

DEUTSCHES REICH

URKUNDE
ÜBER DIE ERTEILUNG DES PATENTS

426198

Für die in der angefügten Patentschrift dargestellte Erfindung ist in dem gesetzlich vorgeschriebenen Verfahren

dem *Dr.-Ing. Hermann Föttinger in Zoppot b. Danzig*

ein Patent erteilt worden, welches in der Rolle die oben angegebene Nummer erhalten hat.

Das Patent führt die Bezeichnung

V e k t o r i n t e g r a t o r

und hat angefangen am *2. Mai 1924.*

REICHSPATENTAMT

Die Patentgebühr wird in jedem Jahre fällig am *2. Mai.*

DEUTSCHES REICH



AUSGEGEBEN AM
9. MÄRZ 1926

REICHSPATENTAMT
PATENTSCHRIFT

— Nr 426198 —

KLASSE 42d GRUPPE 2
(F 56029 IX/42d)

Dr.-Ing. Hermann Föttinger in Zoppot b. Danzig.

Vektorintegrator.

Patentiert im Deutschen Reiche vom 2. Mai 1924 ab.

In der theoretischen Physik werden die Kraft- und Strömungsfelder teils auf sogenannte »Quellen«, teils auf »Wirbel« zurückgeführt. Ersteres gilt z. B. für elektrostatische, magnetische, Schwerkraft- und Temperaturfelder, letzteres für elektromagnetische und Torsionsspannungsfelder. Beide Arten, getrennt oder vereint, gelten für die hydraulischen Strömungsfelder.

Zwischen der Quellstärke μ und der von der Quelle für sich an irgendeinem Raumpunkt P bedingten oder erregten Kraft, Temperaturgefälle, Geschwindigkeit, kurz dem so-

genannten Feldvektor, besteht immer die sehr einfache Beziehung, daß dieser Vektor mit dem Quadrat des Abstandes abnimmt, wenn die Quelle punktförmig ist, oder mit dem einfachen Abstand abnimmt, wenn die Quelle längs einer geraden Linie von unendlicher Länge verteilt ist. Außerdem ist die Vektorstärke auch der Quellstärke oder Intensität μ proportional. Ähnliche Gesetze gelten auch für die Felderregung durch Wirbel.

Ferner erhält man auch für die aus dem Vektor abgeleiteten Funktionen, die sogenannte Stromfunktion ψ (gleich der von einer

gewissen Stromlinie als Nulllinie ab gezählten Flußmenge) und das sogenannte Potential φ (Kräfte-, Geschwindigkeitspotential), das durch Äquipotentiallinien oder -flächen dargestellt zu werden pflegt, ziemlich einfache Gesetze, z. B. für die Stromlinienfunktion geradliniger Quellen das Gesetz $\psi = \mu \Theta$, wobei Θ der Winkel zwischen dem Radiusvektor des jeweiligen »Aufpunktes« P gegen die x -Achse ist (vgl. die Lehrbücher über Vektoranalysis, theoretische Physik, Hydrodynamik).

Hat man mehrere Quellen oder Wirbel oder eine stetige Verteilung von kleinen, elementaren Quellen oder Wirbeln, so lehrt die Physik, daß dann der Wert der verschiedenen Vektorfunktionen sich einfach durch Summierung oder Integration der Elementarbeiträge errechnet, z. B. für die genannte Stromlinienfunktion $\psi = \int d\psi = \int d\mu \cdot \Theta$, worin $d\mu$ die elementare Quellstärke des einzelnen Fadens und Θ den hier veränderlichen Fahrstrahlwinkel des betreffenden Quellfadens bedeutet.

Abb. 1 erläutert das einem in der x -Richtung bewegten Kreiszyylinder entsprechende System positiver Quellen (rechts, durch Punkte markiert) und zugehöriger Senken (links, ohne Punkte) und die zwischen den Quellen und Senken zustande kommenden Strom- oder Kraftlinien.

Abb. 2 erläutert, wie das gleiche Strömungsfeld auf Wirbel zurückgeführt werden kann, welche längs der Zylinderoberfläche nach bestimmtem Gesetz verteilt sind.

In beiden Fällen setzen sich an dem jeweils betrachteten Aufpunkt die gesuchten Feldfunktionen (Geschwindigkeitskomponenten, Stromfunktion, Potential) durch Summierung der Beiträge der Elementarquellen und -wirbel zusammen.

Da die wirkliche Ausrechnung dieser Funktionen sowohl analytisch wie graphisch äußerst mühselig ist, sucht die vorliegende Erfindung dies durch eine Maschine zu erledigen.

Bekannt ist, das Potential einer ebenen, durchaus gleichartigen flächenhaften Massenbelegung für irgendeinen Raumpunkt durch eine einfache Integriervorrichtung zu ermitteln. Diese Aufgabe ist jedoch wegen sehr geringer Bedeutung dieses Falles ohne weitere Anwendung und Ausbildung geblieben.

Die vorliegende Erfindung löst eine wesentlich allgemeinere und schwierigere Aufgabe, nämlich die maschinelle Ermittlung beliebiger Vektorfunktionen (siehe oben) bei beliebiger (nicht nur gleichmäßiger) Verteilung von Quellen oder Wirbeln über beliebige Kurven (nicht nur ebene Bereiche).

