



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 699 06 803 T2 2004.01.29

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 141 487 B1

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: E01C 19/28

(21) Deutsches Aktenzeichen: 699 06 803.7

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US99/29421

(96) Europäisches Aktenzeichen: 99 963 070.0

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 00/39400

(86) PCT-Anmeldetag: 10.12.1999

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 06.07.2000

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 10.10.2001

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 09.04.2003

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 29.01.2004

(30) Unionspriorität:

113439 P	23.12.1998	US
237161	25.01.1999	US

(74) Vertreter:

WAGNER & GEYER Partnerschaft Patent- und  
Rechtsanwälte, 80538 München

(73) Patentinhaber:

Caterpillar Inc., Peoria, Ill., US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, FR, GB, IT, NL, SE

(72) Erfinder:

CORCORAN, T., Paul, Washington, US

(54) Bezeichnung: SYSTEM FÜR VORHERSAGE DER VERDICHTUNGSQUALITÄT

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingereicht, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patent- und Markenamt inhaltlich nicht geprüft.

**Beschreibung****Technisches Gebiet**

[0001] Diese Erfindung bezieht sich auf ein System zur Überwachung der Verdichtung von Material durch ein Arbeitswerkzeug, und insbesondere auf ein Informationssystem für eine Verdichtungsmaschine, die die Verdichtungsdichte bei einigen ersten Durchgängen misst, um die Anzahl der Verdichtungsdurchgänge vorherzusagen, um eine Anforderung zu erfüllen.

[0002] Wie bei dieser Patentbeschreibung verwendet, werden sich die Ausdrücke "Verdichtungsmaschine" und verschiedene Annäherungen daran auf selbst angetriebene, mobile Maschinen beziehen, wie beispielsweise Verdichtungsmaschinen bzw. Walzen zur Landverfüllung, Erdbearbeitung und Asphaltbearbeitung, die mit einem Primär'antrieb ausgerüstet sind (beispielsweise mit einem Motor) und zwar auf einem Schlitten bzw. Fahrgestell, um sich drehende Elemente anzutreiben, wie beispielsweise Räder oder Walzen, die sowohl zum Tragen des Fahrgestells als auch des Verdichtungswerkzeuges dienen.

**Hintergrund**

[0003] Trotz der Entwicklung von komplizierten und leistungsfähigen Verdichtungsmaschinen bleibt dies eine zeitaufwendige und arbeitsaufwendige Aufgabe, adäquat Material, wie beispielsweise Erde oder Asphalt auf Arbeitsgeländen, wie beispielsweise Baustellen, Straßen usw. zu verdichten. Das zu verdichtende Material wird typischerweise über das Gelände in einem nicht verdichteten Zustand verteilt und muss wiederholt durch eine Verdichtungsmaschine überfahren werden, bis es zu einem gewünschten Grad der Verdichtung komprimiert wird. Eine gemeinsame Art der Verdichtungsmaschine weist eine oder mehrere schwere Verdichtungsräder oder -walzen auf, die das Material auf ihrem Pfad verdichten.

[0004] Verdichtungsvorgänge werden immer noch im grossen und ganzen durch die Maschinenbediener und -überwacher auf intuitiver Basis überwacht und gesteuert, oder durch Abschätzung von Ergebnissen aus Laborinformationen über die Art des verdichteten Materials. Beispielsweise kann eine Anzahl von Verdichtungsdurchgängen, die über einem Material eines speziellen Geländes erforderlich ist, empirisch durch einen Vertrag oder eine örtliche Regelung bestimmt oder festgelegt werden. Die Anzahl der Durchgänge wird im allgemeinen sehr konservativ ausgewählt, um einen Bereich von Umweltbedingungen und Materialbedingungen zu erfüllen, was oft unproduktive Durchgänge über dem Material zur Folge hat, welches schon die Dichteanforderungen erfüllt.

