



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 102 42 852 A1** 2004.03.25

(12)

Offenlegungsschrift

(21) Aktenzeichen: **102 42 852.2**

(22) Anmeldetag: **14.09.2002**

(43) Offenlegungstag: **25.03.2004**

(51) Int Cl.7: **G01B 21/04**
B64D 45/04

(71) Anmelder:

**Technische Universität Ilmenau Abteilung
Forschungsförderung und Technologietransfer,
98693 Ilmenau, DE**

(72) Erfinder:

**Usbeck, Christian, Dipl.-Ing., 98554 Benshausen,
DE; Brückner, Peter, Dr.-Ing., 98527 Suhl, DE;
Kühn, Olaf, Dr.-Ing., 98528 Suhl, DE; Linß,
Gerhard, Prof. Dr.-Ing.habil., 98529 Suhl, DE**

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

DE 196 00 002 C2

DE 100 55 572 C1

DE 199 00 737 A1

DE 197 35 975 A1

EP 06 69 593 A2

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

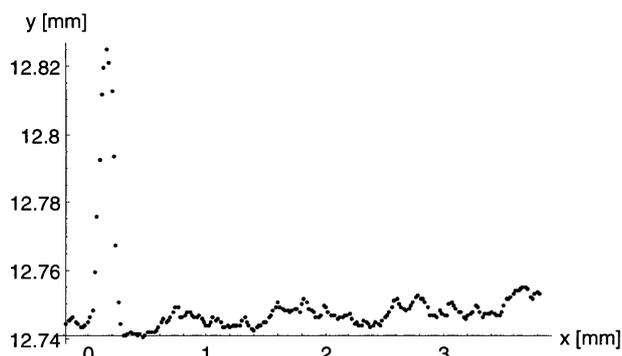
Rechercheantrag gemäß § 43 Abs. 1 Satz 1 PatG ist gestellt.

(54) Bezeichnung: **Verfahren zur Minimierung des Einflusses von Störsignalen bei der Formelementeberechnung aus Koordinatenpunkten**

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Minimierung des Einflusses von Störsignalen bei der Formelementeberechnung aus Koordinatenpunkten.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, mit dem Koordinaten, die lokal nicht zum gewünschten Formelement zuzuordnen sind, von der Formelementeberechnung ausgeschlossen werden.

Erfindungsgemäß gelingt die Lösung der Aufgabe dadurch, dass Ausgleichsverfahren zur Berechnung der gewünschten Formelementart mit Erkennungsverfahren für die gleiche Formelementart kombiniert werden und die Erkennungsverfahren zum Ausfiltern der für die Formelementeberechnung relevanten Koordinatenpunkte (P_r) aus allen Eingangskoordinatenpunkten (P_i) verwendet werden.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Filterung von Koordinatenpunkten bei der Berechnung von Formelementen mit dem Ziel, Koordinaten von der Formelementeberechnung auszuschließen, die lokal nicht zur erwarteten idealen geometrischen Form zuzuordnen sind.

[0002] Ein bekanntes Problem der Koordinatenmesstechnik ist die Berechnung der Gestalt des Messobjektes aus einer Menge von Koordinatenpunkten der Messobjektoberfläche, die durch Antastung gewonnen werden. Die Beschreibung der Gestalt erfolgt durch idealgeometrische Ersatzelemente (kurz: Formelement), wie beispielsweise Gerade, Kreis, Ellipse, Kugel, Zylinder. Die Koordinatenpunkte liegen zum Teil ungeordnet vor und weichen, bedingt durch Störeinflüsse, von der realen Geometrie des Prüflings ab. Insbesondere bei der optischen Gewinnung der Koordinatenpunkte mit Hilfe von Bildsensoren können erhebliche Abweichungen von der realen Gestalt auftreten. Ursache dafür sind beispielsweise instabile Lichtverhältnisse, Verschmutzung durch Staubablagerungen an den Objektkanten oder auch texturierte Oberflächen und Bildhintergründe. Werden die Koordinatenpunkte ungefiltert einer Ausgleichsrechnung für ein Formelement zugeführt, so kann dies zu erheblichen Messabweichungen führen.