Der neue, sehr allgemein anwendbare »Vektorintegrator« besteht einerseits aus einer Vorrichtung A , welche eine im allgemeinen voll-

kommen willkürliche Verteilung von Quellen, Doppelquellen oder Wirbeln durch Befahren einer gegebenen Intensitätskurve $y = f(x)$ mit Hilfe von Fahrstangen und -stiften, Schlitten, Rollen, Verzahnungen o. dgl. der Größe nach messend wahrnimmt, und einer Vorrichtung B , die aus ähnlichen, an sich bei Integratoren für Flächen usw. bekannten Teilen besteht und zwischen dem festen, gerade untersuchten Aufpunkt und der »Kontaktkurve« $z = g(x)$, auf welcher die elementaren Quellen oder Wirbel verteilt sind, eine Verbindung herstellt und die Multiplikation der jeweiligen elementaren Quell- oder Wirbelstärke mit einer Ortsfunktion (z. B. Θ , $\cos \Theta$, $\log r$ usw.) und die schließliche Integration vermittelt.

Im allgemeinsten Falle handelt es sich also um Ausrechnung von Integralen der Form $\psi = \int f(x) dx \cdot g(x)$, worin $f(x) dx$ die elementare Quell- oder Wirbelstärke und $g(x)$ die genannte Ortsfunktion bedeutet, welche von der Maschine durch einen geeigneten kinematischen Mechanismus selbsttätig hergestellt und in geeigneter Weise übertragen wird.

In vielen praktischen Fällen liegen jedoch nicht vollkommen willkürliche Formen der Intensitäts- und der Verteilungskurve vor, sondern treten wesentliche Vereinfachungen ein, z. B. derart, daß die Intensität längs gewisser Strecken konstant, oder daß die Verteilungskurve, z. B. bei Umdrehungskörpern (achsensymmetrisches Problem), geradlinig ist. In solchen Fällen können die Vorrichtungen A bzw. B ganz oder teilweise vereinigt sein oder zusammenfallen.

Das Wesen der vorliegenden Vektorintegratoren möge an einem besonders einfachen Beispiel, der Ermittlung der Stromfunktion ψ für einen Kreis- oder elliptischen Zylinder, erläutert werden (Abb. 3). Diese berechnet sich, da die elementare Quellstärke auf dem Zylinderumfang einfach gleich $d\psi = k dy$ ist, zu $\psi = \int d\psi = \int k dy \cdot \Theta$.

Infolgedessen kann hier der zur Wahrnehmung der Intensität dienende Fahrstift und Schlitten 11 mit dem zur Wahrnehmung der Verteilungskontur (z. B. Kreis) dienenden Fahrstift und Schlitten zusammenfallen.

Das Gerät besteht aus einer auf Rollen 13, 13 in Richtung der x -Achse beweglichen Achse 14, auf welcher Schlitten 12 mit Fahrstift 11 derart gleitet, daß 11 die Verteilungskurve (hier Kreis) bestreicht. P ist der Aufpunkt, für den gerade ψ zu ermitteln ist. Die Linie von P bis 11 ist der strichpunktierte, ideale Fahrarm, welcher jedoch nicht in Metall ausgeführt ist, sondern dem wirklichen Fahrarm $P'O$, um die Strecke a parallel verschoben, gegenüberliegt.

Der Schlitten 12 trägt den Mechanismus, welcher die Bildung und Übertragung der Orts-

funktion bewerkstelligt und aus dem »Aufpunktarm« OP' , dem Zahnrad 16 und der Zahnschiene 17 besteht, und den jeweiligen Drehwinkel Θ des Fahrarms in eine x -Verschiebung, relativ zum Schlitten 12, verwandelt. Mit 17 ist ein Tragfüßchen 18 aufklappbar verbunden, in welches der Fahrstift eines gewöhnlichen Planimeters eingesetzt wird, um eine besondere Integrierrolle am Apparat selbst zu ersparen.

Beim Umfahren der Verteilungslinie (Kreis-kontur) mit Stift 11 beschreibt 18 eine bestimmte Kurve, deren Flächeninhalt an der Planimeterrolle 19 abgelesen wird, und, wie Theorie und Versuch übereinstimmend zeigen, bis auf eine additive Konstante (hier gleich Kreisflächeninhalt) den Wert der Stromfunktion ψ für den Aufpunkt P angibt.

Bei den meisten Vektorintegratoren besteht die in ihrem Wesen begründete Schwierigkeit, daß bei gewissen Lagen des Aufpunktes nahe der zu umfahrenden Kurve der Aufpunktarm OP' mit dem Fahrstift 11 zusammenstößt bzw. durch 11 hindurchschlagen muß.

Die vorliegende Erfindung verwendet daher neben dem gewöhnlichen Fahrstift 11 noch einen als Bleistift o. dgl. ausgebildeten Hilfsstift 10, welcher eine parallel um b verschobene kongruente Hilfskurve beschreibt. Außerdem werden sämtliche Fahr- und Hilfsstifte hochnehmbar ausgeführt, derart, daß während des Hochnehmens des einen Stiftes der andere zur Führung und Stützung dient, und umgekehrt. Hierdurch wird verhindert, daß während des Hochnehmens einzelner Stifte die genaue Führung auf der Kurve verlorengeht, da ja die Hilfskurve inzwischen als Ersatz dient, und umgekehrt.

