



(12) Ausschließungspatent

(11) DD 291 848 A5

Erteilt gemäß § 17 Absatz 1  
Patentgesetz der DDR  
vom 27.10.1983  
in Übereinstimmung mit den entsprechenden  
Festlegungen im Einigungsvertrag

5(51) G 01 P 3/36

DEUTSCHES PATENTAMT

In der vom Anmelder eingereichten Fassung veröffentlicht

---

(21) DD G 01 P / 337 397 7 (22) 30.01.90 (44) 11.07.91

---

- (71) Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Universitätsplatz 1, O - 2500 Rostock 1, DE  
(72) Fiedler, Otto, Prof. Dr. sc. nat.; Christofori, Klaus, Dipl.-Ing.; Schulz, Klaus-Peter, Dr.-Ing., DE  
(73) Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Universitätsplatz 1, O - 2500 Rostock; VEB Kombinat Schiffbau Rostock,  
O - 2500 Rostock, DE  
(74) Wilhelm-Pieck-Universität Rostock, Direktorat für Forschung, BfSR, Schwaansche Straße 2, O - 2500  
Rostock, DE
- 

(54) Verfahren zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung auf der Basis flächenabtastender Sensoren

---

(55) Geschwindigkeitsmessung; Ortsfilter; Sensoren; TV-Kamera; Bild; Teilbildelemente; Gitter; Gitterachse;  
Gitterelemente; Streifenmuster

(57) Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung auf der Basis  
flächenabtastender Sensoren nach dem Ortsfilterprinzip. Das Anwendungsgebiet umfaßt den Aufbau und Einsatz von  
Sensorköpfen für Ortsfilter-Anemometer zur berührungslosen Messung der Geschwindigkeitskomponenten von  
unterschiedlich strukturierten Objekten und Stoffströmen. Die Gitterstruktur der flächenabtastenden Sensoren wird  
erzeugt, indem das Bildfeld einer TV-Kamera in  $N_{Ex}$  horizontale bzw.  $N_{Ey}$  vertikale streifenförmige Teilbildelemente  
aufgeteilt ist, wobei die Gitterachse schwenkbar ist und der Vektor der Geschwindigkeit  $v(x,y)$  komponentenweise  
durch alternierendes Umschalten von horizontalem auf vertikales Streifenmuster erfolgt.

**Patentansprüche:**

1. Verfahren zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung auf der Basis flächenabtastender Sensoren, **dadurch gekennzeichnet**, daß das Bildfeld einer TV-Kamera in  $N_{Ex}$  horizontale streifenförmige, bzw.  $N_{Ey}$  vertikale streifenförmige Teilbildelemente aufgeteilt ist, und die einzelnen streifenförmigen Teilbildelemente untereinander einen Versatz von  $d_y$  für die vertikalen Streifen und  $d_x$  für die horizontalen Streifen aufweisen.
2. Verfahren nach Anspruch 1 zur Realisierung eines Differenzgitters, **dadurch gekennzeichnet**, daß die Bildpunkte innerhalb der geraden Teilbildelemente mit +1 bzw. innerhalb der ungeraden Teilbildelemente mit -1 bewertet werden und die Bildpunkte außerhalb der Teilbildelemente unberücksichtigt bleiben.
3. Verfahren nach Anspruch 1 zur Veränderung der Richtungsauflösung und der Filtergüte, **dadurch gekennzeichnet**, daß je nach gewünschter Richtungsauflösung die Elementlänge veränderbar ist und je nach gewünschter Filtergüte die Elementbreite und -anzahl veränderbar sind.
4. Verfahren nach Anspruch 1 zur zweidimensionalen Geschwindigkeitsmessung, **dadurch gekennzeichnet**, daß zur Schwenkung der Gitterachse um die vertikal- bzw. Horizontalachse der Versatz  $d_x$  bzw.  $d_y$  veränderbar ist und somit ein Winkel von  $\beta_x = \arctan d_x/g_y$  bzw.  $\beta_y = \arctan d_y/g_x$  einstellbar ist.
5. Verfahren nach Anspruch 1 und 4, **dadurch gekennzeichnet**, daß ein fester Winkel  $\beta_x$  und  $\beta_y$  eingestellt ist und eine Umschaltung von horizontalen auf vertikales Streifenmuster alternierend erfolgt, so daß nacheinander aus der Detektion von  $v(\beta_x)$  und  $v(\beta_y)$  eine Umrechnung auf die Komponenten  $v_x$  bzw.  $v_y$  vorgenommen wird.
6. Verfahren nach Anspruch 1 und 5 zur besseren Dämpfung der Oberwellen im Filterausgangssignal, **dadurch gekennzeichnet**, daß bei der Dimensionierung des Streifenmusters ein Verhältnis Elementbreite D zu Gitterkonstante g von  $D/g = 1/3$  gewählt wird.

