



(12) **Offenlegungsschrift**

(21) Aktenzeichen: **10 2011 052 470.3**
(22) Anmeldetag: **08.08.2011**
(43) Offenlegungstag: **14.02.2013**

(51) Int Cl.: **A61B 5/11 (2011.01)**
A61B 5/22 (2011.01)
G01C 22/00 (2011.01)
A43B 17/00 (2011.01)

(71) Anmelder:
Grellert, Detlef, 72813, St. Johann, DE

(74) Vertreter:
**Kaufmann, Ursula, Dipl.-Phys. Dr.rer.nat., 70597,
Stuttgart, DE**

(72) Erfinder:
gleich Anmelder

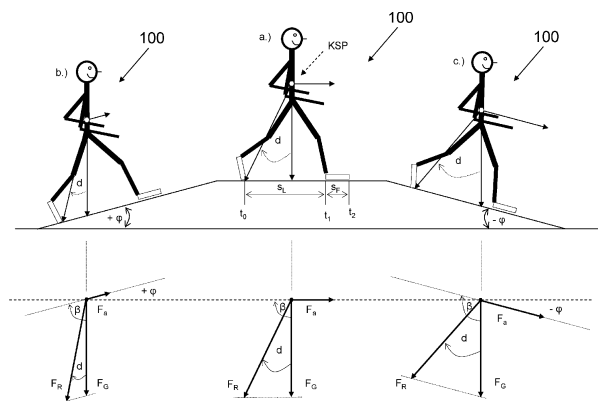
(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 10 2007 011 855 B4
DE 34 05 081 A1
DE 197 34 697 A1
WO 01/ 25 726 A1

Prüfungsantrag gemäß § 44 PatG ist gestellt.

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

(54) Bezeichnung: **Verfahren und Einrichtung zur Erfassung eines Bewegungsparameters eines Läufers**



(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur Erfassung eines Bewegungsparameters eines Läufers (100), wobei aus einer Weg/Zeit-Messung und einem Kraft-/Drucksignal ein Bewegungsparameter (φ) des Läufers (100) abgeleitet wird.

Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren und eine Einrichtung zur Erfassung von wenigstens einem Bewegungsparameter eines Läufers nach den Oberbegriffen der unabhängigen Ansprüche.

[0002] Es sind verschiedenste Verfahren und Einrichtungen bekannt, um Bewegungsparameter wie etwa die Geschwindigkeit und die gelaufene Wegstrecke von Läufern zu bestimmen. In der DE-A1-19734697 oder der DE-A1-3405081 wird eine zurückgelegte Wegstrecke und eine mittlere Geschwindigkeit errechnet, indem eine geschätzte mittlere Schrittlänge betrachtet wird.

[0003] Aus der WO 01/25726 A1 ist bekannt, an einer Fußspitze und einem Fersenbereich einer Einlegesohle jeweils einen Drucksensor anzuordnen, mit denen eine Kontaktzeit des Fußes auf dem Untergrund bestimmt werden kann. Die mittlere Geschwindigkeit wird aus den Geschwindigkeiten bestimmt, die aus einer Beschleunigung in einer Flugphase des Fußes und aus der Kontaktzeit des Fußes mit dem Untergrund abgeleitet werden.

[0004] Die DE 10 2007 011 855 B4 beschreibt die Erfassung von Geschwindigkeit und Wegstrecke mittels Drucksensoren, die als Sensorkette am Schuh, beispielsweise als Einlegesohle oder als Band um den Schuh angeordnet ist.

[0005] Es ist Aufgabe der Erfindung, ein genaues und komfortables Verfahren und eine dazu geeignete Einrichtung zu schaffen, mit denen ein Bewegungsparameter eines Läufers bestimmt werden kann. Die Aufgabe wird durch die Merkmale der unabhängigen Ansprüche gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen sind Gegenstand der weiteren Ansprüche.

[0006] Es wird eine Bewegungsparameter-Messeinrichtung zur Erfassung eines Bewegungsparameters eines Läufers vorgeschlagen, der gegenüber einem Untergrund eine Relativbewegung ausführt. Zur Erfassung eines Drucks und/oder einer Druckverteilung ist zwischen einem Fuß des Läufers und dem Untergrund eine Sensorik mit wenigstens einem Drucksensor vorgesehen, sowie eine Auswerteinheit, die aus dem erfassten Signal des Drucks und/oder der Druckverteilung einen Bewegungsparameter des Läufers ableitet.

[0007] Insbesondere kann der Bewegungsparameter ein Bewegungswinkel sein, insbesondere ein Steigungswinkel des Untergrunds. So kann abgeleitet werden, ob der Läufer sich auf einer Ebene bewegt oder auf einer schiefen Ebene, d.h. auf einer Steigung oder einem Gefälle. Es ist möglich, einen oder mehrere Bewegungsparameter auf der Basis relativ einfacher Modelle von Kraftvektoren und/oder Beschleunigungen zu gewinnen, wobei jeweils gleichartige Parameter verglichen werden können, die mit verschiedenen Modellen gewonnen wurden. Dies erhöht die Sicherheit und kann zu Plausibilitätsbetrachtungen der Ergebnisse herangezogen werden.

[0008] Vorteilhaft kann die Sensorik eine Sensorkette mit Drucksensoren umfassen, die sich in flächiger Anordnung wenigstens bereichsweise über eine Fußfläche erstreckt. Damit kann eine Druckverteilung erfasst werden, was die Sicherheit und Genauigkeit erhöht.

[0009] Günstigerweise kann die Sensorik in eine Einlegesohle integriert sein. Alternativ oder zusätzlich kann die Sensorik in einen Schuh integriert sein. Alternativ oder zusätzlich kann die Sensorik in einen Strumpf integriert sein, der um einen Schuh oder Fuß legbar ist.

[0010] In günstiger Ausgestaltung kann die Sensorik ein hydraulisches Gestänge umfassen. Alternativ oder zusätzlich kann die Sensorik ein Piezoelement umfassen, oder auch andere Druckaufnehmer, z.B. kapazitive, induktive oder ohmsche Druckaufnehmer wie z.B. der FSR-Sensor (Force Sensitive Resistor), der seinen elektrischen Widerstand abhängig von der auf die aktive Oberfläche einwirkenden Kraft ändert.

[0011] Gemäß eines weiteren Aspekts der Erfindung wird ein Verfahren zum Betreiben einer Bewegungsparameter-Messeinrichtung vorgeschlagen, bei welchem aus einem Druck und/oder einer Druckverteilung zwischen einem Untergrund und einem Fuß eines sich gegenüber dem Untergrund eine Relativbewegung ausführenden Läufers ein Bewegungsparameter des Läufers abgeleitet wird.

[0012] Insbesondere kann der Bewegungsparameter ein Bewegungswinkel sein, insbesondere ein positiver oder negativer Steigungswinkel des Untergrunds.

[0013] Vorteilhaft kann ein Referenzwert der Geschwindigkeit erfasst werden und mit einem aktuellen Signal des Drucks und/oder der Druckverteilung verglichen werden. Bei einer relativen Zunahme des Drucks im Hackenbereich kann ein Gefälle erkannt werden, und bei einer relativen Zunahme des Drucks in Vorderfußbereich kann eine Steigung erkannt werden. Ebenso kann eine Beschleunigung erkannt werden.

[0014] Aus dem Signal und einer vorgegebenen Länge einer Sensorik kann vorteilhaft eine Wegstrecke und/oder eine Geschwindigkeit abgeleitet werden.

[0015] Alternativ oder zusätzlich kann aus dem Signal ein Absprungwinkel abgeleitet werden. Alternativ oder zusätzlich kann aus dem Signal ein vorgegebener Laufstil abgeleitet werden.

[0016] Weitere Vorteile ergeben sich aus der folgenden Zeichnungsbeschreibung. In der Zeichnung sind Ausführungsbeispiele der Erfindung dargestellt. Die Zeichnung, die Beschreibung und die Ansprüche enthalten zahlreiche Merkmale in Kombination. Der Fachmann wird die Merkmale zweckmäßigerweise auch einzeln betrachten und zu sinnvollen weiteren Kombinationen zusammenfassen.

[0017] **Fig. 1** eine schematische Darstellung einer Einlegesohle, welche die Fußfläche eines Fußes nachbildet und mit Sensor-Druckflächen versehen ist;

[0018] **Fig. 2** eine Erläuterung des D'Alembertschen Prinzips;

[0019] **Fig. 3** ein Beispiel eines hydraulischen Sensors mit hydraulischem Gestänge;

[0020] **Fig. 4** eine Darstellung eines Läuferbeins in Bewegung;

[0021] **Fig. 5a–Fig. 5e** einen Läufer in verschiedenen Laufpositionen;

[0022] **Fig. 6a–Fig. 6f** verschiedene Varianten von günstigen Druckflächen als Sensorflächen einer Sensorik; und

[0023] **Fig. 7** Beispielsauswertung einer resultierenden Kraft anhand von Kennlinien bei verschiedenen Geschwindigkeiten als Funktion eines Steigungswinkels.

[0024] In den Figuren sind gleiche oder gleich wirkende Elemente mit gleichen Bezugszeichen beziffert.

[0025] **Fig. 1** zeigt eine Einlegesohle **20** für einen Fuß **10** mit nicht näher durch Bezugszeichen bezeichneten Sensoren und/oder Sensor-Druckflächen, über die der Fuß **10** beim Gehen oder Laufen abrollt. Die Einlegesohle wird beispielsweise in einen Laufschuh gelegt. Denkbar ist jedoch auch eine Integration in eine Schuhsohle oder auch in einen Sohlenbereich eines Strumpfs, der ausgebildet sein kann, über den Fuß des Läufers oder alternativ dessen Laufschuh gezogen zu werden. Ferner soll der Begriff Läufer sich sinngemäß auf Mensch und Tier beziehen.

[0026] Die Abrollbewegung wird bei einem gesunden Menschen zeitlich nacheinander von der Ferse (Hackenteil **10.1**) über das obere Sprunggelenk bis zum Vorfuß (**10.3**, **10.4**) durchgeführt.

[0027] Die Sensor-Druckflächen bestehen aus drucksensitiven Materialien wie z.B. einer drucksensitiven Folie, einer „Roboter-Haut“, einer „piezoelektrischen Silbertinte“ (FlexiForce), einer FSR-Force Sensing Resistorfolie oder Einzelsensoren und sind hinsichtlich ihrer Anordnung sowie ihrer Größe, Länge, Breite usw. zur optimalen Funktion frei wählbar.

[0028] Zur Ermittlung der Geschwindigkeit des Läufers aus einer Weg-Zeit-Messung, entspricht jede einzelne Sensorflächen-Länge oder die Gesamt-Sensorflächen-Länge, einer konstanten Messstrecke s über die der Fuß **10** abrollt. Das Verhältnis der Länge der Messstrecke s zur Dauer t des Abrollvorganges über die Messstrecke (z.B. die Sensorflächen-Länge), ist dann die aktuelle Geschwindigkeit nach $v = s/t$, im Folgenden mit $v_{s/t}$ bezeichnet.

[0029] Die Geschwindigkeit kann auch aus einem Sensorabstand als Definition einer konstanten Messstrecke s , über die der Fuß **10** abrollt, ermittelt werden, beispielsweise über die gesamte Fußlänge L_{10} .

[0030] Diese Geschwindigkeit $v_{s/t}$ gilt beim Gehen wie auch beim Laufen in der horizontalen Ebene und beim Aufwärts- wie auch beim Abwärts-Gehen/Laufen einer schiefen Ebene und gilt somit als Referenzgeschwindigkeit.

[0031] Die Referenzgeschwindigkeit $v_{s/t}$ kann folglich insbesondere aus einer Weg/Zeit-Messung aus einem Abrollvorgang über Sensoren und/oder Sensorflächen abgeleitet werden. Denkbar ist jedoch auch, dass eine Referenzgeschwindigkeit aus externen Quellen, etwa über ein GPS-Signal oder dergleichen, zur Verfügung gestellt wird.

[0032] Zur Ermittlung einer Geschwindigkeit v_{Druck} aus einer Druck-Zeit-Messung (bzw. Kraft-Zeit-Messung) wird beim Abrollvorgang über die Sensorflächen die Amplitude des Fuß-Drucksignals als Funktion der Zeit erfasst.

[0033] Aus dem Flächenintegral des Drucksignals über die Zeit wird der arithmetische Mittelwert gebildet, der dem Betrag der resultierenden Kraft $|F_{R_arithm}|$ während der Dauer der Kraftwirkung entspricht.

$$|F_{R_arithm}| = A \cdot \int_{t_1}^{t_2} p(t) \cdot dt$$

[0034] Mit Anordnung des Kräftesystems nach dem D'Alembertschen Prinzip dient der Satz des Pythagoras zur Berechnung des Betrages der Beschleunigungskraft $|F_a|$ in der horizontalen Ebene. Dieses D'Alembertsche Prinzip wird den Überlegungen als vereinfachende Annahme zugrunde gelegt.

$$|F_a| = \sqrt{(F_{R_arithm}^2 - F_g^2)}$$

[0035] F_g ist dabei die Gewichtskraft des Läufers. Das Produkt aus dem Betrag der beschleunigenden Kraft $|F_a|$ und seiner zeitlichen Dauer t heißt Kraftstoß oder Antrieb und ist im Verhältnis zur Körpermasse m ein Maß der Geschwindigkeit v . (bzw. der aktuellen Geschwindigkeit).

$$v_{_Druck} = \frac{F_a * t}{m}$$

[0036] Die mit jedem Schritt gemessene resultierende Kraft F_{R_arithm} wird vorzugsweise ständig mit einer berechneten resultierenden Kraft F_{R_berech} , die für die horizontale Ebene gilt, verglichen, die später beschrieben wird.

[0037] Bei Gleichheit der Werte (innerhalb einer gegebenen Toleranz) wird geschlossen, dass der Läufer in der horizontalen Ebene mit der Geschwindigkeit $v_{s/t}$ läuft. Bei Ungleichheit der Werte wird geschlossen, dass der Läufer mit der Geschwindigkeit $v_{s/t}$ in der schiefen Ebene läuft.

[0038] Der Vergleich des Betrages des arithmetischen Mittelwerts der resultierenden Kraft $|F_{R_arithm}|$, mit dem Betrag der berechneten resultierenden Kraft $|F_{R_berech}|$ liefert folgende Aussagen:

Wenn: $|F_{R_arithm}| = |F_{R_berech}|$, dann läuft der Läufer in der horizontalen Ebene mit dem Steigungswinkel $\varphi = 0^\circ$.

[0039] Wenn: $|F_{R_arithm}| > |F_{R_berech}|$, läuft der Läufer eine schiefe Ebene hinauf mit dem Steigungswinkel $\varphi > 0^\circ$.

[0040] Wenn: $|F_{R_arithm}| < |F_{R_berech}|$, läuft der Läufer eine schiefe Ebene hinab mit dem Steigungswinkel $\varphi < 0^\circ$.

[0041] Die Berechnung des positiven oder negativen Steigungswinkels φ der schiefen Ebene erfolgt mit dem Kosinussatz der Trigonometrie. Der Kosinussatz ist die Verallgemeinerung des Satzes von Pythagoras für beliebige Dreiecke.

[0042] Folglich ergibt sich mit:

$$F_{R_arithm} = \sqrt{(F_g^2 + F_a^2 + 2 * F_g * F_a * \cos(\beta))}$$

der Winkel β zu:

$$\beta = \arccos\left(\frac{F_{R_arithm}^2 - F_g^2 - F_a^2}{2 * F_g * F_a}\right)$$

[0043] Der positive oder negative Steigungswinkel φ ist dann: $\varphi = 90^\circ - \beta$.

[0044] Der in [Fig. 1](#) dargestellte Druck-Verlauf über der Zeit entspricht dem zeitlichen Verlauf der resultierenden Kraft $F_R(t)$

$$F_R(t) = p(t) \cdot A (\text{Kraft} = \text{Druck} \cdot \text{Fläche}).$$

[0045] Die durchgezogene Linie unter der Einlegesohle **20** in [Fig. 1](#) entspricht dem jeweiligen Druck-Verlauf der einzelnen Fuß-Abschnitte **10.1** (Hacken-Aufsetzfläche), **10.2** (Mittelfuß-Aufsetzfläche), **10.3** (Vorderfuß-Aufsetzfläche) und **10.4** (Vorderfuß-Abdrucksfläche). Die strichlierte Linie entspricht dem Druckverlauf über den ganzen Fuß **10**.

[0046] Der arithmetische Mittelwert entspricht dem Betrag der resultierenden Kraft $|F_R|$. Der Betrag der Beschleunigungskraft $|F_a|$ ergibt sich nach Pythagoras:

$$|F_a| = \sqrt{(F_R^2 - F_g^2)}$$

[0047] Multipliziert mit der Dauer der Kraftwirkung, der Druckzeit t , ergibt das Produkt den Flächeninhalt und ist ein Maß der Geschwindigkeit v in der horizontalen Ebene nach

$$p = m \cdot \Delta v = F_a \cdot t.$$

[0048] Das System ermöglicht Gehen oder Läufeln neben den Angaben über Geschwindigkeit, Beschleunigung und zurückgelegter Wegstrecke, auch Angaben über die positive oder negative Steigung der Wegstrecke.

[0049] Maßgebend ist die Erfassung des dynamischen Verlaufs der resultierenden Kraft F_R . Zur Ermittlung der Parameter dient eine Einrichtung wie z.B. eine Einlegfußsohle **20**, mit integrierten konstante Messstrecken und Druckflächen, und/oder aktuellen-Messstrecken s und Druckflächen, über die der Fuß abrollt. (siehe [Fig. 1](#)).

[0050] Die Definition einer konstanten Messstrecke erfolgt über die Länge einer Druckfläche oder/und über den Abstand zweier Sensoren. Beispielsweise kann die Fußlänge L_{10} eine konstante Messstrecke s sein, wie in [Fig. 1](#) beispielhaft angedeutet ist.

[0051] Beim Laufen auf den Vorderfüßen dient z.B. eine Sensorkette oder Druckflächenkette, die am frühesten Aufsetzpunkt des Vorderfußes beginnt und an der Fußspitze endet, zur Ermittlung einer aktuellen Messstrecke s , über die der Vorderfuß abrollt.

[0052] Eine weitere, alternative oder ergänzende Betrachtung ist im Folgenden dargestellt.

[0053] Beim Abrollen des Fußes **10** über die konstante/aktuelle Messstrecke s , wird mit jedem Schritt die dazu benötigte Zeit t gemessen und dient der Berechnung der aktuellen Geschwindigkeit $v_{s/t}$.

$$v_{s/t} = \frac{s}{t}$$

[0054] Diese Geschwindigkeit $v_{s/t}$ gilt beim Gehen/Laufen in der horizontalen Ebene und beim Hinauf-/Hinabgehen/laufen einer schiefen Ebene und gilt somit als Referenz-Geschwindigkeit.

[0055] Mit jedem Schritt kann die Geschwindigkeit $v_{s/t}$ aus der Weg-Zeit-Messung berechnet und die vorhergehende Geschwindigkeit v_1 mit der aktuellen Geschwindigkeit v_2 verglichen werden. Die Differenz Δv aus $v_1 - v_2$ entspricht einer Geschwindigkeitszunahme oder Geschwindigkeitsabnahme und ist somit ein Maß der Beschleunigung a . Mit einer vorher bestimmten prozentuale Größe der Geschwindigkeitsdifferenz Δv wird eine Beschleunigung a erkannt.

[0056] Das Produkt aus der zuvor berechneten Geschwindigkeit $v_{s/t}$ und der konstanten Körpermasse m , im Verhältnis zur gemessenen Dauer der Kraftwirkung t (Abroll-Zeit t oder Kraftdruck-Zeit t), ergibt die für die aktuelle Geschwindigkeit $v_{s/t}$ benötigte beschleunigende Kraft F_a .

$$F_a = \frac{v_{s/t} * m}{t}$$

[0057] Mit Anordnung des Kräftesystems nach dem D'Alembertschen Prinzip dient der Satz des Pythagoras eines rechtwinkligen Dreiecks zur Berechnung des Betrages der resultierenden Kraft $|F_R|$ in der horizontalen Ebene.

$$F_{R_berech} = \sqrt{(F_a^2 + F_g^2)}$$

[0058] Mit dem Betrag der berechneten Beschleunigungskraft $|F_a|$ und dem Betrag der konstanten Gewichtskraft $|F_g| = m \cdot g$, ergibt sich eine berechnete resultierende Kraft $|F_{R_berech}|$, die benötigt wird, um in der horizontalen Ebene die aktuelle Geschwindigkeit $v_{s/t}$ zu besitzen.

[0059] Gleichzeitig mit der Zeitmessung t wird der Druckverlauf der resultierenden Kraft $F_R = f(t)$ über einen analog-Digitalwandler abgetastet, (abgespeichert, aufgenommen) und der arithmetische Mittelwert gebildet.