[0003] Im Stand der Technik sind Verfahren zum Ausfiltern von Störungen in den Messsignalen bekannt, die auf der Glättung der Messwerte beruhen. Beispiele sind die Glättung durch gleitende Mittelwertbildung, die Glättung durch Tiefpassfilterung, optimale Filterung (Wiener-Filter).

[0004] Nachteilig ist, dass bei all diesen Verfahren der Einfluss der Ausreißer durch Mittelung zwar minimiert wird, aber dennoch das Messergebnis beeinflusst.

[0005] Eine Verbesserung wird erzielt, wenn die Eingangsmesswerte (vornehmlich Antastpunktkoordinaten) vor der weiteren messtechnischen Auswertung von potenziellen Ausreißern getrennt werden und lediglich die ausreißerbereinigten Messwerte weiter verarbeitet werden. In DE 199 00 737 wird dazu vorgeschlagen, nach einer ersten Ausgleichsrechnung, mittels folgender Hochpassfilterung, die als Störung anzusehenden Antastpunktkoordinaten zu eliminieren. Nachteilig bei dieser Verfahrensweise ist, dass sich die Störungsfilterung auf ein Formelement bezieht, welches bereits durch die Störungen in den Eingangsmesswerten beeinflusst ist. Dabei können zum Teil erhebliche Abweichungen in der Lage und Orientierung des Formelementes auftreten, so dass der nachfolgende Filtervorgang nicht die tatsächlichen Störungen ausfiltern kann.

[0006] Außer bei der koordinatenmesstechnischen Auswertung spielt die Eliminierung von Störstrukturen auch bei Problemen der technischen Erkennung eine wesentliche Rolle. Um die Aussagesicherheit

bei der Hinderniserkennung tieffliegender Fluggeräte zu erhöhen, wird in DE 100 55 572 vorgeschlagen, Überlandleitungen in Entfernungsbildern mit Hilfe der Hough-Transformation für horizontale Geraden zu erkennen. Allerdings ist mit dieser Verfahrensweise die Ableitung von genauen Angaben zur Lage und Orientierung des Formelementes nur mit erheblichem rechentechnischem Aufwand erzielbar. Für Aufgabenstellungen der Präzisionsmesstechnik sind Verfahren der Ausgleichsrechnung von Formelementen wesentlich wirtschaftlicher einsetzbar.

Aufgabenstellung

[0007] Der Erfindung liegt die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren der eingangs genannten Art anzugeben, bei dem die Lage und Orientierung der gewünschten Formelementart in stark streuenden Eingangskoordinatenpunkten bestimmt werden kann und die Vorteile der geringen Messunsicherheit der Formelemente-Ausgleichsrechnung erhalten bleiben.

[0008] Erfindungsgemäß gelingt die Lösung der Aufgabe durch die kennzeichnenden Merkmale des Patentanspruchs 1.

[0009] Das Verfahren beruht auf einer Kombination von robusten Erkennungsverfahren und der genaueren Formelementeausgleichsrechnung für die jeweils gewünschte Formelementart.

[0010] Vorteilhafte Ausgestaltungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

[0011] Eine gegenüber dem Stand der Technik erzielbare wesentliche Verbesserung der Störunterdrückung kann nach dem in Anspruch 2 vorgestellten Verfahrensschritten erzielt werden. Dazu wird die Art des gewünschten Formelementes bereits bei der Bewertung der Eingangskoordinatenpunkte auf Ausreißer berücksichtigt, und nicht erst bei der sonst üblichen nachfolgenden Messwertverarbeitung (im nächsten Verarbeitungsschritt).