[0005] Es hat verschiedene Bemühungen gegeben, elektronisch den Bediener mit detaillierten Informationen bezüglich des tatsächlichen Fortschrittes zu beliefern, der in dem Verdichtungsbetrieb gemacht wird.

Im US-Patent 5 471 391 offenbaren Gudat und andere das Halten bzw. den Aufbau eines detaillierten dynamischen Geländemodells durch präzise Bestimmung der Lage der Verdichtungsteile der Maschine im dreidimensionalen Raum relativ zum Gelände. Informationen, die eine Verdichtung anzeigen, wie beispielsweise die Anzahl der Durchgänge, die ein Verdichtungsrad über einer gegebenen Fläche macht, oder eine Höhenveränderung gegenüber dem nicht verdichteten Niveau, werden automatisch bestimmt durch kontinuierliche Aktualisierung des Geländemodells.

[0006] Schwingungsverdichter verwenden typischerweise eine Walze mit einer Masse, die sich exzentrisch mit einer Rate nahe einer Resonanzfrequenz des verdichteten Materials dreht, um seine Dichte zu steigern. Im US-Patent 5 177 415 offenbaren Quibel und andere die kontinuierliche Bewertung des Verdichtungsgrades des Materials, welcher durch das Schwingungsverdichtungswerkzeug vorgesehen wird, und zwar durch eine Berechnung der gesamt aufgebrachten statischen Kräfte, dynamischen Kräfte und Zentrifugalkräfte.

[0007] Im US-Patent Nr. 4 979 197 offenbaren Troxler, Sr. und andere eine Vorrichtung, die an einer Verdichtungsmaschine in beabstandeter Beziehung von der Oberfläche montiert ist, um eine nukleare Strahlung auszusenden und Photonen zu zählen, die von dem Material zurückgestreut wurden. Ein Ultraschallwandler oder ein Laser, der den Luftspalt misst, gestattet darauffolgend eine genaue Kompensation dafür bei einer Dichtebestimmung. Die Maschine ist mit einem Paar von Signallichtern ausgerüstet, um anzuzeigen, ob ein erwünschter Grad der Verdichtung erreicht wurde oder nicht.

[0008] Obwohl jede der vorangegangenen Lösungen individuell beabsichtigt hat, einen Bediener mit Informationen zu versehen, um den Verdichtungswirkungsgrad zu verbessern, gibt es weiterhin eine Notwendigkeit, die Sicherheit und Zuverlässigkeit der Verdichtungsmessung zu steigern, und in manchen Fällen zusätzliche Informationen zu liefern, die für die Verdichtung des Materials nützlich sind.

[0009] Die vorliegende Erfindung ist darauf gerichtet, einen oder mehrere der oben dargelegten Nachteile zu überwinden.

**Offenbarung der Erfindung**

[0010] Die Verdichtungsleistung folgt einer gut bekannten Ansprechkurve für eine spezielle Kombination aus Materialzustand und Verdichtungsmaschine. Gemäss eines Aspektes der vorliegenden Erfindung wird die Verdichtungsleistung unter Verwendung einer Verdichtungsansprechkurve vorhergesagt, die aus gemessenen Werten bestimmt wurde, die die Materialdichte nach einem ersten und einem zweiten Durchgang durch eine Verdichtungsmaschine darstellen. Die Ansprechkurve wird verwendet, um die Anzahl der Durchgänge vorherzusagen, die von der

Verdichtungsmaschine angefordert wird, um eine erwünschte Dichte des Materials zu erreichen.

[0011] Andere Details, Ziele und Vorteile der Erfindung werden offensichtlich, wenn gewisse Ausführungsbeispiele davon und gewisse gegenwärtig bevorzugte Verfahren zur Ausführung dieser dargelegt werden.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0012] Ein vollständigeres Verständnis dieser Erfindung kann durch Bezugnahme auf die folgende detaillierte Beschreibung erreicht werden, wenn diese in Verbindung mit den beigefügten Zeichnungen gesehen wird, in denen gleiche Bezugszeichen gleiche oder ähnliche Komponenten anzeigen, wobei die Figuren Folgendes darstellen:

[0013] **Fig. 1** eine grafische Darstellung von verschiedenen Verdichtungsansprechkurven für ein Material;

[0014] **Fig. 2** eine schematische Darstellung von Informations- und Steuerelementen, die nützlich sind, um die vorliegende Erfindung praktisch auszuführen.

