



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 698 16 152 T2 2004.05.27**

(12)

Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) **EP 0 864 882 B1**

(51) Int Cl.⁷: **G01V 1/28**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **698 16 152.1**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **98 200 712.2**

(96) Europäischer Anmeldetag: **06.03.1998**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **16.09.1998**

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: **09.07.2003**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **27.05.2004**

(30) Unionspriorität:

814276 10.03.1997 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

DE, DK, ES, FR, GB, IT, NL

(73) Patentinhaber:

Jason Geosystems B.V., Rotterdam, NL

(72) Erfinder:

Debeye, Hendrik Willem Johan, 3039 SR

Rotterdam, NL; Sabbah, Eyad, 3062 LA

Rotterdam, NL; Van der Made, Pieter Maarten,

3062 BS Rotterdam, NL

(74) Vertreter:

derzeit kein Vertreter bestellt

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Schätzung oder Simulation von Parameter einer statifizierten Struktur.**

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 eingelegt, 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

[0001] Zum Lokalisieren von Öl und/oder Gas in der Erdkruste ist es insbesondere von Bedeutung, die bestmögliche Schätzung einer Schicht-Struktur, beispielsweise unter Verwendung von seismischen Inversionstechniken, zu erhalten, worauf eingeschätzt werden kann, ob (Test)-Bohrungen nach Öl und/oder Gas an einem bestimmten Ort der Erdoberfläche durchgeführt werden können. Auch nach dem Durchführen von einer oder mehreren Testbohrungen, deren Kosten sehr hoch sind, wird die Untersuchung der Schicht-Struktur fortgesetzt, ebenfalls unter Verwendung der Netzdaten, die aus den Bohrlöchern erzielt worden sind.

[0002] In dem Artikel von Andre Haas u. a.: "Geostatistical Inversion – A Sequential Method of Stochastic Reservoir Modelling constrained by Seismic Data", First Break vol 12, No 11, November 1994/561, werden geostatistische Simulationen in einem früheren Stadium des Inversionsvorganges verwendet. Dieses bekannte Computerschema ist jedoch ziemlich kompliziert, beispielsweise weil es notwendig ist, synthetische Spuren zu berechnen.

[0003] Die vorliegende Erfindung schafft ein Verfahren zum Schätzen oder Simulieren von einem oder mehreren Parametern einer Schicht-Struktur, mit den Schritten:

- Bestimmen eines ersten Modells der Schicht-Struktur;
- Bestimmen eines oder mehrerer Variogramme von ein oder mehreren Parametern in einer oder mehreren Schichten;
- Messen des Wertes eines Parameters an einer Anzahl von Punkten;
- Schätzen einer Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion (PDF) des Parameters an Orten in der Schicht in der Nähe oder mit Abstand zu den Orten, wo die Parameter gemessen worden sind, auf der Basis von einem Variogramm; und
- Bestimmen eines akzeptablen Wertes des Parameters an dem Ort, wo die Wahrscheinlichkeitsdichtefunktion des Parameters unter Verwendung eines Variogramms bestimmt worden ist, unter Verwendung von seismischen Daten.

[0004] Gemäß der vorliegenden Erfindung werden geostatistische Techniken, die von seismischen Daten Gebrauch machen, kombiniert, wodurch die Ungewißheit bei der Lösung des Modells beträchtlich reduziert werden kann.

[0005] Die Schicht-Struktur ist üblicherweise aus Sandsteinen, Schiefergestein und/oder kalksteinartigen Felsen aufgebaut. Signifikante Parameter sind beispielsweise die spezifische Dichte, die Porosität, die Durchlässigkeit u. dgl. einer derartigen Schicht. Das erste Modell der Schicht-Struktur, aufgrund von welchem iterative (bessere) Schätzungen durchgeführt werden, wird beispielsweise unter Verwendung von seismischen, geologischen und/oder Bohrloch-

daten bestimmt. Das Variogramm des Parameters kann auf der Basis der Erfahrung eines Geologen, der Messungen an einem Bohrloch und/oder aus Proben, die aus dem Bohrloch erhalten worden sind, bestimmt werden.