[0012] Der Vorteil des erfindungsgemäßen Verfahrens besteht darin, dass sich die Ausreißeridentifikation auf die Gestalt des gewünschten Formelementes bezieht. So kann selbst aus einer stark streuenden Punktwolke eine Erkennung der Lage und Orientierung eines zu bestimmenden Formelementes erreicht werden. Dies ist insbesondere bei bildauswertenden Messverfahren notwendig, wenn die zu erkennenden Strukturen durch unbekannt systematische Strukturen im Vordergrund oder Bildhintergrund gestört sind. Beispiele sind die Erkennung von geodätischen Merkmalen in Landschaftsbildern oder die Geometriebestimmung an durch Staub verunreinigten Körperkanten im Bild.

[0013] Der Einsatz von robusten Erkennungsverfahren für die Bestimmung der Lage und Orientierung des Formelementes gestattet eine sichere Filterung von Störstrukturen und liefert gleichzeitig eine störungsalunabhängige Startlösung für die nachfolgende Formelementeausgleichsrechnung.

[0014] Eine weitere vorteilhafte Ausgestaltung gemäß Anspruch 3 ist die Vorschaltung einer Formelementenausgleichsrechnung vor die Hough-Transformation. Durch Bildung eines Güteparameters (E) aus dem Ergebnis der Formelementenausgleichsrechnung und Prüfung, ob dieser Parameter (E) in einem vorgebbaren Toleranzbereich (T) liegt, kann entschieden werden, ob die rechenintensive Hough-Transformation überhaupt benötigt wird.

Ausführungsbeispiel

[0015] Die Erfindung wird nachstehend an einem Beispiel näher erläutert. Die zugehörigen Zeichnungen zeigen:

[0016] **Fig. 1** – Antastpunkte $P_i(x,y)$ an einer durch Verunreinigung und Rauschen gestörten geradlinigen Objektkontur

[0017] **Fig. 2** -Ausgleichsgerade durch alle Antastpunkte $P_i(x,y)$ mit Verunreinigung

[0018] **Fig. 3** – Darstellung im Hough-Parameterraum am Beispiel der Formelementart Gerade

[0019] **Fig. 4** – Antastpunkte, Formelement (FE) und Gültigkeitsparameter (E) am Beispiel des Formelements Gerade

[0020] **Fig. 5** – Ausgleichsgerade durch die verbleibenden Antastpunkte $Pr_i(x,y)$ nach der Filterung der Verunreinigung

[0021] **Fig. 6a** – Verfahrensschritte mit vorgeschalteter Formelementenausgleichsrechnung

[0022] **Fig. 6b** – Verfahrensschritte ohne vorgeschaltete Formelementenausgleichsrechnung

[0023] So wie eingangs gezeigt wurde, besteht bei der optischen Präzisionsmessung oft ein Problem, wenn während der Messung eine Verschmutzung der Probanden vorliegt (**Fig. 1**). Hierbei können schon kleinste Ablagerungen aus dem Produktionsprozess dazu führen, dass ein Proband aufgrund von Verschmutzung als Schlechtteil ausgesondert wird. Für die Lösung dieses Problems wurde eine Kombination von Erkennung und Ausgleichsrechnung für Formelemente entwickelt.

[0024] Im ersten Schritt werden die Punkte ungefiltert einer Ausgleichsrechnung nach Gauss für das gewünschte Formelement zugeführt (**Fig. 2**). Zur Bewertung ob das berechnete Formelement gültig ist, wird ein Parameter (E) abgeleitet und dieser mit einem zulässigen vorgebbaren Toleranzbereich (T) verglichen.