#### Bester Weg zur Ausführung der Erfindung

[0015] Mit Bezug auf die Zeichnungen und mit Bezug zuerst auf **Fig. 1** sind drei unterschiedliche Ansprechkurven veranschaulicht, die eine Steigerung der Dichte nach aufeinander folgenden Durchgängen durch eine Verdichtungsmaschine veranschaulichen, wobei 1000 pcy (pounds per cubic yard = Pfund pro Kubikyard) 0,593 Megagramm pro Kubikmeter entsprechen. Für eine gegebene Materialart, die zu verdichten ist, folgt die Verdichtungsdichte einer wohlbekannten Ansprechkurve gemäß folgender Beziehung:

$$\text{Gleichung 1 } \gamma_n = c(1 - e^{-n/k})$$

wobei  $n$  die Anzahl der Durchgänge ist, wobei  $c$  eine Konstante ist, die mit der maximalen Dichte in Beziehung steht, auf die sich das Material verdichten wird, und wobei  $k$  der Krümmungspunkt der Ansprechkurve ist.

[0016] Natürlich beginnt ein Material nicht mit einer Dichte von Null, daher wird die vorangegangene Beziehung vorzugsweise in folgender Form verwendet:

$$\text{Gleichung 2 } \gamma_n = \gamma_0 + (\gamma_{\max} - \gamma_0)(1 - e^{-n/k})$$

wobei  $\gamma_0$  die Anfangsdichte ist, und wobei  $\gamma_{\max}$  die vorhergesagte maximale Dichte ist.

[0017] Wie aus der Darstellung in **Fig. 1** zu sehen ist, steigt die Dichte  $\gamma_n$  weniger schnell mit jedem darauf folgenden Durchgang der Maschine, wenn sie sich der maximalen Dichte annähert. Die Geschwindigkeit, mit der die Dichte zunimmt, wird abhängig von den Materialeigenschaften und dem Wirkungsgrad der Verdichtungsmaschine variieren, wird jedoch trotzdem vorhersagbar gemäß der vorangegangenen Beziehung ansteigen. In **Fig. 1** kann sich beispielsweise ein Erdboden mit einer Anfangsdichte von 0,48 Megagramm pro Kubikmeter (800 pcy) und

einer maximalen Dichte von 0,89 Megagramm pro Kubikmeter (1500 pcy) entlang der Kurve **10**, **12** oder **14** verdichten, und zwar abhängig von der Krümmung  $k$  von Eins bzw. Zwei bzw. Vier.

[0018] Sobald die Ansprechkurve der speziellen Kombination aus Material und Maschine bestimmt werden kann, wird es möglich, unter Verwendung von gemessenen Daten, die die Dichte aus nur einigen wenigen Durchgängen darstellen, das Ergebnis von weiteren Verdichtungsdurchgängen vorherzusagen. Entsprechend einem Aspekt der vorliegenden Erfindung wird der Verdichtungsprozess bei der Bestimmung gestoppt, dass zusätzliche Maschinendurchgänge nicht nötig sind oder nicht wirkungsvoll wären und zwar aufgrund der verringerten Ergebnisse.

[0019] Beispielsweise kann eine Bauanforderung eine Enddichte  $\gamma_{\text{spec}}$  von 95% einer üblichen maximalen Trockendichte erfordern, die empirisch in einem Labor für dieses Material bestimmt wurde.

[0020] Um eine Ansprechkurve für eine spezielle Kombination aus Material und Maschine zu bestimmen, wird ein für die Dichte repräsentativer Wert vor und nach einem ersten und einem zweiten Maschinendurchgang gemessen (obwohl dies nicht notwendigerweise die ersten und zweiten Durchgänge sind).