[0006] Weitere vorteilhafte Merkmale und Einzelheiten der vorliegenden Erfindung werden unter Bezugnahme auf die anhängenden Figuren näher erläutert, in welchen zeigt:

[0007] **Fig. 1** ein Diagramm zur Erläuterung einer bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0008] **Fig. 2** eine graphische Darstellung eines Diagramms zur Verwendung bei der bevorzugten Ausführungsform gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0009] **Fig. 3** eine graphische Darstellung eines Beispiels einer Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion zur Verwendung bei dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0010] **Fig. 4** ein Flußdiagramm zur Erläuterung der bevorzugten Ausführungsformen des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung;

[0011] **Fig. 5** ein Flußdiagramm zur Erläuterung einer weiteren bevorzugten Ausführungsform des Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung; und

[0012] **Fig. 6** ein Flußdiagramm einer bevorzugten Ausführungsform, bei welchem die Verfahren gemäß der **Fig. 4** und **5** kombiniert sind.

[0013] In einer schematisch mit **U** (**Fig. 1**) bezeichneten Fläche einer Schicht-Struktur, in welcher beispielsweise zwei Bohrlöcher **V** und **W** angeordnet sind, müssen die Parameter, beispielsweise der Porosität, einer großen Anzahl von Punkten bestimmt werden – x , x_i , x_j und x_k sind dargestellt – wobei die Eigenschaft der Struktur an den Orten **v** und **w** an den jeweiligen Bohrlöchern **V** und **W** mit einer gewissen Genauigkeit bekannt ist, beispielsweise infolge von Messungen, die mittels Sonden entlang der Bohrlöcher und/oder genommener Proben, durchgeführt worden sind.

[0014] In einer bevorzugten Ausführungsform der vorliegenden Erfindung wird als erstes ein strukturelles (geometrisches) Modell auf der Basis von seismischen Meßdaten an der Erdoberfläche erzeugt. Reflektionsflächen, die als wichtig betrachtet werden, sind an einer Struktur einer geschlossenen Schicht ausgebildet, beispielsweise mittels des Computerprogramms **EARTH MODEL**, das auf dem Markt von der Anmelderin erhältlich ist, wobei der Geologe bestimmte Wahlen durchführen kann. Das Programm **EARTH MODEL** definiert die geologischen Schichten sowie auch die Mikrostruktur in einer derartigen Schicht. Es ist klar zu ersehen, dass gemäß der vorliegenden Erfindung auch andere Verfahren ins Auge gefaßt werden können, um eine anfängliche simulierte Schichtstruktur zu erzielen.

[0015] Im folgenden werden Variogramme (**Fig. 2**) (und/oder Histogramme) für einen bestimmten Parameter, wie beispielsweise die Porosität in bestimmten Schichten, definiert. In einem Variogramm wie bei-

spielsweise in der **Fig. 2** wird die Korrelation oder Varianz zwischen zwei Werten eines Parameters, die an unterschiedlichen räumlichen Orten gegeben sind, bestimmt, das heißt als eine Funktion des Abstandes zwischen zwei Orten. Ein Variogramm zwischen zwei unterschiedlichen Parametern, beispielsweise zwischen der Porosität und der Durchlässigkeit wird als ein Kreuz-Variogramm bezeichnet. An einem bestimmten Abstand wird das Variogramm horizontal, oberhalb welchem Abstand die räumliche Korrelation gegen Null geht. Die Varianz hat daher bei einem Abstand unterhalb dieses Abstands einen konstanten Wert. Für den Fall, dass ein Variogramm in einer bestimmten Schicht anisotrop ist, hat dieser Abstand für unterschiedliche Richtungen in jedem Fall einen unterschiedlichen Wert, bildet damit eine Ausbildung als wäre er ellipsoid.

[0016] Um den Parameter an dem Punkt x_1 zu bestimmen, der beliebig (oder gemäß weiter fortgeschrittenen Wahrscheinlichkeitstechniken, die hier nicht erörtert werden) gewählt werden kann, werden eine Anzahl von Punkten, beispielsweise a, b, c und d, an welchen der Wert dieses Parameters bekannt ist (oder bereits in dem Modell vorhanden und vorab auf dieselbe Art und Weise bestimmt worden ist) in der Nähe dieses Punktes x_1 ausgewählt. Über die Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion, die auf der Basis des Variogramms gefunden worden ist, wird ein Wert für den Parameter beliebig gewählt und für den Punkt x_1 gespeichert. Der so simulierte Punkt wird zu dem bekannten Wert addiert und der Vorgang wird solange wiederholt, bis alle Punkte x_i in dem Raum U simuliert worden sind und ihnen ein Wert zugewiesen ist.