[0025] Der Parameter (E) kennzeichnet dabei einen Bereich um das gefundene Formelement in Form des euklidischen Abstandes (**Fig. 4**). Der Parameter (E) kann beispielsweise durch die Formabweichung (f) oder die Standardabweichung (s) des berechneten Formelementes bestimmt werden. Weitere Bildungsvorschriften für (E) mit Hilfe der Ausgleichsrechnung sind natürlich ableitbar. Unterschreitet der Wert (E) einen zulässigen vorgebbaren Toleranzbereich (T), wird das Formelement als gültig erklärt und als Messergebnis ausgegeben. Ist dies nicht der Fall, so wird

eine Filterung der Koordinatenpunkte durchgeführt. Dazu wird mittels Hough-Transformation als Erkennungsmethode die beste Lage des Formelements im Sinne des "häufigsten Auftretens" bestimmt. Um das gefundene "Hough"-Formelement wird in Analogie zur oben genannten Verfahrensweise bei den "Ausgleichs"-Formelementen ein Bereich (E) abgeleitet, in welchem die relevanten Antastpunkte (Pr_i) liegen müssen (**Fig. 4**). Punkte außerhalb dieses Bereiches werden dann aus dem Punktefeld eliminiert. Im letzten Schritt wird das verbleibende Punktefeld (Pr_i) erneut der Ausgleichsrechnung zugeführt und das berechnete Ergebnis ausgegeben (**Fig. 5**). Weitere Iterationsschritte des Verfahrens sind möglich.

[0026] Der entsprechende Algorithmus ist in **Fig. 6a** dargestellt. Die Bestimmung des gewünschten Formelementes im ersten Verarbeitungsschritt mittels Formelemente-Ausgleichsrechnung wirkt sich geschwindigkeitssteigernd aus, wenn keine Störungen in den Eingangspunkten vorhanden sind. Die nachfolgende zeitintensive Hough-Transformation wird nur dann aufgerufen, wenn der Gültigkeitsparameter (E) der Ausgleichsrechnung einen vordefinierbaren Toleranzbereich (T) überschreitet.

[0027] Für den Anwendungsfall, dass das gewünschte Formelement in den Eingangsdaten nicht lokalisierbar ist oder mehrere Formelemente gleicher Art vorhanden sind, ist die Hough-Transformation als erster Verarbeitungsschritt durchzuführen (**Fig. 6b**). Ein Vorteil dieser Variante gegenüber der Variante in (**Fig. 6a**) besteht darin, dass die Erkennungsmethode nicht nur die Lage sondern auch die Art des am häufigsten vorkommenden Formelementes bestimmen kann. Außerdem können mit dem vorangestellten Erkennungsverfahren in einem Verarbeitungsschritt mehrere gleichartige Formelemente gefunden werden, die mit einer vorgebbaren Mindesthäufigkeit auftreten. Dadurch ist eine Segmentierung der Eingangskoordinaten und anschließende Ausgleichsrechnung in den verschiedenen Koordinatensegmenten durchführbar.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Minimierung des Einflusses von Störsignalen bei der Formelementberechnung aus Koordinatenpunkten **dadurch gekennzeichnet**, dass Ausgleichsverfahren zur Berechnung der gewünschten Formelementart mit Erkennungsverfahren für die gleiche Formelementart kombiniert werden und die Erkennungsverfahren zum Ausfiltern der für die Formelementberechnung relevanten Koordinatenpunkte (Pr_i) aus allen Eingangskoordinatenpunkten (P_i) verwendet werden.

2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zuerst eine Erkennung der gewünschten Formelementart in allen Eingangskoordinaten (P_i) erfolgt,
– anschließend die gefundene Lage und Orientierung

des Formelementes dazu verwendet wird, um relevante Koordinatenpunkte (Pr_i) aus allen Eingangskordinaten (P_i) auszufiltern und mit den relevanten Koordinatenpunkten (Pr_i) eine Ausgleichsrechnung durchzuführen.

3. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass zuerst eine Ausgleichsrechnung des gewünschten Formelementes aus allen Eingangskordinaten (P_i) durchgeführt wird,
 – nach dieser Ausgleichsrechnung entschieden wird, ob weitere Verarbeitungsschritte zur Trennung von relevanten und nicht relevanten Eingangskordinaten notwendig sind,
 – im Falle der weiteren Verarbeitung, eine Erkennung der gewünschten Formelementart in allen Eingangskordinaten (P_i) erfolgt,
 – anschließend die gefundene Lage und Orientierung des Formelementes dazu verwendet wird, um relevante Koordinatenpunkte (Pr_i) aus allen Eingangskordinaten (P_i) auszufiltern und mit den relevanten Koordinatenpunkten (Pr_i) eine erneute Ausgleichsrechnung durchzuführen.