[0060] Der arithmetische Mittelwert des Druckverlaufs entspricht dem Betrag der resultierenden Kraft $|F_{R_arithm}|$ beim Abrollen des Fußes über die konstante bzw. aktuelle Messstrecke s , Druckfläche A , Druckflächenkette, Sensorkette, in der dazu benötigten Zeit t .

[0061] Der Betrag der resultierenden Kraft $|F_{R_arithm}|$, dient dem Vergleich zum Betrag der berechneten resultierenden Kraft $|F_{R_berech}|$ in der horizontalen Ebene, zur Berechnung des positiven oder negativen Steigungswinkels φ und zur Berechnung der Geschwindigkeit v_{Ft} .

[0062] Ist der ermittelte Betrag des arithmetischen Mittelwerts der resultierenden Kraft $|F_{R_arithm}|$ aus der Druck/Zeit-Messung, (Kraft/Zeit-Messung), gleich dem Betrag der berechneten resultierenden Kraft $|F_{R_berech}|$ aus der Weg/Zeit-Messung, so läuft der Läufer mit der Geschwindigkeit $v_{s/t}$ in der horizontalen Ebene.

$$|F_{R_berech}| = |F_{R_arithm}|; \rightarrow v_{s/t} = v_{Ft}$$

[0063] Aufgrund unterschiedlicher Schuhsohlen-Dämpfungen, ist der Betrag der resultierenden Kraft $|F_{R_arithm}|$ aus der Drucksignal-Messung mit einem Dämpfungsfaktor d zu multiplizieren, um die beiden ermittelten Beträge der resultierenden Kräfte F_R gleichzusetzen.

$$|F_{R_berech}| = |F_{R_arithm}| \cdot d; \rightarrow v_{s/t} = v_{Ft}$$

[0064] Bei zusätzlichen Störfaktoren, wie z. B. unterschiedlichen Dämpfungen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten oder zur Kalibrierung, wird noch ein Korrekturfaktor k_{Faktor} hinzugefügt, um die beiden ermittelten Resultierenden F_R gleichzusetzen.

$$|F_{R_berech}| = |F_{R_arithm}| \cdot d \cdot k_{\text{Faktor}}; \rightarrow v_{s/t} = v_{Ft}$$

[0065] Ist der Betrag der resultierenden Kraft $|F_{R_arithm}|$, ungleich dem Betrag der resultierenden Kraft $|F_{R_berech}|$, so läuft der Läufer mit der Geschwindigkeit $v_{s/t}$ in der schiefen Ebene.

$$|F_{R_berech}| \neq |F_{R_arithm}|; \rightarrow v_{s/t} \neq v_{Ft}$$

[0066] Die Berechnung des positiven oder negativen Steigungswinkels φ der schiefen Ebene erfolgt, wie oben bereits erwähnt, mit dem Kosinussatz der Trigonometrie.

[0067] Mit konstanter Gewichtskraft F_G und veränderlicher Beschleunigungskraft F_a ; veränderlicher Geschwindigkeit $v_{s/t}$ nimmt die resultierende Kraft F_R in jedem einzelnen Laufbereich einen bestimmten Wertebereich seiner Betragsgröße ein. (siehe **Fig. 2**)

[0068] Im Laufbereich der horizontalen Ebene wird der Wertebereich der resultierenden Kraft F_R von der maximalen Beschleunigungskraft F_{a_max} ; maximalen Geschwindigkeit v_{s/t_max} begrenzt.

[0069] Im Laufbereich der schiefen Ebene aufwärts wird der Wertebereich der resultierenden Kraft F_R von der maximalen Beschleunigungskraft F_{a_max} ; maximalen Geschwindigkeit v_{s/t_max} und dem maximalen Steigungswinkel φ_{max} begrenzt.

[0070] Im Laufbereich der schiefen Ebene abwärts wird der Wertebereich der resultierenden Kraft F_R von der maximalen Beschleunigungskraft F_{a_max} ; maximalen Geschwindigkeit v_{s/t_max} und dem maximalen Neigungswinkel $(-)\varphi_{max}$ begrenzt.

[0071] Berechnung der Geschwindigkeit v_{Ft} aus dem arithmetischen Mittelwert der resultierenden Kraft $|F_{R_arithm}|$.

[0072] Zur Ermittlung der Geschwindigkeit v_{Ft} aus der Druck/Zeit-Messung (Kraft-Zeit-Messung) wird beim Abrollvorgang über die Sensorflächen A die Amplitude des Fuß-Drucksignals als Funktion der Zeit t erfasst. Aus dem Flächenintegral des Drucksignals p über die Zeit t, multipliziert mit der Sensorfläche A, wird der arithmetische Mittelwert gebildet, der dem Betrag der resultierenden Kraft $|F_{R_arithm}|$ während der Dauer der Kraftwirkung entspricht.

$$|F_{R_arithm}| = A \cdot \int_{t_1}^{t_2} p(t) \cdot dt$$

[0073] Mit Anordnung des Kräftesystems nach dem D'Alembertschen Prinzip dient der Satz des Pythagoras zur Berechnung des Betrages der Beschleunigungskraft $|F_a|$ in der horizontalen Ebene (siehe **Fig. 2**).

$$|F_a| = \sqrt{(F_{R_arithm}^2 - F_g^2)}$$

[0074] Das Produkt aus dem Betrag der beschleunigenden Kraft $|F_a|$ und seiner zeitlichen Dauer t, heißt Kraftstoß oder Antrieb und ist im Verhältnis zur Körpermasse m ein Maß der Geschwindigkeit v.

$$v_{F \cdot t} = \frac{F_a \cdot t}{m}$$

[0075] Die berechneten Geschwindigkeiten v aus der Weg/Zeit-Messung und aus der Drucksignal-Messung, sind beim Gehen oder Laufen in der horizontalen Ebene gleich $v_{s/t} = v_{Ft}$.

[0076] Aufgrund unterschiedlicher Schuhsohlen-Dämpfungen, ist der berechnete Wert v_{Ft} aus der Drucksignal-Messung mit einem Dämpfungsfaktor d zu multiplizieren, um die beiden ermittelten Geschwindigkeiten gleichzusetzen: $v_{s/t} = v_{Ft} \cdot d$.

[0077] Bei zusätzlichen Störfaktoren, wie z. B. unterschiedlichen Dämpfungen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten oder zur Kalibrierung, wird noch ein Korrekturfaktor k_{Faktor} hinzugefügt, um die beiden ermittelten Geschwindigkeiten gleichzusetzen: $v_{s/t} = v_{Ft} \cdot d \cdot k_{Faktor}$.

[0078] Sind die berechneten Geschwindigkeiten v aus der Weg/Zeit-Messung und aus der Drucksignal-Messung ungleich, dann läuft der Läufer in der schiefen Ebene mit der Geschwindigkeit $v_{s/t}$: $v_{s/t} \neq v_{Ft}$.

[0079] Die Multiplikation der Geschwindigkeit v_{Ft} mit den Dämpfungs- und Korrektur-Faktoren d und k_{Faktor} entfällt, wenn zuvor der arithmetische Mittelwert der resultierenden Kraft $|F_{R_arithm}|$ mit den Faktoren multipliziert wurde.

[0080] Die Ermittlung der Schrittlänge s_L erfolgt mit der Messung einer zweiten Zeitspanne. Die Zeitmessung wird in einem Zeitpunkt, der im Bereich vom Aufsetzen des Fußes **10** mit dem Hacken, bis zum Abheben des Fußes **10** mit der Fußspitze liegt gestartet und beim nächsten Schritt, im gleichen Zeitpunkt im Bereich vom Aufsetzen des Fußes mit dem Hacken, bis zum Abheben des Fußes mit der Fußspitze gestoppt und entspricht somit der Schrittdauer.

[0081] Die Zeitspanne Δt_{sL} liegt also zwischen den Zeitpunkten eines gleichartigen Bewegungsablaufs des zeitlich vorlaufenden Fußes und des zeitlich nachlaufenden Fußes, im Bereich vom Aufsetzen des Fußes mit dem Hacken bis zum Abheben des Fußes mit der Fußspitze.

[0082] Die Schrittlänge s_L ergibt sich aus der Multiplikation der gemessenen Zeitspanne Δt_{sL} mit der aktuellen Geschwindigkeit $v_{s/t}$ des Läufers.

Schrittlänge: $s_L = \Delta t_{sL} \cdot v_{s/t}$

[0083] Eine zurückgelegte Wegstrecke s_{weg} ergibt sich durch Summation der einzelnen gemessenen Schrittlängen s_L : $s_{\text{weg}} = \sum s_{L1} + s_{L2} + s_{L3} \dots s_{Ln}$

[0084] Eine Funktionsbeschreibung mit Anwendung des D'Alembertschen Prinzips-Trägheitskräfte ist in [Fig. 2](#) näher erläutert. Wird eine Körpermasse m_k mit einer Beschleunigungskraft F_a beschleunigt, so setzen sich die gegen die Beschleunigungsrichtung der Körpermasse gerichteten Trägheitskräfte $F_T = (-m \cdot a)$ und die nach unten gerichtete Gewichtskraft des Körpers $F_G = (m \cdot g)$ zu einer resultierenden Kraft F_R zusammen.

[0085] Je nach Größe einer Beschleunigung oder Abbremsung, beim Laufen in der horizontalen Ebene oder beim Hinauf- oder Hinunterlaufen einer schiefen Ebene, verlagert der Mensch seine Körpermasse zum Gleichgewicht sämtlicher angreifender Kräfte in der Weise, dass die im Kräftesystem beschleunigend wirkende Resultierende F_R (d.h. der resultierenden Kraft F_R) zur optimalen Kraftübertragung, immer durch die Berührungsfächen der Fußsohle verläuft.

[0086] Beim Aufsetzen mit dem Hacken eines Fußes **10** wirkt die resultierende F_R im ersten Augenblick auf die Hackenaufsetzfläche A_{aufsetz} und wandert zur Aufrechterhaltung der Bewegung, mit der Bewegung und dem Abheben des Hacken, zur Vorderfußabdruckkraft-Fläche A_{Fabdruk} , um hier, mit dem Abheben des Vorderfußes, die Betragsgröße der resultierenden F_R durch Muskelkraft beizubehalten, zu vergrößern oder zu verkleinern, was einer konstanten Geschwindigkeit, einer erhöhten Geschwindigkeit oder einer verminderten Geschwindigkeit v entspricht.

[0087] Beim Aufsetzen mit dem Vorderfuß wirkt die resultierende F_R im ersten Augenblick auf die Vorderfußaufsetzfläche A_{aufsetz} und wandert zur Aufrechterhaltung der Bewegung, mit der Bewegung, zur Vorderfußabdruckkraft-Fläche A_{Fabdruk} , um hier, mit dem Abheben des Vorderfußes, die Betragsgröße der resultierenden F_R durch Muskelkraft beizubehalten, zu vergrößern oder zu verkleinern, was einer konstanten Geschwindigkeit, einer erhöhten Geschwindigkeit oder einer verminderten Geschwindigkeit v entspricht.

[0088] Die Erfassung des dynamischen Verlaufs der resultierenden F_R , hinsichtlich Kraftstärke und seiner zeitlichen Dauer, vom Aufsetzen des Fußes mit dem Hacken bis zum Abheben des Vorderfußes mit der Fußspitze, oder vom Aufsetzen des Vorderfußes bis zum Abheben des Vorderfußes mit der Fußspitze, erfolgt über: und/oder konstante Messstrecken, aktuelle Messstrecken, konstante Druckflächen, aktuelle Druckflächen, Sensorketten, Druckflächenketten und/oder einem hydraulischen Gestänge **52c** (s. [Fig. 1](#) u. [Fig. 3](#)).

[0089] Zur Findung und Messung einer aktuellen Messstrecke s und Abroll-Zeit t dienen hauptsächlich das Hackenaufsetz-Signal, das Hackenabhebe-Signal, das Vorderfußaufsetz-Signal und das Vorderfußabhebe-Signal, mit den von den Sensoren erzeugten steigenden und fallenden Schalt-Flanken.

[0090] Beim Laufen mit dem ganzen Fuß **10** ergibt sich eine aktuelle Messstrecke, z.B. von der Sensor-Aufsetz-Position am Hacken bis zur Sensor-Abhebe-Position am Vorderfuß, wobei die Abrollzeit t , vom Zeitpunkt des Abhebens des Hacken bis zum Zeitpunkt des Abheben des Vorderfußes gemessen wird (mit der Bewegung).

[0091] Beim Laufen auf den Vorderfüßen dient z.B. eine Sensorkette oder Druckflächenkette, die am frühesten Aufsetzpunkt des Vorderfußes beginnt und an der Fußspitze endet, zur Ermittlung einer aktuellen Messstrecke über die der Vorderfuß abrollt.

[0092] Die Sensoren, beispielsweise Schalter und dergleichen, einer Sensorkette oder einer Druckflächenkette liefern die Länge der aktuellen Messstrecke s vom frühesten Aufsetzpunkt des Vorderfußes bis zum spätesten Abhebe- und Abhebezeitpunkt des Vorderfußes und die dafür benötigte Zeit t . Hiermit ist auch die Ermittlung einer aktuellen Messstrecken-Länge s , von einem späteren Aufsetzpunkt des Vorderfußes bis zu einem früheren Abhebe- und Abhebezeitpunkt des Vorderfußes gegeben. Mit der Aktivierung/Inaktivierung der Sensoren werden die Positionen der Sensoren, die z.B. im Speicher eines Mikrocontrollers liegen, erkannt und die aktuelle Messstrecken-Länge s ermittelt. Gleichzeitig wird zur Messung der Zeit t , die zum Zurücklegen der aktuellen Messstrecken-Länge s benötigt wird, eine Uhr (Timer) geschaltet.

[0093] Zur Ermittlung und Berechnung der gesuchten Parameter werden die Signale einem Mikrocontroller zugeführt, der die notwendigen Verknüpfungen durchführt und anschließend die Resultate z.B. über ein Sender-Empfänger-System, z.B. mit Hilfe eines Displays mit integrierter Eingabetastatur am Handgelenk, zur Anzeige bringt. Es besteht auch die Möglichkeit, dem Läufer die Resultate über ein akustisches System mitzuteilen. (Kopfhörer, Flachlautsprecher im Gürtel). Möglich sind z.B. unterschiedliche akustische Signale für bestimmte positive oder negative Steigungswinkel φ und/oder für jeden gelaufenen Kilometer.

[0094] Außerdem können die im Werte-Speicher des Mikrocontrollers liegenden Resultate einem PC zugeführt und über eine graphische Benutzeroberfläche ausgewertet und analysiert werden.

[0095] Zur Erfassung/Aufnahme des dynamischen Verlaufs der resultierenden F_R , dient z.B. ein hydraulisches Gestänge **52** als "Einleg-Fußsohle" oder in den Schuh integriert, welches die Kraftwirkung optimal an eine Messzelle **54** weiterleitet. **Fig. 3** zeigt ein Ausführungsbeispiel eines solchen hydraulischen Gestänges **52** mit einer Sensorfläche **52a** am Hacken des Fußes **10** und einer Sensorfläche **52b** am Vorderfuß, wobei die Sensorflächen **52a**, **52b** mit einer hydraulischen Verbindung **52c** verbunden sind. In der Verbindung **52c** sind Messzellen **54** angeordnet (zweckmäßigerweise im Bereich der Fußhöhle zum Schutz der Messzellen **54**), die mit einer Auswerteeinheit verbunden sind (durch Drähte angedeutet).

[0096] Das hydraulische Gestänge **52** besteht z.B. aus Kunststoff, Gummi oder Silikon und/oder Mischungen und Variationen mit Zusätzen und ist mit einer Flüssigkeit kleiner Kompressibilität wie z.B. Wasser, Gel, Öl, Glycerin oder ähnlichem, als Kraftübertragungsmedium gefüllt. Die Messzellen **54** sind in der Einlegfußsohle im Bereich der Fußhöhle platziert, um sie nicht mit Belastungen wie Stoß, Druck, Torsion etc. zu beanspruchen. Die Druckmesszellen sind über Anschlussdrähte mit dem Mikrocontroller elektrisch verbunden.

[0097] Der Mikrocontroller und der Sender können z.B. an den Schuh geklemmt, geklebt, in eine Einleg-Folie integriert oder in einer kleinen Manschette oberhalb des Knöchels fixiert sein. Die Folie kann in den Schuh integriert sein oder als Einleg-Folie ausgebildet sein. Die „Einleg-Fußsohle“ ist zweckmäßigerweise so konstruiert, dass die Fußabdruckkraft-Druckamplitude und die Hackenaufsetz-Druckamplitude optimal an die Druckmesszellen **54** weitergeleitet werden, so dass beim Laufen keinerlei Beeinträchtigungen auftreten, sondern Wohlbehagen.

[0098] Das hydraulische Gestänge **52** arbeitet nach dem z.B. aus Flüssigkeitsbremsen in Kraftfahrzeugen oder hydraulische Pressen bekannten Prinzip:

Wirkt auf die Kraft-Aufnahme-Fläche A_1 die resultierende Kraft $F_R(F_1)$, so überträgt sich die Kraft auf die Druck-sensor-Fläche A_2 der Messzelle **54** und wandelt die resultierende Kraft F_R in eine elektrische Signalamplitude.

[0099] Analog zur hydraulischen Presse verhalten sich die Kräfte wie die entsprechenden Flächen. Es gilt:

$$F_1/F_2 = A_1/A_2$$

[0100] Eine weitere Möglichkeit zur Ermittlung der Geschwindigkeit, der positiven oder negativen Beschleunigung sowie der positiven oder negativen Steigung einer Wegstrecke ergibt sich durch die Erkennung typischer Charakteristika des Kraftverlaufes als Funktion der Zeit, insbesondere aus der Aufnahme des Fuß-Druckbildes.

[0101] Aufnahmen typischer Fuß-Druckbilder von Gehenden oder Laufenden beim Beschleunigen, Abbremsen oder beim Hinauf- oder Hinablaufen einer schiefen Ebene, mit dem ganzen Fuß oder auf dem Vorderfuß, liegen im Speicher eines Mikrocontrollers und dienen einer aktuellen Aufnahme-Messung als Schablonen oder Referenz, zum Vergleich.

[0102] Somit ist z.B. eine Unterscheidung zwischen einer Beschleunigung in der horizontale Ebene und dem Hinauflaufen oder Hinablaufen einer schiefen Ebene, durch einen unterschiedlichen Verlauf des Kraft-Zeit-Signals oder unterschiedlichen Fuß-Druckbildes, gegeben.

[0103] So wird beim Hinablaufen einer schiefen Ebene der Fuß stärker (verglichen mit dem Vorderfuß) mit dem Hacken aufgesetzt als beim Laufen in der Horizontalen oder beim Hinauflaufen. Beim Hinauflaufen einer schiefen Ebene wird eher der Vorderfuß mehr belastet als der Hacken. Aus der Änderung der jeweiligen Belastung von Hacken und Vorderfuß und im Vergleich mit der „neutralen“ Druckverteilung bei Bewegung in der horizontalen Ebene kann erkannt werden, ob der Läufer sich horizontal bewegt oder auf einer Steigung oder einem Gefälle.

[0104] Die Größe der Parameter, wie Geschwindigkeit, Geschwindigkeitserhöhung oder Geschwindigkeitsminderung, positive oder negative Beschleunigung, sowie positiver oder negativer Steigungswinkel der Wegstrecke, lassen sich aus der Messung des Verlaufs oder Teilverlaufs des Kraft-Zeit-Signals, bezüglich seiner Kraftgröße und seiner zeitlichen Dauer berechnen. Mit Impuls oder Kraftstoß ergibt sich $\Delta p = m \cdot \Delta v = F \cdot t$

[0105] Die Berechnungen erfolgen mit Hilfe des D'Alembertschen Prinzips, wonach sich mit der Messung der Kraftgröße des Betrages der resultierenden $|F_R|$ und der mathematischen Verknüpfung mit dem Betrag der Gewichtskraft $|F_g|$, der Betrag der Beschleunigungskraft $|F_a|$ ergibt.

[0106] Im Folgenden sind einige Zahlenbeispiele angegeben. Die Werte sind zur Veranschaulichung gedacht und sollen lediglich als Anhaltspunkte dienen. Die Werte können selbstverständlich je nach Läufer stark variieren.