[0017] Das vorstehend angegebene, bevorzugte Verfahren unterscheidet sich von dem sog. Kriging-Verfahren (oder im Fall des Kreuz-Variogramms co-Kriging) dadurch, dass der wahrscheinlichste Wert aus den Variogrammen bestimmt wird (siehe C. V. Deutsch und A. G. Journel (1992), GSLIB: geostatistical software library and user's guide, Oxford University Press, New York).

[0018] In den stochastischen Techniken steht eine Schätzung der Ungewissheit in dem geschätzten Modellreservoir zur Verfügung, wobei die Reservoirmodelle zu zur Verfügung stehender geostatistischer Information, wie beispielsweise Variogrammen und Histogrammen, passen (d. h., wobei die Daten eine Gauß'sche Verteilungskurve haben).

[0019] Gemäß der vorliegenden Erfindung werden im folgenden die Modelle, wie solche, die durch die vorstehend beschriebene, stochastische Simulation erhalten worden sind, bezogen auf seismische Daten überprüft. Anstatt, dass die Parameter exklusiv in Übereinstimmung mit den stochastischen Simulationen geschätzt werden, wird nach dem Erhalten eines ersten stochastischen Modells unter Verwendung von seismischen Daten bestimmt, ob ein neuer Iterationspunkt besser als der vorab gefundene Punkt in das Modell paßt.

[0020] Dies findet durch Verschachteln (Convoluting) synthetischer, seismischer Daten mit einer "Elementarwelle" und Vergleichen des Ergebnisses mit den gemessenen seismischen Daten statt. Wenn der Wert des Iterationspunktes nicht besser als der vorhergehende Punkt ist, wird dieser Iterationsschritt zurückgewiesen und der alte Wert des Punktes in dem Modell gespeichert.

[0021] Infolge der Kombination von stochastischer Simulation und Anwendung von seismischen Daten, wobei Iterationen solange fortgeführt werden können, bis eine zufriedenstellende Korrelation zwischen dem Reservoir-Modell und den seismischen Daten erhalten wird, ergibt sich auf der Basis der geostatistischen Daten eine Schätzung oder ein Modell für die Werte der Parameter an verschiedenen Punkten, die optimal genügen.

[0022] In dem Flußdiagramm gemäß **Fig. 4** sind verschiedene Aspekte weiter erläutert: erstens (**10**) wird ein Punkt oder ein Knoten x_i willkürlich gewählt. Die bedingte, lokale Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion der Reservoir-eigenschaft wird dann geschätzt (**11**); die Realisation wird daraus herausgezogen (**12**), wobei dieser Vorgang solange wiederholt wird, bis alle Gitterknoten behandelt worden sind.

[0023] In der **Fig. 5** ist ein ähnliches Verfahren gezeigt, bei dem als erstes ein beliebiger Gitterknoten (**20**) gewählt wird, dann die bedingte, lokale Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion, die einer bestimmten Gesteinsart (Indikator) unterliegt, bestimmt wird (**21**), worauf die Realisation der Gesteinsart aus der lokalen Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion so lange herausgezogen (**22**) wird, bis der willkürliche Weg (**23**) beendet ist.

[0024] **Fig. 6** zeigt eine bevorzugte Ausführungsform, bei der die Vorgänge der **Fig. 4** und **5** miteinander kombiniert sind, und bei der der Konvergenzschritt für die seismischen Daten im Block **31** gezeigt ist.

[0025] Erste Versuche mit dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung haben gezeigt, dass die kumulative Wahrscheinlichkeit in dem 10/90%-Wahrscheinlichkeitsintervall bei dem Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung beträchtlich kleiner als bei der Verwendung der bekannten geostatistischen Verfahren ist.

[0026] Die vorliegende Erfindung ist nicht auf die vorstehend beschriebene, bevorzugte Ausführungsform begrenzt; die beanspruchten Rechte sind durch die folgenden Patentansprüche bestimmt, wobei innerhalb des Schutzzumfanges viele Modifikationen denkbar sind.