Hierzu 2 Seiten Zeichnungen

**Anwendungsgebiet der Erfindung**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung auf der Basis flächenabtastender Sensoren nach dem Ortsfilterprinzip. Die Verfahrensweise der Gestaltung und Dimensionierung von Gittersensoren ist besonders beim Aufbau von Sensorköpfen für Ortsfilter-Anemometer von Bedeutung. Mit derartigen Sensorköpfen sind Geschwindigkeitskomponenten von unterschiedlich strukturierten Objekten und Stoffströmen berührungslos in mindestens zwei Richtungen meßbar. Damit ergeben sich beginnend mit dem Einsatz in Versuchsanlagen, in Prozeßüberwachungssystemen vielfältige Anwendungsgebiete in den verschiedensten Industriezweigen.

**Charakteristik des bekannten Standes der Technik**

Bekanntlich wird das Ortsfilterverfahren zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung angewendet. Mit Hilfe der örtlichen Filterwirkung gitterartiger Strukturen wird die Objekt- oder Teilchengeschwindigkeit in ein schmalbandiges Signal umgesetzt. Als Ortsfilter werden optoelektronische Wandler, deren Oberfläche eine Gitterstruktur aufweisen oder denen ein gitterartiger Lichtmodulator vorgeschaltet ist, als Sensoren eingesetzt. Realisierungen von Ortsfilteranordnungen sind in den verschiedensten Bauformen und Ausführungsarten bekannt. Den Gemeinsamkeiten in einer prinzipiellen Strukturierung des Gitters und Zusammenfassung der gefilterten Bildinformation über einen integrierenden Photoempfänger stehen die verschiedensten Variationen zur Realisierung des Gitters gegenüber. Es werden mechanische Spaltgitter, Prismengitter bzw. rotierende Radialprismenraster zur Richtungserkennung ebenso beschrieben, wie die Verwendung von Lichtleitfasern und LCD-Transparenzgittern. In DE-OS 2144487 ist zur Realisierung eines Differenzgitters im Abbildungsstrahlengang ein doppelbrechendes, in der Ebene des Gitters zwei um eine halbe Gitterkonstante gegenüber verschobene Bilder erzeugendes Wollaston-Prisma vorgesehen. Die zugehörige Richtungserkennung durch mechanische Bewegung des Gitters dürfte sich unter den rauen Bedingungen der Prozeßmeßtechnik als nachteilig erweisen. Eine Mehrkomponentenmessung wurde erstmalig in DE-AS 2209667 vorgestellt. Dazu wird ein spezielles Gitter angegeben. Es besteht aus, auf einem transparenten Träger in einer Vielzahl vorhandenen gleichartigen, mit den Kanten ihrer Grundfläche parallel zueinander und nebeneinander liegenden Pyramiden. Durch die Normalen der Pyramidenflächen sind in der Ebene des Gitters zwei Richtungspaare definiert, denen vier fotoelektrische Empfänger mit vier Kondensoren zugeordnet sind. Mittels dieser Anordnung ist es möglich, in der Gitterebene nach zwei nicht parallelen Richtungen Geschwindigkeiten zu messen. Der entscheidende Nachteil liegt in der technologischen Ausführung dieses speziellen Gitters, das aufgrund der außerordentlich schwierigen Geometrie einen sehr hohen Fertigungsaufwand darstellt. Damit sind gleichermaßen der Anzahl der Gitterelemente technologische Grenzen gesetzt. Eine Verbesserung wurde in DE-AS 2210681 durch Verwendung eines mehrfarbigen Rasters, bestehend aus rechteckförmigen, sich berührenden Mustern mit vier dreieckförmigen Flächen in fotoelektrisch voneinander unterscheidbaren Farben. Dem Raster sind über chromatische Teiler vier fotoelektrische Empfänger nachgeordnet, welche bei einer relativen Bewegung des