[0107] Eine Berechnung der Beschleunigungskraft F_a kann aus dem Kosinussatz abgeleitet werden. Mit gemessener resultierender Kraft $|F_{R,arithm}| = 1474,62 \text{ N}$, bei gegebener Gewichtskraft $F_g = 800 \text{ N}$, gegebenem Steigungswinkel $\varphi = 18,72^\circ$ und $\beta = 90^\circ - \varphi$ ergibt sich $\beta = 71,28^\circ$, und einer Geschwindigkeit $v_{s/t} = 7 \text{ km/h}$. Aus dem Kosinussatz der Trigonometrie mit

$$F_R = \sqrt{\left(F_a^2 + F_g^2 + 2 * F_a * F_g * \cos \beta\right)}$$

ergibt sich: $F_a^2 + (2 * F_g * \cos \beta) * F_a + F_g^2 - F_R^2 = 0$

Normalform: $x^2 + px + q = 0$

$$x^2 = F_a^2 ; \quad px = (2 * F_g * \cos \beta) * F_a ; \quad q = (F_g^2 - F_R^2)$$

Lösung: $x_{1/2} = -\frac{p}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q}$ für: $\left(\frac{p}{2}\right)^2 - q \geq 0$

$$\frac{p}{2} = \frac{2 * F_g * \cos \beta}{2} \quad \rightarrow \quad \frac{p}{2} = F_g * \cos \beta$$

$$x_{1/2} = -F_g * \cos \beta \pm \sqrt{(F_g * \cos \beta)^2 - (F_g^2 - F_R^2)}$$

$$x_1 = (-800 * 0,321) + \sqrt{((800 * 0,321)^2 - ((800)^2 - (1474,62)^2))}$$

$$x_1 = (-256,8) + \sqrt{((65946,24) + (1534504,14))}$$

$$x_1 = (-256,8) + 1265,08 = \underline{1008,28} \quad \text{richtig !!} \quad F_a = 1008,28 \text{ N}$$

[0108] Die negative Lösung für x_2 wird nicht betrachtet.

[0109] Die Berechnung der aktuellen Leistung P mit jedem Schritt ergibt sich aus dem Produkt der wirkenden Kraft F, die einen Körper auf die Geschwindigkeit $v_{s/t}$ bringt und der Geschwindigkeit $v_{s/t}$, die durch das Wirken der Kraft F hervorgerufen wurde:

$$P = F \cdot v_{s/t}$$

[0110] Bei gegebener Geschwindigkeit $v_{s/t}$ verhalten sich die Leistungen P wie die Kräfte F. Die Leistung P ist der Kraft F proportional zugeordnet.

[0111] Mit Anordnung der berechneten und gemessenen Kräfte F in einem Kräfte-Dreieck und Multiplikation der Kräfte F mit einer aus diesen Kräften erzeugten aktuellen Geschwindigkeit $v_{s/t}$, ergibt das Produkt $F \cdot v = P$ ein Leistungsdreieck mit den jeweiligen zugehörigen Leistungen:

Beschleunigungskraft-Leistung (horizontale Ebene)	$P_{ah} = F_{ah} \cdot v_{s/t}$
Beschleunigungskraft-Leistung (schiefe Ebene)	$P_{as} = F_{as} \cdot v_{s/t}$
Resultierende Kraft-Leistung (horizontale Ebene)	$P_{Rh} = F_{R_berech} \cdot v_{s/t}$
Resultierende Kraft-Leistung (schiefe Ebene)	$P_{Rs} = F_{R_arithm} \cdot v_{s/t}$
Gewichtskraft-Leistung	$P_{Fg} = F_g \cdot v_{s/t}$

[0112] Zur Berechnung der Beschleunigungs-Leistung P_{ah} in der horizontalen Ebene, wird die wirkende Kraft F_{ah} aus dem Kraftstoß und die Geschwindigkeit $v_{s/t}$ aus der Weg/Zeit-Messung berechnet.

$$P_{ah} = F_{ah} \cdot v_{s/t} \quad \text{mit} \quad F_{ah} = \frac{v_{s/t} \cdot m}{t} \quad ; \quad v_{s/t} = \frac{s}{t}$$

[0113] Zur Berechnung der Beschleunigungs-Leistung P_{as} in der schiefen Ebene, wird die wirkende Kraft F_{as} aus dem Kosinussatz mit der gemessenen Resultierenden $|F_{R_arithm}|$ berechnet. Die Geschwindigkeit $v_{s/t}$ wird aus der Weg/Zeit-Messung berechnet.

$$P_{as} = F_{as} \cdot v_{s/t} \quad \text{mit} \quad F_{as} \text{ aus Kosinussatz, } |F_{R_arithm}|; \quad v_{s/t} = \frac{s}{t}$$

[0114] Die Berechnung der Resultierenden-Leistung P_{Rh} in der horizontalen Ebene ergibt sich aus dem Produkt der berechneten wirkenden Kraft $|F_{R_berech}|$ und der Geschwindigkeit $v_{s/t}$, die aus der Weg-Zeit-Messung berechnet wurde.

$$P_{Rh} = F_{R_berech} \cdot v_{s/t}$$

[0115] Die Berechnung der Resultierenden-Leistung P_{Rs} in der schiefen Ebene ergibt sich aus dem Produkt der gemessenen wirkenden Kraft $|F_{R_arithm}|$ und der Geschwindigkeit $v_{s/t}$, die aus der Weg/Zeit-Messung berechnet wurde.

$$P_{Rs} = F_{R_arithm} \cdot v_{s/t}$$

[0116] Die Berechnung der Gewichtskraft-Leistung P_{Fg} ergibt sich aus dem Produkt der konstanten Gewichtskraft F_g und der aktuellen Geschwindigkeit $v_{s/t}$, die aus der Weg/Zeit-Messung berechnet wurde.

$$P_{Fg} = F_g \cdot v_{s/t} \quad \text{mit} \quad F_g = m \cdot g \quad \text{und} \quad v_{s/t} = \frac{s}{t}$$

[0117] Die Gewichtskraft-Leistung P_{Fg} gilt in der horizontalen Ebene und in der schiefen Ebene und ist proportional der aktuellen Geschwindigkeit $v_{s/t}$.

[0118] Eine mittlere Gesamtleistung P_{ges} ergibt sich durch Summation der jeweiligen einzelnen berechneten Schritt-Leistungen dividiert durch die Anzahl der berechneten Leistungen.

$$P_{ges} = \frac{\sum_1^n P_1 + P_2 + P_3 \dots P_n}{n}$$

[0119] Die einzelnen Leistungen können auch in Analogie zur Wechselstromtechnik betrachtet werden (elektrische Maschine). Hierbei entsprechen dann die Beschleunigungskraft-Leistung P_a der Wirkleistung P , die resultierende Kraft-Leistung P_R der Scheinleistung S und die Gewichtskraft-Leistung P_{Fg} der Blindleistung Q .

[0120] Die Beinmuskeln entsprechen hierbei einem Generator und die Körpermasse den Verbraucher. Die Gewichtskraft-Leistung P_{Fg} entspricht somit der ausgetauschten Leistung zwischen Muskelkraft und der zu beschleunigenden Körpermasse.

[0121] In der horizontalen Ebene gilt somit:

$$P_R = \sqrt{(P_a^2 + P_g^2)} \quad = \quad S = \sqrt{(P^2 + Q^2)}$$

[0122] Der Leistungsfaktor λ , ist als Funktion vom Steigungswinkel φ und dem Verhältnis von Wirkleistung $P = P_a$ zur Scheinleistung $S = P_R$ gegeben.

[0123] Ein positiver Steigungswinkel ($+\varphi$) würde einer induktiven Belastung entsprechen und ein negativer Steigungswinkel ($-\varphi$) einer kapazitiven Belastung.

[0124] Die verschiedenen Messverfahren bzw. Berechnungsverfahren können alternativ oder in beliebiger Kombination eingesetzt werden, wobei dieselben, mit verschiedenen Verfahren gewonnenen Größen einerseits zur Plausibilitätsbetrachtung eingesetzt werden können (Ausreißer-Werte können ignoriert werden) und/oder zur Mittelwertbildung, um etwaige Messfehler zu reduzieren.

[0125] In der horizontalen Ebene ist jeder Geschwindigkeit v der Betrag einer bestimmten resultierenden Kraft $|F_R|$ zugeordnet, wobei die Sätze von Newton und Pythagoras gelten

[0126] In der schiefen Ebene ist jedem Betrag einer bestimmten resultierenden Kraft $|F_R|$ ein Winkel β zugeordnet. Weiterhin gilt das D`Alambert`sche Prinzip und der Kosinussatz. (siehe Fig. 2)

[0127] Ein Läufer bewegt sich in der horizontalen Ebene und benötigt zum Zurücklegen seiner konstanten Messstrecke am Fuß $s = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$ die gemessene Abrollzeit $t_1 = 0,216 \text{ s}$, das heißt, seine aktuelle Geschwindigkeit ist $v_{s/t1} = s/t_1$ mit $v_{s/t1} = 0,3 \text{ m}/0,216 \text{ s} = 1,3889 \text{ m/s} = 5 \text{ km/h}$.

[0128] Gleichzeitig wird in der gemessenen Zeit $t_1 = 0,216 \text{ s}$ der Kraftamplitudenverlauf der resultierenden Kraft F_{R1} aufgenommen und der arithmetische Mittelwert gebildet, der somit dem Betrag der resultierenden Kraft $|F_R|$ während der Zeit t entspricht.

[0129] $|F_{R1}| = 951,132 \text{ N}$ gemessen, arithmetischer Mittelwert.

[0130] Der Betrag der Beschleunigungskraft $|F_a|$ ergibt sich aus dem Pythagoras.

$$|F_{a1}| = \sqrt{(F_{R1}^2 - F_g^2)} = \sqrt{(951,132^2 - 800^2)} = 514,44 \text{ N}$$

[0131] Das Produkt des konstanten Betrag der beschleunigenden Kraft $|F_{a1}|$ und seiner Dauer t_1 ergibt im Verhältnis zur Körpermasse m die aktuelle Geschwindigkeit v_{Druck1} .

$$v_{Ft1} = F_{a1} \cdot t_1 / m$$

$$v_{Ft1} = 514,44 \text{ N} \cdot 0,216 \text{ s} / 80 \text{ kg} = 1,389 \text{ m/s} = 5 \text{ km/h}$$

[0132] Aussage: $v_{s/t1} = v_{Ft1}$ d.h. der Läufer läuft in der horizontalen Ebene!

[0133] Die nächste gemessene Abrollzeit sei $t_2 = 0,154 \text{ s}$ und ergibt mit der konstanten Wegstrecke $s = 0,3 \text{ m}$ die zu findende aktuelle Geschwindigkeit $v_2 = s/t_2$

$$v_{s/t2} = 0,3 \text{ m} / 0,154 \text{ s} = 1,948 \text{ m/s} = 7 \text{ km/h}$$

[0134] Die Geschwindigkeitserhöhung beträgt Δv_{2-1}

$$\Delta v_{2-1} = v_{s/t2} - v_{s/t1} = 7 \text{ km/h} - 5 \text{ km/h} = 2 \text{ km/h}$$

[0135] Gleichzeitig wird in der gemessenen Zeit $t = 0,154 \text{ s}$ der Kraftamplitudenverlauf der resultierenden Kraft F_{R2} aufgenommen und der arithmetische Mittelwert gebildet, der somit dem Betrag der resultierenden Kraft $|F_R|$ während der Zeit t entspricht.

[0136] $|F_{R2}| = 1288,527 \text{ N}$ gemessen, berechnet arithmetischer Mittelwert.

[0137] Der Betrag der Beschleunigungskraft $|F_{a2}|$ ergibt sich aus dem Pythagoras.

$$|F_{a2}| = \sqrt{(F_{R2}^2 - F_g^2)} = \sqrt{(1288,527^2 - 800^2)} = 1010,101 \text{ N}$$

[0138] Das Produkt des konstanten Betrag der beschleunigenden Kraft $|F_{a2}|$ und seiner Dauer t_2 ergibt im Verhältnis zur Körpermasse m die aktuelle Geschwindigkeit v_2 .

$$v_{Ft2} = |F_{a2}| \cdot t_2 / m$$

$$V_{Ft2} = 1010,101 \text{ N} \cdot 0,154 \text{ s} / 80 \text{ kg} = 1,944 \text{ m/s} = 7 \text{ km/h}$$

[0139] Die Ermittlung der aktuellen Geschwindigkeiten v_1 und v_2 aus der Weg-Zeit-Messung und der Kraft-Zeit-Messung ergeben die Werte:

($v_{s/t1} = 5 \text{ km/h}$, $V_{Ft2} = 7 \text{ km/h}$) und ergeben die Aussage, dass der Läufer in der horizontalen Ebene läuft und seine Geschwindigkeit um $\Delta v = 2 \text{ km/h}$ erhöht.

[0140] Die Geschwindigkeitsänderung und die Beschleunigung können auch aus den Differenzen berechnet werden. Die Geschwindigkeitsdifferenz $\Delta v = v_{s/t2} - v_{s/t1}$ ergibt $\Delta v = 1,944 \text{ m/s} - 1,389 \text{ m/s} = 0,555 \text{ m/s}$ und damit $\Delta v = 2 \text{ km/h}$, d.h. Geschwindigkeitsänderung um $v = 2 \text{ km/h}$

[0141] Die Abrollzeitdifferenz beträgt $\Delta t = t_1 - t_2$ mit $\Delta t = 0,216 \text{ s} - 0,154 \text{ s} = 0,062 \text{ s}$

[0142] Die Beschleunigung ergibt sich damit aus $a_{1-2} = \Delta v / \Delta t$ mit $a_{1-2} = 0,56 \text{ m/s} / 0,062 \text{ s} = 8,96 \text{ m/s}^2$

[0143] Der Betrag der Beschleunigungskraft $|F_a|$ ergibt sich aus $|F_a| = m \cdot a_{1-2}$ mit der Körpermasse $m = 80 \text{ kg}$ ergibt sich $|F_{ad}| = 80 \text{ kg} \cdot 8,96 \text{ m/s}^2 = 716,845 \text{ N}$.

[0144] Das Produkt des ermittelten konstanten Betrages der beschleunigenden Kraft $|F_{ad}|$ und der Abrollzeitdifferenz Δt ergibt im Verhältnis zur Körpermasse m die aktuelle Geschwindigkeitsänderung Δv .

$$\Delta v = |F_{ad}| \cdot \Delta t / m \text{ mit } \Delta v = 716,845 \text{ N} \cdot 0,062 \text{ s} / 80 \text{ kg} = 0,555 \text{ m/s} = 2 \text{ km/h}$$

[0145] In der schiefen Ebene ergibt sich mit einer gemessenen Abrollzeit $t_1 = 0,216 \text{ s}$ und mit der konstanten Wegstrecke $s = 0,3 \text{ m}$ die zu findende aktuelle Geschwindigkeit $v_1 = s / t_1 = 0,3 \text{ m} / 0,216 \text{ s} = 1,389 \text{ m/s}$ zu $v_1 = 5 \text{ km/h}$.

[0146] Gleichzeitig wird in der gemessenen Zeit $t_1 = 0,216 \text{ s}$ der Kraftamplitudenverlauf der resultierenden Kraft F_R aufgenommen und der arithmetische Mittelwert gebildet, der somit dem Betrag der resultierenden Kraft $|F_R|$ entspricht mit $|F_{R1}| = 951,132 \text{ N}$ als gemessener, arithmetischer Mittelwert.

[0147] Der Betrag der Beschleunigungskraft $|F_{a1}|$ ergibt sich aus dem Satz von Pythagoras.

$$|F_{a1}| = \sqrt{(F_{R1}^2 - F_g^2)} = \sqrt{(951,132^2 - 800^2)} = 514,44 \text{ N}$$

[0148] Das Produkt des konstanten Betrages der beschleunigenden Kraft $|F_{a1}|$ und seiner Dauer t_1 ergibt im Verhältnis zur Körpermasse m die aktuelle Geschwindigkeit v_1 . mit $V_1 = |F_{a1}| \cdot t / m$ zu $V_1 = 514,44 \text{ N} \cdot 0,216 \text{ s} / 80 \text{ kg} = 1,389 \text{ m/s} = 5 \text{ km/h}$

[0149] Die Ermittlung der aktuellen Geschwindigkeiten v aus der Weg-Zeit-Messung und der Kraft-Zeit-Messung ergeben dieselben Werte ($v = 5 \text{ km/h}$) und machen die Aussage: der Läufer läuft in der horizontalen Ebene!

[0150] Die nächste gemessene Abrollzeit t_2 sei auch: $t_2 = 0,216 \text{ s}$ ergibt mit der konstanten Wegstrecke $s = 0,3 \text{ m}$ die zu findende aktuelle Geschwindigkeit $v_2 = s / t_2 = 0,3 \text{ m} / 0,216 \text{ s} = 1,389 \text{ m/s}$ zu $v_2 = 5 \text{ km/h}$

[0151] Gleichzeitig wird in der gemessenen Zeit $t_2 = 0,216 \text{ s}$ der Kraftamplitudenverlauf der resultierenden Kraft F_R aufgenommen und der arithmetische Mittelwert gebildet, der somit dem Betrag der resultierenden Kraft $|F_R|$ entspricht mit $|F_{R2}| = 1080,259 \text{ N}$ als gemessener, arithmetischer Mittelwert.

[0152] Eine Zeit-Differenzenbildung mit $\Delta t_d = \Delta t_2 - \Delta t_1 = 0,216 \text{ s} - 0,216 \text{ s} = 0 \text{ s}$ und $\Delta v_d = \Delta v_2 - \Delta v_1 = 1,389 \text{ s} - 1,389 \text{ s} = 0 \text{ s}$ liefert die Aussage: Es liegt keine Geschwindigkeitserhöhung, Beschleunigung vor.

[0153] Mit dem Berechnungsmodus – horizontale Ebene ergibt sich die Beschleunigungskraft $|F_a|$ aus dem Satz des Pythagoras.

$$|F_{a2}| = \sqrt{(F_{R2}^2 - F_g^2)} = \sqrt{(1080,259^2 - 800^2)} = 725,919 \text{ N}$$

[0154] Das Produkt des konstanten Betrag der beschleunigenden Kraft $|F_a|$ und seiner Dauer t_2 ergibt im Verhältnis zur Körpermasse m die aktuelle Geschwindigkeit v_2 mit $V_2 = |F_{a2}| \cdot t_2 / m$ und $V_2 = 725,919 \text{ N} \cdot 0,216 \text{ s} / 80 \text{ kg} = 1,95 \text{ m/s} = 7,055 \text{ km/h}$. Weil die Abrollzeitdifferenz $\Delta t = t_1 - t_2 = 0$ ist und es somit keine Geschwindigkeitsänderung $\Delta v = 0$ und keine Beschleunigung $a = 0$ gibt, – ist das ermittelte Ergebnis

$v_2 = 7,05 \text{ km/h}$ oder

$\Delta v = 7,05 \text{ km/h} - 5 \text{ km/h} = 2,05 \text{ km/h}$, was erkennbar falsch ist. Hiermit wird erkannt, dass der Läufer sich auf der schiefen Ebene bewegt. Aufgrund seiner Abrollzeit $t = 0,216 \text{ s}$ läuft der Läufer mit der Geschwindigkeit $v = 5 \text{ km/h}$.

[0155] Gesucht wird nun der positive oder negative Steigungswinkel φ , wozu der Berechnungsmodus – schiefe Ebene → Kosinussatz herangezogen wird.

[0156] Der Betrag seiner Beschleunigungskraft $|F_a|$ beträgt weiterhin $|F_a| = m \cdot v / t = 80 \text{ kg} \cdot 1,389 \text{ m/s} / 0,216 \text{ s} = 514,44 \text{ N}$, weil $v = \text{const.} = 5 \text{ km/h}$.

[0157] Der Betrag der gemessenen resultierenden Kraft ist $|F_{R2}| = 1080,259 \text{ N}$, und die Gewichtskraft F_g beträgt: $F_g = m \cdot g = 80 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 800 \text{ N}$.

[0158] Aus dem Kosinussatz:

$$F_{R2} = \sqrt{(F_a^2 + F_g^2 + 2 * F_a * F_g * \cos \beta)}$$

ergibt sich β mit

$$\beta = \arccos\left(\frac{F_{R2}^2 - F_g^2 - F_a^2}{2 * F_g * F_a}\right)$$

$$\beta = \arccos(1080,259^2 - 800^2 \text{ N} - 514,44^2 / 2 \cdot 800 \text{ N} \cdot 514,44)$$

$$\beta = \arccos(0,318); \beta = 1,247 \text{ (Bogenmaß)}; \beta = 71,45^\circ$$

$$\text{Der Steigungswinkel } \varphi = 90^\circ - \beta = 90^\circ - 71,45^\circ = 18,55^\circ$$

[0159] Daraus folgt die Aussage: Der Läufer läuft mit der Geschwindigkeit $v = 5 \text{ km/h}$ eine schiefe Ebene mit dem Steigungswinkel $\varphi = 18,55^\circ$ hinauf.

[0160] Bei einer Geschwindigkeitserhöhung, d.h. Beschleunigen, in der schiefen Ebene ergibt sich folgendes.

[0161] Die gemessene Abrollzeit sei $t_1 = 0,216 \text{ s}$ ergibt mit der konstanten Wegstrecke $s = 0,3 \text{ m}$ die zu findende aktuelle Geschwindigkeit $v_{s/t1} = s / t_1 = 0,3 \text{ m} / 0,216 \text{ s} = 1,389 \text{ m/s}$ zu $v_{s/t1} = 5 \text{ km/h}$.