[0021] Die gemessenen Werte werden in die vorangegangene Gleichung eingesetzt, um nach den Konstanten  $k$  und  $\gamma_{\max}$  aufzulösen, woraufhin eine erwünschte Dichte in die Gleichung unter Verwendung von diesen Konstanten eingesetzt werden kann, um nach dem Durchgang mit der Nummer  $n$  aufzulösen, bei dem diese Dichte erreicht werden wird.

[0022] Beispielsweise kann eine Bauanforderung eine letztendliche Dichte  $\gamma_{\text{spec}}$  von 95% einer üblichen maximalen Trockendichte anfordern, die empirisch in einem Labor für dieses Material bestimmt wurde.

**Fig. 1** bildet eine horizontale Linie **16** bei 95% einer beispielhaften maximalen Trockendichte von 0,89 Megagramm pro Kubikmetern (1500 pcy) ab. Wenn die gemessenen Dichtedaten eine Antwort entsprechend der Kurve **10** anzeigen würden, würde ein System gemäß der vorliegenden Erfindung vorhersagen, dass  $\gamma_{\text{spec}}$  nach dem dritten Durchgang erreicht werden würde, während eine Ansprechkurve **12** vorhersagen würde, dass fünf Durchgänge erforderlich wären.

[0023] Mit Bezug auf **Fig. 2** weist ein System zur Vorhersage einer Verdichtungsleistung gemäß der vorliegenden Erfindung ein Element auf, um einen Wert vorzusehen, der eine Materialdichte anzeigt, vorzugsweise einen Dichtesensor **20**, der an der Verdichtungsmaschine gelegen ist, und zwar in der Nähe des zu verdichtenden Materials. Verschiedene Arten von Dichtesensoren sind bekannt, wie beispielsweise ein Troxler-Monitor, der eine zurückgeworfene bzw. zurückgestreute Strahlung verwendet oder eine piezoelektrische Abfühlung einer Druckwelle. Alternativ könnte ein Wert, der die Dichte anzeigt, indirekt aus einem Verdichtungsmaschinenparameter abgeleitet werden, wie beispielsweise die Beschleunigung ent-

lang einer Achse, einer schwingenden Walze des Verdichters oder dem Rollwiderstand, und könnte in eine Dichtemessung umgewandelt werden.

[0024] Eine anfängliche Dichte und eine Dichte, die nach dem ersten und dem zweiten Verdichtungsdurchgang auf einem Gelände gemessen werden, werden an einen Computer **22** geliefert, und zwar zusammen mit einer erwünschten letztendlichen Dichte, um die Anzahl der Durchgänge vorherzusagen, die erforderlich ist, um die erwünschte Dichte zu erreichen, wie oben beschrieben. Die vorhergesagte Anzahl von Durchgängen kann auf einer Anzeige **24** ausgegeben werden, wie beispielsweise auf einer Flüssigkristallanzeige, um es dem Bediener zu ermöglichen, seine Planung der Verdichtung auf der Grundlage eines vorhergesagten Verdichtungsdurchgangs zu verfeinern.

