CH)

(71) Anmelder: **Siemens Mobility AG**
8304 Wallisellen (CH)

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

(54) **VERFAHREN ZUR BERECHNUNG VON AN EINER ONBOARD-UNIT EINES SCHIENENFAHRZEUGS BEREITGESTELLTEN BREMSKURVE**

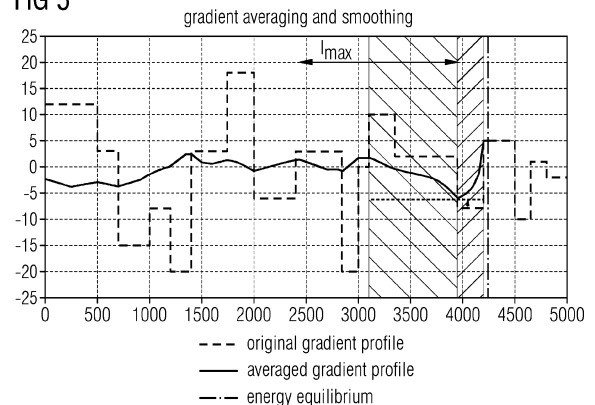
(57) Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Berechnung von an einer Onboard-Unit eines Schienenfahrzeugs bereitgestellten Bremskurve für einen durch einen Haltepunkt abgesicherten Streckenabschnitt eines Eisenbahnnetzes anzugeben, bei dem eine verbesserte Möglichkeit gefunden wird durch eine verbesserte Bremskurvenberechnung den Betriebsauflauf bei Gewährleistung der erforderlichen eisenbahntechnischen Sicherheit hinsichtlich Energieverbrauch und Zeitverlust zu optimieren.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss durch ein Verfahren zur Berechnung von an einer Onboard-Unit eines Schienenfahrzeugs bereitgestellten Bremskurve für einen durch einen Haltepunkt abgesicherten Streckenabschnitt eines Eisenbahnnetzes, gelöst, dass die folgenden Verfahrensschritte umfasst:

a) für die Strecke vor dem Haltepunkt wird ein erster Teilstreckenabschnitt bestimmt, der sich zwischen dem Haltepunkt und einem Gleichgewichtspunkt befindet, wobei der Gleichgewichtspunkt für den Punkt des Streckenabschnitts bestimmt wird, an dem die höchste kinetische Energie eines Schienenfahrzeugs im wesentlichen der mit einem Gradientenprofil für diesen ersten Streckenabschnitt gewichteten latenten Bremsenergie des Schienenfahrzeugs entspricht, und
b) mindestens ein zweiter vor dem ersten Teilstreckenabschnitt befindlicher Teilstreckenabschnitt wird bestimmt, der im Wesentlichen der maximal auf diesem Streckenabschnitt zulässigen Zuglänge entspricht und für den über diese Länge an einer vorgebbaren Anzahl von Punkten ein gewichteter Wert für das durch eine Ab-

folge von realen Gradientenwerten repräsentierte Gradientenprofil aus den ausgehend vom Gleichgewichtspunkt für die Strecke bis zu dem jeweiligen Punkt vorliegenden Gradientenprofil bestimmt wird.

FIG 5



Beschreibung

[0001] Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Berechnung von an einer Onboard-Unit eines Schienenfahrzeugs bereitgestellten Bremskurve für einen durch einen Haltepunkt abgesicherten Streckenabschnitt eines Eisenbahnnetzes.

[0002] Das European Train Control System (ETCS, deutsch Europäisches Zugbeeinflussungssystem) ist ein Zugbeeinflussungssystem und grundlegender Bestandteil des zukünftigen einheitlichen europäischen Eisenbahnverkehrssystems ERTMS. ETCS soll langfristig die über 20 verschiedenen Zugbeeinflussungssysteme in Europa ablösen. Diese Standardisierung ermöglicht eine starke Vereinfachung der signaltechnischen Ausrüstung der Züge in den transeuropäischen Netzen sowie einen einheitlichen hohen Sicherheitsstandard der Infrastruktur. Die Streckenausrüstung bleibt weiterhin unter nationaler Aufsicht.

[0003] Seit Ende der 1990er Jahre liefen praktische Erprobungen von ETCS und in den 2000er Jahren wurden zunehmend kommerzielle Projekte in Betrieb genommen. Seit 2002 ist für neue transeuropäische Hochgeschwindigkeitsstrecken die Implementierung von ETCS durch EU-Recht vorgeschrieben, seit 2006 auch für Ausbaustrecken. Seit 2017 sind die Eisenbahnnetze in Luxemburg und seit 2018 das Schweizer Normalspurnetz praktisch vollständig mit ETCS ausgerüstet. In Belgien, Dänemark, Israel und den Niederlanden wurde die flächenhafte Ausrüstung des Bestandsnetzes mit ETCS beschlossen. In den meisten europäischen Staaten sowie in einigen weiteren Ländern sind in unterschiedlichem Umfang Strecken und Fahrzeuge mit ETCS in Betrieb. Seit 2015 gingen in Deutschland mehrere Strecken mit ETCS in Betrieb. Die Infrastruktur von ETCS kann auch als Grundlage für den automatisierten Fahrbetrieb (ATO) genutzt werden.

[0004] ETCS kann in unterschiedlichen Ausprägungen ausgestaltet werden, die durch entsprechende Level 1, Level 2 und Level 3 repräsentiert werden. Häufig werden heutzutage neue ETCS-Strecken direkt auf dem Level 2 aufgebaut. Kernelemente des Fahrens nach ETCS Level 2 sind die Führerstandssignalisierung in der Onboard-Unit (OBU) der Lokomotive oder des Steuerwagens, die dem Zugführer sämtliche Daten zum einzuhaltenden Geschwindigkeitsprofil der vor ihm durch eine Erteilung einer Movement Authority (MA) zum Befahren freigegebenen Strecke entweder über ein bahneigenes Mobilfunknetz (GSM-R) ausgehend von einem der klassischen Stellwerk mit nachgeschalteten Radio Block Center (RBC) oder über Balisen und Loop-Kabel in den Führerstand übertragen und auf dem Display der OBU angezeigt werden. Weiter werden auch Daten zur Vorgabe oder OBU-seitigen Bestimmung von Bremsprofilen an die OBU übertragen und dort angezeigt, die seitens des Zugführers einzuhalten sind und im Falle einer Missachtung oder Verletzung durch automatisch ausgelöste Steuerereignisse, wie z.B. ein Zwangsbremsung, durchgesetzt werden. Da es bei mit ETCS Level 2 ausgerüsteten Strecken keine optische Signalisierung durch Aussensignale mehr gibt, muss der Zugführer alle für das Fahren des Zuges relevante Information dem Display der OBU entnehmen.

[0005] Gemäss ETCS Norm SUBSET-026, Abschnitt 3.13.4.2.1, hat eine OBU für die Berechnung der Bremskurven den restriktivsten auf das Fahrzeug übermittelten Streckengradienten (kleinste Steigung bzw. höchstes Gefälle) über die gesamte Zuglänge hinweg betrachtet zu verwenden. Dieses Systemverhalten führt vor allem bei wechselnden Gradientenwerten und langen Zügen dazu, dass die Bremskurven flacher verlaufen als dies aufgrund der im Zug gespeicherten kinetischen Energie notwendig wäre. Folglich resultieren für die so berechneten Bremskurven zu hohe Bremsdistanzen, was Zeit- und Energieverluste nach sich zieht.

[0006] Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur Berechnung von an einer Onboard-Unit eines Schienenfahrzeugs bereitgestellten Bremskurve für einen durch einen Haltepunkt abgesicherten Streckenabschnitt eines Eisenbahnnetzes anzugeben, bei dem eine verbesserte Möglichkeit gefunden wird durch eine verbesserte Bremskurvenberechnung den Betriebsauflauf bei Gewährleistung der erforderlichen eisenbahntechnischen Sicherheit hinsichtlich Energieverbrauch und Zeitverlust zu optimieren.

[0007] Diese Aufgabe wird erfindungsgemäss durch ein Verfahren zur Berechnung von an einer Onboard-Unit eines Schienenfahrzeugs bereitgestellten Bremskurve für einen durch einen Haltepunkt abgesicherten Streckenabschnitt eines Eisenbahnnetzes, gelöst, dass die folgenden Verfahrensschritte umfasst:

a) für die Strecke vor dem Haltepunkt wird ein erster Teilstreckenabschnitt bestimmt, der sich zwischen dem Haltepunkt und einem Gleichgewichtspunkt befindet, wobei der Gleichgewichtspunkt für den Punkt des Streckenabschnitts bestimmt wird, an dem die höchste kinetische Energie eines Schienenfahrzeugs im wesentlichen der mit einem Gradientenprofil für diesen ersten Streckenabschnitt gewichteten latenten Bremsenergie des Schienenfahrzeugs entspricht, und

b) mindestens ein zweiter vor dem ersten Teilstreckenabschnitt befindlicher Teilstreckenabschnitt wird bestimmt, der im Wesentlichen der maximal auf diesem Streckenabschnitt zulässigen Zuglänge entspricht und für den über diese Länge an einer vorgebbaren Anzahl von Punkten ein gewichteter Wert für das durch eine Abfolge von realen Gradientenwerten repräsentierte Gradientenprofil aus den ausgehend vom Gleichgewichtspunkt für die Strecke bis zu dem jeweiligen Punkt vorliegenden Gradientenprofil bestimmt wird.

