



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 697 36 549 T2** 2007.08.23

(12) **Übersetzung der europäischen Patentschrift**

(97) **EP 0 883 860 B1**

(21) Deutsches Aktenzeichen: **697 36 549.2**

(86) PCT-Aktenzeichen: **PCT/US97/03241**

(96) Europäisches Aktenzeichen: **97 907 971.2**

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: **WO 1997/032277**

(86) PCT-Anmeldetag: **27.02.1997**

(87) Veröffentlichungstag  
der PCT-Anmeldung: **04.09.1997**

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: **16.12.1998**

(97) Veröffentlichungstag  
der Patenterteilung beim EPA: **23.08.2006**

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: **23.08.2007**

(51) Int Cl.<sup>8</sup>: **G06K 9/32 (2006.01)**

**G06K 9/00 (2006.01)**

**G06K 9/40 (2006.01)**

**G06T 11/00 (2006.01)**

(30) Unionspriorität:

**12578 P**                      **29.02.1996**      **US**

**621561**                      **25.03.1996**      **US**

(73) Patentinhaber:

**Acuson Corp., Mountain View, Calif., US**

(74) Vertreter:

**Berg, P., Dipl.-Ing., Pat.-Ass., 80339 München**

(84) Benannte Vertragsstaaten:

**DE, GB, NL**

(72) Erfinder:

**HOSSACK, A., John, Palo Alto, CA 94301, US;**

**SLIWA, W., John, Los Altos, CA 94024, US;**

**MASLAK, H., Samuel, Woodside, CA 94062, US;**

**GARDNER, A., Edward, San Jose, CA 95132, US;**

**HOLLEY, L., Gregory, Mountain View, CA 94043,**

**US**

(54) Bezeichnung: **SYSTEM, VERFAHREN UND WANDLER ZUM AUSRICHTEN MEHRERER ULTRASCHALLBILDER**

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**

## Hintergrund der Erfindung

**[0001]** Diese Erfindung betrifft ein verbessertes System, Verfahren und Aufnehmer zum Aufnehmen zweidimensionaler Bildinformation und relativer Positionsinformation betreffend die Bildinformation, um eine nachfolgende dreidimensionale Rekonstruktion oder Rekonstruktion mit erweitertem Gesichtsfeld zu ermöglichen.

**[0002]** Es gibt ein wachsendes Interesse an dreidimensionalen Ultraschallbildern. Ein Ansatz ist es, ein zweidimensionales Aufnehmerarray zu verwenden, um dreidimensionale Bildinformation direkt zu erhalten. Ein zweidimensionales Array kann verwendet werden, um elektronisch jede beliebige gewünschte Orientierung abzutasten, und dadurch die gewünschte Information aufzunehmen. Dieser Ansatz bringt beträchtliche Probleme hinsichtlich Herstellungsschwierigkeiten, Schwierigkeiten hinsichtlich des Signal-zu-Rauschen-Verhältnisses und Verarbeitungsschwierigkeiten mit sich.

**[0003]** Ein anderer Ansatz ist es, mehrfache zweidimensionale Bilddatenframes unter Verwendung eines eindimensionalen Aufnehmerarrays zusammen mit relativer Positionsinformation unter den Bilddatenframes zu sammeln, so dass diese Frames nachfolgend in einem dreidimensionalen Volumen zusammengesetzt werden, um die gewünschte dreidimensionale Rekonstruktion zu bilden. Ein Ansatz ist es, ein motorisiertes Array zu verwenden, um den gewünschten Satz von Bilddatenframes durch präzise Steuerung/Regelung der Bewegung des Aufnehmerarrays zu sammeln. Ein Beispiel ist der in der U.S. 5,562,096 gezeigte Aufnehmer. Siehe auch Pini, U.S. Patent Nr. 5,159,931. Ein hiermit in Zusammenhang stehender Ansatz ist es, einen großen sich drehenden Aufnehmer zu verwenden, wie in MacCann et al., „Multidimensional Ultrasonic Imaging for Cardiology“ (Tätigkeitsberichte der IEEE, 76, 9, Seiten 1063–1072, Sept. 1988) beschrieben ist. Ein anderer Ansatz ist es, manuelle Bewegungserfassungstechniken auf Grundlage von Analysen von Ultraschallbildern zu verwenden. Siehe Sapoznikov et al., „Left Ventricula Shape, Wall Thickness and Function Based on Three-Dimensional Reconstruction Echocardiography“ („Computers in Cardiology“, IEEE Computer Society Press, Cat. CH 2476-0, Seiten 495–498, 1987) und Taruma et al., „Three-Dimensional Reconstruction of Echocardiograms Based on Orthogonal Sections“ (Pattern Recognition, 18, 2, Seiten 115–124, 1985). Manuelle Techniken sind langsam und mühsam und haben daher sehr viele Nachteile.

**[0004]** Schwartz U.S. Patent 5,474,073 beschreibt ein qualitatives dreidimensionales Verfahren unter Verwendung eines tragbaren Transducerarrays und einer angenommenen Abtastbewegung. Qualitative Verfahren besitzen Nachteile, und die vorliegende Erfindung ist auf ein quantitatives Verfahren gerichtet.

**[0005]** Keller U.S. Patent 5,353,354 offenbart ein mit Beschleunigungssensoren oder magnetischen Sensoren, welche zur Messung der Orientierung des Aufnehmers entworfen sind, ausgestattetes Aufnehmerarray und daher eine Relativbewegung zwischen jeweiligen Bildebenen. Sobald die Positionsinformation der Bildebene bereitgestellt ist, werden Standardverfahren eingesetzt, um die Bildebeneninformation in ein dreidimensionales Volumen zusammensetzen und eine geeignete Anzeige, etwa einen Querschnitt, ein Flächenrendering, eine Segmentierung oder dergleichen bereitzustellen. Ein Nachteil des Ansatzes von Keller ist es, dass er auf einer Bewertung der Position des Aufnehmerarrays bezüglich einer festen Fläche außerhalb des Patienten, nicht bezüglich des Patienten oder eines anderen Ziels, beruht. Wenn der Patient sich bewegt, wird die absolute Position aller Zielbereiche bewegt und die Genauigkeit der dreidimensionalen Rekonstruktion verschlechtert sich oder die verschwindet insgesamt. Magnetsensoren besitzen weitere Nachteile, etwa eine potentielle Anfälligkeit gegenüber lokaler magnetischer Interferenz von Metallobjekten und durch elektronische Vorrichtungen, etwa Kathodenstrahlröhren, verursachten elektromagnetischen Feldern. Beschleunigungssysteme können voluminös und anfällig für kumulative Fehler sein, da sie auf zwei Integrationsstufen beruhen, um Beschleunigungsinformationen in Verlagerungsinformationen umzuwandeln.

**[0006]** Die vorliegende Erfindung ist auf ein neues System und einen neuen Aufnehmer gerichtet, welche in einem großen Maß diese oben diskutierten Probleme überwinden können.

## Zusammenfassung der Erfindung

**[0007]** Gemäß der vorliegenden Erfindung wird ein Ultraschallaufnehmer bereitgestellt, wie er in Anspruch 1 definiert ist.

**[0008]** Diese Anordnung für einen Ultraschallaufnehmer ermöglicht es, dass sowohl Spurführungsinformation als auch Bildinformation gemeinsam gesammelt werden kann. Die Spurführungsinformation wird zur Bestim-

mung von Abschätzungen der Bewegung des Aufnehmers und/oder des Ziels zwischen jeweiligen Bilddatenframes verwendet. Diese Information kann beim Registrieren des jeweiligen Bilddatenframes in geeigneter Weise in drei Dimensionen verwendet werden, um die gewünschte dreidimensionale Repräsentierung zu bilden.