Abb. 3a zeigt den Apparat in baulicher Ausführung, wobei das Zahnrad 16 und die Zahnschiene 17 durch eine einfache Rolle ersetzt sind, welche durch eine sehr feine herumgelegte Stahlsaite die Schiene 17 mittels zweier Hörner in Richtung der Rollachse 14 relativ verschiebt. Die hochnehmbaren Fahrstifte 11 und 10 sind deutlich sichtbar.

Das vorliegende Gerät ist für Quellverteilungen längs beliebiger Konturkurven geeignet, wenn die Quellstärke in bezug auf eine Achsenrichtung (hier z. B. y -Achse) gleichmäßig verteilt ist. Statt auf einer geschlossenen Kurve können auch Quellen und Senken längs einer einfachen Linie, z. B. einer Geraden, aneinandergereiht sein.

Handelt es sich statt der Quellen um ebenso verteilte Wirbel, so liefert der Integrator statt des Wertes der Stromfunktion ψ die Werte der Potentialfunktion ϕ .

Einen anderen Vektorintegrator zur Ermittlung des Feldvektors selbst, d. h. seiner Komponenten c_x bzw. c_y , zeigt Abb. 4a bis 4c für

den Fall einer geschlossenen, mit Wirbeln konstanter Flächendichte oder entsprechenden Quellen erfüllten Kontur. Die Theorie läßt sich am einfachsten durch Benutzung von Polarkoordinaten nachweisen, und zwar wird hier $c_x = \frac{\omega}{\pi} \int \cos \Theta dr$ und $c_y = \frac{\omega}{\pi} \int \sin \Theta dr$ ermittelt.

Das Gerät wird mit seinem Zentrum über den Aufpunkt P gestellt. Durch diesen geht die vertikale Achse 20 der festen Gabel 21 mit Integrationsrolle 22 und die drehbare Hohlachse 23, in deren Gabelung 23' der Fahrarm 24 mit Fahrstift 24' radial schiebbar ist.

Fährt der Fahrstift auf einer geschlossenen Konturkurve, so schiebt sich 24 jeweils um kleine Beträge dr . Die unter dem Winkel Θ dagegen geneigte Integrationsrolle 22 dreht sich dabei, nach wohlbekanntem Prinzip, um elementare Rollbögen $dr \cos \Theta$ und summiert diese Einzelbeträge zum Gesamtwert $\int dr \cos \Theta$.

Die bisher beschriebenen Maschinen betrafen Verteilungen mit nach irgendeiner Koordinatenrichtung konstanter Intensität, welche daher das Zusammenlegen mehrerer Teile der Vorrichtungen A und B zuließen. Ist jedoch die Stärke der Quellen oder Wirbel willkürlich, etwa in Form der unteren Kurve in Abb. 5 als $y = f(x)$, gegeben und außerdem die Lagenkurve $z = g(x)$ (Abb. 5 oben) willkürlich vorgezeichnet, so kann dem Vektorintegrator beispielsweise die dargestellte allgemeinere Form gegeben werden.

Es handele sich z. B. wieder um eine Vektorfunktion $\psi = \int y dx \cdot \Theta$, wobei $y dx$ die elementare Quell- oder Wirbelstärke und Θ die schon oben erwähnte Funktion der gegenseitigen Lage von Aufpunkt P und Quellpunkt O der Lagenkurve $z = f(x)$ bedeutet.

Die Maschine besteht beispielsweise aus einer Führungsschiene x , längs welcher sich der Hauptwagen x_1, x_2 in der x -Richtung führt. Dieser trägt die y - z -Schiene, auf welcher einerseits Wagen Y mit Fahrstift Q zur Wahrnehmung der lokalen Quellstärke $y dx$, andererseits Wagen Z mit dem Mechanismus zur Wahrnehmung und Übertragung der Ortsfunktion (hier Θ) beweglich ist.

Um eine vertikale Achse 40 an der y - z -Schiene des Hauptwagens ist Scheibe S drehbar, welche proportional der jeweiligen Verschiebung dx von einem der Laufräder 41 aus angetrieben wird.

Achse 40 liegt genau in Verlängerung der strichpunktiierten Nulllinie der Intensitätskurve $y = f(x)$.

Der Y -Wagen trägt in gleicher Höhe mit Fahrstift Q die primäre Integrierrolle T , welche mit einer radialen Achse und Trommel 43 gekuppelt ist.

Diese Teile bilden einen Gonellaschen Integrationsmechanismus, wobei eine Abrollung von T und 43 proportional dem Drehwinkel dx der Scheibe S und dem radialen Abstand y (gleich jeweiliger Quellintensität) hergestellt wird, also eine Trommeldrehung $y dx$.

Die Multiplikation mit der Ortsfunktion (hier Θ) geschieht mit Hilfe des Z -Wagens, unter Verwendung der in Abb. 3 und 3a beschriebenen Mechanismen, folgendermaßen:

Durch Aufpunkt P geht der mit Zahnrad D verbundene Fahrarm PO , welcher gerade den Winkel Θ mit der x -Richtung bildet. Achse O wird durch geeignete Mittel auf der oder parallel zur Lagerkurve $z = f(x)$ entlang geführt.