4. Verfahren nach Anspruch 1, 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Erkennung der Lage und Orientierung der gewünschten Formelementart in den gestörten Eingangskordinatenpunkten mit Hilfe der Hough-Transformation und Bestimmung von singulären Punkten im Hough-Parameterraum erfolgt.

5. Verfahren nach Anspruch 1, 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass zur Entscheidung ob das berechnete Formelement gültig ist und zur nachfolgenden Filterung der relevanten Koordinatenpunkte ein mehrdimensionaler Bereich um das durch Erkennungsverfahren gefundene Formelement bestimmt wird, der durch den euklidischen Abstand (E) zum Formelement charakterisiert ist.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstandsparameter (E) für den Bereich anhand des vorgegebenen Toleranzbereichs (T) der Formabweichung (f) des Formelements bestimmt wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Abstandsparameter (E) für den Bereich anhand der statistischen Verteilung der Restabweichung von der gewünschten Formelementart vorgenommen wird.

8. Verfahren nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass aus der statistischen Verteilung der Restabweichung von der gewünschten Formelementart die Standardabweichung (s) ermittelt wird und anhand von (s) eine Bildungsvorschrift für (E) verwendet wird.

9. Verfahren nach Anspruch 1, 2 und 3, dadurch

gekennzeichnet, dass als Formelementarten 2D- und 3D-Standardformelemente zu bestimmen sind.

10. Verfahren nach Anspruch 1, 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Formelementarten auch räumliche Kurven zu bestimmen sind.

11. Verfahren nach Anspruch 1, 2 und 3, dadurch gekennzeichnet, dass als Formelementarten auch kombinierte Formelemente zu bestimmen sind.

12. Verfahren nach Anspruch 1 und 2, dadurch gekennzeichnet, dass das Erkennungsverfahren die Formelementart identifiziert.

13. Verfahren nach Anspruch 1 und 2 oder 12, dadurch gekennzeichnet, dass das Erkennungsverfahren mehrere gleichartige Formelemente in einem Verarbeitungsschritt bestimmt und die anschließende Filterung und Formelemente-Ausgleichsrechnung auf alle gefundenen Formelemente angewendet wird.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