[0162] Gleichzeitig wird in der gemessenen Zeit $t_1 = 0,216 \text{ s}$ der Kraftamplitudenverlauf der resultierenden Kraft F_R aufgenommen und der arithmetische Mittelwert gebildet, der somit dem Betrag der resultierenden Kraft $|F_R|$ entspricht.

[0163] Der Betrag der gemessenen Resultierenden ist $|F_{R1}| = 1080,259 \text{ N}$

[0164] $|F_{R1}| = 1080,259 \text{ N}$ gemessen, arithmetische Mittelwert

[0165] Aus der vorherigen Berechnung (In der schiefen Ebene) ergeben die gemessenen und ermittelten Werte: $v_1 = 5 \text{ km/h}$, $|F_{R1}| = 1080,259 \text{ N}$ die Aussage: der Läufer läuft mit der Geschwindigkeit $v = 5 \text{ km/h}$ eine schiefe Ebene mit dem Steigungswinkel $\varphi = 18,55^\circ$ hinauf.

[0166] Die nächste gemessene Abrollzeit sei $t_2 = 0,154 \text{ s}$ und ergibt mit der konstanten Wegstrecke $s = 0,3 \text{ m}$ die zu findende aktuelle Geschwindigkeit $v_2 = s / t_2$ mit $v_{s/t2} = 0,3 \text{ m} / 0,154 \text{ s} = 1,944 \text{ m/s} = 7 \text{ km/h}$.

[0167] Die Berechnungen aus Differenzenbildung mit

$$\Delta t = \Delta t_1 - \Delta t_2 = 0,216 \text{ s} - 0,154 \text{ s} = 0,062 \text{ s}$$

$$\Delta v = \Delta v_2 - \Delta v_1 = 1,944 \text{ m/s} - 1,389 \text{ m/s} = 0,555 \text{ m/s} = 2 \text{ km/h}$$

ergibt die Aussage: Der Läufer erhöht seine Geschwindigkeit um 2 km/h

[0168] Um die Frage zu klären, ob der Läufer in der horizontalen oder in der schiefen Ebene läuft, wird folgende Betrachtung angestellt.

[0169] Der Betrag der gemessenen und ermittelten Resultierenden $|F_{R,arithm}| = 1474,575 \text{ N}$. Um die Geschwindigkeit von $v = 7 \text{ km/h}$ zu laufen, benötigt der Läufer eine bestimmte Beschleunigungskraft F_a . Zur Berechnung der Beschleunigungskraft F_a dient der Impulssatz:

$$F_a = v \cdot m / t = 1,944 \text{ m/s} \cdot 80 \text{ kg} / 0,154 \text{ s} = 1009,87 \text{ N}$$

[0170] In der horizontalen Ebene gilt der Pythagoras zur Ermittlung des Betrages der Resultierenden $|F_R|$.

[0171] Pythagoras ergibt

$$|F_{Rberech}| = \sqrt{(F_a^2 + F_g^2)} = \sqrt{(1009,87^2 + 800^2)} = 1288,347 \text{ N}$$

[0172] Aussage: Der Vergleich der gemessenen Resultierenden $|F_{R,arithm}| = 1474,575 \text{ N}$ mit der aus dem Pythagoras berechneten Resultierenden $|F_{Rberech}| = 1288,347 \text{ N}$ liefert: $|F_{R,arithm}| \neq |F_{Rberech}|$, die gemessene Resultierende ist nicht gleich der berechneten Resultierenden, d.h. Der Läufer läuft in der schiefen Ebene, woraus folgt, dass die Berechnung des Steigungswinkels φ aus dem Kosinussatz erfolgt.

$$\beta = \arccos(F_{R,arithm}^2 - F_g^2 - F_a^2 / 2 \cdot F_g \cdot F_a)$$

$$\beta = \arccos(1474,575^2 - 800^2 - 1009,87^2 / 2 \cdot 800 \cdot 1009,87)$$

$$\beta = \arccos(0,318) = 1,247 \text{ (Bogenmaß)} = 1,247 \cdot 360^\circ / 2 \cdot 3,1415 = 71,45^\circ$$

$$\varphi = 90^\circ - \beta = 90^\circ - 71,45^\circ = 18,55^\circ$$

[0173] Ergebnis: Der Läufer läuft weiterhin die schiefe Ebene mit dem Steigungswinkel $\varphi = 18,55^\circ$ hinauf, und seine Geschwindigkeit hat er dabei von $v_1 = 5 \text{ km/h}$ auf $v_2 = 7 \text{ km/h}$ erhöht.

[0174] Es folgt die Betrachtung der Bewegung die schiefe Ebene hinab. Ein Läufer benötigt zum Zurücklegen seiner konstanten Messstrecke s am Fuß $s = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$ die gemessene Abrollzeit $t_1 = 0,060 \text{ s}$. Mit $v = s/t_1$ ergibt sich eine aktuelle Geschwindigkeit von: $v_{s/t1} = 0,3 \text{ m} / 0,06 \text{ s} = 5 \text{ m/s}$, d.h. $v_{s/t1} = 18 \text{ km/h}$.

[0175] Um in der horizontalen Ebene die Geschwindigkeit von $v_{s/t1} = 18 \text{ km/h}$ zu besitzen, wird eine Beschleunigungskraft F_a benötigt, die sich aus dem Impuls/Kraftstoß ergibt.

$$|F_a| = m \cdot v / t = 80 \text{ kg} \cdot 5,00 \text{ m/s} / 0,060 \text{ s} = 6666,67 \text{ N}$$

[0176] Mit Anordnung der Kräfte nach dem D'Alembertschen Prinzip ergibt sich der Betrag der resultierenden Kraft $|F_R|$, beim Laufen in der horizontalen Ebene, aus dem Pythagoras.

[0177] Mit der Gewichtskraft $F_g = m \cdot g = 80 \text{ kg} \cdot 10 \text{ m/s}^2 = 800 \text{ m/s}^2$

$$|F_{Rberech}| = \sqrt{(F_a^2 + F_g^2)} = \sqrt{(6666,67^2 + 800^2)} = 6714,49841 \text{ N}$$

[0178] Gleichzeitig zur Messung der Abrollzeit $t_1 = 0,060 \text{ s}$ wird der Kraftamplitudenverlauf der resultierenden Kraft F_R gemessen und der arithmetische Mittelwert gebildet, der somit dem Betrag der resultierenden Kraft $|F_{R,arithm}|$ während der Abrollzeit $t_1 = 0,060 \text{ s}$ entspricht.

[0179] Es ergibt sich gemessen $|F_{R_arithm}| = 6304,84 \text{ N}$ und berechnet $|F_{R_berech}| = 6714,498 \text{ N}$, d.h. $|F_{R_arithm}| \neq |F_{R_berech}|$ und $|F_{R_arithm}| < |F_{R_berech}|$.

[0180] Wenn die gemessenen resultierenden Kraft $|F_{R_arithm}|$ gleich der berechneten resultierenden Kraft $|F_{R_berech}|$ ist, d.h. $|F_{R_arithm}| = |F_{R_berech}|$, dann läuft der Läufer in der horizontalen Ebene mit der Geschwindigkeit $v_{s/t1} = 18 \text{ km/h}$, und es gilt:
Steigungswinkel $\varphi = 0^\circ$

[0181] Wenn die gemessene resultierende Kraft $|F_{R_arithm}|$ ungleich der berechneten resultierenden Kraft $|F_{R_berech}|$ ist, $|F_{R_arithm}| \neq |F_{R_berech}|$, dann läuft der Läufer in der schiefen Ebene mit der Geschwindigkeit $v_{s/t1} = 18 \text{ km/h}$.

[0182] Der Steigungswinkel φ berechnet sich aus dem aus Kosinussatz nach

$$\beta = \arccos((F_{R_arithm}^2 - F_g^2 - F_a^2)/2 \cdot F_g \cdot F_a)$$

$$\beta = \arccos(6304,84^2 - 800^2 - 6666,67^2 / 2 \cdot 800 \cdot 6666,67) = 2,094 = 120^\circ$$

$$\varphi = 90^\circ - \beta = 90^\circ - 120^\circ = -30^\circ$$

[0183] Ergebnis: Der Läufer läuft mit der Geschwindigkeit $v_{s/t} = 18 \text{ km/h}$ die schiefe Ebene mit dem Steigungswinkel $\varphi = (-30^\circ)$ hinab.

[0184] Die Erfindung erlaubt außer der Bestimmung, ob der Läufer sich auf einer horizontalen oder auf einer schiefen Ebene bewegt, eine Unterscheidung von Gehen und Laufen.

[0185] Beim Gehen kennt man beispielsweise nach dem Rancho-Los-Amigos-System acht Unterphasen eines Gangzyklus: ein initiale Bodenkontakt (Initial Contact), eine Belastungsantwort (Loading Response), eine mittlere Standphase (Mid Stance), eine terminale Standphase (Terminal Stance), eine Vorschwungphase (Pre-swing), eine initiale Schwungphase (Initial Swing), eine mittlere Schwungphase (Mid Swing) und eine terminale Schwungphase (Terminal Swing).

[0186] Die Aufgabe des initialen Bodenkontakts und der Belastungsantwort ist die Übernahme der Körperlast. Hierdurch wird der Stoß abgedämpft, die Stabilität des Beines initiiert und die Fortbewegung beibehalten. Die nächsten drei Unterphasen, die mittlere Standphase, die terminale Standphase und die Vorschwungphase, gewährleisten das monopedale Stehen. In diesen Unterphasen wird die ganze Masse des Menschen nur von einem Bein (monopodal) getragen. Dies benötigt Stabilität, ohne dabei die Fortbewegung zu unterbrechen. Aufgabe der nächsten vier Unterphasen (Vorschwungphase, initiale Schwungphase, mittlere Schwungphase und terminale Schwungphase) ist es, das Bein ohne Geschwindigkeitsverlust nach vorne zu schwingen: das Bein hebt ab, wird nach vorne bewegt und wieder abgesetzt.

[0187] Der Lauf unterscheidet sich vom Gang durch seine Phasen. Beinhaltet sind nur die Schwung- und monopedale Standphase, eine bipedale Standphase entfällt. Bei höherer Geschwindigkeit kommt die Schwebephase hinzu, in der kein Fuß Kontakt zum Boden hat. Beim Sprint wird der initiale Bodenkontakt vom Fußballen übernommen.

[0188] Beim Gehen setzt kurz vor dem Abheben des Vorderfußes des nachlaufenden, beschleunigungsgebenden Fußes, der vorlaufende Fuß mit dem Hacken auf. In diesem Zeitpunkt haben beide Füße Bodenkontakt. Im nächsten Augenblick, mit dem Abheben des Vorderfußes des nachlaufenden, beschleunigungsgebenden Fußes, wird die resultierende F_R auf den vorlaufenden Fuß übertragen und wandert mit der Fußabrollbewegung vom Hacken zum Vorderfuß, während der abgehobene Fuß des nachlaufenden Fußes nach vorne bewegt wird und nun den Part des vorlaufenden Fußes übernimmt. Hierbei hat der Geher in jeder Phase eines Schrittzklus mit einem seiner Füße Bodenkontakt, was als Definition des Gehens gelten kann.

[0189] Beim Aufsetzen des vorlaufenden Fußes mit dem Hacken fällt der Läufer aus ca. 1 cm Höhe zum Boden. Erfolgt das Aufsetzen des Hackens des vorlaufenden Fußes nach dem Abheben des Vorderfußes des nachlaufenden Fußes, so ist kurzzeitig kein Bodenkontakt mit einem der Füße gegeben. Die Zeitspanne, vom Abheben des Vorderfußes des nachlaufenden Fußes, bis zum Aufsetzen des Hackens des vorlaufenden Fußes, wird als Flugphase bezeichnet und kann als Definition des Laufens gelten.

[0190] Zur Erkennung, ob ein Gehen oder Laufen vorliegt, dienen der Zeitpunkt des Hackenaufsetz-Signals des vorlaufenden Fußes und der Zeitpunkt des Vorderfußabhebe-Signals des nachlaufenden Fußes oder generell der Zeitpunkt beim Aufsetzen des vorlaufenden Fußes und der Zeitpunkt beim Abheben des nachlaufenden Fußes.

[0191] Liegt der Zeitpunkt des Hackenaufsetz-Signals des vorlaufenden Fußes vor oder ist gleich dem Zeitpunkt des Vorderfußabhebe-Signals des nachlaufenden Fußes, so ist Gehen erkannt. (Bodenkontakt)

[0192] Liegt der Zeitpunkt des Hackenaufsetz-Signals des vorlaufenden Fußes nach dem Zeitpunkt des Vorderfußabhebe-Signals des nachlaufenden Fußes, so ist Laufen erkannt. (Flugphase)

[0193] Das Laufen entspricht einer Reihenfolge von „Schritt-Weitsprüngen“, wobei mit dem hinteren nachlaufenden, beschleunigungsgebenden Fuß abgesprungen und mit dem vorlaufenden Fuß gelandet wird. Die Flugphase ist vergleichbar mit dem schrägen Wurf.

[0194] Hierbei ist die Überlagerung einer gleichförmigen Bewegung des Körperschwerpunktes KSP mit bestimmter Anfangsgeschwindigkeit (Absprunggeschwindigkeit) schräg nach oben und des freien Falls zu verstehen. Die beiden Teilbewegungen ergeben eine resultierende Bewegung. Als Bahnkurve ergibt sich eine Parabel, die der Körperschwerpunkt KSP vom Zeitpunkt des Vorderfußabhebe-Signals des nachlaufenden Fußes, bis zum Zeitpunkt des Hackenaufsetz-Signals des vorlaufenden Fußes zurücklegt.

[0195] Für diese resultierende Bewegung des Körperschwerpunktes KSP können Geschwindigkeiten und Wege rechnerisch oder zeichnerisch ermittelt werden. Hierbei gelten die Gesetze und Funktionen vom schrägen Wurf, wobei der schräge Wurf nun einem „schrägen Sprung“ entspricht. Für die resultierende Geschwindigkeit gilt:

$$v_{res} = \sqrt{v_0^2 + (g \cdot t)^2 - 2 \cdot v_0 \cdot g \cdot t_s \cdot \sin \delta}$$

[0196] Dabei bedeuten:

- v_0 Geschwindigkeit des Körperschwerpunktes KSP beim Absprung; Absprunggeschwindigkeit; Anfangsgeschwindigkeit
- g Fallbeschleunigung (9,81 m/s²)
- t_s Zeit (vom Zeitpunkt des Vorderfußabhebe-Signals des nachlaufenden Fußes, bis zum Zeitpunkt des Hackenaufsetz-Signals des vorlaufenden Fußes)
- δ Absprungwinkel; (Beschleunigungskraft-Winkel);

[0197] Von Interesse ist hierbei die Sprungweite des Körperschwerpunktes KSP. Sie hängt von der Anfangsgeschwindigkeit (Absprunggeschwindigkeit) und vom Absprungwinkel δ ab. Für die Sprungweite s_w des Körperschwerpunktes KSP gilt:

$$s_w = \frac{v_0^2 \cdot \sin(2 \cdot \delta)}{g}$$

[0198] In Bezug zur Höhe des Körperschwerpunktes KSP, zum Zeitpunkt des Vorderfußabhebe-Signals des nachlaufenden Fußes, erreicht der Körperschwerpunkt nach der Steigzeit t_{st} seine größte Höhe. Die größte Höhe, die der Körperschwerpunktes KSP erreicht, wird als Sprunghöhe s_h bezeichnet. Die Zeit bis zum Erreichen der größten Höhe ist die Steigzeit t_{st} und ist genau so groß wie die Fallzeit t_f , also die Zeit zwischen dem Erreichen der größten Höhe und dem Aufsetzen des Hackens des vorlaufenden Fußes in Absprunghöhe. Die Dauer des gesamten Körperschwerpunkt-Sprunges, ist also gleich der Summe aus Steigzeit und Fallzeit.

[0199] Die Sprungdauer (Schrittdauer) t_{sp} ergibt sich aus $t_{sp} = t_{st} + t_f$

[0200] Wobei die Steigzeit t_{st} mit dem Abheben des nachlaufenden Fußes beginnt und die Fallzeit mit dem Aufsetzen des vorlaufenden Fußes endet.

[0201] Sprunghöhe und Steigzeit des Körperschwerpunktes KSP berechnen sich mit

$$s_h = \frac{v_0^2 \cdot \sin^2 \delta}{2g} \quad t_{st} = \frac{v_0 \cdot \sin \delta}{g}$$

[0202] Die Wege des Körperschwerpunktes KSP in horizontaler Richtung bzw. in vertikaler Richtung ergeben sich aus den Teilbewegungen und können folgendermaßen ermittelt werden:

$$s_x = v_0 \cdot t \cdot \cos \delta$$

$$s_y = v_0 \cdot t \cdot \sin \delta - \frac{g}{2} \cdot t^2$$

[0203] Die dargestellten Zusammenhänge gelten in der horizontalen Ebene bei Vernachlässigung des Luftwiderstandes. In der schiefen Ebene ist der Steigungswinkel $\pm \varphi$ zu berücksichtigen.

[0204] Das Gehen ist eine olympische, leichtathletische Disziplin, wobei Schiedsrichter strengstens darauf achten, ob der Geher regelkonform immer Bodenkontakt mit einem seiner Füße hat und nicht läuft. Dabei hat es immer wieder Fehler teile geben, weil die Beobachtung und Beurteilung sehr schwierig ist.

[0205] Mit der Erfassung des Zeitpunktes des Hackenaufsetz-Signals des vorlaufenden Fußes und dem Zeitpunkt des Vorderfußabhebe-Signals des nachlaufenden Fußes, wird Gehen oder Laufen erkannt und kann z.B. über farbige Leuchtdioden am Schuh signalisiert werden. Damit können Fehler teile ausgeschlossen werden und tragen zu einem fairen Wettbewerb bei.

[0206] Des Weiteren ist die Innovation zum Training des Weitsprunges oder zur Bestimmung des Kalorienverbrauchs beim Treppensteigen geeignet.

[0207] Die Körpergröße eines Läufers, beziehungsweise seine Beinlänge, ist maßgebend für die größtmögliche Schrittlänge s_{Lmax} , dem größtmöglichen Winkel δ_{max} und seiner Schrittfrequenz $f_{schritt}$.

[0208] Zur Festlegung eines Wertebereiches dient die Einführung einer definierten Beinlänge L_{bein} .

[0209] Wie aus [Fig. 4](#) ersichtlich, ergibt sich eine definierte Beinlänge L_{bein} , die der gezeichneten resultierenden Kraft F_R entspricht, aus der Mitte der Fußabdruckkraftfläche $A_{Fabdruk}$ vom Vorderfuß des nachlaufenden Fußes, zum Hüftknochen und bildet zur lotrecht wirkenden Gewichtskraft F_G , den Winkel δ . Die Beinlänge L_{bein} kann mit einem Metermaß manuell gemessen werden und wird über eine Eingabetastatur dem Mikrokontroller zugeführt.

[0210] Eine kleine Beinlänge L_{bein} erfordert zum Zurücklegen einer gegebenen Laufstrecke eine höhere Schrittfrequenz, gegenüber einer großen Beinlänge L_{bein} . Höhere Schrittfrequenzen ergeben sich beim Beschleunigen und beim Hinauflaufen einer schiefen Ebene. Niedrigere Schrittfrequenzen ergeben sich bei Geschwindigkeitsminderung und beim Hinablaufen einer schiefen Ebene.

[0211] Um einen Körper zu beschleunigen und ihn auf eine bestimmte Geschwindigkeit zu bringen, muss Arbeit verrichtet werden. Diese steckt dann in Form von kinetischer Energie im Körper.

[0212] Die aufgewendete Arbeit entspricht somit einer Beschleunigungsarbeit, die von der Fußabdruckkraft geleistet wird.

$$W_{kin} = F \cdot s = m \cdot a \cdot s = \frac{m \cdot v^2}{2}$$

[0213] Dabei bedeuten:

W_{kin}	kinetische Energie des Körpers (Beschleunigungsarbeit)
m	Masse des Körpers
v	Geschwindigkeit des Körpers
s	Weg

[0214] Eine Änderung der Geschwindigkeit von v_1 nach v_2 hat demnach eine Änderung der kinetischen Energie(-Beschleunigungsarbeit) zur Folge.

[0215] Diese ist dann:

$$\Delta W_{\text{kin}} = \frac{m}{2} \cdot (v_2^2 - v_1^2)$$

[0216] Die Differenz, einer gemessenen Fußabdruckskraft zur gemessenen Hackenaufsetzkraft und zur nächsten oder vorherigen gemessenen Fußabdruckkraft, ist ein Maß der Geschwindigkeitsänderung.