[0008] Auf diese Weise gewährleistet die vorliegende Erfindung in dem ersten Teilstreckenabschnitt, dass dort eine Bremskurve berechnet wird, die es jedem betrachteten Zug/Schienenfahrzeug erlaubt, auch tatsächlich vor dem Haltepunkt zum Stehen zu kommen. Gleichzeitig kann aber auf dem zweiten Teilstreckenabschnitt nun für eine vorbestimm-
 5 bare Anzahl von Punkten entlang des zweiten Teilstreckenabschnitt ein gewichteter Gradientenwert aufgrund des Verlauf der realen Gradientenwerte, die zwischen dem jeweiligen Punkt und dem Gleichgewichtspunkt liegen, bestimmt werden, der möglicherweise zu einer Verbesserung des an die OBU ausgegebenen Gradientenwertes führt und somit eine weniger restriktive Bremskurve nach sich zieht. Tritt also beispielsweise auf dem zweiten Teilstreckenabschnitt ein Abschnitt mit Gefälle, aber auch ein Abschnitt mit einer Steigung auf, kann somit der Bremsbeitrag der Steigung mit in die Berechnung des resultierenden gewichteten Gradientenwertes einfließen, weshalb nun nicht allein der restriktivere
 10 Wert der Gefällstrecke allein für die Berechnung der Bremskurve herangezogen wird und somit entsprechend nach oben korrigiert werden kann. Somit kann in dem zweiten Teilstreckenabschnitt, vom Gleichgewichtspunkt ausgehend weiter vom Haltepunkt entfernt bis zur maximalen Zuglänge vor dem Gleichgewichtspunkt, wird an beliebig vorgebbaren Punkten beispielsweise der Mittelwert des Gradientenprofils zwischen diesem Punkt und dem Gleichgewichtspunkt gebildet. Dies führt mit zunehmender Entfernung von dem Haltepunkt zu einer graduell stärkeren Glättung der Gradienten.

[0009] In einer sicherheitstechnisch nicht beanstandbaren Weise kann bei der Berechnung des Gleichgewichtspunktes zur Bestimmung der kinetischen Energie die maximal für diesen Streckenabschnitt zulässige Höchstgeschwindigkeit und/oder zur Bestimmung der latenten Bremsenergie das schlechteste Bremsvermögen einer Anzahl von betrachteter zum Verkehr auf dem Streckenabschnitt zugelassener Schienenfahrzeuge herangezogen werden. Die Position des Gleichgewichtspunktes ist wie auch schon voranstehend beschrieben unabhängig von der Länge der verkehrenden Züge.
 20 Der erste Teilstreckenabschnitt zwischen Gleichgewichts- und Haltepunkt liegt somit für Fahrzeuge jeglicher Länge im Bereich der Bremskurve. Um so tatsächlich immer auf den sicheren Seite zu verbleiben, werden daher in diesem ersten Abschnitt die Gradienten nicht verändert.

[0010] Zur weiteren Optimierung des Zuglaufs kann es vorgesehen sein, ein dem zweiten Teilstreckenabschnitt vorgelagerter dritter Teilstreckenabschnitt definiert wird, wobei in diesem dritten Teilstreckenabschnitt ein gewichteter Wert
 25 des Gradientenprofils aus den auf diesem Abschnitt vorliegenden realen Gradientenwerten jeweils für die Länge der maximal zulässigen Zuglänge bestimmt wird. Der dritte Abschnitt befindet sich somit weiter rückliegend, startend ab der maximalen Zuglänge vor dem Gleichgewichtspunkt. In diesem Bereich wird ein rollendes Mittel über die maximale Zuglänge gebildet. Allen vorstehenden Varianten ist gemeinsam, dass anschliessend die realen Gradientenwerte, welche die gewichteten Wert, wie z.B. die berechneten Mittelwerte, unterschreiten, angehoben werden. Durch das gewählte
 30 Verfahren bleibt immer gewährleistet, dass der vom Zug zur Bremskurvenberechnung verwendete Gradient nie permissiver als der tatsächlich wirkende Gradientenwert werden kann.

[0011] Eine Möglichkeit zur Bestimmung des gewichteten Wertes für das Gradientenprofil kann es vorsehen, dass der gewichtete Wert für das Gradientenprofil als Mittelwert des Gradientenprofils auf dem jeweils betrachteten Teil des zweiten und/oder dritten Teilstreckenabschnitts bestimmt wird.

[0012] In einer vorteilhaften Ausgestaltung der vorliegenden Erfindung kann es vorgesehen sein, dass die realen Gradientenwerte, welche unterhalb des Mittelwerts oder des gewichteten Wert des Gradientenprofils liegen auf den Mittel bzw. den gewichteten Wert angehoben werden, wobei dieses angehobene Gradientenprofil in der Bestimmung der aktuell gültigen Bremskurve massgeblich berücksichtigt wird. Somit wird bei der Bestimmung der Bremskurve die so geglättete Version des Gradientenprofil verwendet, die aber immer noch für alle betrachteten Schienenfahrzeuge
 40 einen sicheren Betrieb erlaubt und trotzdem die Fahrzeuggeschwindigkeit dennoch auf einem möglichst hohen Niveau hält, indem beispielsweise ein Bremsvorgang flacher verlaufend ausgeführt werden oder überhaupt erst später ausgelöst werden kann.

[0013] In einer zweckmässigen Weiterbildung der vorliegenden Erfindung kann die aktuell gültige Bremskurve an die Onboard-Unit übertragen und dort für die Bremskurvenüberwachung verwendet werden.

[0014] Zur Bestimmung des gewichteten Wertes bzw. des Mittelwerts für das Gradientenprofil kann es in einer mathematisch einfach umsetzbaren Weise vorgesehen sein, dass die die Abfolge der realen Gradientenwerte in Form eines Stufenprofils bereitgestellt wird. Statt dem arithmetischen Mittel können gewichtete Mittel verwendet werden, welche z.B. einer ungleichmässigen Massenverteilung im Zug (Güterzug mit leeren Waggons und voll beladenen Wag-
 50 gons/Kesselwagen usw.) Rechnung tragen. Des Weiteren kann das wahre Bremsverhalten des Zuges besser abgebildet werden, wenn die Gradientensprungstellen frei wählbar sind und die Vorzeichen der Gradienten nicht beibehalten werden müssen.

[0015] Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der vorliegenden Erfindung sind den übrigen Unteransprüchen zu entnehmen.

[0016] Vorteilhafte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden anhand der Zeichnung näher erläutert.
 55 Dabei zeigen:

Figur 1 in schematischer Ansicht ein auf der OBU zur Verfügung gestellter Gradient für eine Zuglänge von 500m (links) und 1500m (rechts);

Figur 2 in schematischer Ansicht eine Berechnung des Gleichgewichtspunkts;

Figur 3 schematisch eine Visualisierung des Algorithmus zur Durchschnittsbildung;

5 Figur 4 schematisch die Durchschnittsbildung für ein Gradientenprofil;

Figur 5 schematisch das Anheben des Gradienten in einer Gradientensektion;

10 Figur 6 schematisch das Glätten des Gradienten;

Figur 7 schematisch die Durchschnittsbildung und die Glättung des Gradientenwerts vor einem Signal 14EG;

15 Figur 8 schematisch das verwendete Gradientenprofil (links) und die Bremskurven (rechts), berechnet durch die OBU vor (oben) und nach (unten) der Glättung des Gradienten vor dem Signal 14EG;

Figur 9 schematisch die Durchschnittsbildung und die Glättung des Gradientenwerts vor einem Signal 27TA;

20 Figur 10 schematisch das verwendete Gradientenprofil (links) und die Bremskurven (rechts), berechnet durch die OBU vor (oben) und nach (unten) der Glättung des Gradienten vor dem Signal 27TA;

[0017] Im nachfolgenden Text wird nun beispielhaft die Glättung eines zur Berechnung einer optimierten Bremskurve herangezogenen Gradienten des topographischen Streckenverlaufs entlang eines Abschnitts eines Schienenverkehrsweges beschrieben. Der vorliegenden Erfindung liegt dabei ein Konflikt bei der Berechnung der Bremskurve, der sich aus der Art und Weise ergibt, wie der vom ETCS-Standard vorgeschriebene Bremskurven-Algorithmus die in der OBU schliesslich für die Fahrt relevante Bremskurve unter Wahrung der geforderten Sicherheit bestimmt.