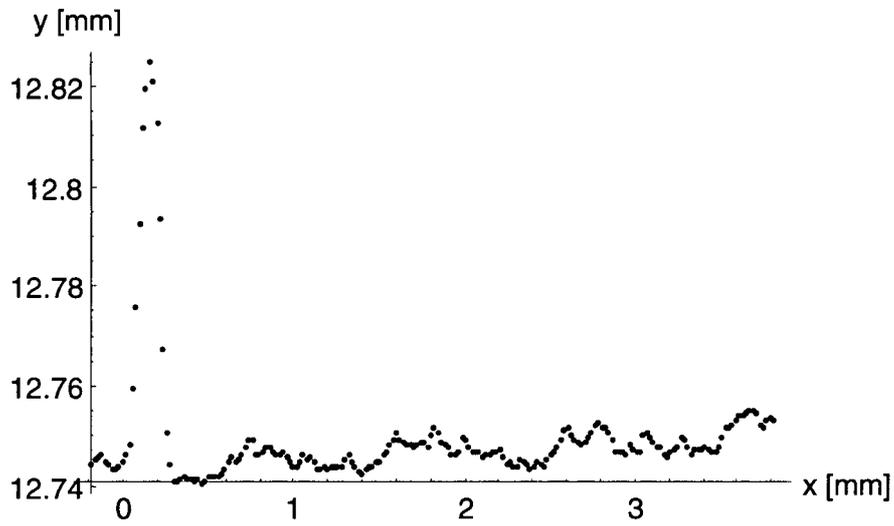


Fig.1

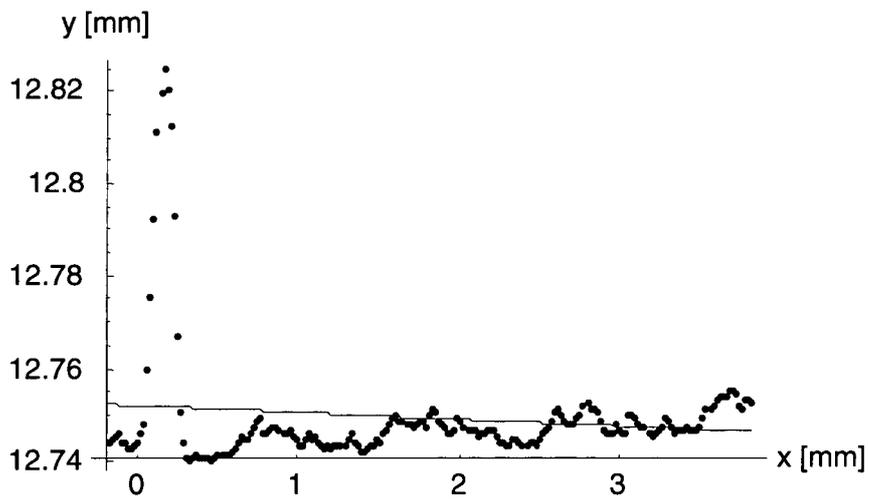


Fig.2