Patentansprüche

1. Verfahren zum Schätzen oder Simulieren von einem oder mehreren Parametern einer Schicht-Struktur, mit den Schritten:

- a) Erzielen von seismischen Daten der Schicht-Struktur;
- b) Bestimmen eines ersten Modells der

Schicht-Struktur aus den erzielten seismischen Daten;

c) Bestimmen von einem oder mehreren Variogrammen von einem oder mehreren Parametern in einer oder mehreren Schichten der Schicht-Struktur;

d) Messen eines Wertes für einen oder mehrere Parameter an einer Anzahl von Punkten in der Schicht-Struktur;

e) Schätzen einer Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion (PDF) des einen oder der mehreren Parameter an anderen Punkten in der Schicht in der Nähe oder mit Abstand zu den Punkten, an welchen einer oder mehrere Parameter gemessen worden sind auf der Basis von dem einem oder mehreren Variogrammen; und

f) Bestimmen eines Wertes für jeden der einen oder mehreren Parameter in der Schicht unter Verwendung der Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion an den Punkten, wo die Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion der Parameter bestimmt worden ist;

g) Kombinieren der im Schritt f) bestimmten Werte mit dem oder den entsprechenden einen oder mehreren Parameter, die aus dem Modell bestimmt worden sind;

h) Erzielen akzeptabler Werte für den einen oder die mehreren Parameter in der Schicht-Struktur aus dem einen oder den mehreren Parametern, die in dem Schritt g) bestimmt worden sind; und

i) Erzeugen eines oder mehrerer Parameter eines neuen Modells aus den akzeptablen Werten für den einen oder die mehreren Parameter;

j) Wiederholen der Schritte d) bis i), bis eine Schätzung mit gewünschter Genauigkeit erzielt worden ist.

2. Verfahren nach Anspruch 1, wobei für jeden Ort unter Verwendung eines Kreuz-Variogramms zwei Parameter simuliert werden.

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, wobei die Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion auf der Basis eines Indikators für den zu erwartenden Gesteinskundetyp gewählt wird.

4. Verfahren wie in den Ansprüchen 1 bis 3 beansprucht, wobei auf der Basis zur Verfügung stehender Daten einer Schicht-Struktur, die aus Proben derselben erzielt worden sind, ein oder mehrere Variogramme bestimmt werden.

5. Verfahren wie in den Ansprüchen 1 bis 4 beansprucht, wobei einer oder mehrere Parameter in einem Bohrloch gemessen werden.

6. Verfahren nach Anspruch 1, wobei der Schritt (h) die Schritte aufweist: Verschachteln des einen oder mehrerer Parameter, die im Schritt (g) bestimmt worden sind, mit einer Elementarwelle, um einen oder mehrere verschachtelte Parameter zu erhalten; Vergleichen des verschachtelten einen oder mehrerer Parameter mit dem entsprechenden einen oder

mehreren Parameter, die aus dem vorhergehenden Modell bestimmt worden sind; und

Halten des oder der erzielten, verschachtelten Parameter als die akzeptablen Werte, wenn der oder die erzielten, verschachtelten einen oder mehreren Parameter eine kumulative Wahrscheinlichkeit der Wahrscheinlichkeits-Dichtefunktion über einen oder mehrere Parametern aus dem vorhergehenden Modell verbessern.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