[0009] Weitere Aspekte und Vorteile der Erfindung werden im folgenden im Zusammenhang mit den bevorzugten Ausführungsformen diskutiert.

#### Kurze Beschreibung der Zeichnungen

[0010] [Fig. 1](#) ist ein Blockdiagramm eines Ultraschall-Bilderzeugungssystems, welches eine gegenwärtig bevorzugte Ausführungsform dieser Erfindung enthält.

[0011] [Fig. 2](#) ist eine schematische Perspektivansicht des Aufnehmers von [Fig. 1](#).

[0012] [Fig. 3](#) ist eine schematische Seitenansicht des Aufnehmers von [Fig. 2](#).

[0013] [Fig. 4](#) ist eine schematische Planansicht des Aufnehmers von [Fig. 2](#).

[0014] [Fig. 5](#) ist eine schematische Ansicht eines Abschnitts des Systems von [Fig. 1](#).

[0015] [Fig. 6](#) ist eine schematische Perspektivansicht, die die Bewegung von Bildbereichen zeigt, wenn der Aufnehmer von [Fig. 2](#) um die Azimuthalachse gedreht wird.

[0016] [Fig. 7](#), [Fig. 8](#), [Fig. 9](#) und [Fig. 10](#) sind schematische Ansichten, die mit dem Aufnehmer von [Fig. 6](#) aufgenommene Bilder in vier Drehstellungen des Aufnehmers zeigen.

[0017] [Fig. 11](#) ist eine schematische Perspektivansicht, die die Betriebsweise des Aufnehmers von [Fig. 2](#) zeigt.

[0018] [Fig. 12](#) ist eine schematische Planansicht eines Nachführbildbereichs, der bei dem System von [Fig. 1](#) erzeugt wurde.

[0019] [Fig. 13](#) ist eine schematische Ansicht, die das Mitteln von Abschätzungen der Bewegung in dem System von [Fig. 1](#) zeigt.

[0020] [Fig. 14](#) ist eine schematische Ansicht, die zeigt, wie die Hauptbewegung eines abgebildeten Organs in dem System von [Fig. 1](#) erkannt und ignoriert werden kann.

[0021] [Fig. 15](#) ist eine schematische Ansicht, die die Bewegung des Ziels unter Akustiklinien zeigt, wenn der Aufnehmer von [Fig. 2](#) um die Azimuthalachse gedreht wird.

[0022] [Fig. 16](#) ist eine andere Ansicht der Rohakustikliniendaten von [Fig. 15](#).

[0023] [Fig. 17](#), [Fig. 18](#) und [Fig. 19](#) sind drei schematische Perspektivansichten, die die Art und Weise zeigen, in der mehrere Bilddatenframes relativ zueinander in drei Dimensionen registriert werden können, um eine dreidimensionale Wiedergabe zu bilden.

[0024] [Fig. 20](#) ist eine Ansicht eines durch das System von [Fig. 1](#) erzeugten Displays.

[0025] [Fig. 21](#) ist eine schematische Ansicht einer modifizierten Version des Aufnehmers von [Fig. 1](#).

[0026] [Fig. 22](#) ist eine schematische Ansicht eines alternativen Ultraschall-Bilderzeugungssystems.

[0027] [Fig. 23](#) bis [Fig. 26](#) sind Planansichten von Aufnehmern, die gekreuzte Arrays verwenden, welche zur Verwendung in ausgewählten Ausführungsformen dieser Erfindung geeignet sind.

[0028] [Fig. 27](#) und [Fig. 27a](#) bis [Fig. 27e](#) sind Planansichten von alternativen Aufnehmern, die zur Verwendung in ausgewählten Ausführungsformen dieser Erfindung geeignet sind.

[0029] [Fig. 28](#) und [Fig. 29](#) sind Planansichten von anderen Aufnehmern, die zur Verwendung in ausgewählten Ausführungsformen dieser Erfindung geeignet sind.

[0030] [Fig. 30](#) ist ein Blockdiagramm eines Ultraschallbilderzeugungssystems, welches eine bevorzugte Ausführungsform dieser Erfindung enthält.

[0031] [Fig. 31](#) und [Fig. 32](#) sind Flussdiagramme von Routinen, die durch das Bilderzeugungssystem von [Fig. 30](#) durchgeführt werden.

[0032] [Fig. 33](#) ist ein schematisches Diagramm, welches eine Betriebsweise einer alternativen Ausführungsform zeigt.

[0033] [Fig. 34](#) bis [Fig. 37](#) sind Graphen, welche die Betriebsweise eines in einer alternativen Form dieser Erfindung enthaltenen Fuzzylogiksystems zeigen.

[0034] [Fig. 38](#) ist ein Diagramm, das die Art und Weise zeigt, in der zwei Frames gewichtet werden können, um ein erweitertes Gesichtsfeld zu bilden.

[0035] [Fig. 39](#) und [Fig. 40](#) sind schematische Ansichten, die ein Einzelblock-Bewegungsabschätzungssystem betreffen.

#### Detaillierte Beschreibung der gegenwärtig bevorzugten Ausführungsformen

[0036] Erneut Bezug nehmend auf die Zeichnungen ist [Fig. 1](#) ein Blockdiagramm eines Ultraschallbilderzeugungssystems **10**, welches eine gegenwärtig bevorzugte Ausführungsform dieser Erfindung enthält. Die folgende Diskussion stellt zunächst einen Systemüberblick und danach eine detaillierte Beschreibung ausgewählter Komponenten des Systems vor.

#### Systemüberblick

[0037] Das System **10** umfasst ein Strahlbildungssystem/Signal-detektor **12**, welches sowohl Sende- als auch Empfangsstrahlformer enthält und über einen Multiplexer/Demultiplexer **14** mit einem Ultraschallaufnehmer **16** verbunden ist. Jede geeignete Einrichtung, einschließlich herkömmlicher Einrichtungen, kann ohne weiteres zur Verwendung als die Elemente **12**, **14** ausgelegt sein.

[0038] Der Ultraschallaufnehmer **16** wird unten noch genauer in Verbindung mit [Fig. 2](#) bis [Fig. 4](#) beschrieben. Hierbei ist es wichtig, zu beachten, dass der Aufnehmer **16** vorzugsweise drei getrennte Aufnehmerarrays **18**, **20**, **22** enthält. Das Array **18** wird zum Sammeln von Bilddaten verwendet, welche dazu verwendet werden, angezeigte Wiedergaben des Ziels zu konstruieren. Die Arrays **20**, **22** sind kleinere Arrays, die in dieser Ausführungsform in rechten Winkeln zu dem Bilddatenarray **18** orientiert sind, um als Nachführarrays zu arbeiten. Die Nachführarrays **20**, **22** werden in dieser Ausführungsform zur Abschätzung der Bewegung zwischen jeweiligen Bilddatenframes von dem Bilddatenarray verwendet, um es zu ermöglichen, dass die Bilddatenframes zur Konstruktion geeignet registriert werden.