Objektbildes zum Raster jeweils paarweise zueinander im Gegentakt befindliche Signale liefern. Über chromatische Teiler wird sicher gestellt, daß die fotoelektrischen Empfänger tatsächlich nur Lichteinflüsse erhalten, die der ihnen zugeordneten Farbe entsprechen. Damit ist das vorgestellte Verfahren nachteiligerweise nur anwendbar bei der Messung von Objekten, die keine wellenlängenbegrenzten Streu- oder Emissionsspektren haben. Die Frage nach der technologischen Realisierbarkeit steht in abgeschwächter Form jedoch immer noch. In DE-OS 2256885 werden hier unter Einbeziehung von DE-PS 2209667 und DE-PS 2237564 Aussagen zur Ausführungsform des verwendeten Sensors gemacht. Durch Beobachten von Objekten in der Geradeausfahrt bei der Existenz einer seitlichen Relativbewegung wird die zugehörige Winkelgeschwindigkeit über das Auswandern des Bildes bestimmt. Dabei sind die Bedingungen unendliche Fokus, große Objektentfernung zwischen Sensor und Objektort nachteilig und der Einsatz auf anderen Gebieten stark eingeschränkt. Aufgrund der hohen Richtungsselektivität der gekreuzten Sensorzeilen ist eine echte zweidimensionale Geschwindigkeitsmessung nicht möglich, vielmehr handelt es sich hier um eine Zweirichtungsmessung, bei der eine exakte Ausrichtung der Sensorbestandteile Voraussetzung ist. In DE-PS 2450439 wird erstmalig der Gedanke dargelegt, Gitter und Wandler zu einem einzigen flächigen opto-elektronischen Wandler zu vereinen, der abwechselnd lichtempfindliche und lichtunempfindliche Streifen aufweist. Durch die Möglichkeit auf die einzelnen lichtempfindlichen Streifen zuzugreifen, können getrennt die Summen der geradzahigen bzw. ungeradzahigen Ausgangssignale zur Realisierung eines Differenzgitters gebildet werden. Der optoelektronische Wandler weist weiterhin eine zweidimensionale Struktur auf. Nachteiligerweise erfordert diese Lösung die Anfertigung eines speziellen Sensors, der einen Direktzugriff auf jedes Zeilen- und Spaltenelement besitzen muß, welches derzeit erhebliche technisch-technologische Probleme mit sich bringt. Ein Gitter, dessen Rasterstrukturen den Fluchtlinien einer Zentralperspektive folgen, wird in der Patentschrift DE-PS 2601642 vorgeschlagen. Es soll damit eine einfache Unterscheidung von Relativbewegungen im Bild in längsperspektivisch und querspektivisch vorgenommen werden. Hierbei ist allerdings eine Signalanalyse notwendig, die bei wechselnden optischen Eigenschaften der Meßobjekte schnell einen unzumutbaren Auswerteaufwand erreicht bzw. ganz versagt. Eine andere Version der Realisierung der Differenzgitterfunktion auf optischem Wege wird im Patent DE-PS 3002547 vorgestellt. Das optische System besteht aus einem durchsichtigem Körper mit integriertem optischen Linsensystem. Dieser Körper weist eine Vielzahl optischer Facetten auf, die paarweise im Bogen am Ort des Brennpunktes der Lichtstrahlen angeordnet sind. Die beiden Facetten jedes Facettenpaares, die durch die verspiegelte und entsprechend strukturierte Oberfläche des durchsichtigen Körpers gebildet werden, reflektieren dabei das Licht jeweils auf einen zugehörigen Wandler, wobei die Wandler innerhalb des optischen Körpers symmetrisch zur optischen Achse des Linsensystems angeordnet sind. Der Vorteil dieser Erfindung besteht in der relativ kompakten Bauweise und der relativen mechanischen Unempfindlichkeit gegenüber Stößen und Erschütterungen, zumal keine Justierung der Einzelelemente notwendig wird. Nachteilig ist aber wiederum der hohe Fertigungsaufwand einer solchen Anordnung, deren Einsatz nur in vorher genau definierten Spezialgeräten mit konstanten Einsatzparametern möglich ist.

Der Aufbau eines faseroptischen Ortsfrequenzfilters wird in der DE-OS 3826113 beschrieben. Hierbei wird das Meßvolumen durch eine Beleuchtungslichtleitfaser ausgeleuchtet. Auf der entgegengesetzten Seite des Meßvolumens befinden sich in Übereinstimmung mit der optischen Achse der Beleuchtungslichtleitfaser die gitterartig angeordneten Empfängerlichtleitfasern, die alternierend zu Bündeln zusammengefaßt wurden. Dabei ist für jede Bewegungskordinate ein separates faseroptisches Gitter vorgesehen. Der Vorteil dieser Lösung liegt in der komponentenweisen Trennung der Ausgangssignale, deren bisherige elektronische Trennung durch Mehrdeutigkeiten fehlerhaft war. Allerdings ist die technologische Beherrschung der Realisierung derartiger Fasersensoren mit einer hohen Konstanz der Gitterabstände nachteilig in Frage gestellt. Eine diesbezüglich interessante Lösung ist die im DD-WP 255726 vorgestellte Verwendung einer CCD-Zeile als gitterartig strukturierter fotoelektrischer Empfänger. Hierbei sind Gitter und Fotoempfänger in einem Bauelement vereinigt. Eine spezielle Beschaltung, die die Summation der alternierenden Elemente in getrennten Transportschieberegistern und die anschließende Differenzbildung realisiert, ermöglicht eine Differenzgitterfunktion. Nachteilig ist die durch Elementanzahl und Elementeabmaße bedingte hohe Richtungsselektivität, die eine aufwendige Justage erfordert und bei zufälliger oder a priori nicht bekannter Bewegungsrichtung eine Messung praktisch ausschließt.