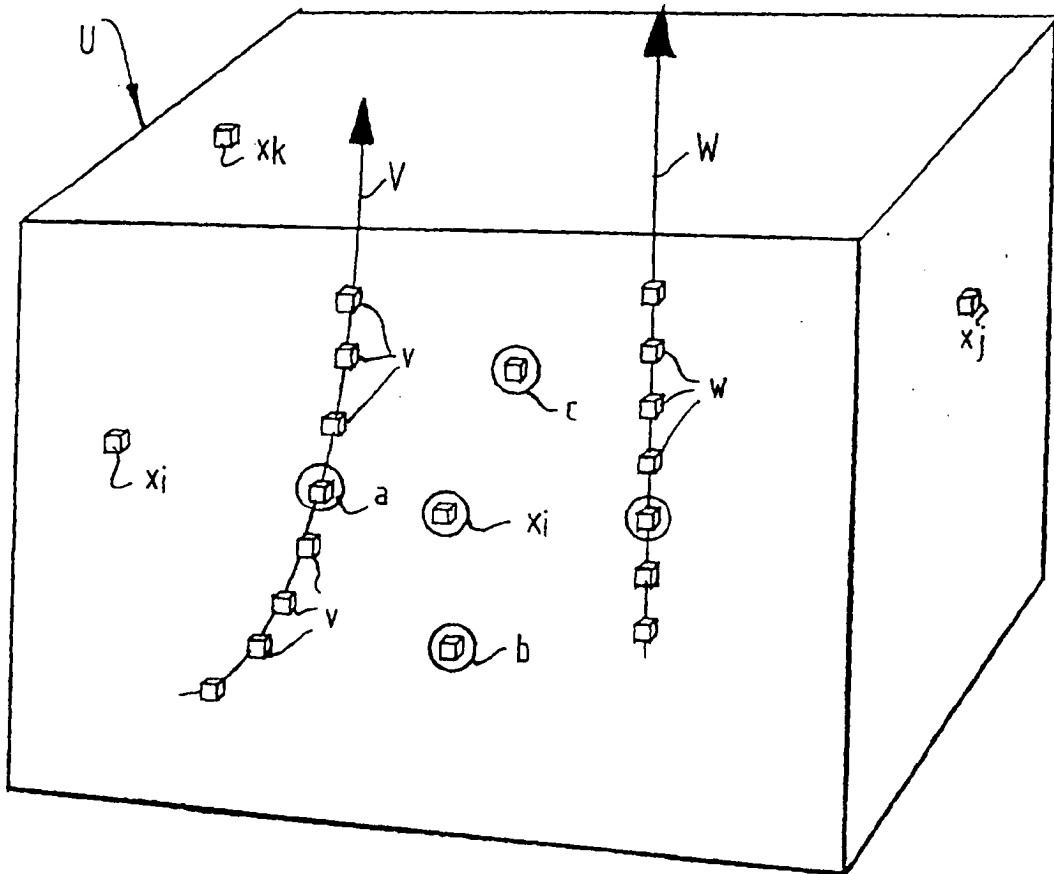
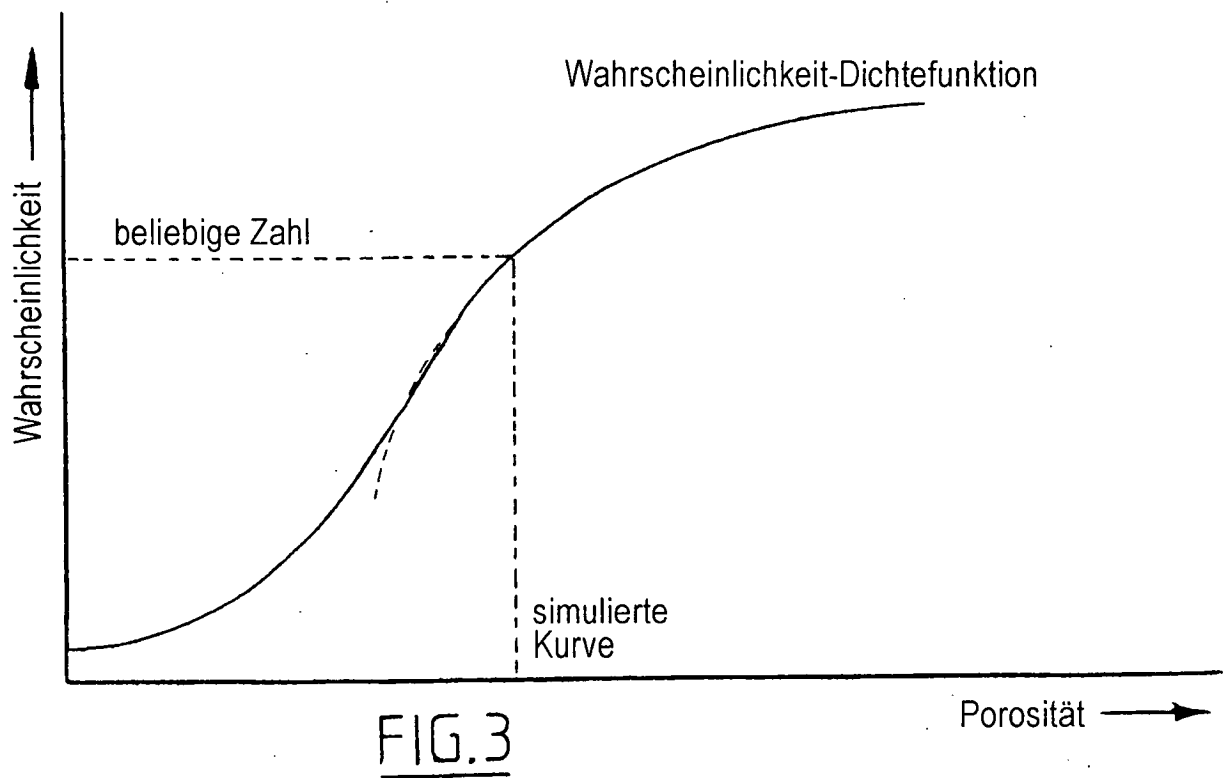