[0039] Das Strahlformersystem/Signal-detektor **12** sendet Anregungssignale an die Arrays **18**, **20** und **22** und führt aufsummierte Rückkehrechos einem Signal-detektor zu. Die Ausgabe des Signal-detektors wird einem Abtastwandler **24** zugeführt. Das Strahlformersystem/Signal-detektor **12** betreibt die Arrays **18**, **20**, **22** in der herkömmlichen Weise als phasengesteuerte Arrays durch geeignete Zeitsteuerung der Anregungssignale, die den Arrays **18**, **20**, **22** zugeführt werden, und durch geeignete Zeitsteuerung und Phasensteuerung der Empfangssignale vor der Summierung. Der Abtastwandler **24** steuert/regelt ein Ausgabedisplay **26** um vorzugsweise drei Bilder anzuzeigen, die durch die drei Arrays **18**, **20**, **22** erzeugt werden, gemeinsam mit Zusatzinformation wie sie später beschrieben wird.

[0040] Zusätzlich wird abtastungsgewandelte Bildinformation von dem Abtastwandler **24** in einem Datenspeichersystem **28** abgespeichert. In dieser Ausführungsform umfasst dieses Datenspeichersystem **28** drei getrennte Speicherarrays, wobei jedes Daten für Bildframes von einem jeweiligen der Arrays **18**, **20**, **22** speichert. Auf diese Weise wird Bildinformation von dem Bilddatenaufnehmerarray **18** als Frames von Bilddaten in dem Speicherarray **30** gespeichert, und Bildinformation von Nachführarrayarrays **20**, **22** wird jeweils als jeweilige Bildframes von Bilddaten in den Speicherarrays **32**, **34** gespeichert. Die Frames von Daten in den Speicherbereichen **30**, **32**, **34** sind alle hinsichtlich der Zeit markiert, so dass sie einander in geeigneter Weise

zugeordnet werden können. Diese Zeitmarkierung kann beispielsweise die Form einer Echtzeittaktinformation oder einer Framenummerinformation haben.

**[0041]** Die Frames von Bilddaten in dem Speicherarray **30** werden auf einen Computer **36** angewendet. Es sind diese Frames, die dazu verwendet werden, die angezeigte Wiedergabe des Ziels zu bilden. Die Nachführbildframes, die in den Speicherarrays **32** und **34** gespeichert sind, sind nicht zur Schaffung einer angezeigten Rekonstruktion des Ziels registriert, sondern werden stattdessen zur Bestimmung der relativen Positionen von einzelnen Frames von Bilddaten von dem Bilddatenspeicherarray **30** verwendet.

**[0042]** Um die Bewegung dieses Ziels zwischen aufeinander folgenden Frames der Bilddaten abzuschätzen, wird die Bildinformation von den Nachführarraydaten-Speicherarrays **32**, **34** einem Bewegungsabschätzer **38** zugeführt. Der Bewegungsabschätzer **38** vergleicht Sequenzen von Bildern von dem Nachführaufnehmerarray **20** und dem Nachführaufnehmerarray **22**, um eine Bewegungskomponente des Aufnehmers **16** zwischen den jeweiligen Frames abzuschätzen. Diese Abschätzung der Bewegungskomponente wird in einer Logik **40** geglättet und dann auf einen Berechner **42** angewendet, der einen Vektorwert berechnet, welcher die beste Abschätzung der Bewegung zwischen ausgewählten Frames der in dem Bilddatenspeicherarray **30** gespeicherten Bilddaten definiert. Dieser wird dann als eine andere Eingabe auf dem Computer **36** angewendet.

**[0043]** In dem System **10** können die Elemente **28** bis **42** derart entworfen sein, dass sie in Echtzeit arbeiten, und die Bewegungsvektoren können in der Ausgabeanzeige **26** wie in Verbindung mit der [Fig. 20](#) diskutiert angezeigt werden. Sobald ein voller Satz von Daten aufgenommen worden ist, können die Bilddatenframes und die Rahmen-zu-Rahmen Translationsvektoren dann zu einem spezialisierten Computer **36** übertragen werden, der entweder mit dem Ultraschall-Bilderzeugungssystem kombiniert sein kann oder extern zu diesem sein kann.

**[0044]** Der Computer **36** registriert ausgewählte Rahmen von Bilddaten von dem Bilddatenspeicherarray **30** jeweils bezüglich einander durch geeignete Verwendung der durch den Berechner **42** bereitgestellten Vektoren. Darüber hinaus wird jede notwendige Interpolation erledigt, und die jeweiligen Rahmen von Bilddaten werden in einer geeigneten Registrierung bezüglich einander in einer dreidimensionalen Datenspeichereinrichtung **44** gespeichert. Bei Betrieb in einem Anzeigemodus kann der Computer **36** geeignete Informationen aus der dreidimensionalen Datenspeichereinheit **44** auswählen, um ein gewünschtes Bild auf der Anzeige **46** bereitzustellen. Beispielsweise können Querschnitte in verschiedenen Ebenen genommen werden, einschließlich einer großen Vielzahl von Ebenen, die nicht den Ebenen der Bilddaten entsprechen. Darüber hinaus können Flächenrenderings und Segmentierungsanzeigen erzeugt werden, wenn dies gewünscht ist.

**[0045]** In einem Betriebsmodus wird der Aufnehmer **16** durch einen Durchlauf unter direkter manueller Steuerung/Regelung einer Bedienungsperson gedreht, und zwar sanft von einer Seite zur anderen Seite um eine einzelne Drehachse, die entlang der azimuthalen Achse auf der Fläche des Bilddatenarrays **18** liegt. Das im Folgenden beschriebene Verfahren kann den Fehlern im Durchlauf Rechnung tragen. Während der dreidimensionalen Rekonstruktion verschlechtert sich die Qualität der Rekonstruktion bemerkenswert als ein Ergebnis eines Positionsfehlers. Das Ergebnis von fehlerhafter Bewegungserfassung ist eher eine Verzeichnung als eine Unschärfe.

#### Der Ultraschallaufnehmer **16**

**[0046]** [Fig. 2](#) bis [Fig. 4](#) stellen drei Ansichten des Ultraschallaufnehmers **16** dar. Wie in [Fig. 4](#) gezeigt ist, umfassend die drei Arrays **18**, **20**, **22** jeweils einen jeweiligen Satz von Aufnehmerelementen **48**, **50**, **52**, die alle auf einem gemeinsamen Trägerelement **53** angebracht sind. Die Aufnehmerelemente **48** sind entlang einer Azimuthalachse A angeordnet und das Bilddaten-Aufnehmerarray **18** definiert ein erstes und ein zweites Ende **54**, **56**.

**[0047]** Nachführarrays **20**, **22** sind jeweils in der Nähe eines jeweiligen der Enden **54**, **56** zentriert auf der Azimuthanachse A angeordnet. Die Aufnehmerelemente **50**, **52** sind entlang der jeweiligen Nachführachsen T1, T2 angeordnet und die Nachführachsen T1, T2 sind in dieser bevorzugten Ausführungsform im wesentlichen rechtwinklig zur Azimuthanachse A. Die Nachführarray **20**, **22** sind jeweils kürzer als das Bilddatenarray **18** und jedes besitzt weniger Aufnehmerelemente **50**, **52**. Jedes der Aufnehmerelemente **48** kann um 1/N mal der Teilung der Aufnehmerelemente **50**, **52** beabstandet sein. Wie in [Fig. 3](#) gezeigt ist, können die Nachführarrays **20**, **22** derart orientiert sein, dass sie nach innen zeigen, und zwar zum Bilddatenarray **18** hin. Alternativ können die Nachführarrays **20**, **22** mit dem Array **18** coplanar sein, um ein bevorzugtes Profil für den Aufnehmer **16** bereitzustellen.