[0217] Die [Fig. 5a](#) bis [Fig. 5e](#) zeigen einen Läufer **100**, der aufrecht, mit konstanter Gewichtskraft F_G , mit konstanter resultierender Kraft F_R (konstanter Fußabdruckkraft) und konstanter Schrittlänge s_L eine schiefe Ebene hinauf läuft, in der horizontalen Ebene läuft und eine schiefe Ebene hinab läuft. ([Fig. 5a](#)).. Unterhalb der Teilbilder a, b, c der [Fig. 5a](#) sind zur Veranschaulichung Kräfte und Winkel zwischen den Kräften angegeben

[0218] Hierbei wirkt die Gewichtskraft F_G immer lotrecht aus dem Schwerpunkt des Läufers zum Boden und bildet mit der resultierenden Kraft F_R den Winkel δ . (Beschleunigungskraft-Winkel; Geschwindigkeits-Winkel).

[0219] Mit Betrachtung des mittleren Teilbildes a der [Fig. 5a](#) (Läufer **100** auf horizontaler Ebene) ergibt sich aus der größten Schrittlänge $s_{L\text{max}}$ des Läufers **100** eine maximale resultierende Kraft $|F_{R\text{max}}|$ des Vorderfußes des nachlaufenden Fußes zum Körperschwerpunkt KSP und bildet somit zur lotrechten konstanten Gewichtskraft $|F_G|$, den größten Winkel δ_{max} in der horizontalen Ebene.

[0220] Die Schrittlänge s_L ist abhängig von der Körpergröße des Läufers **100** beziehungsweise seiner Beinlänge L_{bein} . Der Körperschwerpunkt KSP befindet sich in der Nähe des Bauchnabels in Höhe vom Hüftknochen des Läufers. Mit kleiner werdenden Schrittlängen s_L verkleinert sich der Winkel δ_L und erreicht seinen minimalen Wert δ_{min} , wenn die Schrittlänge s_L gleich der Fußlänge s_F ist. Hierbei ergibt sich die kleinste Schrittlänge $s_{L\text{min}}$, wenn der Hacken des nachlaufenden Fußes, in der Linie zur Fußspitze des vorlaufenden Fußes aufsetzt, und erzeugt damit auch die minimalste resultierende Kraft $F_{R\text{min}}$.

[0221] In der horizontalen Ebene gelten die Gesetze der trigonometrischen Funktionen eines rechtwinkligen Dreiecks. Die Kräfte berechnen sich aus dem Pythagoras:

$$F_R^2 = F_G^2 + F_a^2$$

[0222] Der Winkel β beträgt in der horizontalen Ebene 90° . Der Winkel δ berechnet sich aus:

$$\frac{F_G}{F_R} = \cos(\delta) \quad ; \quad \frac{F_a}{F_R} = \sin(\delta) \quad ; \quad \frac{F_a}{F_G} = \tan(\delta) \quad ;$$

$$\delta_{\text{max}} = \arccos\left(\frac{F_G}{F_{R\text{max}}}\right).$$

[0223] Das linke Teilbild b der [Fig. 5a](#) zeigt die Bewegung des Läufers **100** in einer schiefen Ebene aufwärts, wobei die schiefe Ebene einen positiven Steigungswinkel ($+\varphi$) aufweist. Deutlich erkennbar ist, wie die lotrecht aus dem Schwerpunkt des Läufers zum Boden wirkende konstante Gewichtskraft F_G , den Winkel δ in der Größenordnung des Steigungswinkel ($+\varphi$) verkleinert und somit bezüglich Teilbild a, eine kleinere Beschleunigungskraft F_a in Bewegungsrichtung erzeugt, was einer geringeren Geschwindigkeit v entspricht.

[0224] Das rechte Teilbild c der [Fig. 5a](#) zeigt den Läufer **100**, der eine schiefe Ebene mit dem negativen Steigungswinkel ($-\varphi$) hinab läuft. Deutlich erkennbar ist, wie die lotrecht aus dem Schwerpunkt des Läufers zum Boden wirkende Gewichtskraft F_G , den Winkel δ in der Größenordnung des Steigungswinkel ($-\varphi$) vergrößert und somit bezüglich des Teilbilds a, eine größere Beschleunigungskraft F_a in Bewegungsrichtung erzeugt, was einer größeren Geschwindigkeit v entspricht.

[0225] In der schiefen Ebene gelten die Gesetze der trigonometrischen Funktionen eines schiefwinkligen Dreiecks (s. [Fig. 2](#)). Die resultierende Kraft F_R berechnet sich mit:

$$F_R = \sqrt{F_G^2 + F_a^2 + 2 \cdot F_G \cdot F_a \cdot \cos(\beta)} \quad \text{daraus folgt}$$

$$\beta = \arccos\left(\frac{F_R^2 - F_g^2 - F_a^2}{2 \cdot F_g \cdot F_a}\right)$$

[0226] Die Beschleunigungskraft F_a berechnet sich mit:

$$F_a = -F_g \cdot \cos \beta + \sqrt{(F_g \cdot \cos \beta)^2 - (F_g^2 - F_R^2)}$$

[0227] Der Steigungswinkel φ ergibt sich mit: $\varphi = 90^\circ - \beta$

[0228] Der Winkel δ ergibt sich aus: $\delta = \arcsin((F_a/F_R) \cdot \sin\beta)$; $\beta = 90^\circ - \varphi$

[0229] Der Winkel ω ergibt sich aus: $\omega = \arcsin((F_g/F_R) \cdot \sin\epsilon)$; $\epsilon = 180^\circ - \beta$

[0230] Weitere Winkelbeziehungen sind: $\delta = \beta - \omega$; $180^\circ = \delta + \omega + \epsilon$

[0231] Zur Findung des maximalen positiven Steigungswinkel ($+\varphi_{\max}$) dienen die Teilbilder a–d der [Fig. 5b](#) zur Betrachtung des Verhaltens des Kräftesystems und des Körperschwerpunktes KSP des Läufers bei wachsendem positiven Steigungswinkel $+\varphi$ hinsichtlich seines Gleichgewichts und seiner Standfestigkeit. Hierbei ist der Läufer **100** so lange standsicher, wie sein Schwerpunkt lotrecht oberhalb der Unterstützungsfläche (aufsetzender Fuß) liegt und er sich damit im stabilen Gleichgewicht befindet.

[0232] Die Bilder zeigen einen Läufer, der aufrecht, mit konstanter Gewichtskraft F_G , mit konstanter resultierender Kraft F_R (konstanter Fußabdruckkraft) und konstanter Schrittlänge s_L , eine schiefe Ebene mit wachsendem positiven Steigungswinkel ($+\varphi$) hinauf läuft.

[0233] Teilbild a zeigt den Läufer **100** in der horizontalen Ebene mit dem Steigungswinkel $\varphi = 0$. Hierbei befindet sich der Körperschwerpunkt KSP, mit seiner aus ihm lotrecht wirkenden konstanten Gewichtskraft F_G , in der Frontalebene der Körpermitte in Höhe des Bauchnabels, wobei die lotrecht wirkende konstante Gewichtskraft F_G , durch die Mitte des Schritts zum Boden verläuft. (stabiles Gleichgewicht)

[0234] Die Teilbilder b, c, d zeigen, dass die lotrecht wirkende konstante Gewichtskraft F_G , mit wachsenden positiven Steigungswinkel ($+\varphi$), den Winkel δ verkleinert und somit eine immer kleiner werdende Beschleunigungskraft F_a in Bewegungsrichtung erzeugt. Hieraus ergibt sich ein maximaler positiver Steigungswinkel von $\varphi = 15^\circ$, der ein aufrechtes kontinuierliches Gehen/Laufen in der schiefen Ebene gewährleistet.

[0235] Ab einem positiven Steigungswinkel von $\varphi = 20^\circ$, befindet sich der Läufer **100** im kritischen Bereich, indem über Messungen bewertet werden muss, ob ein aufrechtes kontinuierliches Gehen/Laufen in der schiefen Ebene gewährleistet werden kann.

[0236] Zur Findung des maximalen negativen Steigungswinkel ($-\varphi_{\max}$) dienen die Teilbilder a, b, c, d der [Fig. 5c](#) zur Betrachtung des Verhaltens des Kräftesystems und des Körperschwerpunktes KSP des Läufers **100**, bei wachsendem negativem Steigungswinkel $-\varphi$, hinsichtlich seines Gleichgewichts und seiner Standfestigkeit. Hierbei ist der Läufer **100** so lange standsicher, wie sein Schwerpunkt KSP lotrecht oberhalb der Unterstützungsfläche (aufsetzender Fuß) liegt und er sich damit im stabilen Gleichgewicht befindet. Die Teilbilder a–d der Figur zeigen den Läufer **100**, der aufrecht, mit konstanter Gewichtskraft F_G mit konstanter resultierender Kraft F_R (konstanter Fußabdruckkraft) und konstanter Schrittlänge s_L , eine schiefe Ebene mit wachsenden negativen Steigungswinkel ($-\varphi$) hinab läuft.

[0237] Teilbild a zeigt den Läufer **100** in der horizontalen Ebene mit dem Steigungswinkel $\varphi = 0$. Hierbei befindet sich der Körperschwerpunkt KSP, mit seiner aus ihm lotrecht wirkenden konstanten Gewichtskraft F_G , in der Frontalebene der Körpermitte, wobei die lotrecht wirkende konstante Gewichtskraft F_G , durch die Mitte des Schritts zum Boden verläuft (stabiles Gleichgewicht).

[0238] Die Teilbilder b, c, d zeigen, dass die lotrecht wirkende konstante Gewichtskraft F_G mit wachsenden negativen Steigungswinkel ($-\varphi$) den Winkel δ vergrößert und somit eine immer größer werdende Beschleunigungskraft F_a in Bewegungsrichtung erzeugt.

[0239] Hieraus ergibt sich ein maximaler negativer Steigungswinkel von $-\varphi = 15^\circ$, der ein aufrechtes kontinuierliches Gehen/Laufen in der schiefen Ebene gewährleistet.

[0240] Ab einem negativen Steigungswinkel von $-\varphi = 20^\circ$, befindet sich der Läufer **100** im kritischen Bereich, indem über Messungen bewertet werden muss, ob ein aufrechtes kontinuierliches Gehen/Laufen in der schiefen Ebene gewährleistet werden kann.

[0241] Im Teilbild a der [Fig. 5d](#) ist der Läufer **100** gezeigt, der eine schiefe Ebene mit dem positiven Steigungswinkel $+\varphi = 15^\circ$ hinauf läuft, wobei sich sein Oberkörper im rechten Winkel zur schiefen Ebene befindet.

[0242] Teilbild b zeigt den Läufer **100**, der eine schiefe Ebene mit dem positiven Steigungswinkel $+\varphi = 15^\circ$ hinauf läuft, wobei sein Oberkörper, in Bezug auf Teilbild a, um 15° nach vorne gebeugt ist und sich nun lotrecht zur schiefen Ebene befindet, was einem aufrechten Gehen/Laufen entspricht (Körperhaltung für konstante Geschwindigkeit; kleine Geschwindigkeitsänderungen).

[0243] Teilbild c zeigt den Läufer **100**, der eine schiefe Ebene mit dem positiven Steigungswinkel $+\varphi = 15^\circ$ hinauf läuft, wobei sein Oberkörper, in Bezug auf Teilbild b, um 18° nach vorne gebeugt ist und sich nun in einer Linie zum Vorderfuß des nachlaufenden, beschleunigungsgebenden Fußes befindet (Beschleunigungshaltung zur Geschwindigkeitserhöhung).

[0244] Wie aus den Bildern ersichtlich, verschiebt der Läufer durch Beugung des Oberkörpers seinen Körperschwerpunkt KSP mit seiner aus ihm lotrecht wirkenden Gewichtskraft F_G nach vorne und vergrößert damit den Winkel δ und die resultierende F_R , womit eine größere Beschleunigungskraft F_a in Bewegungsrichtung erzeugt wird.

[0245] Teilbild a der [Fig. 5e](#) zeigt den Läufer **100**, der eine schiefe Ebene mit dem negativen Steigungswinkel $-\varphi = 15^\circ$ hinab läuft, wobei sich sein Oberkörper im rechten Winkel zur schiefen Ebene befindet.

[0246] Teilbild b der [Fig. 5e](#) zeigt den Läufer **100**, der eine schiefe Ebene mit dem negativen Steigungswinkel $-\varphi = 15^\circ$ hinab läuft, wobei sein Oberkörper, in Bezug auf Teilbild a, um 15° nach hinten gebeugt ist und sich nun lotrecht zur schiefen Ebene befindet, was einem aufrechten Gehen/Laufen entspricht (Körperhaltung für konstante Geschwindigkeit; kleine Geschwindigkeitsänderungen).

[0247] Teilbild c der Figur zeigt den Läufer **100**, der eine schiefe Ebene mit dem negativen Steigungswinkel $-\varphi = 15^\circ$ hinab läuft, wobei sein Oberkörper in Bezug auf Teilbild b um 15° nach hinten gebeugt ist und sich nun in einer Linie zum Vorderfuß des vorlaufenden, beschleunigungsnehmenden Fußes befindet (Bremshaltung zur Geschwindigkeitsminderung).

[0248] Wie aus den Bildern ersichtlich, verschiebt der Läufer **100** durch Beugung des Oberkörpers seinen Körperschwerpunkt KSP mit seiner aus ihm lotrecht wirkenden Gewichtskraft F_G nach hinten und verkleinert somit den Winkel δ und die resultierende F_R , um eine kleinere Beschleunigungskraft F_a in Bewegungsrichtung oder eine Bremskraft ($-F_a$) entgegen der Bewegungsrichtung zu erzeugen.

[0249] [Fig. 6a–Fig. 6f](#) zeigen verschiedene Varianten von günstigen Druckflächen einer Sensorik **50** als Sensorflächen.

[0250] [Fig. 6a](#) zeigt eine Sensorketten-Anordnung einer Sensorik **50** mit Messzellen **54** zur Erfassung des Fußdruckes vom Hacken-Bereich **10.1** über den Mittelfußabroll-Bereich **10.2** bis zum Vorderfuß-Bereich **10.3** und **10.4**. Die Sensorketten-Anordnung ist beispielsweise in einer Einlegesohle **20** integriert.

[0251] Zur direkten Erfassung der durch den Fuß **10** des Läufers ausgeübten Kraft sind die Druckflächen beispielsweise gleich groß gestaltet und liefern bei Kraftwirkung die genaue Längen-Position innerhalb der Fußsohle entlang deren Länge L_{10} . das Bezugszeichen **24** deutet den frühesten Aufsetzpunkt des Fußes **10** am Fußballen **10.3** an. **10.4** bezeichnet den Bereich der Fußspitze.

[0252] Zur Wandlung der Kraftwirkung in ein elektrisches Signal können sich Druckmesszellen **54** direkt im Kraftübertragungsmedium innerhalb der Druckfläche befinden oder über Kapillaren damit verbunden im Bereich der Fußhöhle **12** installiert sein (Bereich **22** für Signalerfassung und Signalverarbeitung).

[0253] **Fig. 6b** zeigt eine Sensorketten-Anordnung zur Erfassung des Fußdruckes vom Hacken-Bereich **10.1** und vom Vorderfuß-Bereich **10.3**, **10.4**. Zur direkten Erfassung der ausgeübten Kraft, sind die Druckflächen gleichgroß gestaltet und liefern bei Kraftwirkung die genaue Längen-Position entlang der Länge L10 (Längserstreckung des Fußes **10**) innerhalb der Fußsohle.

[0254] **Fig. 6c** zeigt eine Sensorketten-Anordnung zur Erfassung des Fußdruckes vom Hacken-Bereich **10.1** und vom Vorderfuß-Bereich **10.3**, **10.4**. Die Druckflächen liefern bei Kraftwirkung die genaue Längen-Position innerhalb der Fußsohle entlang der Längserstreckung L10 des Fußes **10** und sind unterschiedlich groß gestaltet.

[0255] **Fig. 6d** zeigt eine Sensorketten-Anordnung, die der Anordnung in **Fig. 6c** entspricht, aber mit zusätzlicher Erfassung des Fußdrucks im Mittelfußabroll-Bereich **10.2**.

[0256] **Fig. 6e** zeigt eine Sensorketten-Anordnung zur Erfassung des gesamten Fußabdruckes. Die Druckflächen sind z.B. rechteckig gestaltet und liefern bei Kraftwirkung die genaue Längen-Position innerhalb der Fußsohle entlang der Längserstreckung L10 des Fußes. Unterhalb der Draufsicht ist zur Illustration ein Längsschnitt durch die Messzellen **54** entlang L10 gezeigt.

[0257] **Fig. 6f** zeigt eine Sensorketten-Anordnung zur Erfassung des gesamten Fußabdruckes. Die Druckflächen sind beispielsweise gleich groß gestaltet und in einem zentralen Bereich der Fußsohle entlang der Längserstreckung L10 angeordnet. So kann ein Druck oder eine Druckverteilung im zentralen Bereich des Fußes **10** erfasst werden.

[0258] Die in den **Fig. 6a–Fig. 6f** gezeigten Ausgestaltungen sind beispielhaft gemeint. Es kann sowohl ein Absolutdruck als auch eine Verteilung des Drucks über die Sensorfläche erfasst werden und zur Auswertung herangezogen werden.

[0259] **Fig. 7** zeigt eine Beispielsauswertung einer resultierenden Kraft F_R anhand von Kennlinien bei verschiedenen Geschwindigkeiten als Funktion eines Steigungswinkels φ .

[0260] Als Berechnungsdaten werden beispielhaft folgende Größen verwendet:

Körpergewicht $m = 80 \text{ kg}$

konstante Messstrecke s vom Hacken zur Fußspitze $s = 30 \text{ cm}$.

[0261] Bei einer Geschwindigkeit von $v = 10 \text{ km/h}$ (obere Kurve) und einem Steigungswinkel $\varphi = 10^\circ$ erhöht sich die resultierende Kraft F_R um $\Delta F_R = 125,88 \text{ N}$

[0262] Bei einer Geschwindigkeit von $v = 5 \text{ km/h}$ (untere Kurve) und einem Steigungswinkel $\varphi = 10^\circ$ erhöht sich die resultierende Kraft F_R um $\Delta F_R = 72,37 \text{ N}$.

[0263] Zur Gewährleistung sehr hoher Genauigkeit werden die maßgebenden Parameter, wie die aus der Weg-Zeit-Messung berechnete Geschwindigkeit $v_{s/t}$ und der ermittelte Betrag vom arithmetischen Mittelwert des Druckverlaufs der resultierenden Kraft $|F_{R_arithm}|$, für jede Laufgeschwindigkeit v und jeden Steigungswinkel ($\pm\varphi$) über Korrekturfaktoren oder Korrekturfunktionen kalibriert. Zur Kalibrierung jeder Geschwindigkeit $v_{s/t}$ und jeden Steigungswinkel ($\pm\varphi$) beim Gehen/Laufen mit dem ganzen Fuß oder auf dem Vorderfuß, dient ein Laufband als Primärnormal zur Geschwindigkeitsvorgabe v_{kal} und einstellbaren positiven und negativen Steigungswinkel ($\pm\varphi_{kal}$).

[0264] Vorausgesetzt wird normales Gehen/Laufen, was ein Trapsen, Trippeln, Plumpsen oder auf der Stelle Gehen/Laufen ausschließt.

[0265] Die aus der Weg-Zeit-Messung berechnete Geschwindigkeit $v_{s/t}$, wird mit der vorgegebenen Geschwindigkeit v_{kal} verglichen und bei Nichtgleichheit durch Korrekturfaktoren oder Korrekturfunktionen gleichgesetzt. z.B.

$$v_{kal} = v_{s/t} \cdot k_{\text{Faktor}} = v_{s/t_kal}$$

oder

$$v_{\text{kal}} = v_{\text{s/t}} \cdot f(k_{\text{Faktor}}) = v_{\text{s/t_kal}}$$

[0266] Die genaue Gewichtskraft des Läufers $|F_g| = m \cdot g$, wird mit einer geeichten Waage gemessen.

[0267] Beim Gehen/Laufen in der horizontalen Ebene, wird mit der kalibrierten Geschwindigkeit $v_{\text{s/t_kal}}$ und der genau gemessenen Gewichtskraft $|F_g| = m \cdot g$, die beschleunigende Kraft F_a und weiterhin der Betrag der resultierenden Kraft $|F_{\text{R_berech}}|$ berechnet.

[0268] Dieser aus den kalibrierten Werten berechnete Betrag der resultierenden Kraft $|F_{\text{R_berech}}|$, gilt nun als kalibrierte resultierende Kraft $|F_{\text{R_berech_kal}}|$ in der horizontalen Ebene, bei eingestellten Steigungswinkel $\varphi_{\text{kal}} = 0^\circ$. Die Kalibrierung vom Betrag des arithmetischen Mittelwerts der resultierenden Kraft $|F_{\text{R_arithm}}|$ aus der Druck/Zeit-Messung, (Kraft/Zeit-Messung) in der horizontalen Ebene, erfolgt über die Gleichsetzung mit der resultierende Kraft $|F_{\text{R_berech_kal}}|$ in der horizontalen Ebene, durch Korrekturfaktoren oder Korrekturfunktionen bei jeder vorgegebenen Geschwindigkeit v_{kal} und eingestellten Steigungswinkel $\varphi_{\text{kal}} = 0^\circ$. z.B.

$$|F_{\text{R_berech_kal}}| = |F_{\text{R_arithm}}| \cdot k_{\text{Faktor}} = |F_{\text{R_arithm_kal}}|$$

oder

$$|F_{\text{R_berech_kal}}| = |F_{\text{R_arithm}}| \cdot f(k_{\text{Faktor}}) = |F_{\text{R_arithm_kal}}|$$

[0269] Somit gilt: $|F_{\text{R_berech_kal}}| = |F_{\text{R_arithm_kal}}|$; für alle v_{kal} bei $\varphi_{\text{kal}} = 0^\circ$

[0270] Hierbei sind die Beträge maßgebend und nicht der individuelle Kraft-Druck-Verlauf der resultierenden Kraft F_{R} .