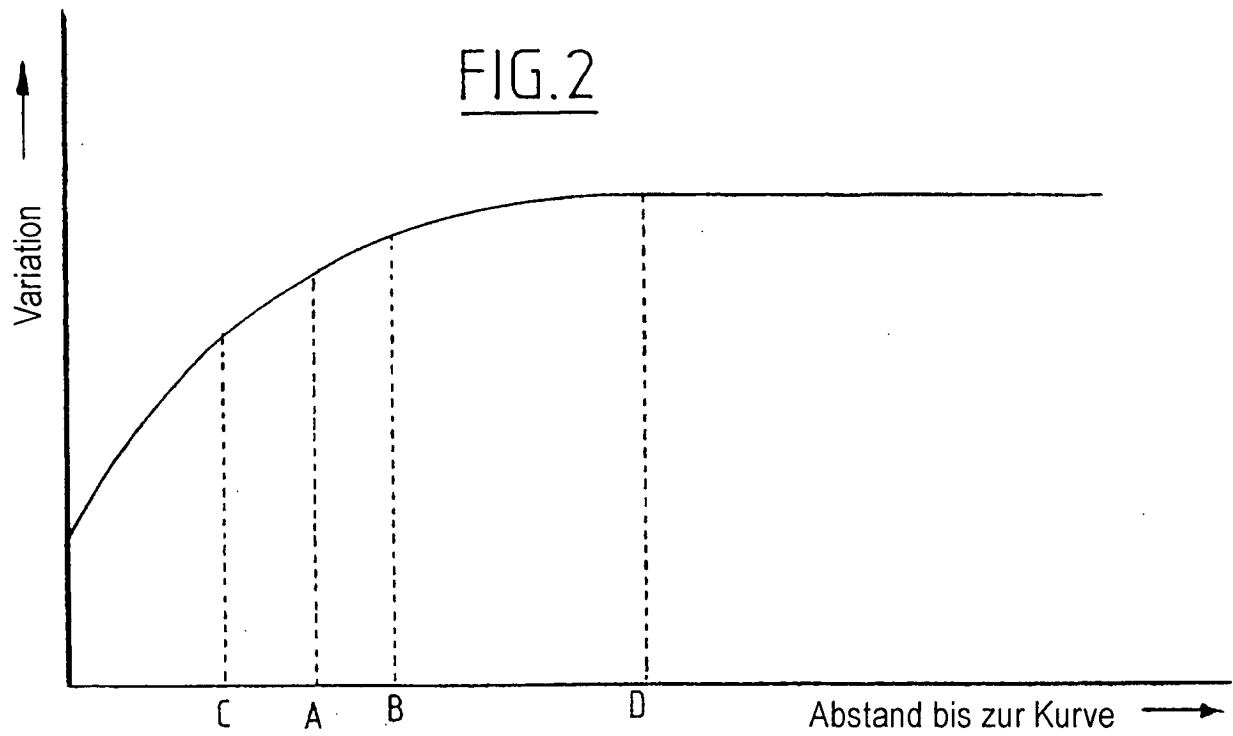