**[0048]** Das Bilddatenarray **18** kann eine herkömmliche Form besitzen, etwa ein ebenes lineares Array mit einer zylindrischen Elevationsfokussierlinse. Alternativ kann das Array im Allgemeinen eben sein, aber die Aufnehmerelemente können in Elevation zum Fokus gekrümmt sein. In diesem Fall kann ein nicht brechendes Füllmaterial, etwa Polyurethan, verwendet werden, da eine Fokussierlinse nicht länger erforderlich ist. Unabhängig davon, ob eine Linse verwendet wird, kann das Bilddatenarray im Azimuth gekrümmt sein, um ein größeres Gesichtsfeld zu erhalten. Die Nachführarrays **20**, **22** umfassen typischerweise eine Linse, um den gewünschten Fokus in Elevation zu erreichen. Da die Krümmungen der verschiedenen Linsen oder Arrays in unterschiedlichen Ebenen liegen, kann ein Abschnitt mit einem nicht brechendem Füllmaterial auf dem Aufnehmer **16** ausgebildet sein, um die bevorzugte sanfte Form zu erreichen. Alternativ können die Nachführarrays **20**, **22** gekrümmt sein, wobei nicht brechende Fenster auf der Oberseite der gewünschten Form ausgebildet sind. Sowohl das Bilddatenarray **18** als auch die Nachführarrays **20**, **22** können als phasengesteuerter Sektor, Vektor<sup>®</sup>, linear oder krummlinig sein. Alle Bilderzeugungsmodi einschließlich B-Modus, Farbdopplermodus, Farbdopplerenergiemodus und dergleichen werden unterstützt. Ein herkömmlicher TEE-Aufnehmer, etwa der biplanare V510B Aufnehmer von Acuson können in einer Zweiaufnehmer-Ausführungsform verwendet werden.

**[0049]** Die in [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) gezeigte Aufnehmergeometrie kann dazu verwendet werden, Bildebenen zu erhalten, wie in [Fig. 2](#) gezeigt ist. Die Bildebene **58** des Bilddatenarrays **18** in dieser Ausführungsform tritt durch die Azimuthalachse A. Mit dem Bilddatenarray **18** gesammelte Bilddaten werden entlang von Abtastlinien **64** in der Bildebene **58** positioniert. Die Bildebenen **60**, **62** jeweils der Aufnehmerarrays **20**, **22** sind quer zu der Bildebene **58** orientiert. Die Bildebene **58**, **60**, **62** sind die zentralen Bildebenen der jeweiligen Arrays, das heißt, die einzige Bildebene für ein 1D Array und die zentrale Ebene (d. h. die nicht in Elevation gelenkte Ebene) für ein 1,5D Array.

**[0050]** Aus Gründen der Vereinfachung können die Nachführarrays **20**, **22** Teilungsabstände der Aufnehmerelemente haben, die zu denjenigen identisch sind, die durch das Bilddatenarray **18** verwendet werden. Dieser Ansatz ermöglicht es, dass dieselben Strahlformerverzögerungen für alle drei Arrays **18**, **20**, **22** verwendet werden. Es sind jedoch in vielen Anwendungen die Nachführarrays **20**, **22** dazu ausgebildet, relativ weniger Akustiklinien zu bilden. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn die Bewegungserfassung in der Nähe der Mittellinie der Bildebenen **60**, **62** konzentriert ist. Wenn lediglich ein schmales Gesichtsfeld für die Nachführarrays **20**, **22** erforderlich ist, kann der Nachführarray-Teilungsabstand grober sein, beispielsweise zweimal der Teilungsabstand des Bilddatenarrays **18**.

**[0051]** Durch Einrichten der Nachführarrayteilung als ein ganzzeitiges Vielfaches der Bilddatenarrayteilung können dieselben Strahlformungsverzögerungen verwendet werden, wobei jedoch die geeigneten Kanäle getrennt sind, wie in [Fig. 5](#) gezeigt ist. In [Fig. 5](#) ist die Elemente-zu-Elementeteilung des Nachführarrays zweimal diejenige des Bilddatenarrays **18** und aufeinander folgende Aufnehmerelemente **50** des Nachführarrays **20** sind lediglich mit den geradzahligem oder den ungeradzahligem Signalleitungen für die Aufnehmerelemente **48** des Bilddatenarrays **18** verbunden. Im Grenzfall kann jedes Nachführarray **20**, **22** aus lediglich zwei Aufnehmerelementen zusammengesetzt sein, obwohl dies die erreichbare maximale Auflösung begrenzt.

**[0052]** Gemeinsame Signalleiter können zwischen dem Strahlformer/Signaldetektor **12** und dem Gehäuse für den Aufnehmer **16** verwendet werden. In dem Gehäuse werden einzelne Signale zwischen den Signalleitern und den Aufnehmerelementen **48**, **50**, **52** durch Hochspannungsanalogschalter oder Multiplexer, etwa diejenigen, die von Supertex Inc., Sunnyvale, Californien erhältlich sind und die Familienbezeichnung HV2xx besitzen, geleitet.

**[0053]** [Fig. 6–Fig. 11](#) sind schematische Ansichten, die die Art und Weise zeigen, in welcher durch die Nachführarrays **20**, **22** erzeugte Bilder zur Abschätzung der Bewegung zwischen mit dem Bilddatenarray **18** erzeugten Bildern verwendet werden können. [Fig. 6](#) zeigt eine Perspektivansicht für drei separate Positionen des Aufnehmers **16**. Diese drei separaten Positionen des Aufnehmers **16** werden durch Drehen des Aufnehmers **16** um die Azimuthalachse erhalten. Wenn das Bilddatenarray **18** sich um die Azimuthalachse A dreht, drehen sich die Bildebenen **58A**, **58B**, **58C** in einer fächerartigen Weise. Auf diese Weise ist jeder der Bildebenen **58A**, **58B**, **58C** von [Fig. 6](#) in einer separaten, jeweiligen Ebene des dreidimensionalen Raums angeordnet.

**[0054]** Im Gegensatz hierzu verbleibt die Bildebene **60A**, **60B**, **60C**; **62A**, **62B**, **62C** für jedes Nachführarray **20**, **22** koplanar, wenn der Aufnehmer **16** um die Azimuthalachse gedreht wird. Die tatsächlich abgebildeten Bereiche innerhalb der Bildebenen **60A**, **60B**, **60C**; **62A**, **62B**, **62C** drehen sich um die Azimuthalachse A, wenn sich der Aufnehmer **16** dreht. In vielen Anwendungen überlappen oder schneiden sich die abgebildeten Bereiche innerhalb der Bildebenen **58A**, **58B**, **58C** oder die abgebildeten Bereiche innerhalb der Bildebenen

**62A, 62B, 62C** nicht. Diese Anordnung kann Übersprechen und andere Interferenzprobleme verringern, wie im Folgenden diskutiert wird.