Mit Hilfe der Zahnschiene E wird Drehwinkel Θ in die Relativverschiebung a verwandelt. Am Endpunkt 45 der Strecke a greift Schiene FG von konstanter Länge l an, derart, daß stets die Beziehung $al = \sin \alpha$ gilt. Da l konstant und a proportional Θ ist, so ist demnach $\sin \alpha$ stets proportional Drehwinkel Θ .

Auf Schiene FG führt sich der Hilfswagen J mittels der Rollen 46 und 46'. Die Gelenkstangen 47 und 47' übertragen den Winkel α an die sekundäre Integrierrolle K , welche an einem Arm (abgebrochen gezeichnet) des Y -Wagens in einer Gabel der Vertikalachse K schwenkbar ist.

K berührt die Trommel 43 des Y -Wagens und wird von ihr demnach proportional $y dx \sin \alpha = y dx \Theta$ angetrieben, entsprechend dem Grundprinzip schräggestellter Planimeterrollen.

Bewegt man sonach allgemein den Hauptwagen allmählich um weitere Beträge dx , so nimmt der Y -Wagen die Multiplikation $y dx$ wahr, der Z -Wagen die weitere Multiplikation mit der Ortsfunktion, und die sekundäre Integrierrolle summiert die Elementardrehungen zu der an der Teilung 48 mit Hilfe des Zeigers M ablesbaren Gesamtdrehung, welche in dem von den Größenverhältnissen abhängigen Maßstab die Größe der gesuchten Vektorfunktion (hier z. B. Stromfunktion ψ) angibt.

Damit nicht zwei Beobachter (je einer für Fahrstift O und Q) erforderlich sind, kann z. B. die flacher gekrümmte Lagenkurve $z = f(x)$ als Pappschablone ausgeschnitten werden, gegen die Fahrstift O nach Art einer Kurvenführung leicht angedrückt wird.

Was für Vektorfunktion ψ erläutert ist, kann für jede andere Vektorfunktion (siehe oben) sinngemäß ausgeführt werden.

Z . B. kann der Teilmechanismus für Θ gegen einen verwandten Mechanismus für die Ortsfunktion $\text{Ign } r$ ausgewechselt werden (z. B. bei Berechnung der Stromfunktion $\psi = \text{Ign } r$ für fadenförmige Wirbel), etwa unter Zuhilfenahme kinematischer Eigenschaften der loga-

rithmischen Spirale $\text{Ign } r = \gamma$ ($r =$ Radiusvektor, $\gamma =$ Drehwinkel von einer Nullage $r = l$; $\gamma = 0$ gezählt).

Dieser Teilmechanismus kann nach Abb. 6a und 6b so ausgeführt werden, daß eine scharfkantige Rolle 36 mittels eines Schlittens 35 längs des Armes 29-30 radial auf die jeweilige Länge r eingestellt wird, wobei die scharfe Kante von 36 sich in einem logarithmisch-spiraligen Kurvensegment 27-27 abrollt, welches gegenüber 30-35-36 um die vertikale Achse 25 drehbar ist, gleichachsigt mit 0 und Achse 28 von 29-30. Durch diesen Mechanismus wird zu jedem eingestellten r die gesuchte Funktion $\text{Ign } r$ in Form einer zugeordneten Drehung γ des Kurvensegments 27 kinematisch verwirklicht.

Diese kann in irgendeiner Weise weiter auf den Integrationsmechanismus übertragen werden. Es kann auch abwechselnd der eine oder andere Mechanismus für Berechnung verschiedener Ortsfunktionen auf die Geräte aufgesteckt werden.

Die Integration der allgemeinen Vektorfunktion $f(x) \cdot g(x) dx$ kann gemäß vorliegender Erfindung noch in anderer allgemeiner Weise gelöst werden, auf Grund trigonometrischer Beziehungen, etwa

$$\int f(x) \cdot g(x) \cdot dx = 2 \int \sin \varepsilon \sin \eta dx = \int \cos(\varepsilon - \eta) dx - \int \cos(\varepsilon + \eta) dx.$$

Hiernach läßt sich das Produkt der Intensitätsfunktion $f(x)$ mit der Ortsfunktion $g(x)$ zunächst als Produkt zweier trigonometrischer Funktionen, etwa $2 \sin \varepsilon \cdot \eta$, und dieses wieder als Summe zweier solcher Funktionen darstellen.

Die Umwandlung solcher Ortsfunktionen in \sin oder \cos gelingt leicht, wie in Abb. 5 und 8 gezeigt ist. Nur müssen die neuen Winkel $\varepsilon + \eta$ und $\varepsilon - \eta$ aus den oft beliebig gelegenen ε und η hergestellt werden.