25 [0018] Gemäss ETCS Norm SUBSET-026, Abschnitt 3.13.4.2.1, hat eine OBU für die Berechnung der Bremskurven den restriktivsten auf das Fahrzeug übermittelten Streckengradienten (kleinste Steigung bzw. höchstes Gefälle) über die gesamte Zuglänge hinweg betrachtet zu verwenden. Dieses Systemverhalten führt vor allem bei wechselnden Gradientenwerten und langen Zügen dazu, dass die Bremskurven flacher verlaufen als dies aufgrund der im Zug gespeicherten kinetischen Energie notwendig wäre. Folglich resultieren für die so berechneten Bremskurven zu hohe Bremsdistanzen, was Zeit- und Energieverluste nach sich zieht. Dieses Verhalten ist in der Figur 1 schematisch für zwei Zuglängen dargestellt. Das der OBU in Form einer Stufenfunktions zugeführte Gradientenprofil ist in dunkelgrau dargestellt, während das letztendlich von der OBU zur Berechnung der Bremskurve verwendete Gradientenprofil ist in hellgrau dargestellt. Während nun für einen Zug mit einer Länge von 500m das für die Bremskurvenberechnung verwendete Gradientenprofil dem realen Gradientenprofil sehr ähnlich ist, wird für die Zuglänge von 1.500 ein wesentlich restriktiveres Gradientenprofil verwendet.

[0019] Da eben besonders die negativsten Gradientenwerte der Hauptgrund für ein vorzeitiges Bremsen sind, sieht die vorliegende Erfindung eine optimierte Glättung des Gradientenprofils vor. Das entsprechende Verfahren sieht hierzu drei Schritte vor, die nachfolgend näher erläutert werden.

40 [0020] Zuerst wird ein erster Streckenabschnitt direkt vor einem Haltepunkt, z.B. einem Signal, betrachtet, in dem die realen Gradientenwerte zur Berechnung der Bremskurve herangezogen werden. Dieser erste Streckenabschnitt reicht vom Haltepunkt zurück bis zu einem Gleichgewichtspunkt. So nutzen Züge mit kürzerer Länge niemals einen Gradienten, der weniger restriktiv ist als der reale Gradient. Zur Bestimmung der Länge dieses ersten Abschnitts wird eben der Gleichgewichtspunkt bestimmt. Dann wird die Stufenfunktion des Gradientenprofils für einen zweiten Abschnitt, der sich vor dem Gleichgewichtspunkt befindet, gemittelt und schliesslich wird das ursprüngliche Gradientenprofil angepasst um ein verbessertes Bremsverhalten erzielen zu können.

45 [0021] Das Verfahren basiert auf der Annahme, dass das zugrundeliegende Gradientenprofil auch tatsächlich die effektive Topologie der Strecke repräsentiert. Wenn das zugrundeliegende Gradientenprofil lokale Gradienten-Minima unterschätzt, kann die Sicherheit des Verfahren natürlich nicht voll garantiert werden. Weiter nimmt das Verfahren an, dass die zulässige Geschwindigkeit bis zu dem überwachten Haltepunkt eine konstante Grösse ist, was bedeutet, dass nur die Bremskurve bis vor den Haltepunkt optimiert werden müssen.

50 [0022] Der Gleichgewichtspunkt beschreibt dabei den Punkt, an dem eine Zug der Länge NULL mit dem Bremsen beginnen muss um an dem Haltepunkt auch effektiv zum Halten zu kommen. An diesem Punkt ist die kinetische Energie des Zuges gleich zu seinen Masse multipliziert mit der Bremsbeschleunigung, korrigiert durch das Gradientenprofil, das über die Weglänge bis zum Haltepunkt wie folgt aufintegriert wird:

$$E_{kin} = \int_0^d a_{total} m(x) dx$$

$$\frac{1}{2} M v^2 = \int_0^d (a_B + g \delta(x)) m(x) dx$$

(Gleichung 1)

wobei d die Distanz vom Haltepunkt bis zu dem Gleichgewichtspunkt, a_B die Bremsbeschleunigung des Zuges, $m(x)$ die Masse des Zuges und $\delta(x)$ der Gradient am Ort x ist.

[0023] Wenn die Zuglänge gegen Null strebt, wird aus Gleichung 1:

$$\frac{1}{2} M v^2 = M \int_0^d (a_B + g \delta(x)) dx$$

(Gleichung 2)

wobei sich die Masse des Zuges hier nun herauskürzt.

[0024] Für eine Stufenfunktion des Gradientenprofils kann das Integral wie folgt als Summe geschrieben werden:

$$\frac{1}{2} v^2 = x_1(a_B + g\delta_1) + x_2(a_B + g\delta_2) + \dots + (d - x_1 - x_2 - \dots)(a_B + g\delta_n)$$

(Gl. 3)

[0025] Die rechte Seite dieser Gleichung 3 korrespondiert grafisch zur der Fläche unter der korrigierten Stufenfunktion der Bremsverzögerung, die in Figur 2 als leicht schraffiert dargestellt und als hellgrüne Linie gedruckt ist. Der Gleichgewichtspunkt liegt an der Schnittstelle von der Bremsverzögerungsenergie (hellgraue Linie) und der kinetischen Energie (dunkelgraue Linie).

[0026] In der Realität wird das Energiegleichgewicht für das gegebene Gradientenprofil iterativ durch das Aufsummieren der Fläche unter der Stufenfunktion des Gradientenprofils noch verschoben durch einen gegebenen Wert für die Bremsverzögerung für einen Zug beginnend für den Haltepunkt rückwärts bestimmt, bis die Summe tatsächlich die kinetische Energie für eine für den Streckenabschnitt geltende Geschwindigkeit überschreitet.

[0027] Dieser ersten Streckenabschnitt zwischen dem Gleichgewichtspunkt und dem Haltepunkt liegt somit innerhalb des möglichen Bremsverlaufs für alle Züge (unabhängig von ihrer Länge), die die verwendete Bremsverzögerung erfüllen. Deshalb ist auch das Gradientenprofil zur Berechnung der Bremskurve in diesem Abschnitt nicht durch Glättung verändert worden und wird eben so an die OBU zur Berechnung der Bremskurve übermittelt.

[0028] Durchschnittsbildung des Gradienten Die Lage des Energiegleichgewichts wird für eine (fiktive) Zuglänge der Länge Null bestimmt. Für längere Züge müssen auch die hinter dem Gleichgewichtspunkt für die Berechnung der Bremskurve berücksichtigt werden. Solange wie die durch eine abschüssige Strecke hervorgerufene Beschleunigung nicht die Bremsverzögerung übertrifft, muss nur der Abschnitt über eine komplette Zuglänge vor dem Gleichgewichtspunkt für die Berechnung der Bremskurve berücksichtigt werden. Diese Bedingung kann geschrieben werden als:

$$a_B \leq g\delta(x)$$

(Gleichung 4)

[0029] Für eine Bremsbeschleunigung von beispielsweise -0.34 m/sec^2 sollte auch der niedrigste Gradient im Bremsprofil nicht noch niedriger als -0.34 Promille sein.

[0030] Für die Durchschnittsbildung der Gradientenprofile könnte auch die Gewichtsverteilung des Zuges betrachtet werden. Für den nachfolgend erläuterten Algorithmus wird aber von einer gleichmässigen Gewichtsverteilung über die Zuglänge ausgegangen.

[0031] Weil natürlich Züge unterschiedlicher Länge auf dem Schienennetz verkehren, muss bei der Mittelwertbildung auch die entsprechend variierende Bremsdistanz berücksichtigt werden. Um dem Rechnung zu tragen, wird der folgende Algorithmus (wie visualisiert in Figur 3) angewendet:

a) Zwischen dem Anhaltepunkt und dem Gleichgewichtspunkt werden die Gradienten unverändert für die Bestimmung der Bremskurven verwendet:

$$\delta_{av}(x) = \delta(x) \quad \varepsilon \leq x \quad (\text{Gleichung 5})$$

b) Für eine gesamte Zuglänge vor dem Gleichgewichtspunkt wird der Gradient für jeder Punkt arithmetisch zwischen diesem Punkt und dem Gleichgewichtspunkt gemittelt:

$$\delta_{av}(x) = \frac{1}{\varepsilon - x} \sum_{i=x}^{\varepsilon} \delta(i) \quad (\varepsilon - l_{max}) \leq x < \varepsilon \quad (\text{Gleichung 6})$$

c) Für grössere Entfernungen als eine gesamte Zuglänge vor dem Gleichgewichtspunkt wird der Gradient arithmetisch für jeden Punkt über die maximale Zuglänge in Richtung zum Anhaltepunkt gemittelt (rollender Mittelwert):

$$\delta_{av}(x) = \frac{1}{l_{max}} \sum_{i=x}^{x+l_{max}} \delta(i) \quad x < (\varepsilon - l_{max}) \quad (\text{Gleichung 7})$$

[0032] Es muss angemerkt werden, dass die gemittelten Gradienten immer dem hinteren Ende des gemittelten Abschnitts zugeordnet werden. Dies weicht von der üblichen Vorgehensweise ab, wie beispielsweise bei dem durch die OBU verwendeten Gradienten (siehe Figur 1), wo der «aktiv wirkende Gradient» für die Zugspitze dargestellt ist.

[0033] Der vorliegende Algorithmus führt daher eher zu einer graduell stärkeren Glättung der Gradientendaten für weiter vom Haltepunkt entfernt liegende Punkte. Dabei wird sich der Mittelwert für näher liegende Punkte immer stärker an das original gegebene Gradientenprofil angleichen im Vergleich zu dem über längere Distanzen bestimmten Mittelwert. Aus diesem Grunde kann ein längerer Zug von den ausgebügelt Gradienten profitieren, während ein kürzer Zug sich eher an die exakten Gradientendaten für die Bremsdistanz halten muss.