FIG.1



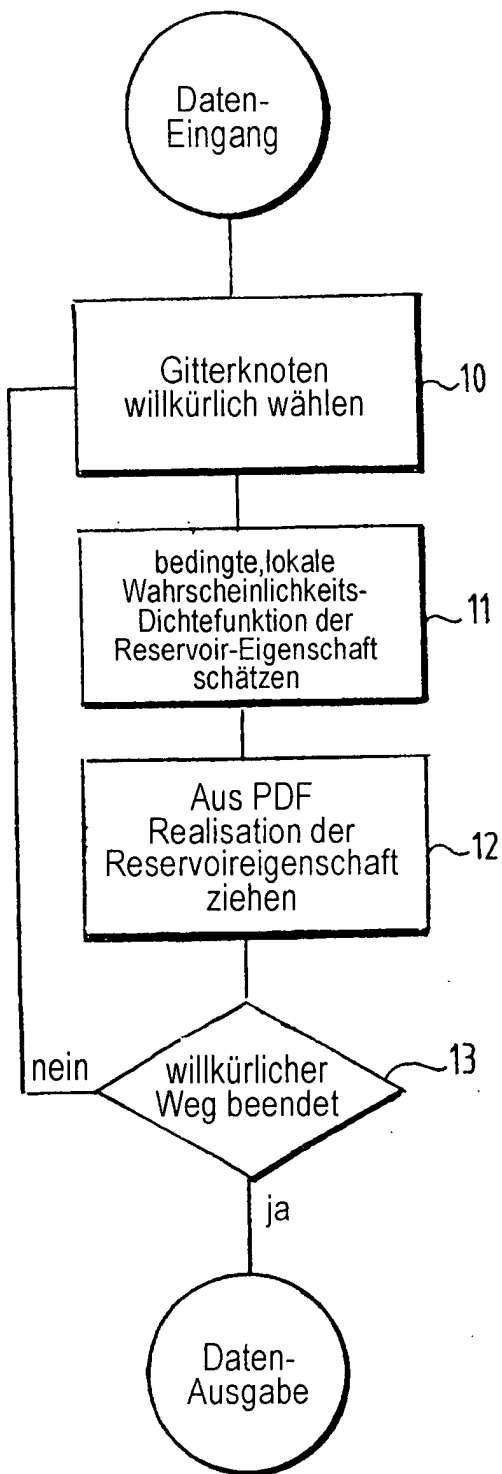


FIG. 4