Abb. 7 bis 9 erläutern Mechanismen hierfür. In Abb. 8 wird durch eine Geradföhrung die Strecke $y = 2b \sin \varepsilon$ in einen \sin verwandelt, ebenso $z = 2e \sin \eta$. Aus den Winkeln ε und η kann die Summe $\varepsilon + \eta$ oder Differenz $\varepsilon - \eta$ entweder mit Hilfe des Parallelogrammmechanismus (Abb. 7) oder des Rollenmechanismus (Abb. 8) (als Verschiebung einer losen Rolle) hergestellt werden. Abb. 8 deutet die Verschiebung des losen Rollenmittelpunktes um $\frac{\varepsilon + \eta}{2}$ bzw. die Verschiebung eine

Stangenmittelpunktes (unten) um $\frac{\varepsilon - \eta}{2}$ an, wobei die Stange natürlich wieder durch eine Rolle ersetzt werden kann.

Die weitere Verwandlung dieser Verschiebungen in \cos - bzw. \sin -Funktionen gelingt

in einfachster Weise durch Anlegen einer geeigneten konstanten Stangenlänge, ähnlich der in Abb. 5 und 8 vollzogenen Umwandlung von y bzw. z in \sin - bzw. \cos -Funktionen.

Abb. 7 und 9 zeigen endlich, wie die Bildung der Winkelsummen $\varepsilon + \eta$ oder Differenzen $\varepsilon - \eta$ in baulich zweckmäßiger Weise gemäß vorliegender Erfindung durchgeführt werden kann, insbesondere wenn einer der Winkel, z. B. ε , nicht von einer festen, sondern von einer veränderlichen Nullrichtung, etwa von z' , aus, eingestellt wird. Dieser Fall tritt

z. B. ein, wenn Ortsfunktionen $\frac{1}{r}$ oder $\frac{1}{r^2}$ o. dgl. kinematisch durch Umwandlung in Sinusse oder Kosinusse darzustellen sind.

Der Mechanismus (Abb. 9) besteht aus vier lose drehbaren Rollen 1, 2, 3, 4, welche je mit Armen 1', 2', 3', 4' versehen sind, ferner aus einem losen Arm 5, welcher die breiteren kleinen Rollen 6 und 7 mit parallelen Achsen trägt. Um die Rollen 1 und 2 ist in der dargestellten Weise eine Stahlsaite geschlungen, ebenso um die Rollen 3 und 4. Der Mechanismus stellt nun zwischen Arm 1' und 4' denselben Winkel ε her wie zwischen Arm 2' und 3', unabhängig von der Größe des Winkels η zwischen 1' und 2'. Er ersetzt daher den Parallelogrammechanismus (Abb. 7), welcher in vielen Lagen selbstsperrend ist und Totpunkte aufweist. Diese Rollenmechanismen können sehr vielseitig zum Übertragen eines beliebig gelegenen Winkels ε an einen anderen Winkel η oder an eine bestimmt orientierte Ausgangsgerade, ebenso zur Differenzbildung von Winkeln usw. verwendet werden, wie dies bei den vorliegenden Vektorintegratoren häufig notwendig ist.

PATENT-ANSPRÜCHE:

1. Mechanischer Vektorintegrator für Vektorfunktionen aller Art (insbesondere Vektor-, Strom-, Kraftlinien samt zugehörigen Feldvektoren und Potentialen), gekennzeichnet durch Vereinigung einer Vorrichtung, welche eine vollkommen willkürliche Verteilung von Quellen, Doppelquellen oder Wirbeln durch Entlangfahren längs einer gegebenen Intensitätskurve ($y-x$) (mit Hilfe von Fahrstangen, Rollen, Schlitten, Verzahnungen o. dgl.) messend wahrnimmt, mit einer zweiten Vorrichtung, die aus ähnlichen, an sich bei Integratoren für Flächen usw. bekannten Teilen besteht und zwischen dem festen Aufpunkt (P) und einer Kontaktkurve ($z-x$) (für die Lage der Quellen oder Wirbel) eine Verbindung herstellt und die Multiplikation der jeweiligen

Elementarstärke (Intensität) mit der gewünschten kinematisch verwirklichten Ortsfunktion und die Summation vermittelt.

2. Integrator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß eine sekundäre Integrationsrolle (K), welche durch den Mechanismus ($O, F, J, 47$) der einen willkürlichen Funktion (z. B. Ortsfunktion) eingestellt wird, auf einer Trommel (43) o. dgl. abrollt, die durch den Mechanismus (Q, Y, X_1, S, T) der anderen willkürlichen Funktionen eingestellt wird (Abb. 5).

3. Integrator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß das Produkt der zwei willkürlichen Funktionen (Intensitäts- und Ortsfunktion) durch einen aus Hebeln, Rollen, Zug- oder Druckgliedern o. dgl. bestehenden Mechanismus ($y, b, \varepsilon, z, e, \eta$) als Produkt zweier Sinusse oder Kosinusse ($\sin \varepsilon, \sin \eta$) kinematisch dargestellt und dann durch dieselben oder ähnliche Glieder kinematisch als Summe oder Differenz zweier Sinusse oder Kosinusse der betreffenden Winkelsumme oder -differenz ($\frac{\varepsilon + \eta}{2}$ oder $\frac{-\eta}{2}$) dargestellt wird (Abb. 7 bis 9).