**[0055]** [Fig. 7–Fig. 10](#) zeigen vier Sätze von Bildern. Jeder Satz umfasst ein Bild **66A, B, C, D** von dem Bilddatenarray **18** und ein entsprechendes Bild **68A, B, C, D** von einem der Nachführarrays **20, 22**. In diesem Fall ist das Ziel eine Kugel und die Bilder **66, 68** schneiden einander derart, dass die Kugel in beiden Bildern **66, 68** erscheint. Wie in den Bildern **66A, B, C** und **D** gezeigt ist, werden verschiedene Querschnitte der Kugel angezeigt, wenn sich der Aufnehmer **16** um die Azimuthalachse dreht. Die in den Bildern **66A** und **66D** gezeigten Querschnitte zeigen kleinere Durchmesserscheiben, die in der Nähe eines Randes der Kugel aufgenommen sind, und die Bilder **66B** und **66C** zeigen größere Durchmesserscheiben, die in der Nähe des Mittelpunkts der Kugel aufgenommen sind. Daher unterscheiden sich die in den Bildern **66A, B, C** und **D** gezeigten Scheiben in ihren Durchmessern, nach Maßgabe der Bewegungsebene des Bildes (siehe [Fig. 6](#)). Im Gegensatz hierzu zeigen alle die Bilder **68A, B, C** und **D** Scheiben mit der gleichen Größe. Weil die Ebene der Bilder **66A, B, C** und **D** dieselbe bleibt, wie in Verbindung mit [Fig. 6](#) diskutiert wurde, bleibt die in diesen Bildern gezeigte Scheibe in ihrer Größe konstant, aber bewegt sich über die Bildebene hinweg. Die Stelle der Scheibe bei ihrer Bewegung von einem Bild zum nächsten stellt ein Maß einer Bewegungskomponente des Aufnehmers **16** in der Bildebene der Bilder **68A, B, C, D** dar.

**[0056]** Wenn die Bildebene der Aufnehmerarrays **20, 22** nicht rechtwinklig zu der Oberfläche des Bilddatenarrays **18** ist (beispielsweise weil die Nachführarrays **20, 22** nach innen gerichtet sind, wie in [Fig. 3](#) gezeigt ist), kann es bevorzugt sein, einen Kosinus  $\theta$  Korrekturfaktor zu verwenden, um die Differenz zwischen dem Bildbereich und der physikalischen Tiefe rechtwinklig zum Bilddatenarray **18** zu berücksichtigen.

**[0057]** Ein wichtiger Vorteil des Aufnehmers **16** ist der, dass er zwei Nachführarrays **20, 22** enthält, von denen jedes in der Nähe eines benachbarten Endes **54, 56** des Bilddatenarrays **18** angeordnet ist. Diese Anordnung ermöglicht es, dass Komponentendrehungen untersucht werden. In [Fig. 11](#) wird der Aufnehmer **16** um eine Drehachse **RA** gedreht, die wie gezeigt orientiert ist. In [Fig. 11](#) bezeichnen die durchgezogenen Kreise das Bild des Ziels zu einem ersten Zeitpunkt und die gestrichelten Kreise bezeichnen das Bild des Ziels zu einem nachfolgenden Zeitpunkt, nach einer Drehung um die Drehachse **RA**. Man beachte, dass sich die Bilder in entgegengesetzte Richtungen in den Bildebenen **60, 62** in dieser Situation bewegen. Durch Vergleichen der Bewegungskomponente, die separat von den beiden Nachführarrays **20, 22** bestimmt wird, kann die tatsächliche Drehung des Ziels bezüglich des Aufnehmers **16** bestimmt werden.

**[0058]** Wenn gewünscht, kann der Aufnehmer **18** ein Absolutsensor für Position, Orientierung oder beides enthalten, etwa einen Magnetsensor **19**, wie in [Fig. 21](#) gezeigt ist, oder einen Beschleunigungsmesser. Der Sensor **19** kann zur Unterstützung oder Sicherung des unten im Detail beschriebenen Bewegungserfassungsansatzes verwendet werden, und kann einer der im Keller U.S. Patent 5,353,354 beschriebenen Typen sein.

#### Das Strahlformersystem/Signaldetektor **12**

**[0059]** Wenn der Aufnehmer **16** im wesentlichen um die Azimuthalachse **A** gedreht wird, werden die Bilddatenarrays **18** und die Nachführarrays **20, 22** aufeinander folgend betrieben. Wenn die Arrays **18, 20, 22** individuell adressierbar sind, sendet der Übertragungsstrahlformer im Element **12** geeignet synchronisierte und phasengesteuerte Anregungssignale an die jeweiligen Aufnehmerelemente **48, 50, 52**. In einer Ausführungsform wird ein Datenframe von dem Bilddatenarray **18** gesammelt und dann werden Datenframes von den Nachführarrays **20, 22** gesammelt. Alternativ kann der Übertragungsstrahlformer zwischen dem Bilddatenarray **18** und den Nachführarrays **20, 22** zwischen einzelnen Abtastlinien oder zwischen Gruppen von Abtastlinien wechseln. Wenn die Bildebenen der Arrays **18, 20, 22** sich nicht schneiden, und insbesondere, wenn das Bilddatenarray **18** mit einer anderen Frequenz als die Nachführarrays angeregt wird, ist das Risiko einer Cross-Array-Interferenz klein. Aus diesem Grund kann die Pulswiederholungsrate (die normalerweise durch die Zeit begrenzt ist, die erforderlich ist, dass sich Ultraschallsignale zwischen aufeinander folgenden Abtastlinien im Körper abschwächen) erhöht werden.

**[0060]** In einigen Anwendungen können die Arrays **18, 20, 22** gemeinsam mit dem Übertragungsstrahlformer verbunden sein. Typischerweise unterscheiden sich die Bilderzeugungsanforderungen für das Bilddatenarray **18** wesentlich von denjenigen für die Nachführarrays **20, 22**. Die Bilddatenqualität sollte auf einem hohen Niveau gehalten werden, aber die Nachführdaten brauchen lediglich ausreichende Qualität besitzen, um ein zuverlässiges Nachführen zu erlauben. Kosten können verringert werden, indem einige Drahtleitungen zwischen dem Array **18** und den Arrays **20, 22** geteilt werden. Typischerweise sind Elemente in der Nähe der Enden des Bilddatenarrays **18** die zum Teilen geeignetsten, da diese weniger wichtig sind als mittlere Elemente.

**[0061]** Um Interferenz zwischen den Arrays **18**, **20**, **22** zu verringern, ist die Kabelführung von den Elementen **48** des Bilddatenarrays **18** zu den Elementen **50**, **52** der Nachführarrays **20**, **22** vorzugsweise in einer bekannten pseudo zufälligen Weise durcheinander angeordnet. Das Element **12** verwendet das Schema der Durcheinanderanordnung, um die Strahlformerverzögerungen derart zu sortieren, dass ein Satz von Arrays (entweder das Bilddatenarray **18** oder die Nachführarrays **20**, **22**) bei jeder gegebenen Abtastlinie kohärent betrieben wird. Der andere Satz wird wegen der Anordnung der Kabel durcheinander inkohärent betrieben. Das optimale Schema der Durcheinanderanordnung kann durch routinemäßige Experimente bestimmt werden.

**[0062]** Übersprechen kann ferner mit Frequenzkodierungs- und Spannungspegeltechniken reduziert werden. Die Nachführarrays **20**, **22** können mit einer verringerten Bildtiefe, etwa wenige Zentimeter, und daher mit einer hohen Frequenz, etwa 10 Mhz, arbeiten. Das Bilddatenarray **18** kann in einem längeren Bereich, bei niedrigerer Frequenz, etwa 5 MHz arbeiten, wodurch Übersprechen verringert wird. Die Aufnehmerelemente **48**, **50**, **52** können mit einer Dicke ausgebildet sein, die die geeigneten Frequenzen auswählt. Darüber hinaus können Bandpassfilter in dem Element **12** verwendet werden, um die gewünschten Frequenzbänder zur Erfassung auszuwählen.

**[0063]** Spannungspegel können zwischen zwei Sätzen von Arrays **18**, **20**, **22** variieren. Beispielsweise kann eine höhere Spannung verwendet werden, wenn die Nachführarrays **20**, **22** ausgewählt sind, insbesondere wenn die Nachführarrays **20**, **22** eine höhere Spannung erfordern, um effektiv zu arbeiten. In diesem Fall emittieren die Nachführarrays **20**, **22** ein relativ kleines Signal, wenn das Bilddatenarray **18** ausgewählt ist und der Spannungspegel verringert ist.