[0034] Figur 4 zeigt nun eine Beispiel für eine Mittelwertbildung des Streckengradienten.

Gradientglättung

[0035] Vorliegend wurden eine Anzahl von Randbedingungen für die Glättung des Gradienten aus den folgenden Gründen bestimmt:

a) Gradienten sollten immer nur nach «aufwärts» (abschüssige Gradient verringern und steigende Gradienten anheben) angepasst werden, damit auch das restriktive Verhalten des Onboard-Algorithmus zur Bestimmung der Bremskurve berücksichtigt werden kann. Eine derartige Anhebung des Gradienten darf natürlich umgekehrt nicht dazu führen, dass ein weniger strenger OBU gradient angegeben wird als der tatsächlich über die Zuglänge wirkende Streckengradient. Dieses Verhalten muss für jeden Zug innerhalb seiner Bremsdistanz und für den längsten Zug überall gelten.

b) Die Positionen der vorgenommenen Änderungen der Gradienten sollte nicht verändert werden um den Einfluss der Engineering-Änderungen zu minimieren und um ebenfalls die Übereinstimmung zwischen den für den Lokführer sichtbaren Gradientenänderungen und den entsprechenden Anzeigen auf dem ETCS interface der OBU für den Lokführer zu erhalten.

c) Das Vorzeichen jeder Gradientenstufe in dem treppenförmigen Verlauf des Gradienten (Information abschüssige/ansteigende Strecke) so erhalten bleiben, sodass ebenfalls eine Übereinstimmung zwischen den für den Lokführer sichtbaren Gradientenänderungen und den entsprechenden Anzeigen auf dem ETCS interface der OBU für den Lokführer erhalten bleibt.

[0036] Es bleibt hier anzumerken, dass die in vorstehend b) und c) geschilderten Randbedingungen ein wenig die Wirkung der Glättung des Gradienten aus Gründen von rein operationellen Aspekten abschwächen, wobei diese beiden Regeln auch selbst weiter abgeschwächt werden können ohne dass es zu einem Einfluss auf die Sicherheit des Verfahrens käme.

[0037] Die vorstehenden Randbedingung können nun für den Algorithmus gemäss der folgenden Regeln umgesetzt

werden:

Eine Stufe des Gradientenverlaufs kann angehoben werden, wenn das Minimum des gemittelten Gradienten für diese Gradientenstufe und eine Zuglänge zurück vor dem Startpunkt dieser Gradientenstufe (also die Strecke, auf der dieser Gradient auf den Mittelwert einwirkt) grösser ist als der ursprüngliche Gradientenwert. Ungeachtet dessen kann die Strecke, auf der das Minimum für den gemittelten Gradienten in Betrachtung zu ziehen, kann bis zu der Position verkürzt werden, an der die nächste Gradientenstufe unterhalb der Funktion des gemittelten Gradienten liegt. In manchen Fällen, in Abhängigkeit von der Topologie, muss nur das Minimum in dieser Gradientenstufe betrachtet werden, weil der als nächstes kommende niedrigere Gradient den gemittelten Gradienten, der von der OBU zur Berechnung der Bremskurve verwendet wird, eh weiter begrenzen wird. Figur 5 zeigt nun schematisch ein Beispiel für die Anhebung einer Gradientenstufe gemäss dieser Regel. Um zu prüfen, ob die Gradientenstufe in Figur 5 bei 4000 m angehoben werden kann, muss das Minimum für den gemittelten Gradienten in dieser Gradientenstufe und vor dieser Gradientenstufe, bis eine andere Gradientenstufe von ihrem Start bis Ende unter diesem Mittelwert liegt, berechnet werden. Ist dieses Minimum höher als der ursprüngliche Wert für diese Gradientenstufe kann der Wert für den Gradienten in dieser Gradientenstufe angehoben werden (siehe Pfeil in Figur 5 bei etwa Meter 4.100).

[0038] Der Gradient kann somit bis zu einem Wert unterhalb des Minimums in dem betrachteten Abschnitt ohne Wechsel des Vorzeichens angehoben werden (negative Werte für den Gradienten können in diesem Ausführungsbeispiel nur bis zum Wert NULL erhöht werden. Der resultierende Algorithmus für die Glättung erlaubt so eine Reduktion der negativen Spitzen für die Gradienten in abschüssigen Gradientenstufen ohne dabei aber die auf den Zug wirkende grundsätzliche Topologie der abschüssigen Strecke aufzugeben.

[0039] Figur 6 zeigt nun ein Beispiel für den ursprünglichen Verlauf des Gradientenprofils und für den geglätteten Verlauf für das Gradientenprofil nach der Anwendung des vorstehend erläuterten Algorithmus für einen Zug mit einer Zuglänge von 1.500 Metern. Die hellgrauen Flächen repräsentieren dabei die Verbesserungen für den ursprünglichen Gradienten durch den Glättungsprozess.

[0040] Das hier beschriebene Verfahren erlaubt es so negative Gradientenspitzen für abschüssige Streckenprofile in einem Gradientenprofil zu glätten, wodurch das Bremsverhalten in betrieblicher Hinsicht gegenüber einer ETCS-Onboard-Einheit (OBU), die den im ETCS-Standard definierten Algorithmus gemäss dem Stand der Technik benutzt, optimiert wird. Gleichzeitig ist aber auch sichergestellt, dass das Gradientenprofil nicht in einer Weise abgeändert wird, dass es nicht auch dem Zug mit dem geringsten Bremsvermögen möglich ist an dem beabsichtigten Haltepunkt auch tatsächlich zum Stehen zu kommen. Das Verfahren kann zudem für Züge jeglicher Länge bis zur jeweils für die Strecke projektierten maximalen Zuglänge angewendet werden.

[0041] Der Grad der Einwirkung des Verfahrens hängt dabei aber start von der Topologie der ursprünglichen Gradientendaten ab. So können beispielsweise lange Gradientenstufen nach dem Gleichgewichtspunkt kaum geglättet werden. Natürlich hängt es auch von der Art und Weise ab, wie das RBC die Gradientenprofile mit diesem Algorithmus behandelt. Wenn also beispielsweise die Gradienten von dem zugrundeliegenden festen Gradientenprofil der Strecke herausgezogen werden und der Abstand zum nächsten Haltepunkt (Haltesignal) kleiner oder nahe zu der maximal angenommenen Zuglänge ist, kann die Regel den ursprünglichen Gradienten zwischen jedem Haltepunkt und dem Gleichgewichtspunkt heranzuziehen dazu führen, dass damit auch ein Einfluss auf die Glättung des Gradientenprofils auftreten kann, wenn sich der Zug an die nächsten Haltepunkte annähert.

[0042] Mögliche Anpassungen des Algorithmus können so zum Beispiel darin bestehen, die Fragmentierung der Gradientenstufen zu verfeinern und auch den Wechsel des Vorzeichens von negativen Gradientenwerten zu positiven Gradientenwerten zuzulassen. Weiter könnte man den Algorithmus auch direkt im RBC (und nicht in der OBU) implementieren, womit für jede vom RBC einem Zug erteilte Movement Authority (MA) ein geglätteter Gradientenverlauf berechnet und an die OBU übertragen werden kann, was den Einfluss zu betrachtenden innerhalb der MA liegender Signale eliminieren würde. Schliesslich erlaubt es die Implementierung des Algorithmus im RBC auch die effektive Länge des Zuges bei der Glättung der Gradienten zu berücksichtigen.

[0043] Nachfolgend werden noch weitere Beispiele für die Anwendung des Algorithmus auf die Gradientendaten erläutert und die berechneten Bremskurven vor und nach der Glättung dargestellt.

[0044] Figur 7 zeigt die Mittelung des Gradienten und die Glättung für ein Signal 14EG. Figur 8 zeigt entsprechend auf der linken Seite die verwendeten Gradientenprofile und die Bremskurven, so wie sie die OBU vor der Anwendung des Algorithmus (oben) und der Anwendung des Algorithmus (unten) auf den Zug für das Signal 14EG anwendet.