4. Integrator nach Anspruch 1, bei welchem der natürliche Logarithmus einer Veränderlichen (insbesondere des Radiusvektors r) zu bilden ist, gekennzeichnet durch ein drehbares Kurvensegment in Form einer logarithmischen Spirale (27), welches den betreffenden Logarithmus mit Hilfe einer Rolle (36) am Fahrarm (30) in Form einer Winkeldrehung (γ) darstellt (Abb. 6).

5. Integrator nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß an etwaigen Zusammenstoßstellen ein gegenseitiges Übereinanderweggehen einzelner Teile der beiden nach Anspruch 1 vereinigten Vorrichtungen dadurch ermöglicht wird, daß die betreffenden Teile (9, 10, 11, 18) vorübergehend entweder hochgenommen oder tiefer gelegt oder gleichzeitig hochgenommen und tiefer gelegt werden.

6. Integrator nach Anspruch 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß mit einer der beiden nach Anspruch 1 miteinander verbundenen Vorrichtungen, insbesondere mit deren Fahrarm (0 bis 11) (Abb. 3), außer dem gewöhnlichen Fahrstift (11) ein oder mehrere weitere Stifte (10) verbunden sind, welche eine der gegebenen Randkurve parallellaufende Hilfskurve aufzeichnen, die beim Hochnehmen einzelner Teile (11) (gemäß Anspruch 5) als Hilfsführung dient.

Abb. 1.

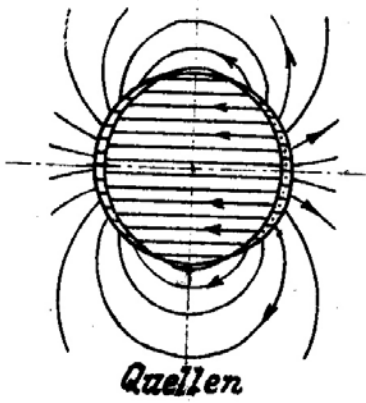


Abb. 2.

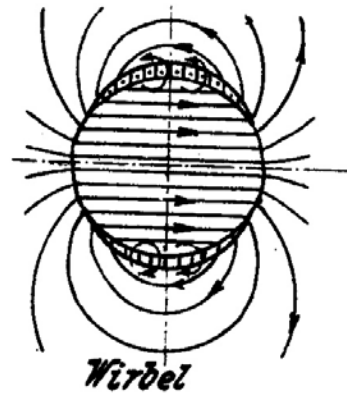


Abb. 3.