Eine Vorrichtung zum berührungslosen Erfassen von Bewegungsgrößen eines bewegten Objektes ist nach CH 665910 bekannt. Es handelt sich hierbei um ein zweidimensional arbeitendes System. Als Wandler sind Photodioden eingesetzt worden, die in einer quadratischen Matrix angeordnet sind. Durch den direkten Zugriff auf jedes einzelne Element ist eine parallele Auswertung der detektierten Bewegung in vertikaler und horizontaler Richtung analog DE-PS 2450439 gegeben. Eine Differenzgitterfunktion wird schaltungstechnisch realisiert. Die Bestimmung der Bewegungsrichtung erfolgt über eine Analyse der Phasenlage des empfangenen Signals. Dazu werden die Photoempfänger jeweils zu Gruppen von vier Elementen zusammengefaßt. Nachteilig bei dieser Lösung ist der große technologische Aufwand bei der Herstellung der Photodiodenmatrix, da geringe Abweichungen bei der Realisierung der Gitterkonstanten schon eine erhebliche Verfälschung des Meßergebnisses nach sich ziehen. Weiterhin steigt der schaltungstechnische Aufwand annähernd quadratisch mit der Dimension der Diodenmatrix.

In DE-OS 3711918 wird eine Schaltungsanordnung zur automatischen Verfolgung von Teilchen vorgestellt, die eine Bestimmung deren Geschwindigkeit gestattet. Dabei werden aus dem Bildfeld einer Aufnahmeeinrichtung jeweils zwei Bildstreifen ausgewählt, die ein Bildfenster der Gestalt ergeben, daß nur ein Einzelteilchen erfaßt wird. Das Bild wird mittels Schwellwertverfahren binarisiert und die Teilchenposition als Bildadresse abgelegt. Im Bildfenster darf sich nachteiliger Weise nur ein Teilchen befinden, da sonst eine Zuordnung von Teilchen und Teilchenposition über mehrere Bilder nicht möglich ist. Aus den ermittelten Teilchenpositionen wird dann von einem Computer die zugehörige Geschwindigkeit berechnet. Überdeckt das Teilchen eine größere Anzahl von Bildpunkten, so ist die vorgestellte Schaltung nicht in der Lage, einen eindeutigen Positionswert (z. B. in Form eines Flächenschwerpunktes) zu ermitteln. Bei nicht orthogonal einlaufenden Teilchen von a priori nicht bekannter Gestalt, ist ein Fehler in der Geschwindigkeitsmessung die Folge. Weiterhin nachteilig ist die resultierende Beschränkung auf geringe Teilchenkonzentrationen in der Strömung. Eine Erhöhung der Teilchenkonzentration führt verfahrensbedingt automatisch zu einer Verkleinerung des Bildfensters, dessen reduzierte Bildauflösung den Fehler der Geschwindigkeitsmessung auf ein unzumutbares Maß erhöht. Die Tatsache, daß hohe Geschwindigkeiten bei konstanten Bildfrequenzen (entsprechend der Fernsehnorm) längere Verfolgungswege erfordern, wird nicht berücksichtigt. Damit ist dieses System für die Mehrzahl existierender Problemfälle zur Ermittlung von Objekt- oder Teilchengeschwindigkeiten nicht einsetzbar. Gleichfalls ist das System für Geschwindigkeitsmessungen an kontinuierlichen Oberflächen (Papierbahnen, Stoff, Walzstahl) gänzlich ungeeignet.

## Ziel der Erfindung

Ziel der Erfindung ist, die Sensorköpfe bekannter Ortsfilter-Anemometer zu verbessern, um mit kommerziellen Bildsensoren und elektronisch veränderlichen Gitterdimensionierungen eine, hinsichtlich Objektstrukturierung und Bewegungsrichtung universell einsetzbare Geschwindigkeitsmeßtechnik bereitzustellen.