**[0064]** [Fig. 22](#) zeigt ein alternatives System **10'**, welches viele derselben Komponenten wie das System **10** verwenden kann. Das System **10'** unterscheidet sich darin, dass die Arrays **18**, **20**, **22** gleichzeitig mit unterschiedlichen Frequenzen durch Strahlformer/Signaldetektoren **12'**, **12''** betrieben werden. In jedem Fall ist ein jeweiliges Bandpassfilter **13'**, **13''** vorgesehen, um den interessierenden Bandpass zu isolieren. Wie oben beschrieben wurde, können die Nachführarrays **20**, **22** bei 10 MHz arbeiten und das Bilddatenarray **18** kann bei 5 MHz arbeiten. Die oben diskutierte durcheinander angeordnete Kabelführung kann zur Verringerung von Interferenz verwendet werden. Die Bandpassfilter **13'**, **13''** können für gleichförmig gemachte Signale arbeiten, aber die Anordnung von [Fig. 22](#) ist in der Praxis bevorzugt.

**[0065]** Wenn der Aufnehmer **16** durch seinen Bereich gefahren wird, indem er um die Azimuthalachse A gedreht wird, ist das bevorzugte Format für das Bilddatenarray das Sektorformat. Akustikliniendaten, die im Sektorformat aufgenommen werden, können bequem in dem Korrelationsprozess ohne Abtastumwandlung verwendet werden, da beispielsweise eine reine Drehung in rechtwinkligen Koordinaten als eine Änderung in einer Winkelkoordinate in einem geeignet gewählten zylindrischen Koordinatensystem wiedergegeben werden kann, sofern die Linie für Linie auftretende Winkelerhöhung bekannt ist, die Winkel der Linien bezüglich der Normallinie (siehe [Fig. 15](#)) bekannt sind und die Erhöhung von Abtastbereich zu Abtastbereich bekannt ist.

### Der Bewegungsabschätzer **38**

**[0066]** Die Bewegungserfassung kann manuell durchgeführt werden, beispielsweise durch Anordnen einer Linie in den Displaydaten bei einem besonderen erkennbaren Merkmal in den Bildebenen **60**, **62** und dann Wiederholen dieser Aktivität an nachfolgenden Frames. Das System kann die Linienposition für aufeinander folgende Frames verfolgen, um einen Vektor zu erzeugen, der die Bewegung von Frame zu Frame anzeigt.

**[0067]** Ein besseres Verfahren ist es, eine Computeranalyse der Bewegung von Frame zu Frame unter Verwendung einer Kreuzkorrelation oder eines ähnlichen Verfahrens an den mit den Nachführarrays **20**, **22** aufgenommenen Bilddaten zu verwenden. Solche Techniken (welche hierin im Folgenden allgemein als Korrelationstechniken bezeichnet werden) sind in der Vergangenheit zum Verfolgen der Blutströmung verwendet worden. Diese Verfahren erfordern es nicht, dass ein erkennbares Merkmal in dem Displaybereich vorhanden ist, und sie können lediglich unter Verwendung von Ultraschall-Speckledaten in geeigneter Weise funktionieren. Speckle ist ein natürlich auftretendes Phänomen in Ultraschallbildern und ist das Ergebnis der kohärenten Natur der von kleinen Streuobjekten im Gewebe reflektierten Wellen.

**[0068]** Jede geeignete Korrelationstechnik kann verwendet werden, einschließlich Kreuzkorrelation und des Verfahrens der Summe absoluter Differenzen, das in Bohs und Trahey "A Novel Method For Angle Independent Ultrasonic Imaging Of Blood Flow And Tissue Motion" (IEEE Trans. on Biomed. Eng., 38, 3 Seiten 280–286, März, 1991) diskutiert ist. Kreuzkorrelation ist die wohlbekannte mathematische Operation, welche aufeinander folgende Summen von Multiplikationsoperationen für verschiedene Translationen von Daten in ei-



ner Suche für die Translation, für die die beiden Sätze von Daten am besten übereinstimmen, verwendet. Das Verfahren der Summe absoluter Differenzen ist eine berechnungsmäßig einfachere Korrelationstechnik, aber erreicht eine ähnliche Nettowirkung. Die Sätze von Daten werden um verschiedene Beträge verschoben. Für jede Translation werden jeweilige Datenwerte in jedem der Sätze subtrahiert und die Summe der absoluten Differenzen wird berechnet. Wenn eine besondere Translation eine Summe absoluter Differenzen ergibt, die nahe bei Null liegt, dann ist es wahrscheinlich, dass die Sätze von Daten um die zugehörige Translation ausgerichtet sind. Diese zum Erzielen einer Ausrichtung erforderliche Translation ist ein Hinweis der Bewegung zwischen den beiden jeweiligen Frames an den Seiten des Bildes, welches am nächsten dem jeweiligen Nachführarray liegt. Wie im Folgenden erläutert wird, kann die Bewegung an anderen Teilen des Bildes unter Verwendung der erfassten Bewegung an beiden Nachführarrays und linearer Interpolationstechniken entlang des Azimuths des Bilddatenarrays **18** ausgewertet werden.

**[0069]** Die Größe des bei jedem beliebigen Korrelationstyp verwendeten Datenblocks ist ein Gegenstand zur Optimierung. Größere Blöcke haben eine geringere Wahrscheinlichkeit einer falschen Übereinstimmung, aber erfordern längere Berechnungszeiten. Die maximale erfassbare Translation von Frame zu Frame ist durch die Blockgröße begrenzt. Typischerweise werden Suchen bis zu plus oder minus einer Hälfte der Blockgröße gemacht. Beispielsweise kann ein  $16 \times 16$  Pixelblock verwendet werden, um eine maximale Translation von plus oder minus 8 Pixeln zu erfassen.

**[0070]** Der Bewegungsabschätzer **38** kann jede beliebige effektive Technik zur Bestimmung einer Bewegung auf Grundlage der Datenframes, die in den Arrays **30**, **32**, **34** gespeichert sind, verwenden. Die Bewegungsabschätzung kann auf dem gesamten Frame oder auf Abschnitten des Frames beruhen. Wenn Abschnitte verwendet werden, können sie derart ausgewählt sein, dass sie einem wohldefinierten Merkmal im Bild entsprechen. Die Bewegungsabschätzung kann auf einen beabstandeten Untersatz von zur Verfügung stehenden Daten angewendet werden, um Zeit zu sparen, sofern dies effizienter ist. Wenn beispielsweise Abtastwerte mit einem Abstand von 0,5 mm zur Verfügung stehen, aber eine optimierte Bewegungserfassung auf Grundlage eines Abstands von 1 mm durchgeführt werden kann, kann Zeit gespart werden, in dem alternierende Abtastwerte gelöscht werden und die Bewegungserfassung lediglich auf Grundlage eines Untersatzes der zur Verfügung stehenden Daten durchgeführt wird.

**[0071]** Die zur Bewegungsabschätzung verwendeten Nachführbilddaten können jede beliebige einer Anzahl von Formen haben, einschließlich wenigstens der Folgenden:

1. Benachbarte Pixel in dem Ausgabedisplay (welches von den tatsächlichen Akustikliniendaten interpoliert wird);
2. Ausgewählte Pixel aus einem größeren Gitter, beispielsweise jedes N-te Pixel;
3. Durchschnitte von Gruppen von Pixeln, etwa der Durchschnitt einer Gruppe von vier benachbarten Pixeln;
4. Abtastwerte aus Akustikliniendaten eines pre-scan-Umwandlungsstrahlformers.