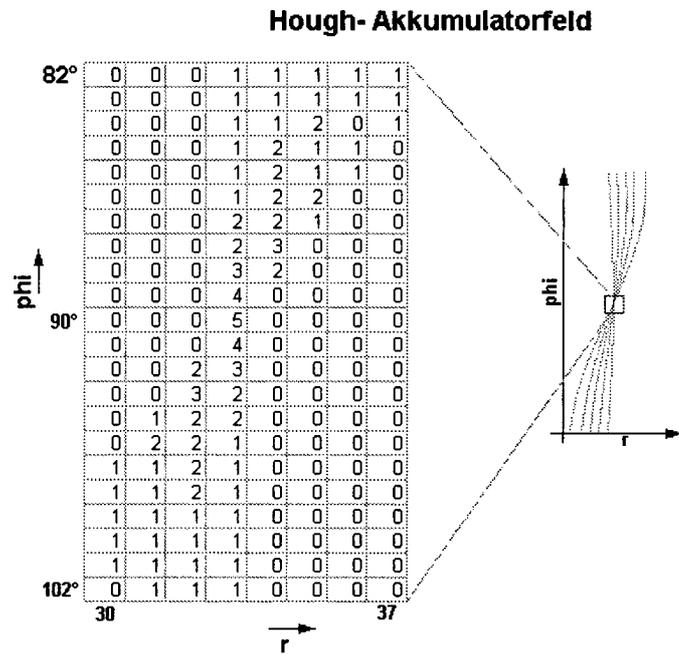


Fig.3

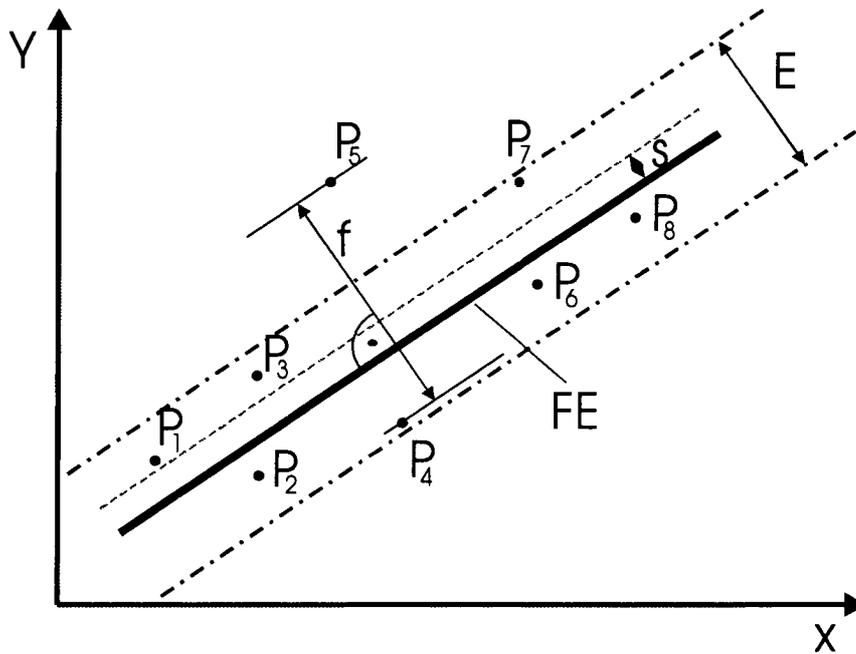


Fig.4

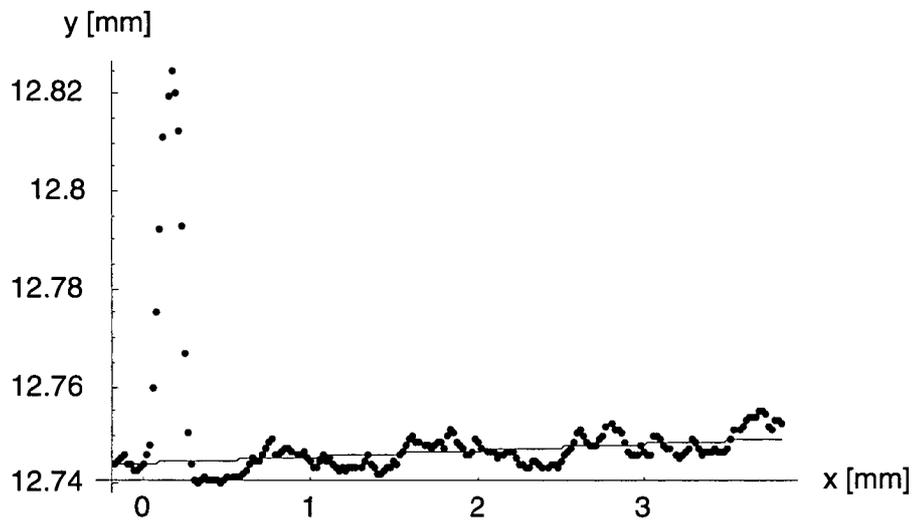