[0045] Figur 9 zeigt die Mittelung des Gradienten und die Glättung entsprechend für ein Signal 27TA. Figur 10 zeigt entsprechend auf der linken Seite die verwendeten Gradientenprofile und die Bremskurven, so wie sie die OBU vor der Anwendung des Algorithmus (oben) und der Anwendung des Algorithmus (unten) auf den Zug für das Signal 27TA anwendet.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Berechnung von an einer Onboard-Unit eines Schienenfahrzeugs bereitgestellten Bremskurve für einen durch einen Haltepunkt abgesicherten Streckenabschnitt eines Eisenbahnnetzes, umfassend die folgenden Verfahrensschritte:

a) für die Strecke vor dem Haltepunkt ein erster Teilstreckenabschnitt bestimmt wird, der sich zwischen dem Haltepunkt und einem Gleichgewichtspunkt befindet, wobei der Gleichgewichtspunkt für den Punkt des Streckenabschnitts bestimmt wird, an dem die höchste kinetische Energie eines Schienenfahrzeugs im wesentlichen der mit einem Gradientenprofil für diesen ersten Streckenabschnitt gewichteten latenten Bremsenergie des Schienenfahrzeugs entspricht, und

b) mindestens ein zweiter vor dem ersten Teilstreckenabschnitt befindlicher Teilstreckenabschnitt bestimmt wird, der im Wesentlichen der maximal auf diesem Streckenabschnitt zulässigen Zuglänge entspricht und für den über diese Länge an einer vorgebbaren Anzahl von Punkten ein gewichteter Wert für das durch ein Abfolge von realen Gradientenwerten repräsentierte Gradientenprofil aus den ausgehend vom Gleichgewichtspunkt für die Strecke bis zu dem jeweiligen Punkt vorliegenden Gradientenprofil bestimmt wird.

2. Verfahren nach Anspruch 1,

dadurch gekennzeichnet, dass

zur Bestimmung der kinetischen Energie die maximal für diesen Streckenabschnitt zulässige Höchstgeschwindigkeit und/oder zur Bestimmung der latenten Bremsenergie das schlechteste Bremsvermögen einer Anzahl von betrachteter zum Verkehr auf dem Streckenabschnitt zugelassener Schienenfahrzeuge herangezogen werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,

dadurch gekennzeichnet, dass

ein dem zweiten Teilstreckenabschnitt vorgelagerter dritter Teilstreckenabschnitt vorgesehen ist, wobei in diesem dritten Teilstreckenabschnitt ein gewichteter Wert des Gradientenprofils aus den auf diesem Abschnitt vorliegenden realen Gradientenwerten jeweils für die Länge der maximal zulässigen Zuglänge bestimmt wird.

4. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

der gewichtete Wert für das Gradientenprofil als Mittelwert des Gradientenprofils auf dem jeweils betrachteten Teil des zweiten und/oder dritten Teilstreckenabschnitts bestimmt wird.

5. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet,

die realen Gradientenwerte, welche unterhalb des Mittelwerts oder des gewichteten Wert des Gradientenprofils liegen auf den Mittel bzw. den gewichteten Wert angehoben werden, wobei dieses angehobene Gradientenprofil in der Bestimmung der aktuell gültigen Bremskurve massgeblich berücksichtigt wird.

6. Verfahren nach Anspruch 6,

dadurch gekennzeichnet, dass

die aktuell gültige Bremskurve an die Onboard-Unit übertragen und dort für die Bremskurvenüberwachung verwendet wird.

7. Verfahren nach einem der vorangehenden Ansprüche,

dadurch gekennzeichnet, dass

die Abfolge der realen Gradientenwerte in Form eines Stufenprofils bereitgestellt wird.