## Darlegung des Wesens der Erfindung

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung auf der Basis flächenabtastender Sensoren zu entwickeln, das die Realisierung von Sensorköpfen für Ortsfilter-Anemometer wesentlich vereinfacht, eine Anpassung des Gitters auf das Meßobjekt zuläßt und eine Messung der Geschwindigkeit nach Betrag und Richtung mit variierbarer Richtcharakteristik ermöglicht.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß das Bildfeld einer TV-Kamera in  $N_{Ex}$  horizontale streifenförmige, bzw.  $N_{Ey}$  vertikale streifenförmige Teilbildelemente aufgeteilt ist, wobei die einzelnen streifenförmigen Teilbildelemente untereinander einen Versatz von  $d_y$  für die vertikalen Streifen und  $d_x$  für die horizontalen Streifen aufweisen. Dabei wird ein Differenzgitter derart realisiert, daß die Bildpunkte innerhalb der geraden Teilbildelemente mit +1 bzw. innerhalb der ungeraden Teilbildelemente mit -1 bewertet werden und die Bildpunkte außerhalb der Teilbildelemente unberücksichtigt bleiben. Die gewünschte der Richtungsauflösung und der Filtergüte wird durch Variation der Elementlänge bzw. der Elementbreite und -anzahl erreicht.

Eine zweidimensionale Geschwindigkeitsmessung erfolgt mittels elektronischer Schwenkung der Gitterachse um die Vertikal- bzw. Horizontalachse durch Veränderung des Versatzes  $d_x$  bzw.  $d_y$ , wobei ein Winkel von  $\beta_x = \arctan d_x/g_y$  bzw.  $\beta_y = \arctan d_y/g_x$  einstellbar ist.

Bei fester Einstellung des Winkels  $\beta_x$  und  $\beta_y$  erfolgt eine alternierende Umschaltung von horizontalem auf vertikales Streifenmuster, so daß nacheinander aus der Detektion von  $v(\beta_x)$  und  $v(\beta_y)$  eine Umrechnung auf die Komponenten  $v_x$  bzw.  $v_y$  vorgenommen wird. Eine bessere Dämpfung der Oberwellen im Filterausgangssignal wird erreicht, indem bei der Dimensionierung des Streifenmusters ein Verhältnis Elementbreite D zu Gitterkonstante g von  $D/g = 1/3$  gewählt wird.

## Ausführungsbeispiel

Die Erfindung soll nachfolgend an einem Beispiel erläutert werden. Darin zeigen

- Fig. 1: Bildfeld einer TV-Kamera
- Fig. 2 a: Aufteilung des Bildfeldes in vertikale streifenförmige Teilbildelemente ohne vertikalen Versatz
- Fig. 2 b: Aufteilung des Bildfeldes in vertikale streifenförmige Teilbildelemente mit einem vertikalen Versatz von  $d_y$
- Fig. 3 a: Aufteilung des Bildfeldes in horizontale streifenförmige Teilbildelemente ohne horizontalen Versatz
- Fig. 3 b: Aufteilung des Bildfeldes in horizontale streifenförmige Teilbildelemente mit einem horizontalen Versatz von  $d_x$
- Fig. 4 a, 4 b: Darstellung der Schwenkung der Gitterachse  $A_x$  um die Horizontalachse des Bildfeldes
- Fig. 5 a: Lage der Teilbildelemente für eine 2-Komponenten-Geschwindigkeitsmessung
- Fig. 5 b: Lage der Teilbildelemente für eine 2-Komponenten-Geschwindigkeitsmessung mit veränderter Gitterelementzahl und Elementlänge.