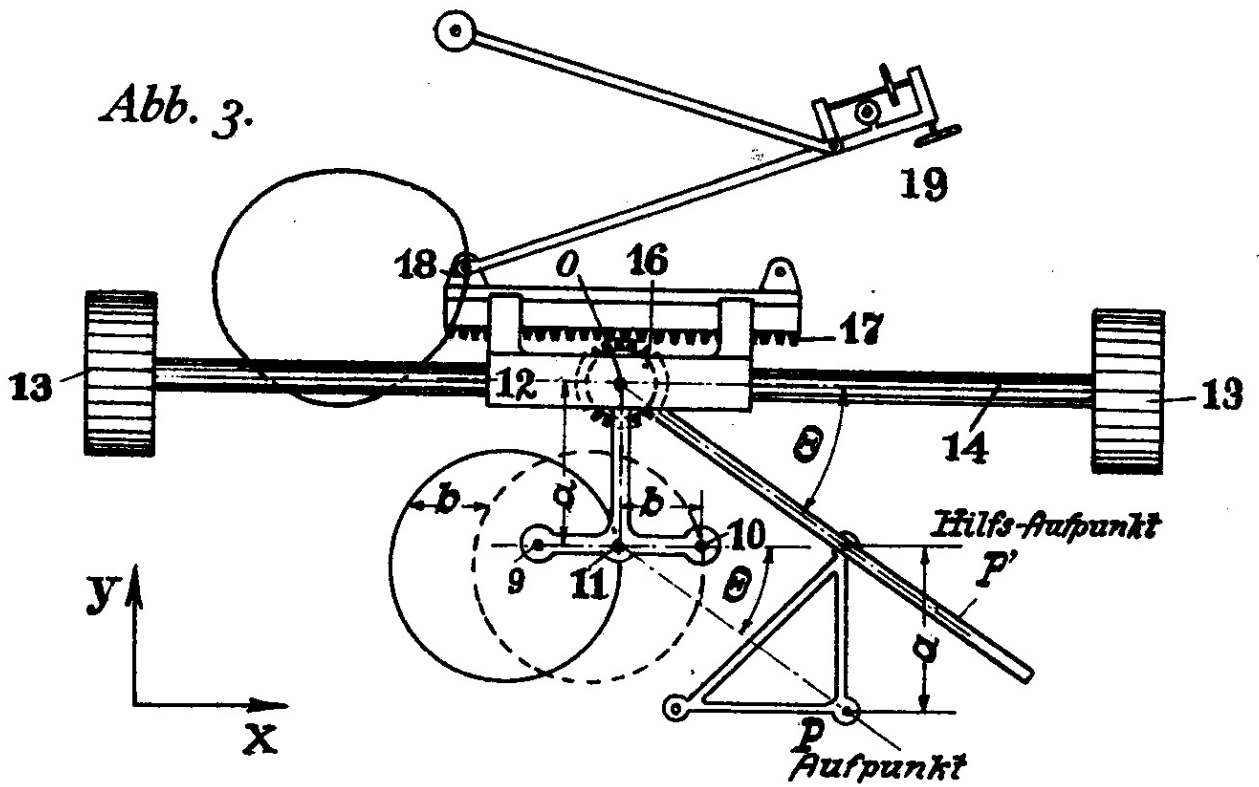


Abb. 3^a

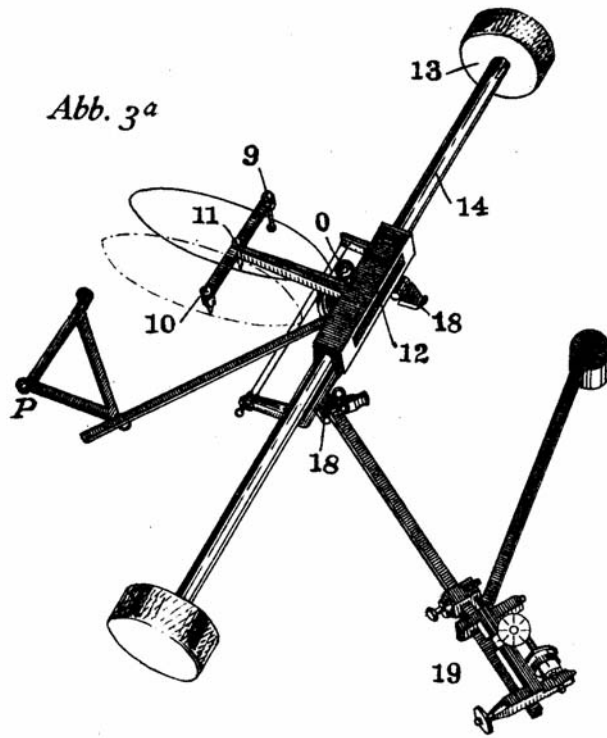


Abb. 4^a

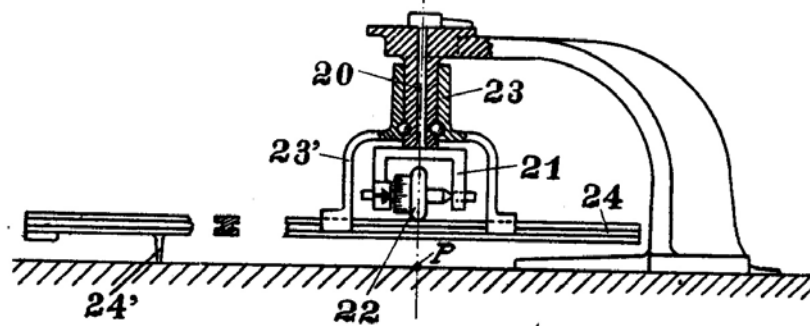


Abb. 4^b

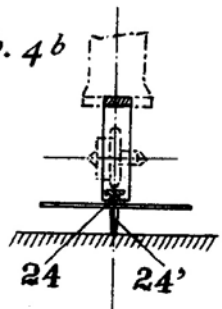


Abb. 4^c

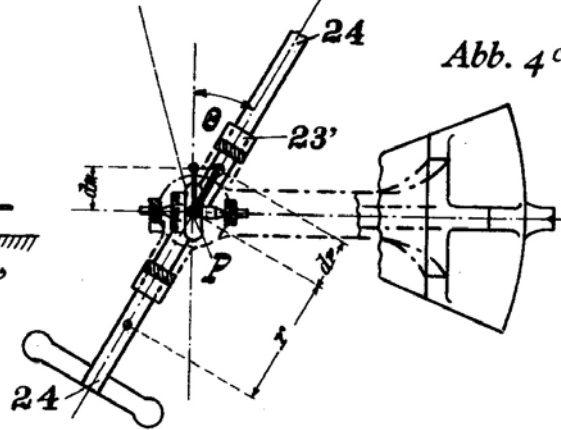


Abb. 5.