[0271] Zur Eliminierung von Signal-Ausreißern (Peak) ist der Auswerteeinheit ein Signalfilter vorgeschaltet.

[0272] Die Kalibrierung des positiven und negativen Steigungswinkels ($\pm\varphi$), erfolgt über die Gleichsetzung des berechneten Steigungswinkels ($\pm\varphi_{\text{berech}}$) zu jeden eingestellten Steigungswinkel ($\pm\varphi_{\text{kal}}$) durch Korrekturfaktoren oder Korrekturfunktionen, bei jeder eingestellten Geschwindigkeit v_{kal} des Laufbandes.

[0273] Maßgebend zur Berechnung des positiven oder negativen Steigungswinkels ($\pm\varphi$), ist der Betrag des arithmetischen Mittelwerts der resultierenden Kraft $|F_{\text{R_arithm_kal}}|$ aus der Druck/Zeit-Messung, (Kraft/Zeit-Messung).

[0274] Um die Gleichheit des zu berechnenden Steigungswinkels ($\pm\varphi$) mit dem eingestellten Steigungswinkel ($\pm\varphi_{\text{kal}}$) zu erreichen, wird der Betrag $|F_{\text{R_arithm_kal}}|$ mit einem Winkel-Korrekturfaktor φ_{kFaktor} oder einer Winkel-Korrekturfunktion $f(\varphi_{\text{kFaktor}})$ multipliziert.

$$\text{Mit: } |F_{\text{R_arithm_kal}}| \cdot \varphi_{\text{kFaktor}} \rightarrow \varphi_{\text{berech_kal}} = \varphi_{\text{kal}}$$

$$\text{Mit: } |F_{\text{R_arithm_kal}}| \cdot f(\varphi_{\text{kFaktor}}) \rightarrow \varphi_{\text{berech_kal}} = \varphi_{\text{kal}}$$

[0275] Zusammenfassend ist zu sagen, dass aus der Geschwindigkeitsreferenz $v = \text{s/t}$ die Resultierende $|F_{\text{R_berech}}|$ berechnet wird und somit auch als Kraft-Referenz für die horizontale und schiefe Ebene gilt.

[0276] Aus der Druckverlauf-Messung wird die Resultierende $|F_{\text{R_arithm}}|$ ermittelt und die Geschwindigkeit v_{Ft} berechnet, was nur in der horizontalen Ebene korrekt ist.

[0277] Wenn $|F_{\text{R_arithm}}| = |F_{\text{R_berech}}|$ dann ist auch $v_{\text{Ft}} = v_{\text{s/t}}$ (nur horizontale Ebene).

[0278] Wenn $|F_{\text{R_arithm}}| \neq |F_{\text{R_berech}}|$ dann ist auch $v_{\text{Ft}} \neq v_{\text{s/t}}$ (Laufen in schiefer Ebene).

[0279] $|F_{\text{R_arithm}}|$ ist somit ein Maß des Steigungswinkels ($\pm\varphi$) bezüglich $|F_{\text{R_berech}}|$.

ZITATE ENTHALTEN IN DER BESCHREIBUNG

Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde automatisiert erzeugt und ist ausschließlich zur besseren Information des Lesers aufgenommen. Die Liste ist nicht Bestandteil der deutschen Patent- bzw. Gebrauchsmusteranmeldung. Das DPMA übernimmt keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.

Zitierte Patentliteratur

- DE 119734697 A1 [[0002](#)]
- DE 3405081 A1 [[0002](#)]
- WO 01/25726 A1 [[0003](#)]
- DE 102007011855 B4 [[0004](#)]

Patentansprüche

1. Bewegungsparameter-Messeinrichtung zur Erfassung eines Bewegungsparameters eines Läufers (**100**), der gegenüber einem Untergrund eine Relativbewegung ausführt, **dadurch gekennzeichnet**, dass zum Ableiten eines Bewegungsparameters (φ) des Läufers (**100**), aus einer Referenzgeschwindigkeit ($v_{s/t}$) und einer kraftabhängigen und/oder druckabhängigen Geschwindigkeit (v_{Ft}) die aus einem Fuß-Drucksignal als Funktion der Zeit beim Abrollvorgang über Sensoren und/oder Sensorflächen erfassbar ist.
2. Bewegungsparameter-Messeinrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass Bewegungsparameter (φ) des Läufers (**100**) ein Bewegungswinkel (φ) ist.
3. Bewegungsparameter-Messeinrichtung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensorik (**50**) eine Sensorkette mit Drucksensoren (**54**) umfasst, die sich in flächiger Anordnung wenigstens bereichsweise über eine Fußfläche erstreckt.
4. Bewegungsparameter-Messeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensorik (**50**) in eine Einlegesohle integriert ist.
5. Bewegungsparameter-Messeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensorik (**50**) in einen Schuh integriert ist.
6. Bewegungsparameter-Messeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensorik (**50**) in einen Strumpf integriert ist, der um einen Schuh oder Fuß legbar ist.
7. Bewegungsparameter-Messeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensorik (**50**) ein hydraulisches Gestänge (**52**) umfasst.
8. Bewegungsparameter-Messeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die Sensorik (**50**) Piezoelemente und/oder kapazitive und/oder induktive und/oder ohmsche Druckaufnehmer umfasst.
9. Verfahren zum Betreiben einer Bewegungsparameter-Messeinrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass aus einer Referenzgeschwindigkeit ($v_{s/t}$) und einer kraftabhängigen und/oder druckabhängigen Geschwindigkeit (v_{Ft}), die aus einem Fuß-Drucksignal als Funktion der Zeit beim Abrollvorgang über Sensoren/ Sensorflächen erfasst wird, ein Bewegungsparameter (φ) des Läufers (**100**) abgeleitet wird.
10. Verfahren nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass der Bewegungsparameter ein Bewegungswinkel (φ) ist.
11. Verfahren nach Anspruch 9 oder 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Referenzgeschwindigkeit ($v_{s/t}$) aus einer Weg/Zeit-Messung aus einem Abrollvorgang über Sensoren und/oder Sensorflächen abgeleitet wird.
12. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass bei einer relativen Zunahme des Drucks im Hackenbereich (**10.1**) ein Gefälle erkannt wird und bei einer relativen Zunahme des Drucks in Vorderfußbereich (**10.4**, **10.3**) eine Steigung und/oder Beschleunigung erkannt wird.
13. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem Zeitsignal und/oder Drucksignal und einer vorgegebenen Länge und/oder aktuellen Länge einer Sensorik (**50**) eine Wegstrecke (s) und/oder eine Geschwindigkeit ($v_{s/t}$, v_{Ft} , v) abgeleitet wird.
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 13, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem Zeitsignal und/oder Drucksignal ein Absprungwinkel abgeleitet wird.
15. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass aus dem Zeitsignal und/oder Drucksignal ein vorgegebener Laufstil abgeleitet wird.
16. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass aus der Zeitspanne der Schrittdauer (Δt_{sL}) und der Referenzgeschwindigkeit ($v_{s/t}$) die Schrittlänge s_L abgeleitet wird, insbesondere

dass aus dem Produkt von Zeitspanne (Δt_{sL}) und Referenzgeschwindigkeit ($v_{s/t}$) die Schrittlänge s_L berechnet wird.

17. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass durch Summation der einzelnen Schrittlängen s_L eine zurückgelegte Wegstrecke s_{weg} und/oder eine Gesamtstrecke abgeleitet wird.

18. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 17, dadurch gekennzeichnet, dass die im Speicher eines Mikrokontrollers liegenden Daten und/oder Resultate über eine serielle und/oder parallele und/oder USB Schnittstelle einem separaten Computer zugeführt und, bevorzugt über eine geeignete graphische Benutzeroberfläche, ausgewertet und/oder dargestellt werden.

19. Verfahren nach einem der Ansprüche 9 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die im Speicher eines Mikrokontrollers liegenden Daten und/oder Resultate über eine serielle und/oder parallele und/oder USB Schnittstelle einem Sender-Empfängersystem zugeführt und zur Anzeige gebracht werden.