Entsprechend dem Ausführungsbeispiel beinhaltet die erfindungsgemäße Lösung das Verfahren zur berührungslosen Geschwindigkeitsmessung auf der Basis flächenabtastender Sensoren, die Aufteilung des Bildfeldes einer TV-Kamera in Teilbildelemente. Dabei wird bekanntlich die Sensorfläche Zeile für Zeile abgetastet, wobei jede der M Zeile wiederum aus einer Anzahl N Bildpunkte besteht (Fig. 1). Die Geschwindigkeitsmessung nach dem Ortsfilterverfahren verlangt den Einsatz gitterartig strukturierter Sensoren. Da diese technologisch bisher nur sehr aufwendig herstellbar waren, wird erfindungsgemäß die Sensorfläche einer TV-Kamera virtuell in  $N_{Ex}$  vertikale streifenförmige Teilbildelemente aufgeteilt. Man erhält dadurch einen Gittersensor, dessen Gitterachse in x-Richtung orientiert ist (Fig. 2 a). Durch einen vertikalen Versatz um  $d_y$  erreicht man eine Richtungsänderung der Gitterachse. Die virtuellen Teilbildelemente umfassen alle Bildpunkte der gekennzeichneten Sensorfläche. Die jeweilige Anzahl der Bildpunkte richtet sich nach der örtlichen Auflösung des Sensors bzw. der Rasterung der nachgeschalteten Elektronik. Bewertet man nun benachbarte Teilelemente alternierend, d. h. die geraden Teilbildelemente mit +1 und die ungeraden Teilbildelemente mit -1, so erhält man ein Differenzgitter. Bekanntlich haben Differenzgitter den Vorteil, Gleichsignalanteile zu unterdrücken, die z. B. durch Beleuchtungsschwankungen oder Fremdlicht hervorgerufen werden können. Einen Gittersensor mit Orientierung der Gitterachse in y-Richtung erhält man durch eine ähnliche Vorgehensweise. Im Gegensatz zum oben beschriebenen Gitter ist das Bildfeld nun in  $N_{Ey}$  horizontale streifenförmige Teilbildelemente aufgeteilt (Fig. 3 a). Dabei kann die Richtung der Gitterachse durch Einführung eines horizontalen Versatzes  $d_x$  zwischen den Teilbildelementen geändert werden. Hierzu sind ebenfalls keine Veränderungen am Sensor notwendig. Bei a priori nicht bekannter Bewegungsrichtung ist eine feste Detektionsrichtung des Ortsfiltersensors nachteilig. Ein Schwenken des Sensors mittels mechanischer Verstellelemente ist ebenfalls sehr aufwendig. Die erfindungsgemäße Lösung sieht hier eine elektronische Schwenkung der Gitterachse zur Veränderung der Detektionsrichtung vor. Der Winkel  $\beta$  zwischen Sensorachse und Gitterachse läßt sich durch Veränderung des Versatzes  $d_x$  bzw.  $d_y$  variieren und beträgt

$$\beta_x = \arctan \frac{d_y}{g_x} \quad \text{bzw.} \quad \beta_y = \arctan \frac{d_x}{g_y}, \quad (1)$$

wobei die Winkelauflösung durch die Rasterung des Versatzes und die Wahl der Gitterkonstante bestimmt wird. Durch den Einsatz zunehmend hochauflösender Flächensensoren verbessert sich der Dimensionierungsbereich der vorgestellten Gittersensoren, deren Eigenschaften bekanntlich durch die Wahl der Gitterkonstante, der Elementanzahl, -breite und -länge bestimmt werden. Für Gitterrealisierungen mit dem Verhältnis Elementbreite  $D$  zu Gitterkonstante  $g$  zu  $D/g = 1/3$  ergibt sich die beste Unterdrückung der Oberwellen im Ausgangssignalspektrum. Je nach Anwendungsfall ist eine mehr oder weniger starke Richtungsselektivität erforderlich. Dies wird erfindungsgemäß durch Veränderung der Länge der Teilbildelemente erreicht (Fig. 5 a, b). Dabei soll gleichzeitig gezeigt werden, wie mit demselben Sensor die Geschwindigkeit in zwei Komponenten gemessen wird. Fig. 5 a zeigt zwei orthogonal angeordnete Gitter hoher Richtungsselektivität. Eine reduzierte Richtungsselektivität wurde in Fig. 5 b durch Verlängerung der Gitterelemente erreicht. Um Unsymmetrien im Gitteraufbau zu vermeiden, mußte in diesem Fall die Anzahl der Gitterelemente verringert werden. Die größere integrale Fläche führt jedoch zur Leistungsverbesserung hinsichtlich der Dynamik des Ortsfiltersensors. Die jeweilig resultierenden orthogonalen Gitterkonstanten  $g_x$  und  $g_y$  berechnen sich zu

$$g_x = \sqrt{(g_{x1})^2 + d_{y1}^2} \quad \text{bzw.} \quad g_y = \sqrt{(g_{y1})^2 + d_{x2}^2} \quad (2)$$

Bei rechteckförmiger Sensorfläche ist eine Formatreduzierung auf eine quadratische Grundfläche, die eine Verschlechterung der Dynamik des Ortsfiltersensors nach sich zieht, nicht nötig. Es werden jetzt mit  $v_x^*$  und  $v_y^*$  nicht orthogonal zueinander liegende Geschwindigkeitskomponenten gemessen, die aber jederzeit in die orthogonalen Komponenten umgerechnet werden können. Gibt man mit  $x_p$  und  $y_p$  den Abstand der Pixel in x- und y-Richtung und mit  $M$  bzw.  $N$  die zugehörige Pixelanzahl des Sensors an, so läßt sich die Winkelauflösung für die Schwenkung der Gitterachse

$$\text{delta } \beta_x = \text{arc tan } \frac{y_p}{g_x} \quad (3)$$

bei einem maximalen Schwenkungswinkel

$$\text{von } \beta_{x\text{max}} = \text{arc tan } \frac{d_{y\text{max}}}{g_x} \quad (4)$$

$$\text{mit } d_{y\text{max}} = \frac{M y_p - N_y y_p}{N_E} \quad (5)$$

bestimmen.