Fig.5

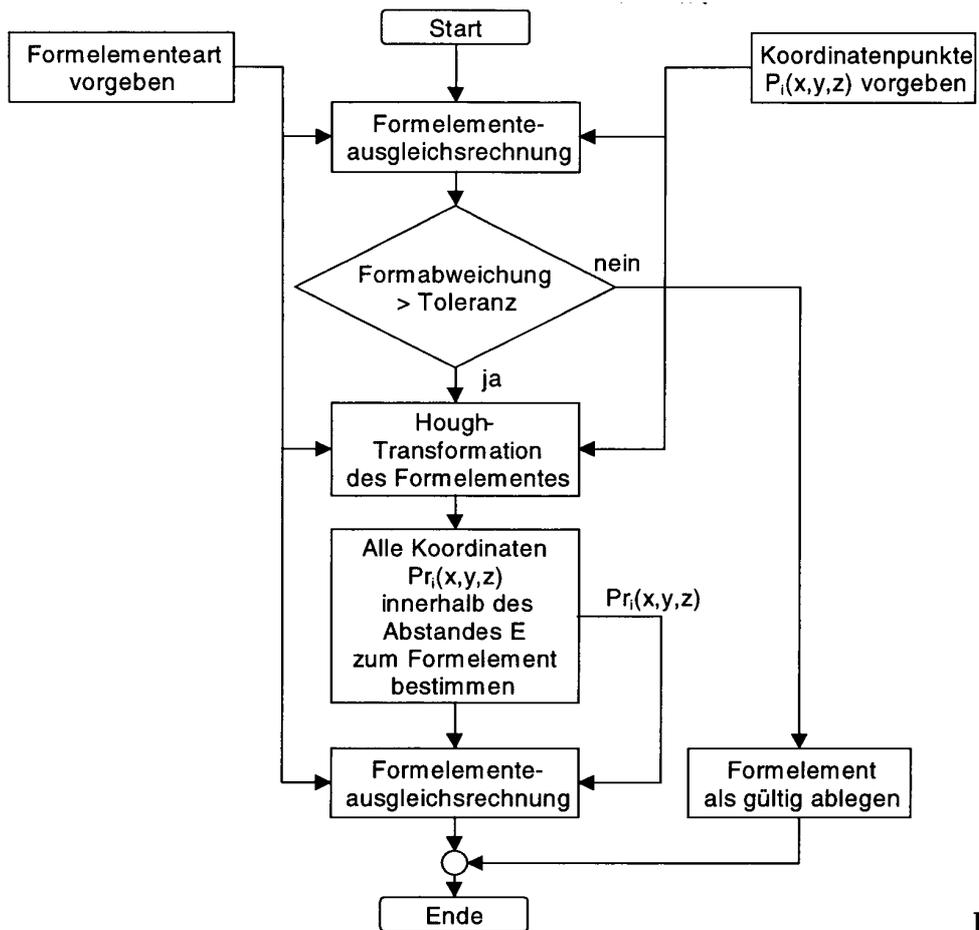


Fig.6a

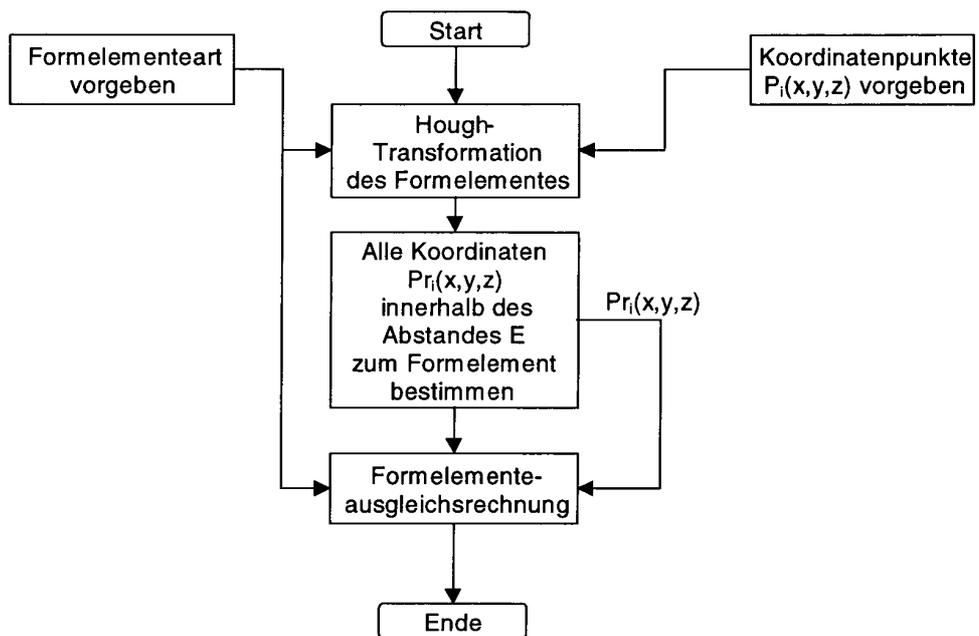


Fig.6b