Es folgen 16 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

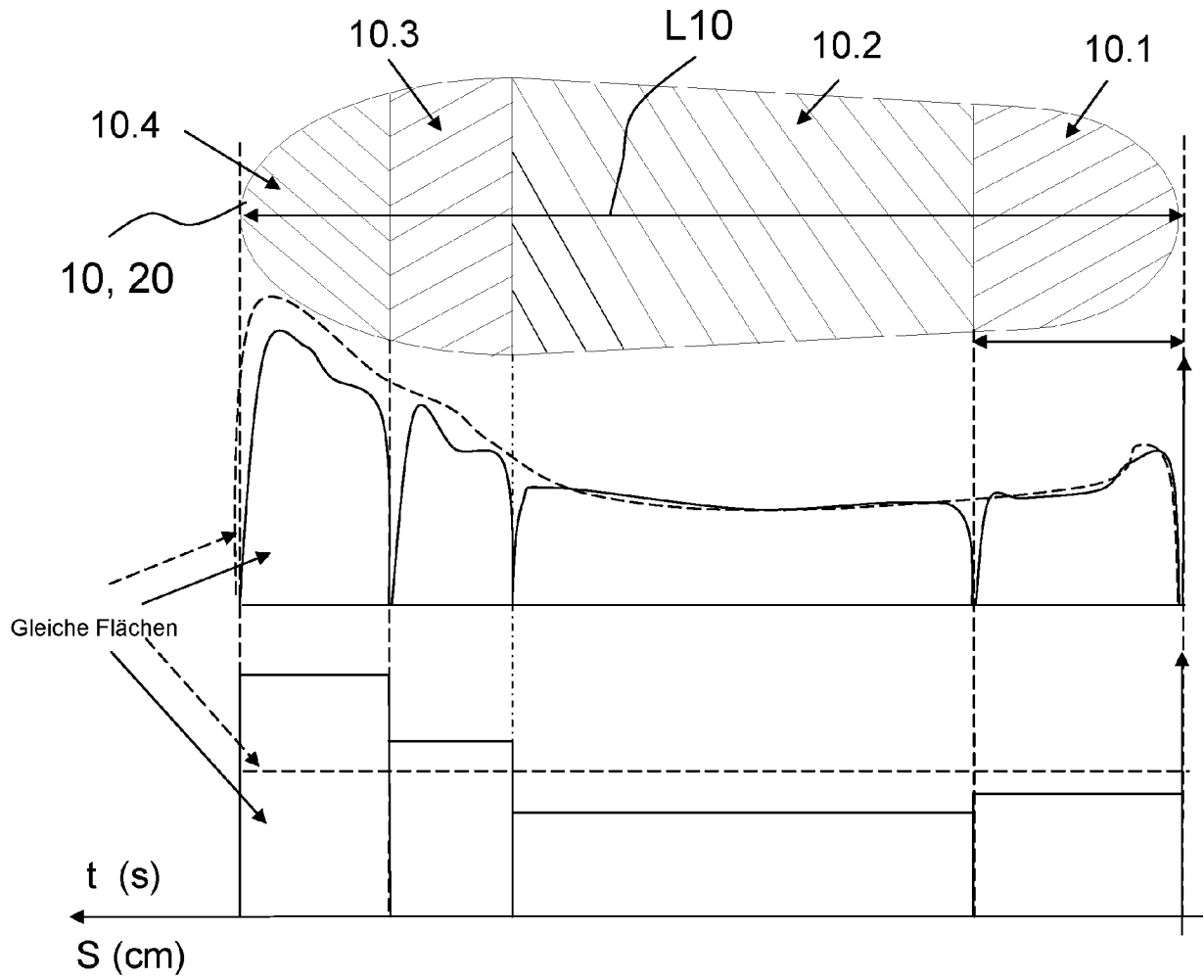


Fig. 1

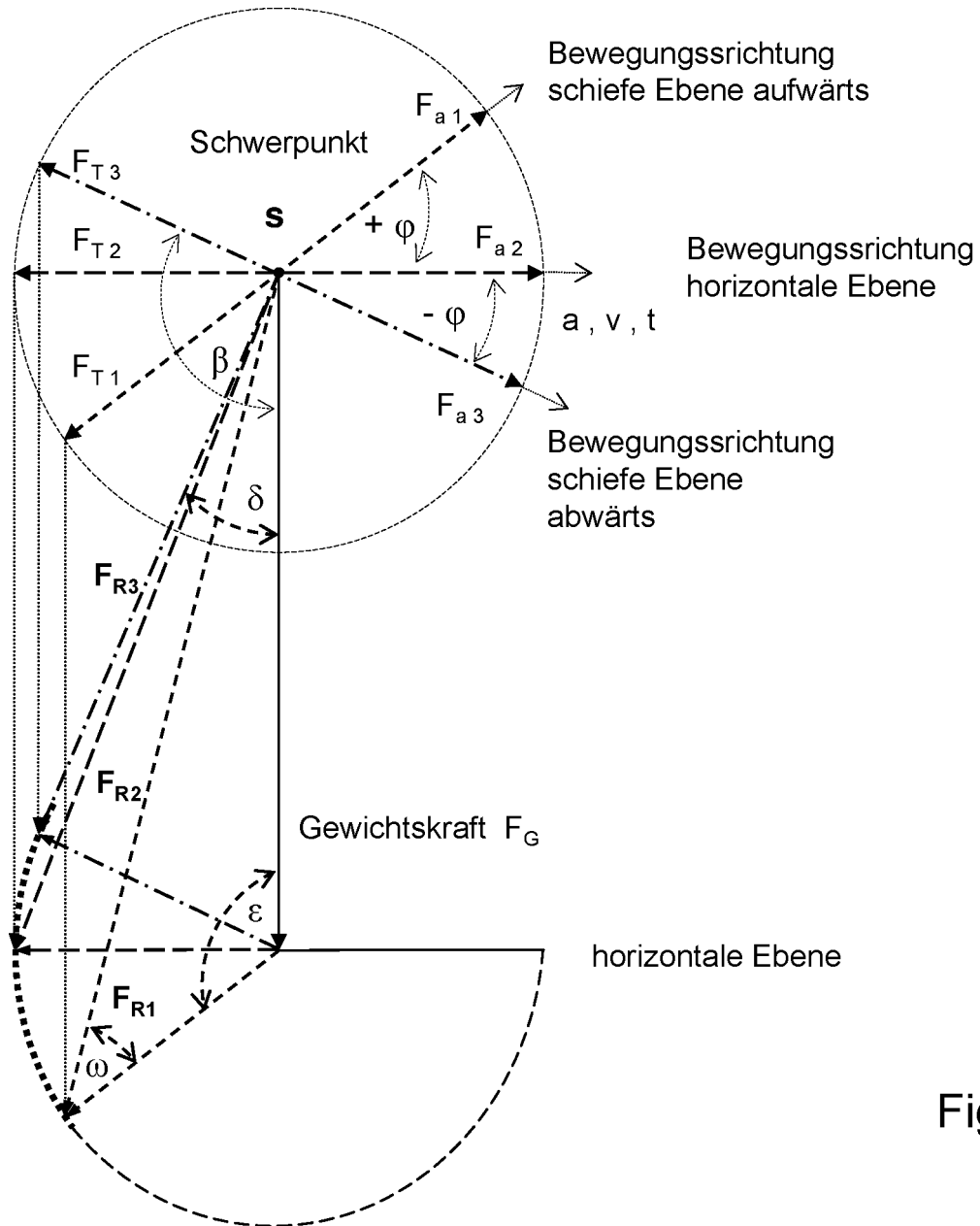


Fig. 2

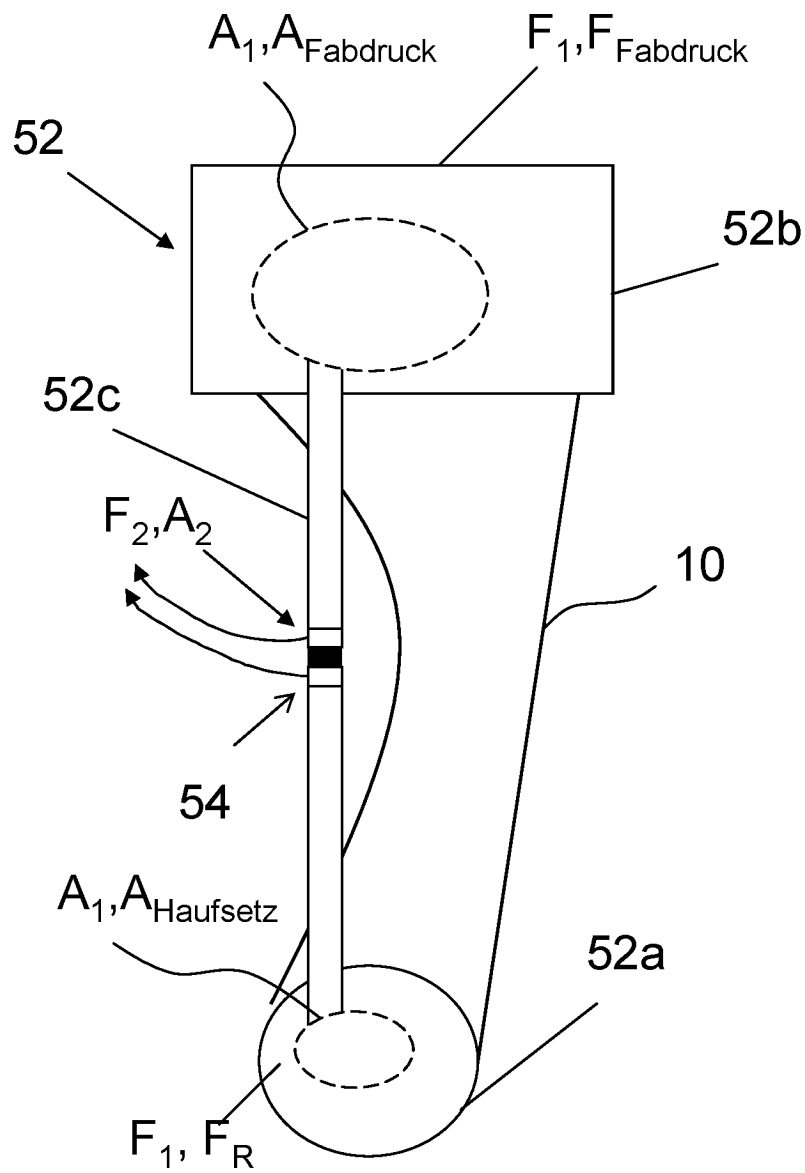


Fig. 3

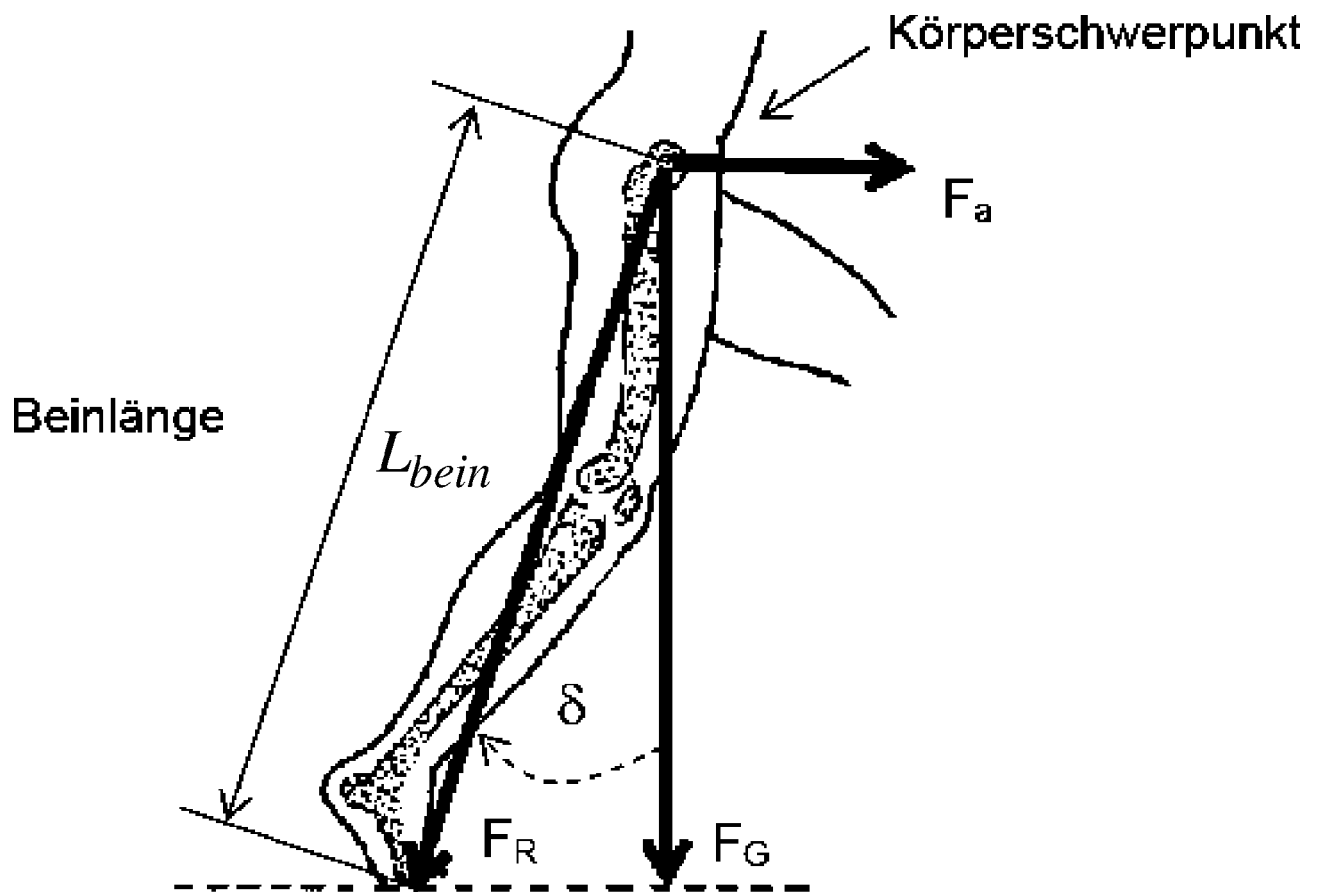


Fig. 4

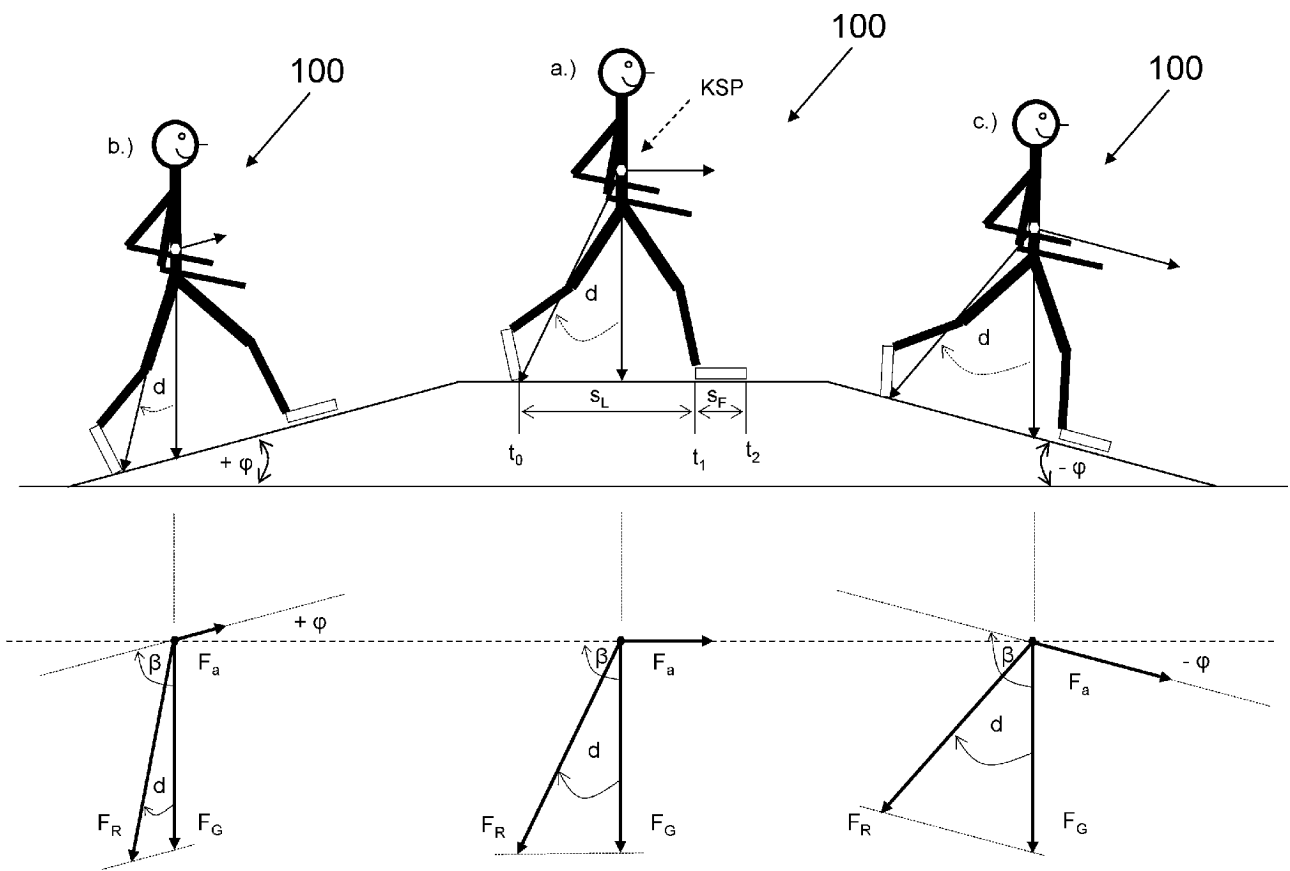


Fig. 5a

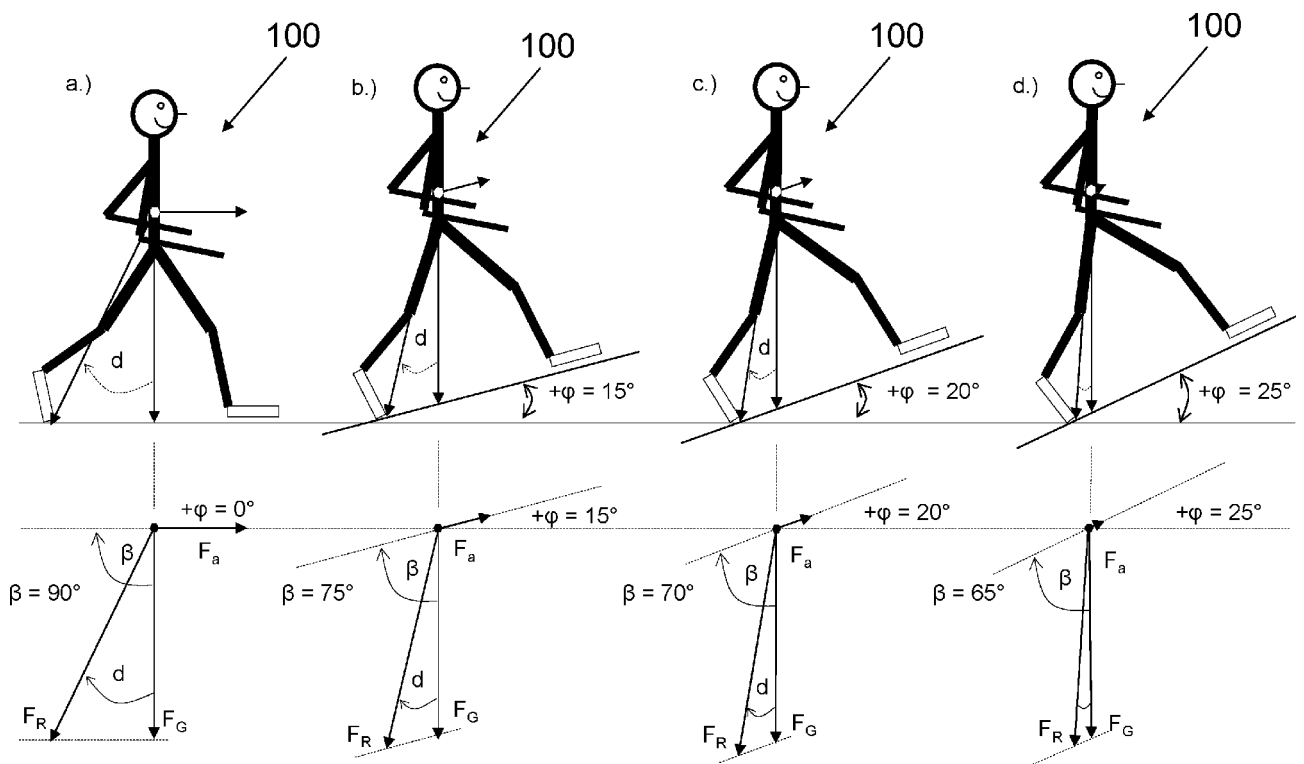


Fig. 5b

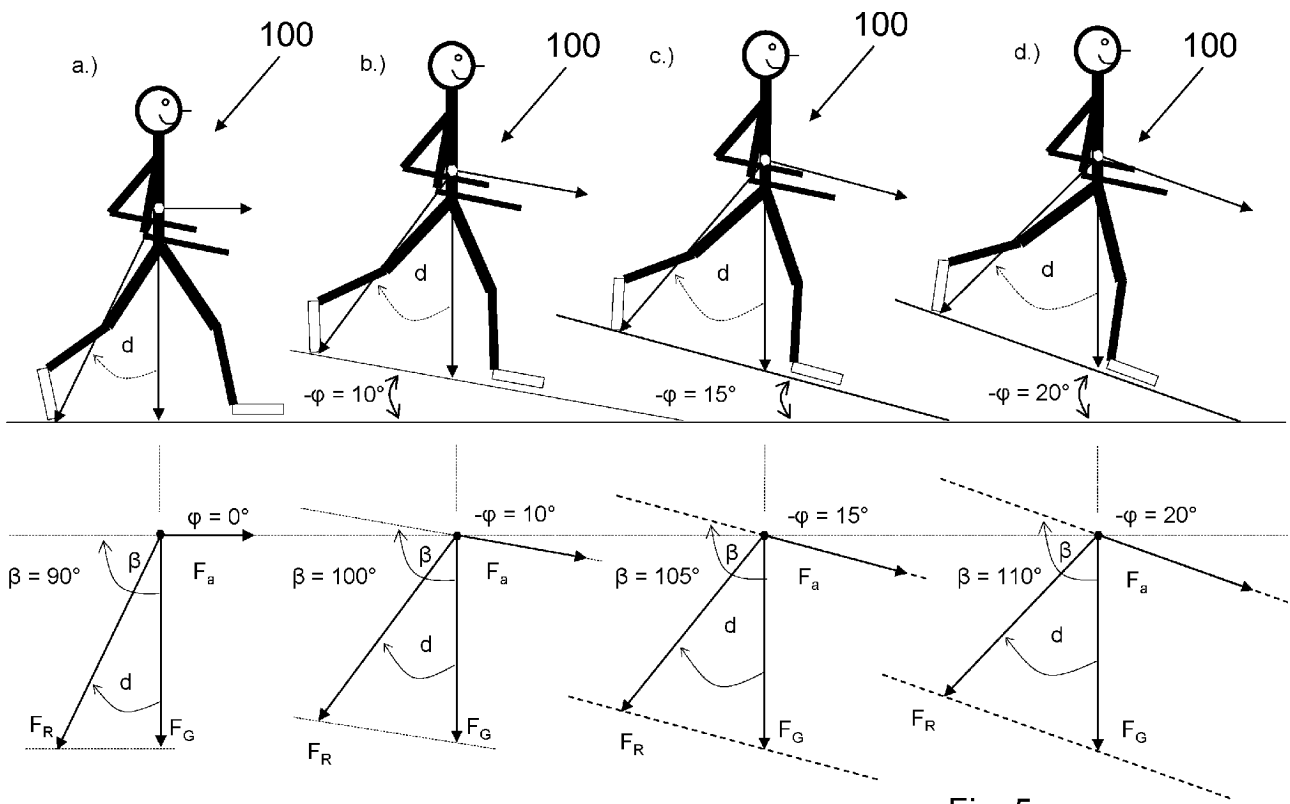


Fig. 5c