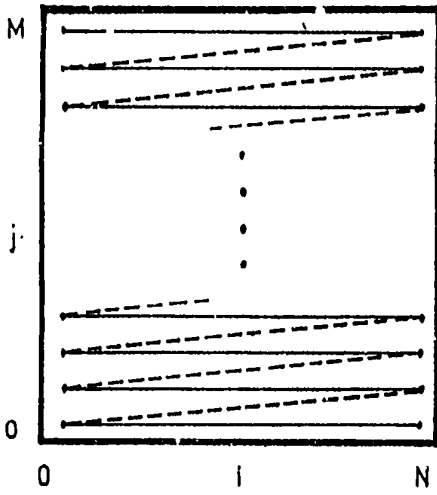
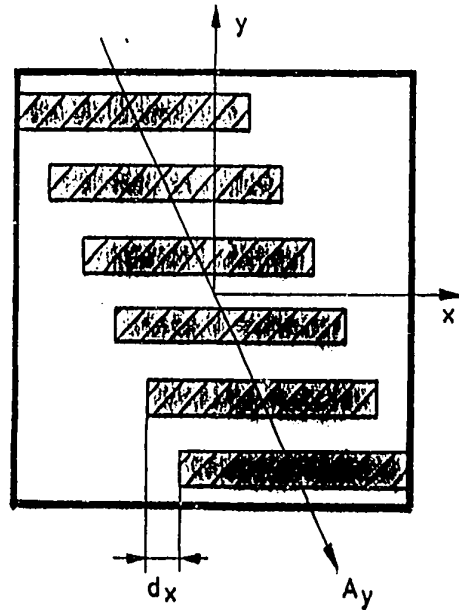
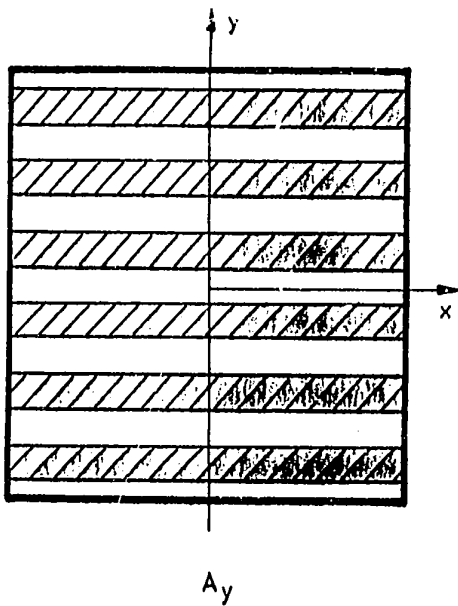
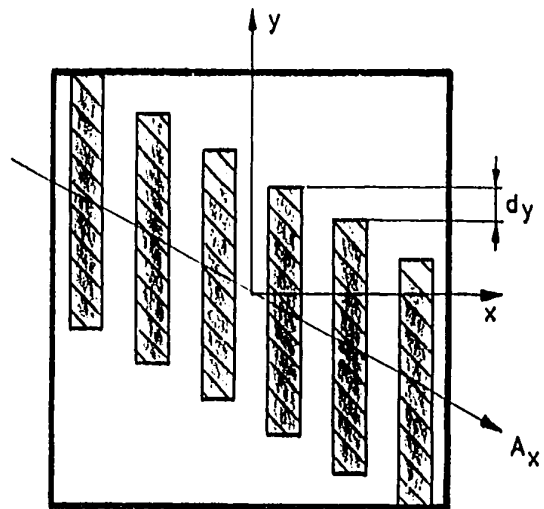
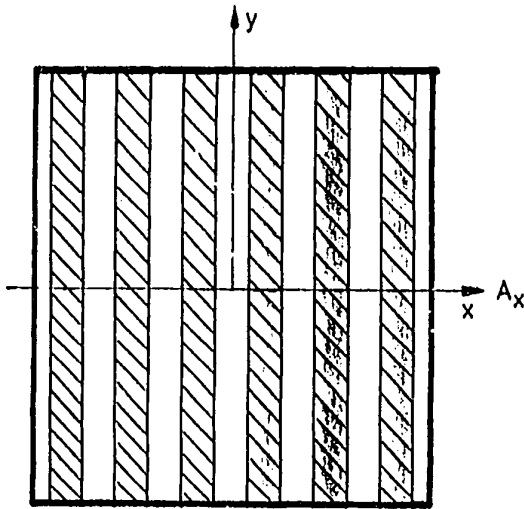