#### Industrielle Anwendbarkeit

[0025] Auf einer grossen Fläche zur Verdichtung kann bestimmt werden, dass ein Teil der Fläche andere Anzahlen von Maschinendurchgängen erfordern wird, um die erforderliche Verdichtung zu erreichen. Beispielsweise kann das Material nicht auf dem gesamten Gelände homogen sein. In einem solchen Fall kann das Gelände in eine Anzahl von Regionen aufgeteilt werden, so dass eine Ansprechkurve für jede Region bestimmt wird. Ein Positionssensor **26**, wie beispielsweise ein Trägheitssensor, ein Skalierungsrad oder ähnliches können vorgesehen werden, um automatisch dem Computer **22** eine Region anzuzeigen, in der die Verdichtungsmaschine gelegen ist, oder der Bediener kann manuell eine Dichtemessung mit einer definierten Region assoziieren, wie beispielsweise durch elektrische Schalter. Entsprechend einem Ausführungsbeispiel der Erfindung kann das Gelände in eine Vielzahl von Zellen kartenartig aufgeteilt sein, wobei jede ihre eigene berechnete Ansprechkurve aufweist, und zwar unter Verwendung eines Satellitenempfängers zur globalen Positionsbestimmung (GPS-Empfänger) und zwar in der Weise, die in dem hier als Stand der Technik erwähnten Patent von Gudat dargelegt wird. Dies kann dann verwendet werden, um das Fahrzeug für die Verdichtungsmaschine zu planen.

[0026] Ein weiterer nützlicher Aspekt der vorliegenden Erfindung, wie er als Kurve **14** in **Fig. 1** veranschaulicht wird, wäre, dass die vorhergesagte Ansprechkurve anzeigt, dass eine erforderliche Verdichtung nicht erreicht wird oder eine übermässige Anzahl von Durchgängen erforderlich ist, d. h. so etwas wird beispielsweise geschehen, wenn der Feuchtigkeitsgehalt des Materials hoch ist. Ein alternatives Verfahren zur Überprüfung einer solchen Situation ist es, die vorhergesagte maximale bestimmte Dichte für eine Ansprechkurve mit der erwünschten Dichte zu vergleichen, die in den Anforderungen dargestellt wurde.

[0027] Wenn die Beschreibung das berechnete vor-

hergesagte Maximum überschreitet, oder wenn die vorhergesagte Anzahl eine gewisse maximale erwünschte Anzahl von Durchgängen überschreitet, kann eine Warnanzeige auf der Anzeige **24** vorgesehen werden. Der Verdichtungsprozess kann dann gestoppt werden, und Überprüfungen des Erdbodens können ausgeführt werden, um Veränderungen des Bauprozesses zu bestimmen, wie beispielsweise das Eggen des Erdbodens, um das Trocknen zu erleichtern, oder falls möglich, eine wirkungsvollere Konfiguration einer Verdichtungsmaschine zu verwenden. [0028] Während gewisse gegenwärtig bevorzugte Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung und gewisse gegenwärtig bevorzugte Verfahren zur Ausführung dieser veranschaulicht und hier beschrieben worden sind, sei ausdrücklich erwähnt, dass die Erfindung nicht darauf eingeschränkt ist, sondern in anderer Weise in verschiedener Weise ausgeführt werden kann und praktisch innerhalb des Umfangs der folgenden Ansprüche ausgeführt werden kann.

#### Patentansprüche

1. Verfahren zur Vorhersage einer Verdichtungsleistung, welches folgende Schritte aufweist: Messung von Werten, die die Materialdichte darstellen, nach mindestens einem ersten und einem zweiten Durchgang durch eine Verdichtungsmaschine; Bestimmung einer Verdichtungsansprechkurve (**10, 12, 14**) aus den gemessenen Werten; und Vorhersage einer Anzahl von Durchgängen durch die Verdichtungsmaschine aus der erwähnten Ansprechkurve (**10, 12, 14**), die erforderlich sind, um eine erwünschte Dichte für dieses Material zu erreichen; und Anzeige der Anzahl von Durchgängen.

2. Verfahren nach Anspruch 1, welches weiter die Ausführung der vorhergesagten Anzahl von Durchgängen zur Verdichtung des Materials aufweist.

3. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt der Bestimmung einer Verdichtungsansprechkurve (**10, 12, 14**) weiter die Berechnung einer vorhergesagten maximalen Dichte und eines Krümmungspunktes aufweist, die die Kurve (**10, 12, 14**) definieren.

4. Verfahren nach Anspruch 3, welches weiter den Vergleich der vorhergesagten maximalen Dichte mit einer erwünschten letztendlichen Dichte aufweist, um zu bestimmen, ob die erwünschte Dichte innerhalb einer vernünftigen Anzahl von Durchgängen erreicht werden kann.

5. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt der Messung von Werten das Abföhnen der Dichte des Materials unter Verwendung eines Sensors (**20**) aufweist, der an der Verdichtungsmaschine in der

Nähe des zu verdichtenden Materials gelegen ist.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt der Messung von Werten die Ableitung einer Dichtemessung aus einem Verdichtungsmaschinenparameter aufweist.

7. Verfahren nach Anspruch 6, wobei der Maschinenparameter eine Beschleunigung entlang einer Achse der Schwingungswalze der Verdichtungsvorrichtung oder der Rollwiderstand ist.

8. Verfahren nach Anspruch 1, welches weiter Folgendes aufweist:

Definition einer Vielzahl von Regionen innerhalb eines Verdichtungsgeländes;

Bestimmung einer Verdichtungsansprechkurve (**10, 12, 14**) aus gemessenen Werten aus jeder Region; und

Vorhersage einer Anzahl von Durchgängen durch die Verdichtungsmaschine aus einer Entsprechung der Ansprechkurve (**10, 12, 14**), die erforderlich sind, um eine erwünschte Dichte für das Material in jeder Region zu erreichen.

9. System zur Vorhersage einer Verdichtungsleistung, welches Folgendes aufweist:

Mittel (**20**) für die Messung von Werten, die eine Materialdichte darstellen, nach mindestens einem ersten und einem zweiten Durchgang durch eine Verdichtungsmaschine; gekennzeichnet durch

Berechnungsmittel (**22**) zur Bestimmung einer Ansprechkurve (**10, 12, 14**) aus den gemessenen Werten und zur Vorhersage einer Anzahl von Durchgängen durch die Verdichtungsmaschine aus der Ansprechkurve (**10, 12, 14**), die erforderlich sind, um eine erwünschte Dichte für das Material zu erreichen; und

Mittel (**24**) zur Anzeige der Anzahl von Durchgängen.

10. System nach Anspruch 9, welches weiter aufweist, dass die Berechnungsmittel (**22**) eine vorhergesagte maximale Dichte und einen Krümmungspunkt berechnen, die die Kurve (**10, 12, 14**) definieren.

11. System nach Anspruch 10, welches weiter aufweist, dass die Berechnungsmittel (**22**) die vorhergesagte maximale Dichte mit einer erwünschten Enddichte vergleichen, um zu bestimmen, ob die erwünschte Dichte innerhalb einer vernünftigen Anzahl von Durchgängen erreicht werden kann.

12. System nach Anspruch 9, wobei die Messmittel einen Sensor (**20**) aufweisen, der an der Verdichtungsmaschine in der Nähe des zu verdichtenden Materials gelegen ist.

13. System nach Anspruch 9, wobei die Messmittel eine Troxler-Messvorrichtung aufweisen.

14. System nach Anspruch 9, wobei die Messmittel einen Beschleunigungsmesser aufweisen, der die Beschleunigung entlang einer Achse einer Verdichtungsvorrichtung mit schwingender Walze misst.