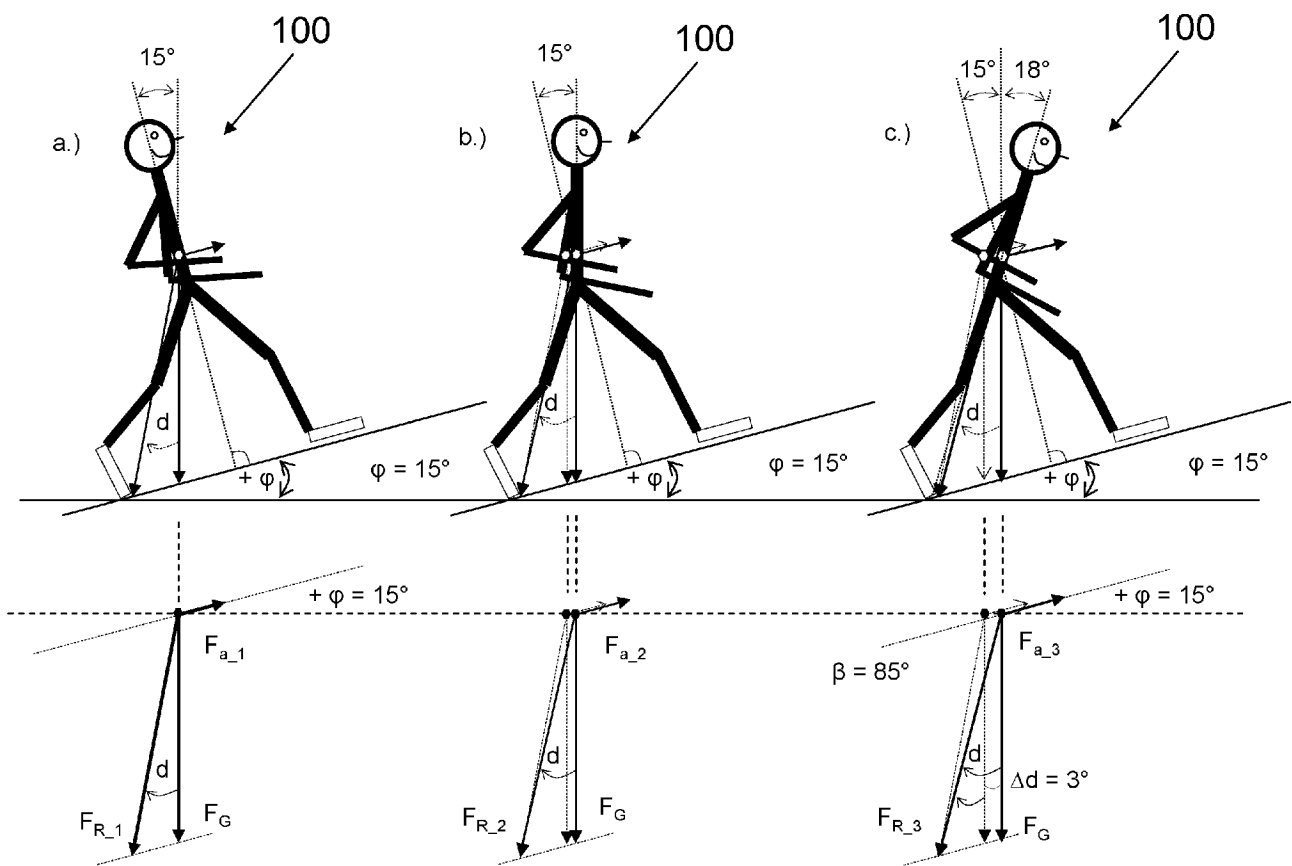


Fig. 5d

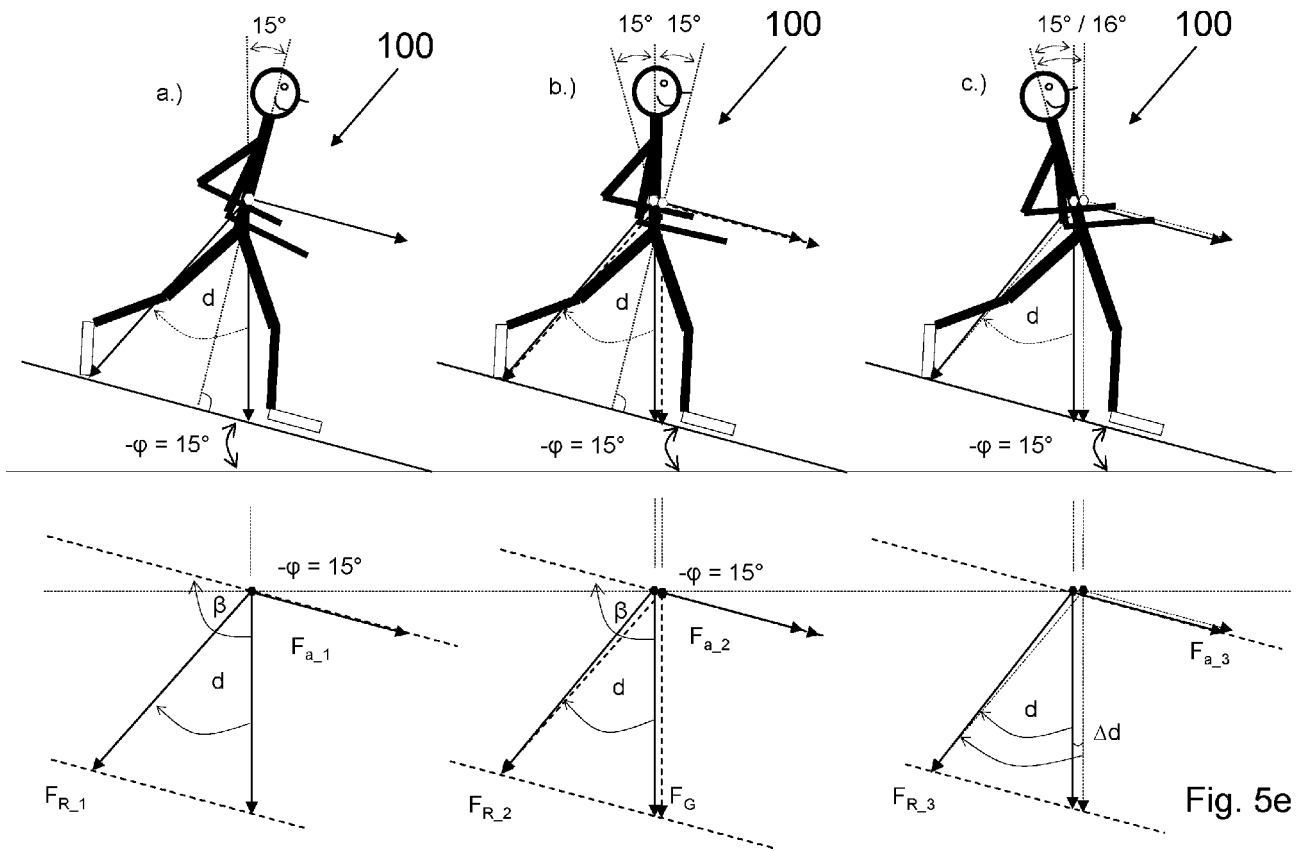


Fig. 5e

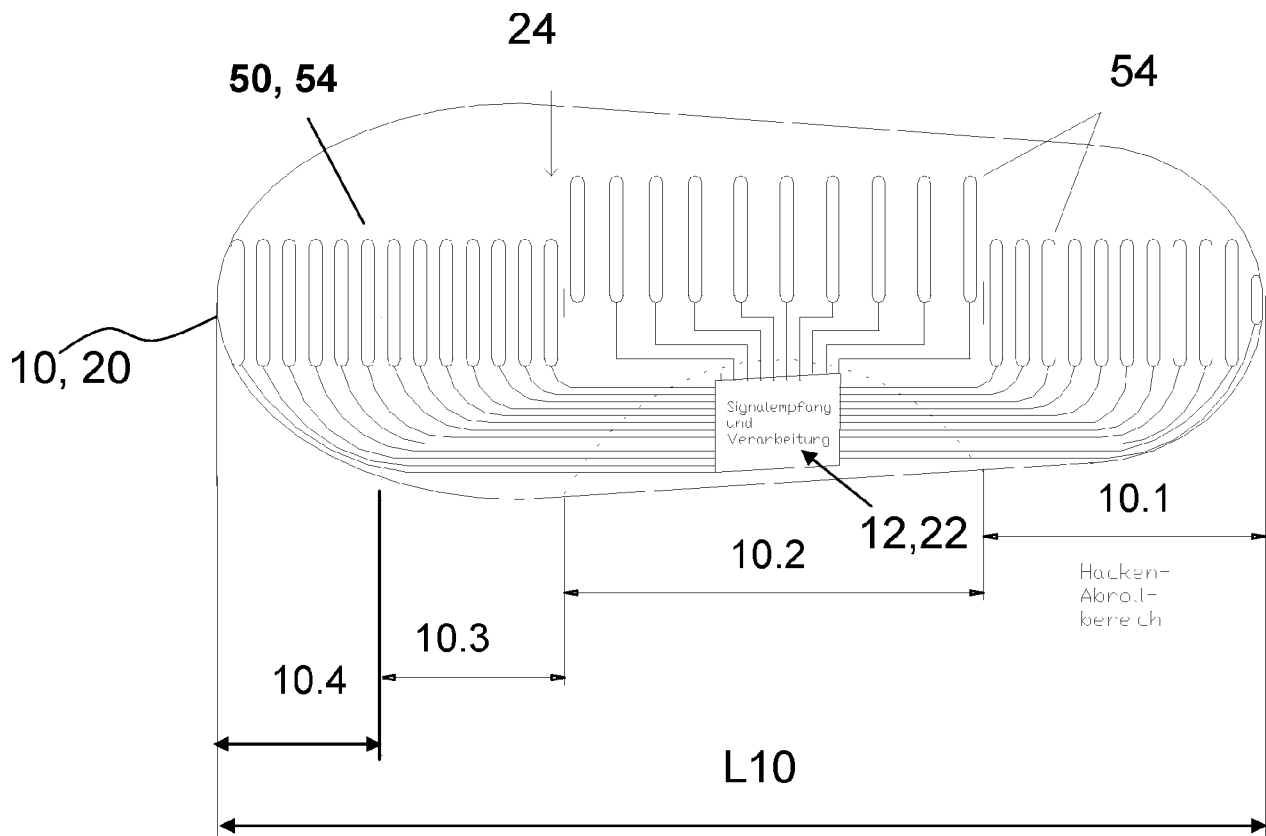


Fig. 6a

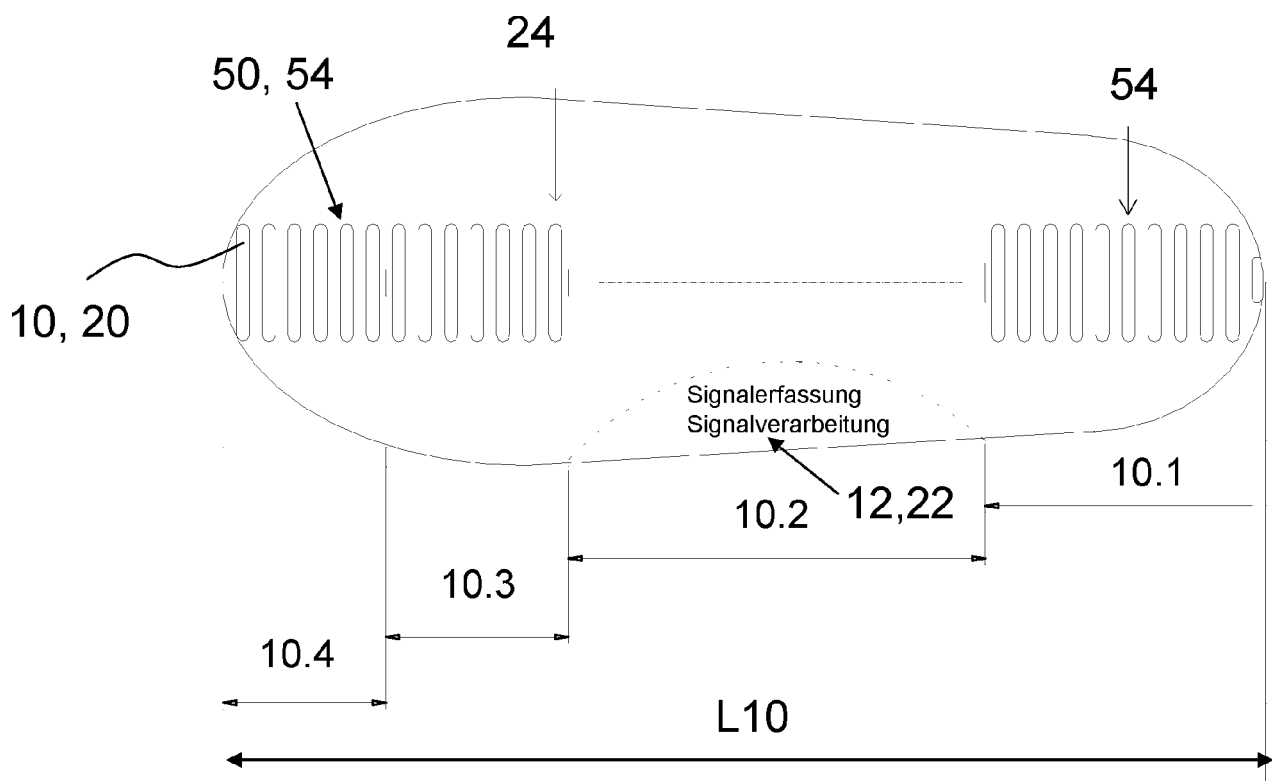


Fig. 6b

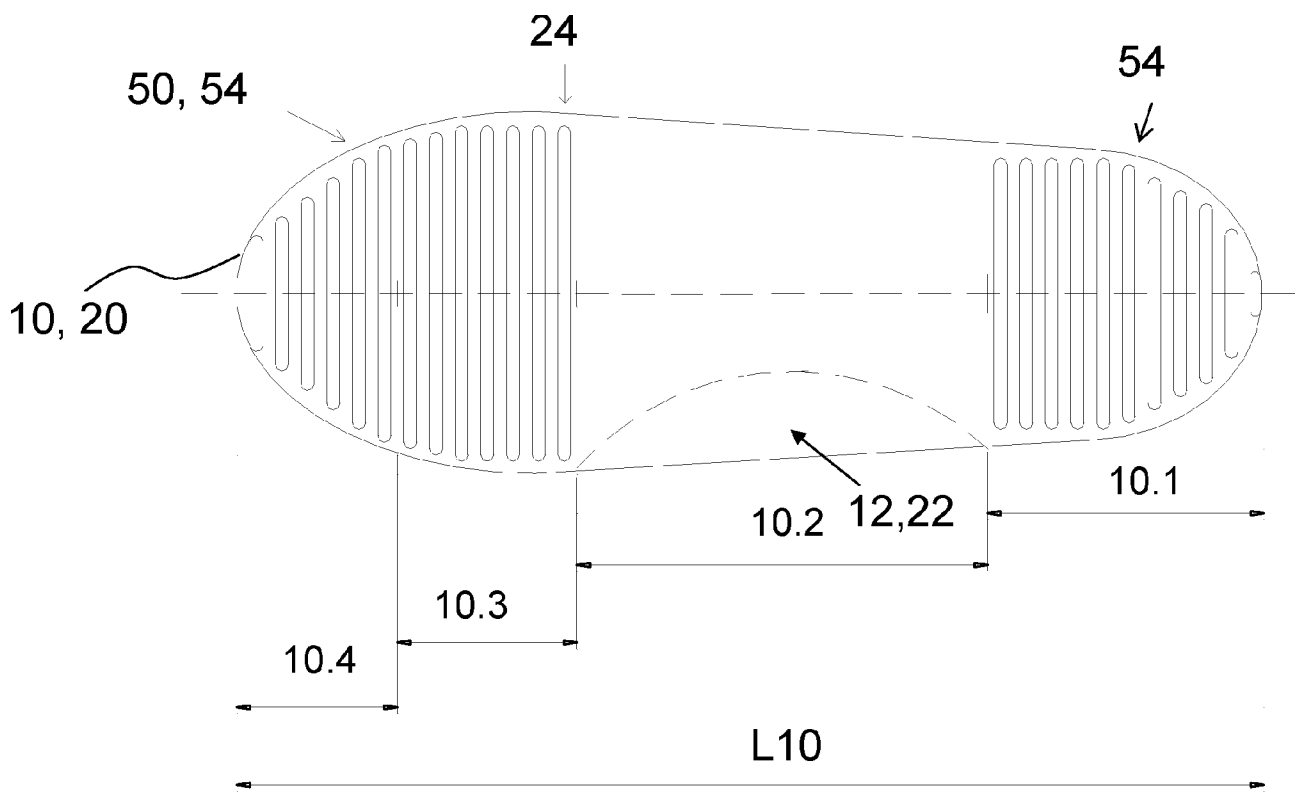


Fig. 6c

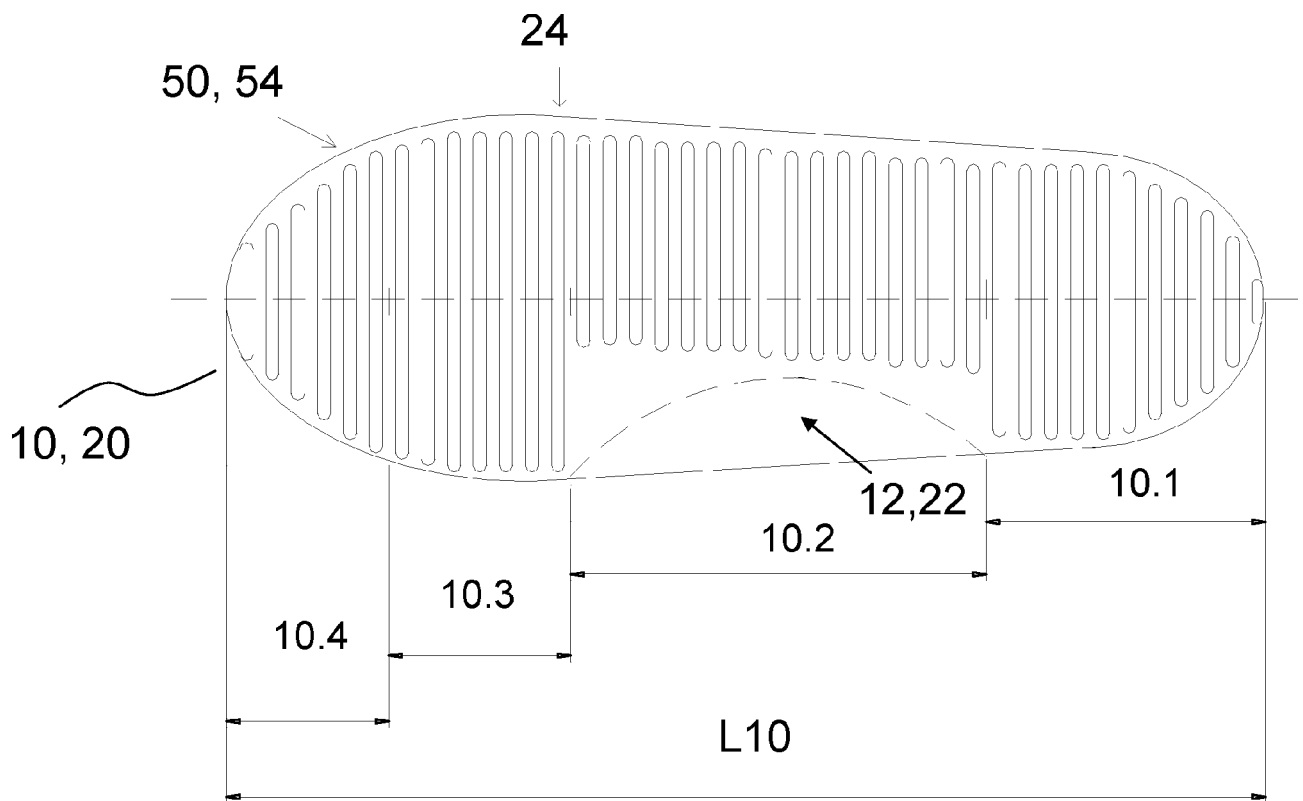


Fig. 6d

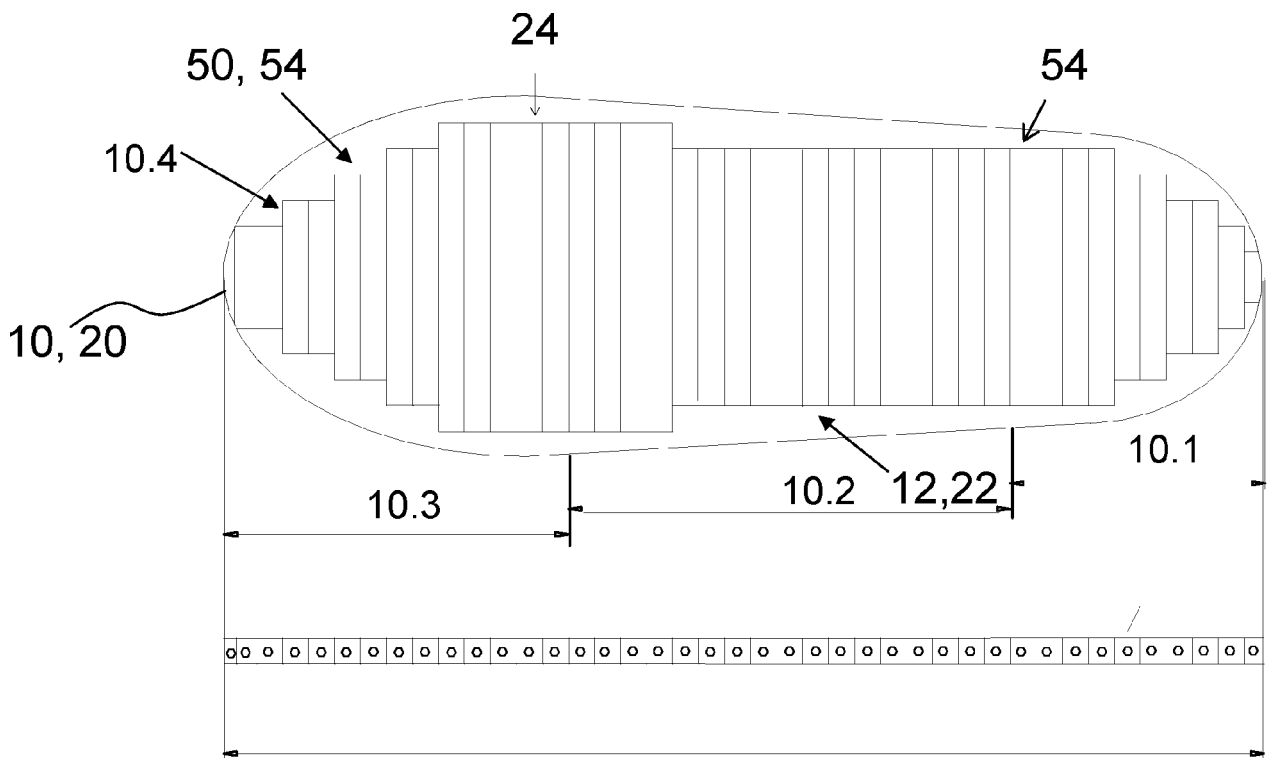


Fig. 6e

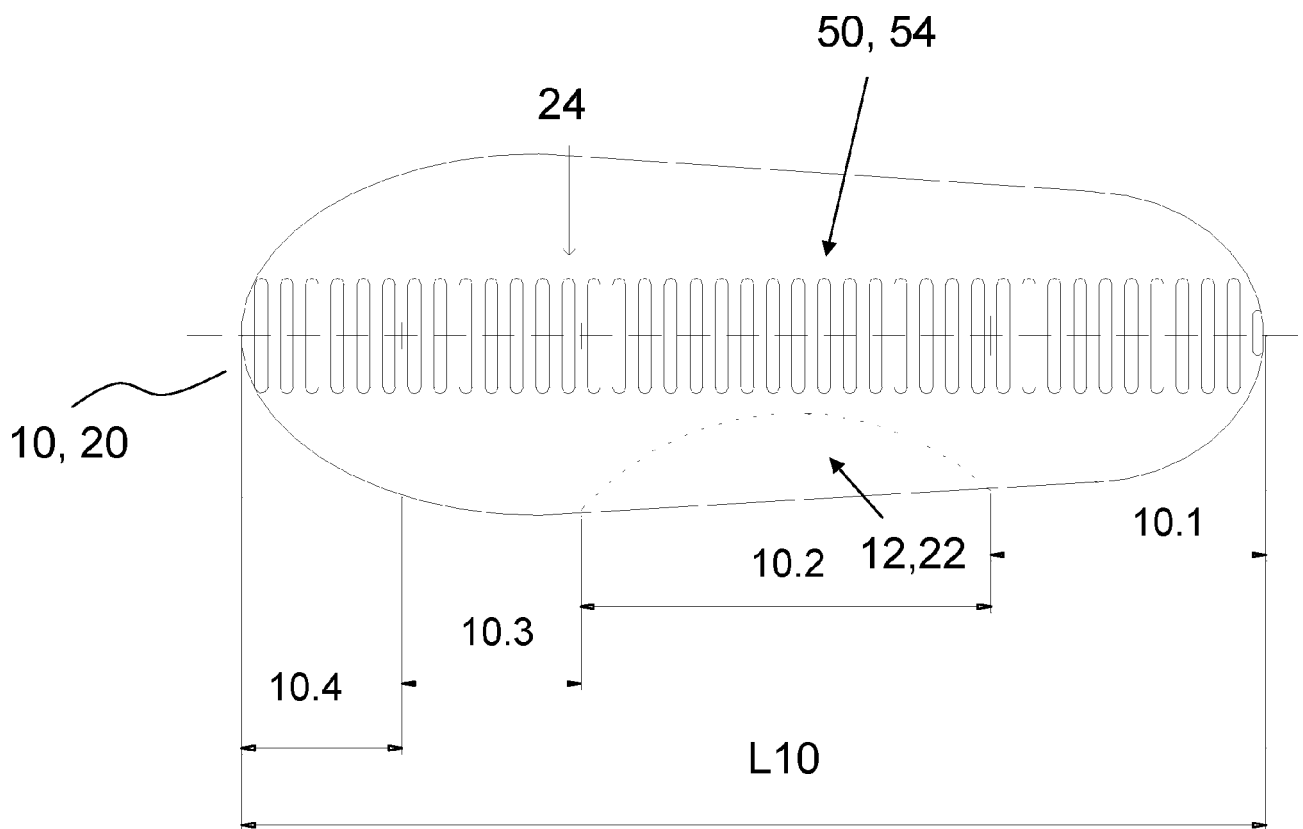


Fig. 6f

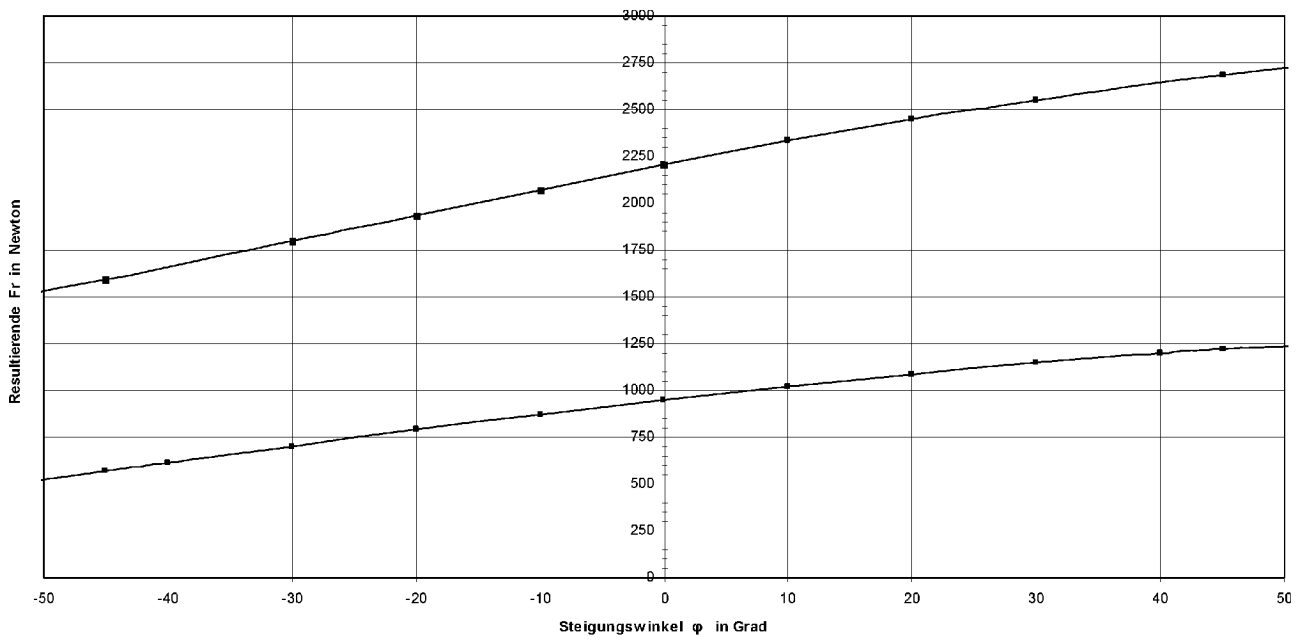


Fig. 7