Fig. 1

Fig. 2a	2b
Fig. 3a	3b



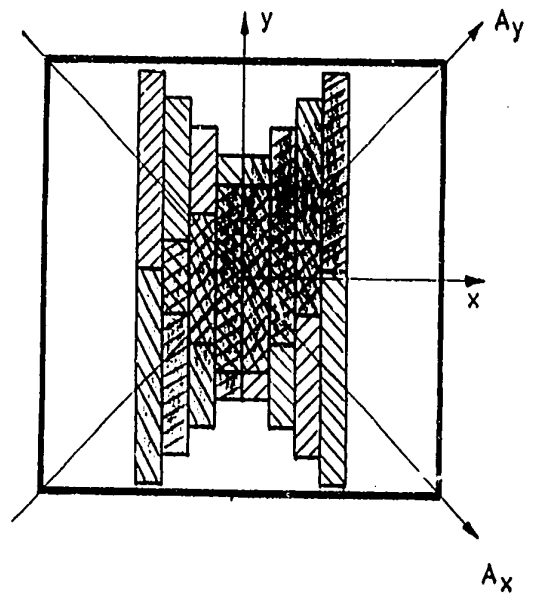
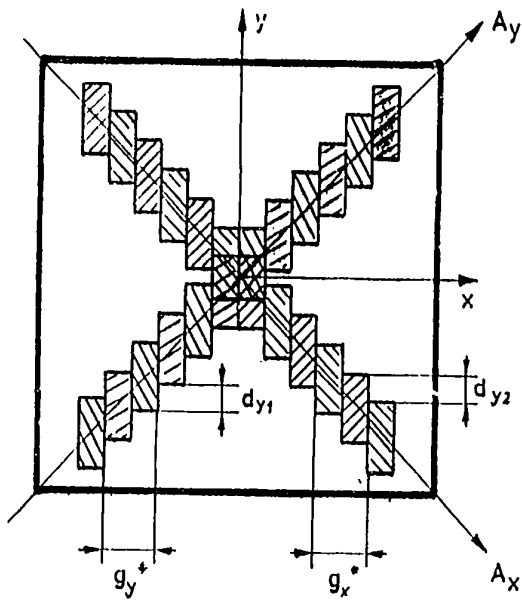
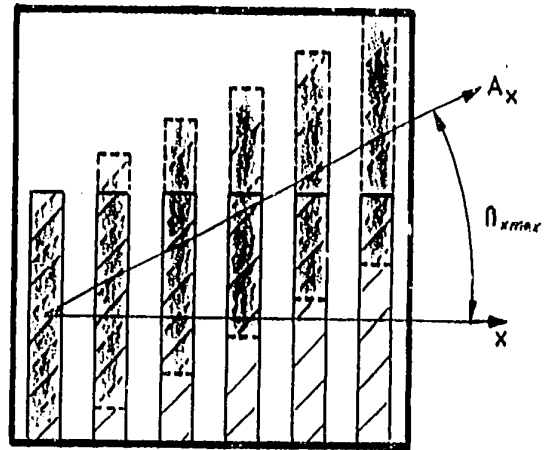
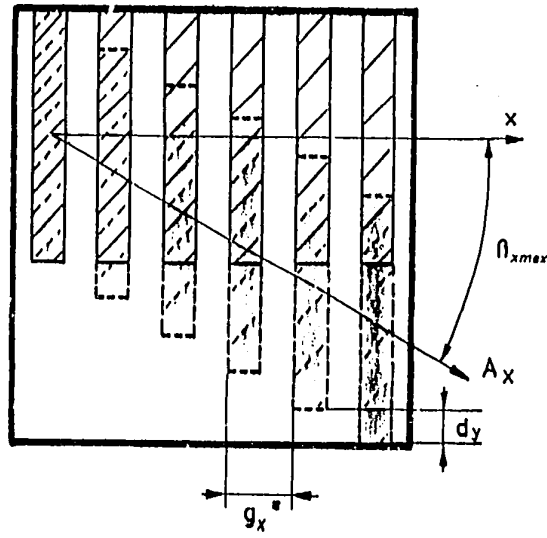


Fig. 4a	4b
Fig. 5a	5b