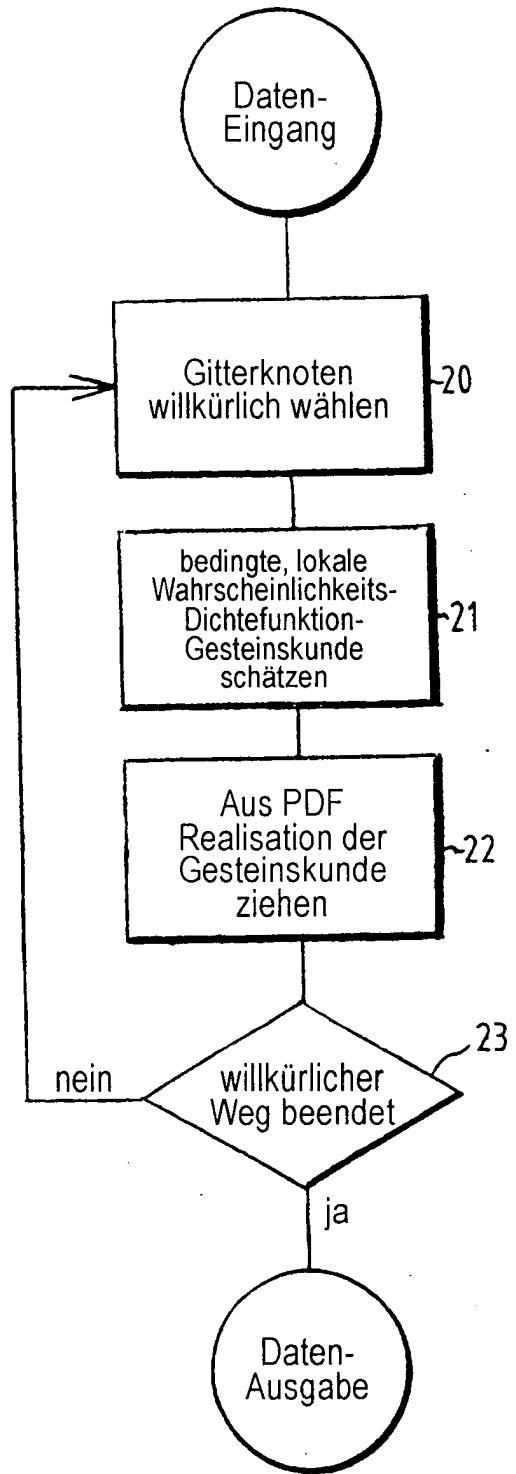


FIG. 5

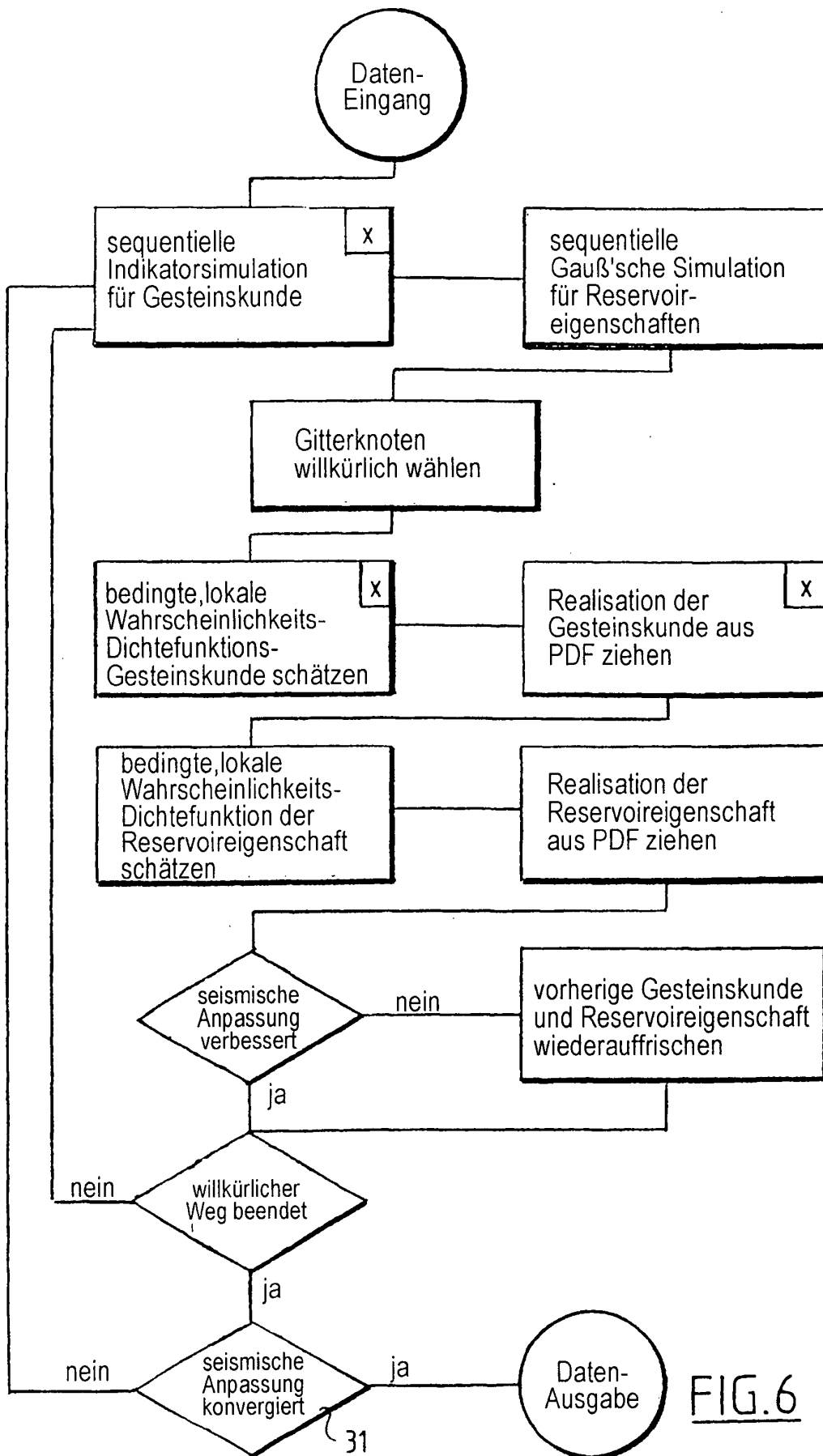


FIG.6