Vektor-Integrator
für
 $\psi = \int y dx \theta$

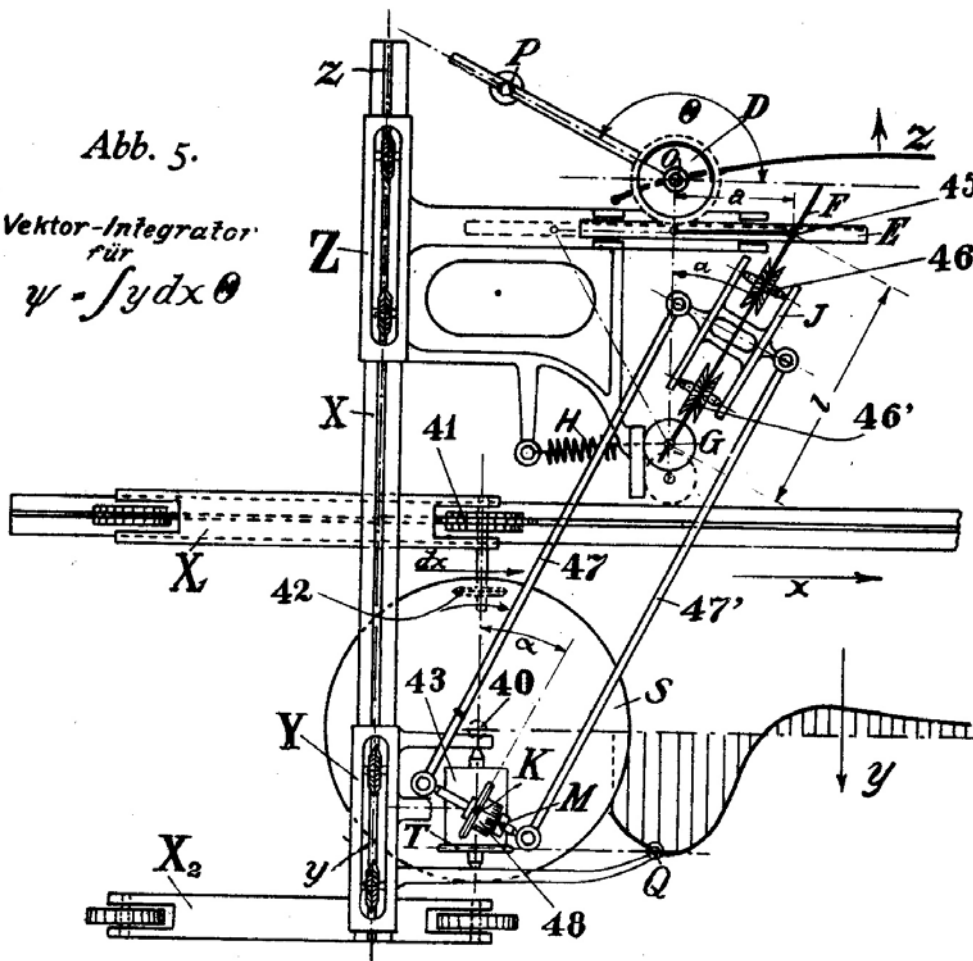
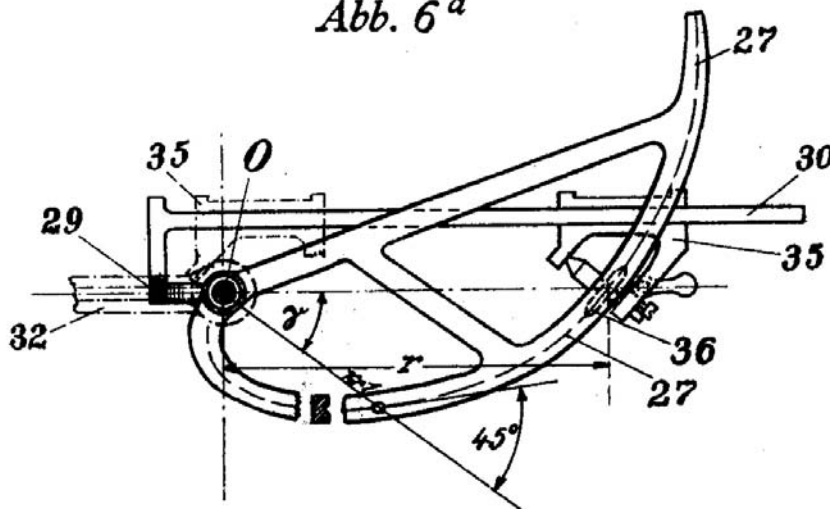


Abb. 6^a



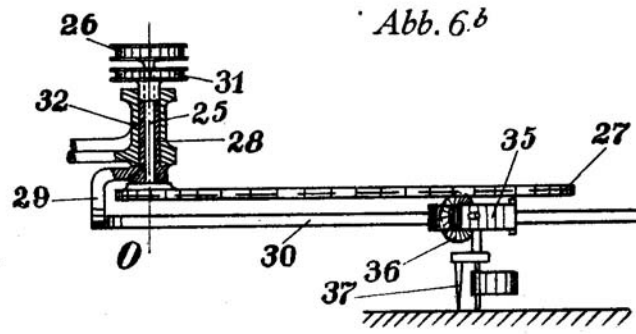


Abb. 8.

Abb. 7.

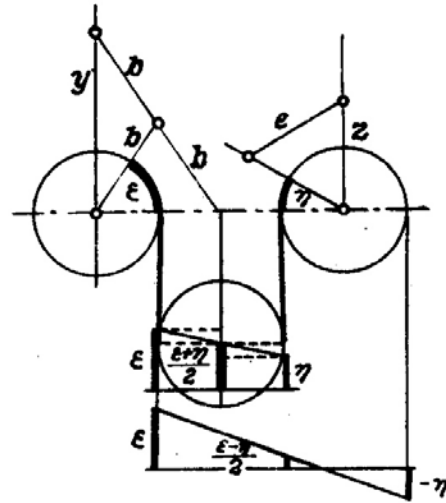
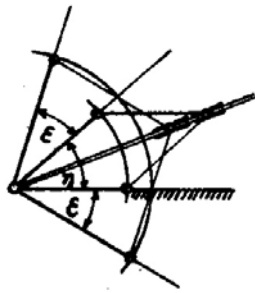


Abb. 9.