FIG 1

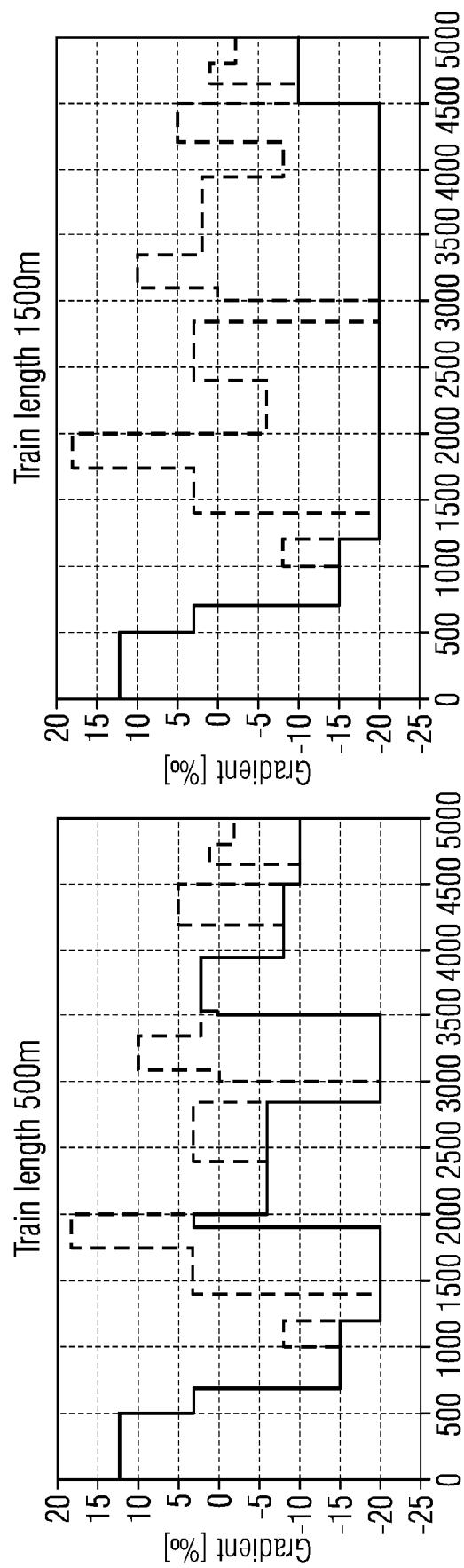


FIG 2

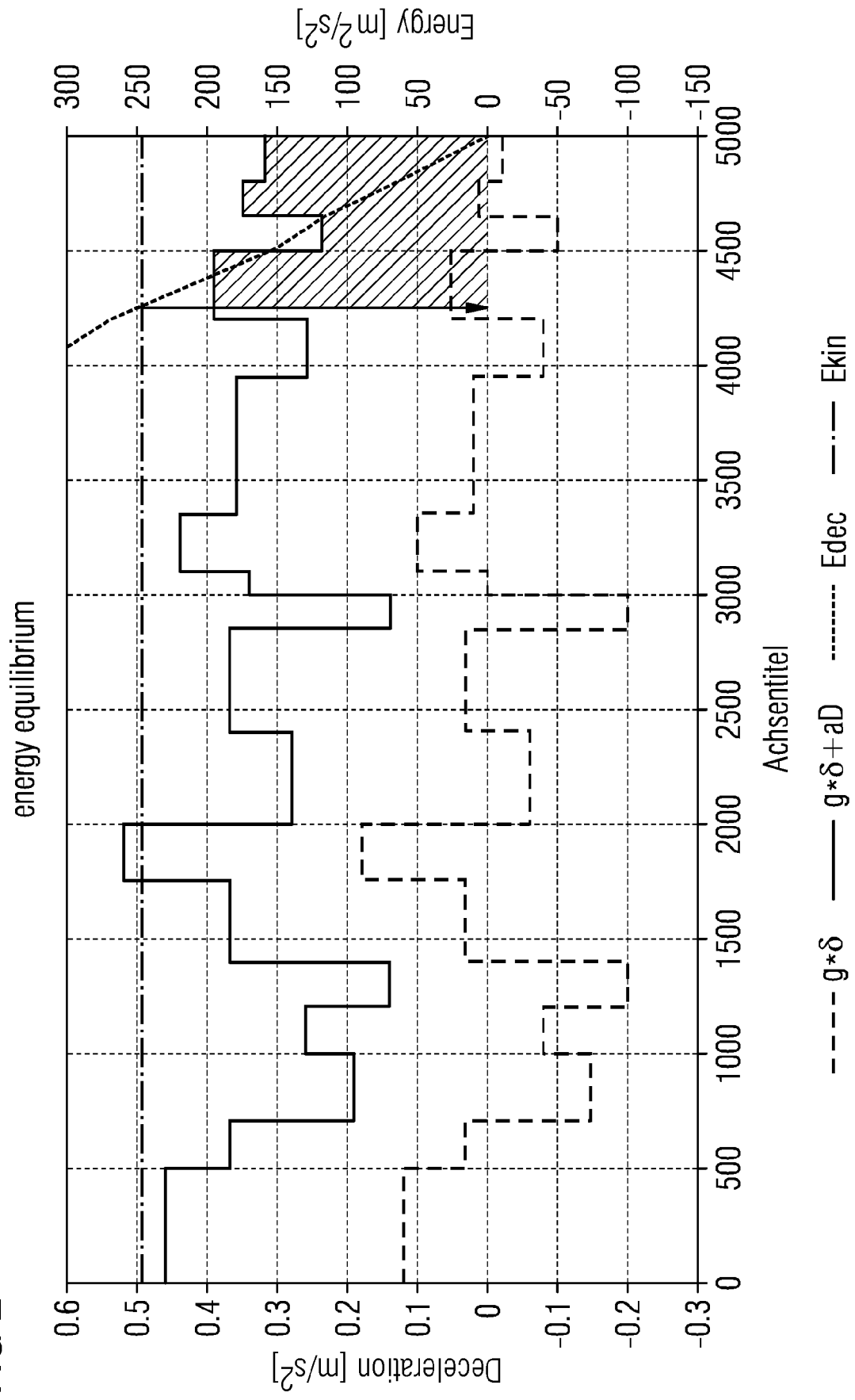


FIG 3

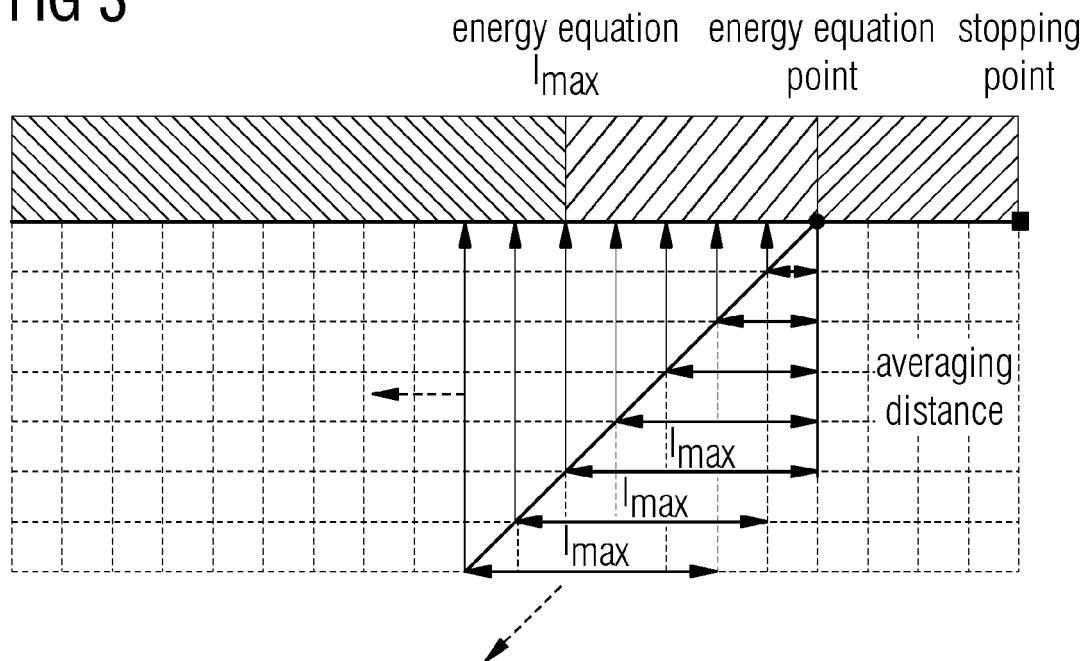


FIG 4

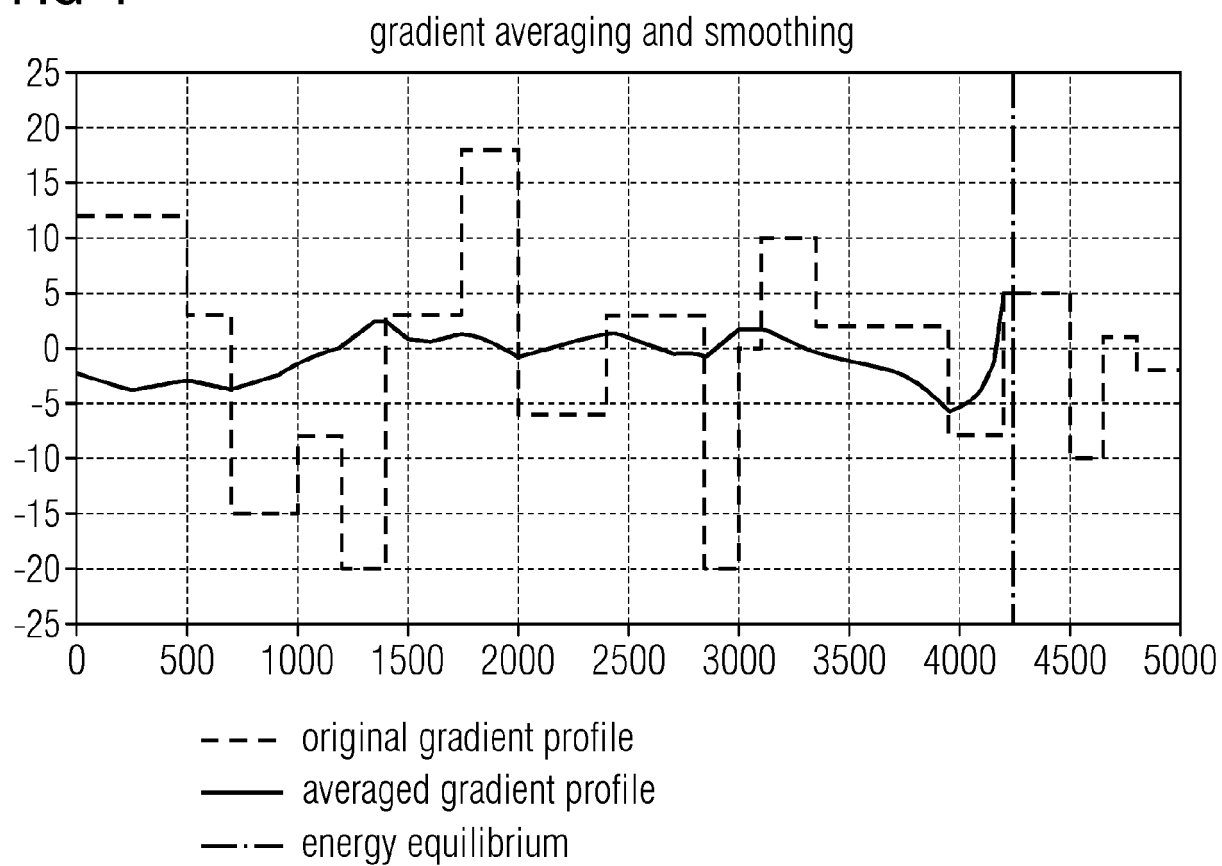


FIG 5

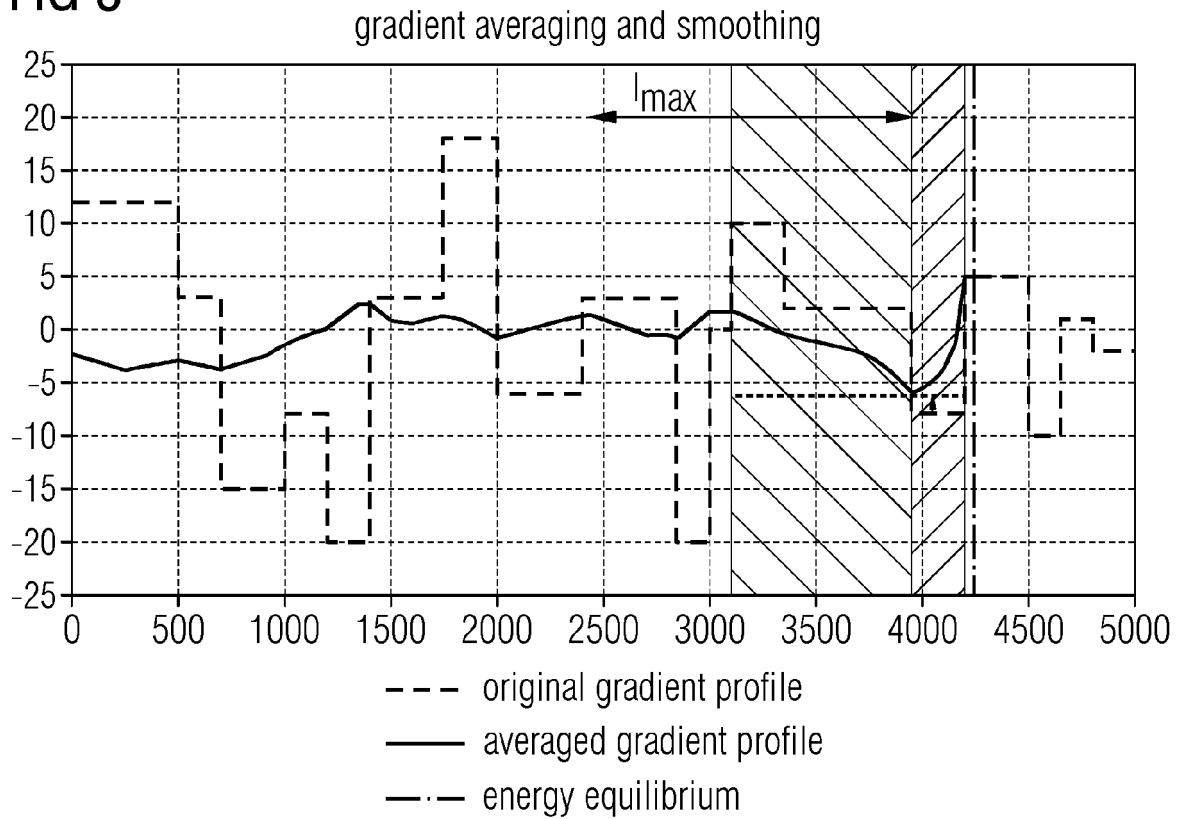


FIG 6

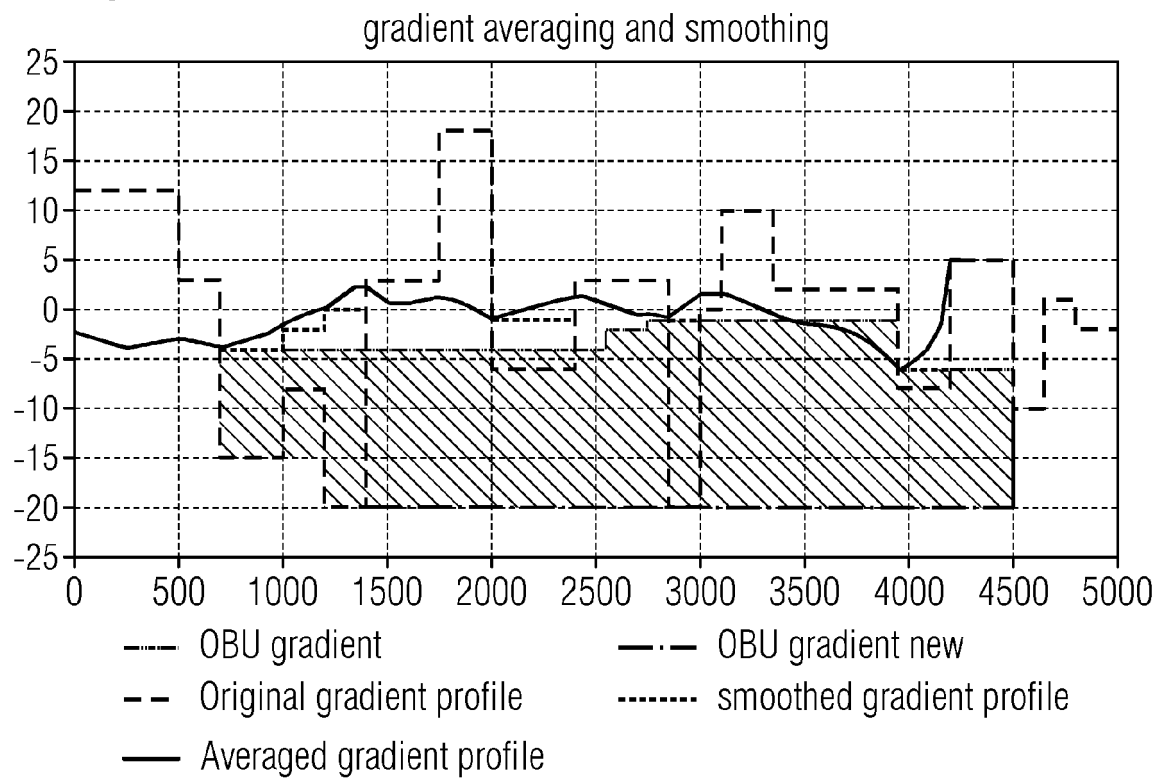


FIG 7

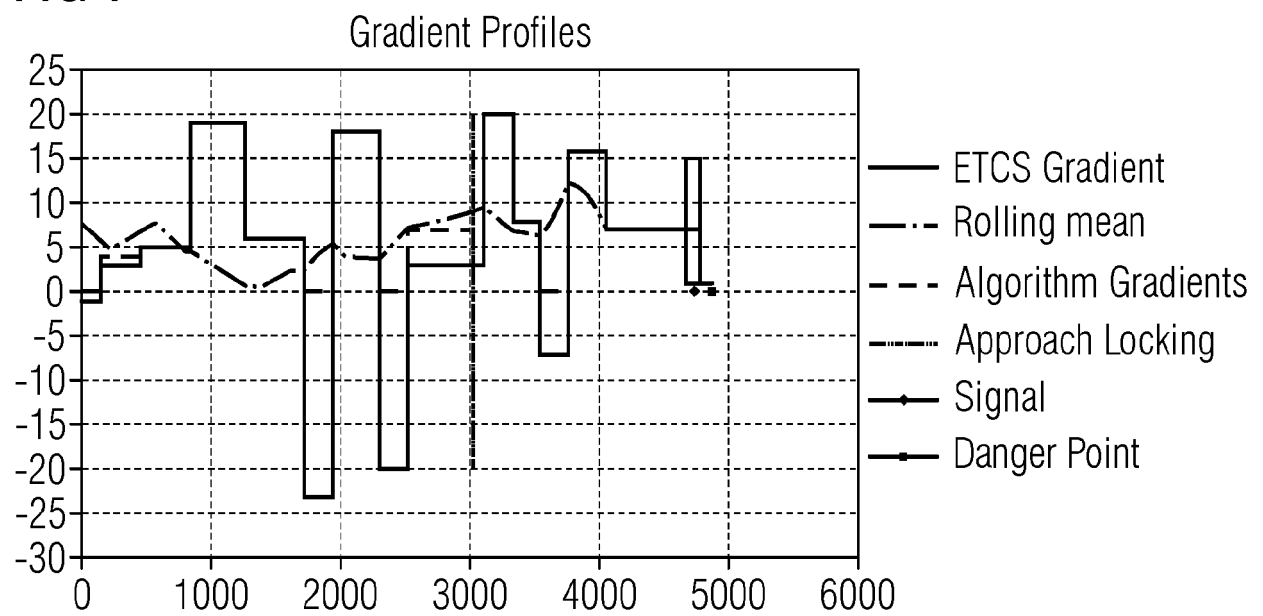


FIG 8

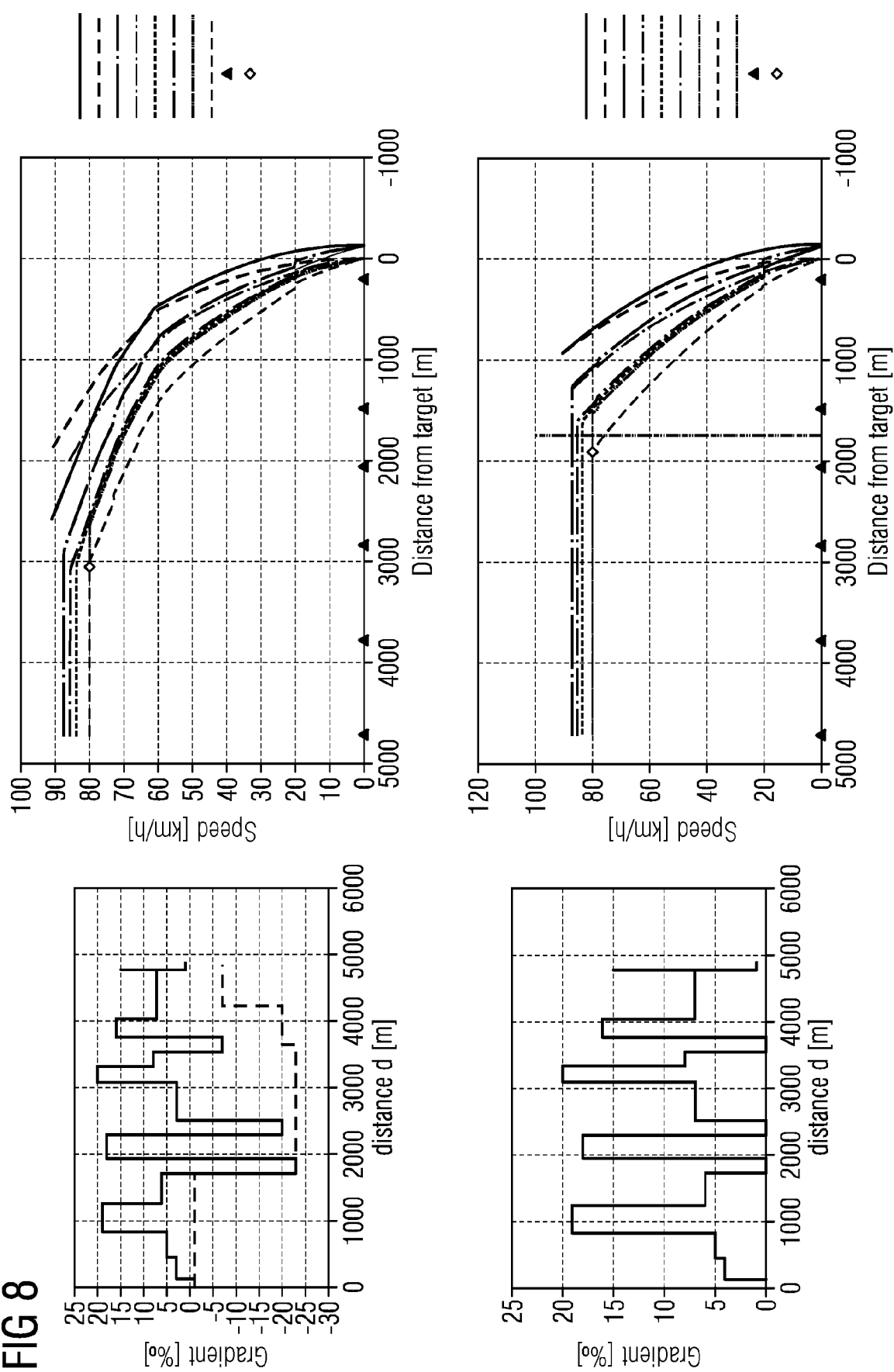
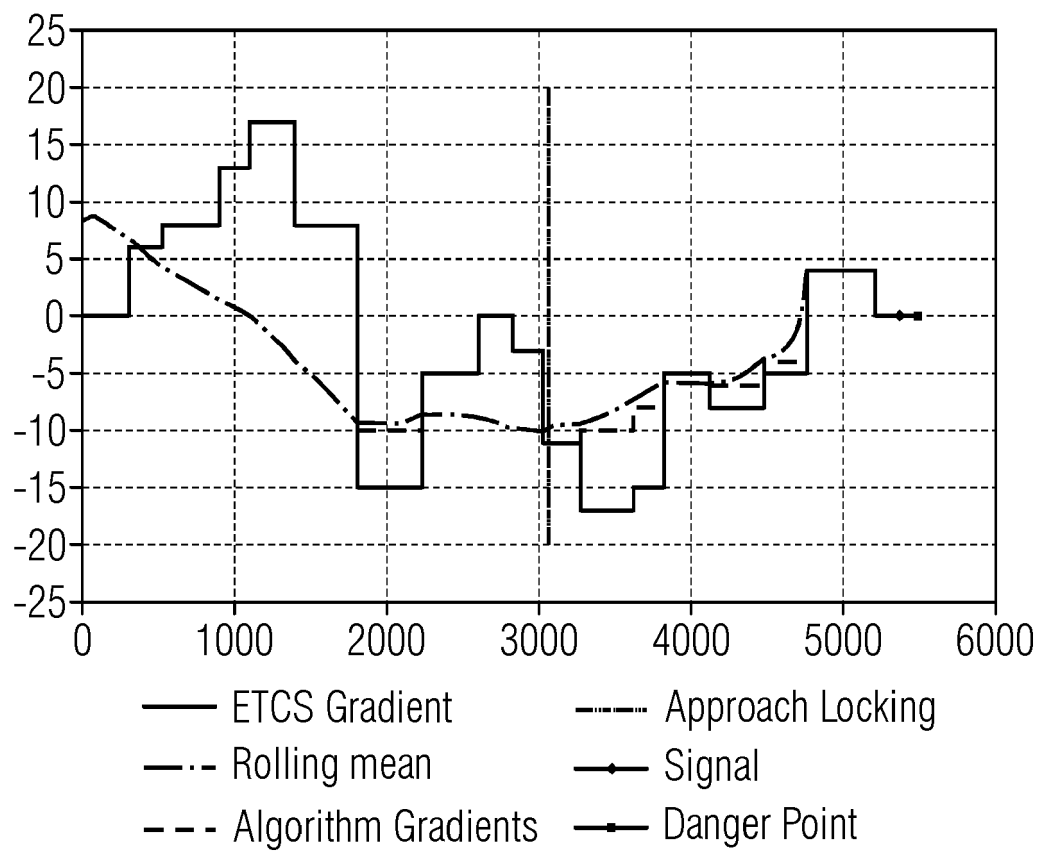
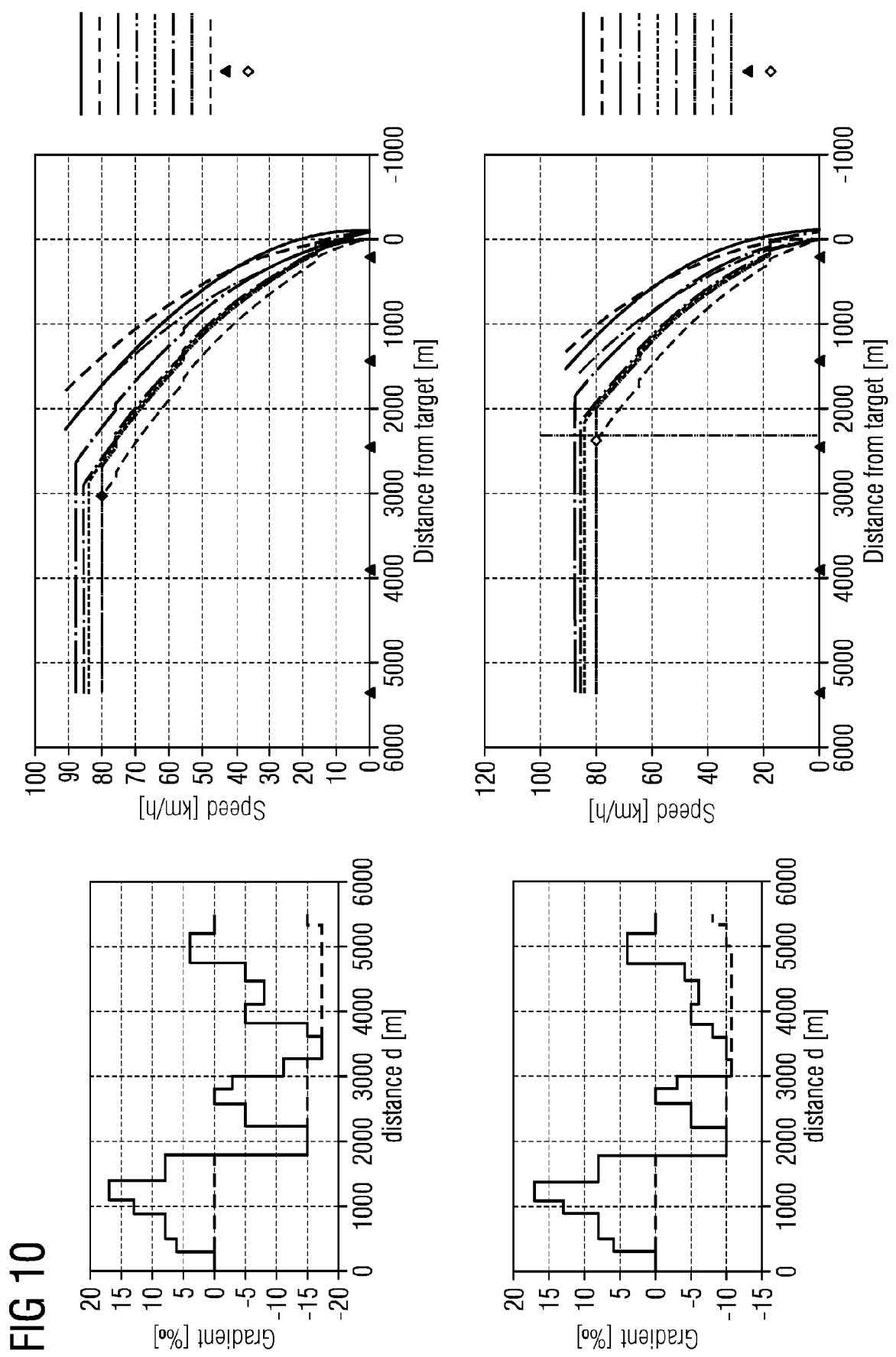


FIG 9







EUROPÄISCHER RECHERCHENBERICHT

Nummer der Anmeldung

EP 21 20 5619

5

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

2

EPO FORM 1503 03.82 (P04C03)

EINSCHLÄGIGE DOKUMENTE			