**[0072]** Die von einem Strahlformer ausgegebenen Linien von akustischen Daten können polares oder kartesisches Format haben. Da die Beziehung zwischen diesen Linien von Daten und den physikalischen Linien der Ausbreitung bekannt sind, können aus diesen akustischen Linien abgeleitete Abtastwerte in der Bewegungserfassung verwendet werden.

**[0073]** [Fig. 15](#) ist eine schematische Ansicht, die die Position eines Ziels bei Frames N und N+1 bezüglich der akustischen Abtastliniendaten zeigt. In [Fig. 15](#) wird das Bezugszeichen **70** für einzelne Punkte verwendet, bei denen die Messungen gemacht wurden. Diese Punkte sind in diskreten Abständen entlang der Abtastlinien angeordnet. [Fig. 16](#) zeigt die Rohakustikliniendaten (vor der Abtastumwandlung), bei denen jede Zeile eine jeweilige Abtastlinie wiedergibt, und die Messpunkte sind in jeweiligen Abständen sind wie gezeigt. In [Fig. 15](#) und [Fig. 16](#) wird das + Symbol für die Position des Ziels für beide Frames N und N+1 verwendet. Der Bewegungsabschätzer **38** erfasst bei Betrieb an den Frames N und N+1, dass das Ziel sich von der Abtastlinie 1 zur Abtastlinie 3 bewegt hat und der Abstand bei vier Abtastintervallen vom Ursprung aus konstant geblieben ist. Da die Abtastlinien einen Winkelabstand von X Grad haben und der Abstand zwischen benachbarten Punkten **70** in der Mitte des Bewegungsblocks gleich P Millimetern ist, können grundsätzliche geometrische Beziehungen verwendet werden, um zu beweisen, dass der laterale Versatz  $+8P\sin X\sin\theta$  beträgt und der Tiefenversatz  $-8P\sin X\cos\theta$  beträgt, wobei  $\theta$  der Winkel in Grad zwischen dem Mittelpunkt des Bewegungserfassungsblocks und der Normallinie ist, die von dem Abtastlinienursprung ausgeht, und wobei das Nachführarray im Sektorformat arbeitet. Diese Berechnungen gelten näherungsweise, aber sie zeigen die Art und Weise, in der die rohen Akustikliniendaten im Bewegungseinschätzer **38** verwendet werden können.

**[0074]** Wenn Akustikliniendaten im Bewegungsabschätzer verwendet werden, können sie digitalisierten RF-Signalen, digitalisierten IF-Signalen, digitalisierten Basisbandsignalen oder gleichgerichteten tiefpassgefilterten Einhüllendenerfassungssignalen entsprechen. Als ein Beispiel von Einhüllendenerfassungssignalen können B-Modusdaten verwendet werden. Die Akustikliniendatensignale können reale digitale Abtastwerte sein oder Komplexe (I, Q) Datenabtastwerte sein.

**[0075]** In der gegenwärtig bevorzugten Ausführungsform beruht der in Bewegungsabschätzer **38** verwendete Ansatz auf der Summe von Absolutdifferenzen in einem Pixelblock gleich  $16 \times 16$  Pixeln. Aus Gründen der Effizienz ist es vorteilhaft, einen spezialisierten integrierten Schaltkreis zu verwenden. Der integrierte Schaltkreis LSI Logic 64720 ist zur Durchführung einer  $16 \times 16$  Bewegungserfassung in Raten von bis zu 396 Blöcken in 1/30 Sekunde entworfen. Diese Schaltungen können kombiniert werden, um einen höheren Durchsatz oder größere Blockgrößen zu erhalten. Wenn die Blockgröße auf  $8 \times 8$  Pixel reduziert wird, sind noch höhere Raten möglich (4500 Blöcke in 1/30 Sekunde). Dieser integrierte Schaltkreis besitzt den Kostenvorteil einer Herstellung im großen Volumen. Ähnliche alternative integrierte Schaltkreise können ebenso verwendet werden. Alternativ kann der gesamte Vorgang unter Verwendung eines geeignet programmierbaren allgemein einsetzbaren Prozessors durchgeführt werden, etwa das Texas Instruments TMS 320C80.

**[0076]** Vorzugsweise sind die Arrays **18**, **20** mit dem Array **16** ausgerichtet ausgebildet, so dass die Bildebene **58** mit der vertikalen Achse der Bildebenen **60**, **62** ausgerichtet ist. Aus diesem Grund kann eine Bewegung bezüglich der Mittellinie der Bildebenen **60**, **62** verwendet werden, um die Relativbewegung der Bildebene **58** zu bestimmen. Datenblöcke sind entlang der Mittellinie liegend definiert.

**[0077]** Es sind strikt lediglich zwei Bewegungserfassungsvorgänge pro Nachführarray erforderlich. Jedoch kann durch Durchführen mehrerer Nachführvorgänge über verschiedene Teile des Bilds hinweg (nicht notwendigerweise auf der Mittellinie), ein größerer Vertrauensbereich hinsichtlich der Genauigkeit des Verfahrens erhalten werden. Wie in [Fig. 13](#) gezeigt ist, kann eine glatte geradlinige Anpassung verwendet werden, um einen Durchschnitt von mehreren erfassten Abschätzungen der Komponentenbewegung zu erhalten. In [Fig. 13](#) geben die gestrichelten Pfeile die angepasste Bewegungskomponente wieder und durchgezogene Pfeile geben die tatsächlichen Messungen der Bewegungskomponente wieder. Durch Nehmen eines Durchschnitts von mehreren Messungen kann eine zuverlässigere Abschätzung erhalten werden. Dieser Durchschnitt kann sowohl bezüglich der Amplitude als auch bezüglich des Winkels der Bewegungskomponentenvektoren verwendet werden.

**[0078]** Darüber hinaus können Bewegungsabschätzungen, die sich deutlich von benachbarten Abschätzungen unterscheiden, als ungenau verworfen werden. Wie in [Fig. 14](#) gezeigt ist, kann ein Bild eines der Nachführarrays ein Organ **72** enthalten, welches eine durch die Pfeile **74** angedeutete Bewegung als Ganzes aufweist, die sich von der durch den Speckle des größeren Teils des Bildbereichs angedeuteten Bewegung unterscheidet. In diesem Fall kann die Hauptbewegung des Organs ignoriert werden und der Durchschnitt der verbleibenden Bewegungsabschätzungen, welche durch die kürzeren Pfeile **76** angedeutet sind, kann als eine Abschätzung der Bewegung des Frames verwendet werden. Ein geeigneter Ansatz ist es, die Bewegungsvektoren (Länge und Richtung) zu quantisieren und dann die am meisten auftretende quantisierte Länge und Richtung aufzufinden. Nachfolgend werden die tatsächlichen (nicht quantisierten) Vektoren innerhalb eines Toleranzbandes (z. B.  $\pm 30\%$ ) des am meisten gemeinsam auftretenden Wertes ausgewählt und gemittelt, um die gewünschte Abschätzung zu erzeugen.

**[0079]** Zusätzlich kann in einer Berechnung einer Summe von Absolutdifferenzen das Verhältnis der minimalen Summe zur durchschnittlichen Summe (nach Entfernen des minimalen Summenwerts) als ein Indikator der Qualität der Bildbewegungserfassung verwendet werden. Wenn die minimale Summe sich nahe beim Durchschnitt befindet, ist die Berechnung anfällig für Fehler, d. h. für eine falsch erfasste Bewegung. Wenn der integrierte Schaltkreis LSI 64720 verwendet wird, ist die Summe der Fehlerwertausgabe ein Indikator eines Ergebnisses mit niedriger Qualität (hohe Fehlerwertsumme entspricht einem Ergebnis mit niedriger Qualität).