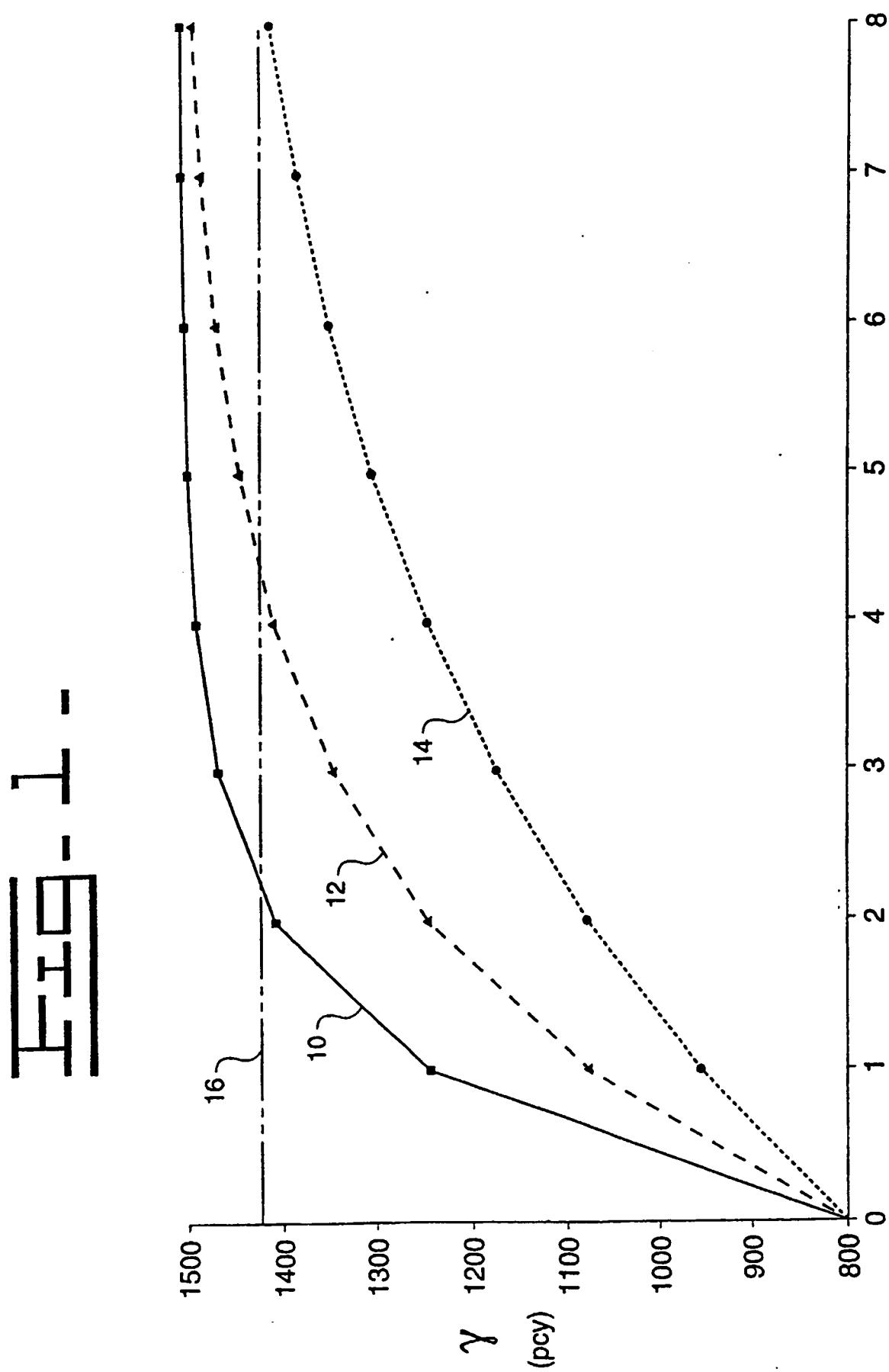
15. System nach Anspruch 9, welches weiter Folgendes aufweist:

Positionsabfühlmittel (**26**) zur Bestimmung einer Lage der Verdichtungsmaschine innerhalb einer von einer Vielzahl von Regionen innerhalb eines Verdichtungsgeländes; und

wobei die Berechnungsmittel (**22**) eine Verdichtungsansprechkurve (**10, 12, 14**) aus den gemessenen Werten von jeder Region bestimmen, und aus einer Entsprechung der Ansprechkurve (**10, 12, 14**) eine Anzahl von Durchgängen durch die Verdichtungsmaschine vorhersagen, die erforderlich sind, um eine erwünschte Dichte des Materials in jeder erwähnten Region zu erreichen.

Es folgen 2 Blatt Zeichnungen

## Anhängende Zeichnungen



5 1 2 - 2 -