Kategorie	Kennzeichnung des Dokuments mit Angabe, soweit erforderlich, der maßgeblichen Teile	Betrifft Anspruch	KLASSIFIKATION DER ANMELDUNG (IPC)
A	KUKACKA M: "BERECHNUNGSMETHODEN ZUR ERMITTLUNG DER SCHUTZSTRECKE BEI U- UND STADTBAHNEN WAYS OF CALCULATIONS TO DETERMINE THE SECURITY DISTANCE OF URBAN TRAINS AND UNDERGROUNDS", ELEKTROTECHNIK UND INFORMATIONSTECHNIK, SPRINGER VERLAG, WIEN, AT, Bd. 117, Nr. 3, 1. Januar 2000 (2000-01-01), Seiten 223-226, XP000966083, ISSN: 0932-383X * Zusammenfassung; Abbildungen 1, 2 * * Abschnitt 5 *	1-7	INV. B61L3/00
A	CH 698 947 B1 (ALSTOM SWITZERLAND LTD [CH]) 15. Dezember 2009 (2009-12-15) * Absätze [0029] - [0032] *	1-7	
A	SINGER A ET AL: "BREMSKURVEN FÜR DEN HOCHGESCHWINDKEITSVERKEHR MIT FUNKZUGBEEINFLUSSUNG", ZE VRAIL - GLASERS ANNALEN: ZEITSCHRIFT FÜR DAS GESAMTE SYSTEM BAHN, GEORG SIEMENS VERLAG GMBH & CO. KG, DE, Bd. 123, Nr. 2, 1. Februar 1999 (1999-02-01), Seiten 53-60, XP000801703, ISSN: 0941-0589 * Abschnitt 2 *	1-7	RECHERCHIERTE SACHGEBIETE (IPC) B61L
Der vorliegende Recherchenbericht wurde für alle Patentansprüche erstellt			
Recherchenort München		Abschlußdatum der Recherche 29. April 2022	Prüfer Robinson, Victoria
KATEGORIE DER GENANNTE 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 20 5619

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.

29-04-2022

10	Im Recherchenbericht angeführtes Patentedokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
15	CH 698947	B1	15-12-2009	KEINE
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