**[0080]** Eine Nachführung mit niedriger Qualität kann auch durch Vergleichen von Bewegungsabschätzungen erfasst werden. Benachbarte oder aufeinander folgende Bewegungsabschätzungen, die nicht ähnlich zueinander sind, können ein Hinweis auf eine schlechte Qualität der Bewegungsabschätzung sein. Natürlich können zwei oder mehr der oben beschriebenen Ansätze in Kombination verwendet werden.

**[0081]** Specklemuster verändern sich schnell, wenn Bewegung auftritt. Insbesondere verändert sich ein Specklemuster, wenn die Elevationsscheibenposition sich bewegt. Dies liegt daran, dass Specklestreuzentren sich in die Bildebene hinein und aus dieser heraus bewegen, anstatt innerhalb der Ebene zu bleiben und sich

parallel zu dieser zu bewegen. Aus diesem Grund ist es in vielen Fällen bevorzugt, häufige Bewegungsabschätzungen zu machen, wenn der Aufnehmer **16** bewegt wird. Die genaue Frequenz der Abschätzungen hängt von der Skala des Bewegungserfassungsproblems ab, welches mit der durch die Bedienungsperson vorgegebenen Bewegungsgeschwindigkeit, der Fähigkeit der Bedienungsperson, eine Scheibenperson beizubehalten und der Natur des Speckleziels (welches eine Funktion von Gewebetyp und Ultraschallfrequenz ist) in Zusammenhang steht.

**[0082]** Zum Beispiel kann bestimmt werden, dass dreißig Bilddatenframes von dem Bilddatenarray **18** ausreichende Bilderzeugungsdaten für eine gewünschte 3-D Konstruktion bereitstellen. Es kann jedoch bevorzugt sein, fünf Bewegungsabschätzungen zwischen jedem ausgewählten Bilddatenframe durchzuführen und diese Abschätzungen aufzusummieren, um die Nettobewegung zwischen den Bilddatenframes zu berechnen. Da kumulative Fehler minimiert werden müssen, ist ein Weg, um dieses Ziel zu erreichen, der, den Bewegungserfassungsvorgang überabzutasten und die Ergebnisse zu ermitteln, um Quantisierungseffekte aufgrund der Pixelgröße zu reduzieren. Mit diesem Ansatz können beispielsweise fünf Frames für jedes der Nachführarrays **20**, **22** für jedes Frame des Bilddatenarrays **18** vorhanden sein.

**[0083]** Während die Bewegungserfassung oft am besten funktioniert, wenn sie aus einer Summe kleiner Bewegungserfassungen durchgeführt wird, gibt es Situationen, in denen es von Wert ist, eine Bewegungserfassung zwischen dem Frame N und dem Frame N-M durchzuführen, wobei M eine ganze Zahl größer als 1, etwa 10, ist. Im Prinzip kann dieser Ansatz zur Korrektur kumulativer Fehler verwendet werden. Jedoch ist die Wahrscheinlichkeit, dass eine solch große Bewegung korrekt abgeschätzt wird, geringer. Daher ist der Wert von M ein Gegenstand zur Optimierung.

**[0084]** Da die Elevationsscheibe Specklequalität und -stabilität beeinflusst, kann es bevorzugt sein, eine Bewegung am Elevationsfokus der Linse zu verfolgen. Wenn alternativ die Speckleabhängigkeit sogar am Elevationsfokus zu empfindlich ist, kann es bevorzugt sein, diesen Bereich zu vermeiden. Es kann bevorzugt sein, während der Glättungsoperation verschiedene Gewichtungen auf die erfassten Bewegungen anzuwenden, um die Nettogenauigkeit zu maximieren, indem genauere Daten stärker gewichtet werden. Es kann bevorzugt sein, ein elevationsfokussiertes Array (1,5D Array) zu verwenden oder möglicherweise ein nicht fokussiertes Array zu verwenden, wenn sich während des Experimentierens herausstellt, dass dieses die besten Ergebnisse bringt.

**[0085]** Die zur Bewegungserfassung verwendeten Daten können viele Formen annehmen. Einhüllendenerfassungsdaten mit Abtastumwandlung sind eine einfache Wahl bei der Auslegung und dies wird gegenwärtig bevorzugt. Alternativen umfassen Einhüllendenerfassungsdaten vor Abtastumwandlung und RF- oder Basisbandstrahlformerausgangssignale vor einer Einhüllendenerfassung.

**[0086]** Es ist auch möglich, dass der Benutzer interessierende Bereiche auswählt, wenn aus irgendwelchen Gründen der Benutzer besondere Präferenzen dahingehend hat, welche Bereiche im Nachführdatenbild die beste Bewegungserfassung bieten. Beispielsweise kann ein Benutzer Bereiche von sich bewegendem Blut als Bereiche zur Bewegungserfassung ausschließen.

**[0087]** Während des Sammelns von Bilddaten ist das bevorzugte Display im wie es in [Fig. 20](#) angezeigt ist. In [Fig. 20](#) ist ein Bild von dem Bilddatenarray **18** zentral auf dem Schirm gezeigt und Nachführbilder von den Nachführarrays **20**, **22** sind auf jeweiligen Seiten des Schirms gezeigt. Vorzugsweise wird die Bewegungserfassung in Echtzeit durchgeführt, und die erfasste Bewegung wird auf dem Display durch Anzeigen der berechneten Bewegung, wie sie in Echtzeit auftritt, wiedergegeben. Das Display kann die Form von Bewegungsvektoren annehmen, wie in [Fig. 20](#) gezeigt ist. Alternativ können numerische Maße von erfasster Bewegung angezeigt werden. Diese Displays zeigen die relative Position des Aufnehmers in dem Durchlauf an und stellen daher für die Bedienungsperson eine Anzeige, wann die gewünschte Winkelbewegung vervollständigt ist, und darüber hinaus eine Anzeige, dass das Bewegungserfassungssystem korrekt arbeitet, bereit. Alternativ können die Bilddaten ohne die Nachführbilder oder ohne Anzeige der erfassten Bewegung angezeigt werden. Für den Fall, dass die im System berechneten Bewegungsvektoren eine Nachführung mit schlechter Qualität anzeigen (beispielsweise erratische Änderungen in dem berechneten Bewegungsvektor innerhalb eines einzelnen Frames oder zwischen aufeinander folgenden Frames) kann das System die Bedienungsperson dazu auffordern, erneut zu beginnen, beispielsweise mittels einer Audioaufforderung, etwa eines Alarms, oder einer visuellen Aufforderung, etwa einer aufleuchtenden Video-Umkehrnachricht.

**[0088]** Falls gewünscht, kann das System zur Unterstützung der Bedienungsperson beim Erreichen einer optimalen Durchlaufrate programmiert sein. In vielen Fällen enthält die optimale Verwendung des Bewegungsab-

schätzers einen Aufruf für eine optimierte Durchlaufrate, das heißt eine Durchlaufrate, die groß genug ist, um eine unakzeptable Fehlerhäufung zu vermeiden, und klein genug ist, um innerhalb des Bewegungsbereichs des Bewegungsabschätzers zu bleiben. Es kann entweder eine akustische oder eine Videoaufforderung verwendet werden.

**[0089]** Wenn beispielsweise der Bewegungsabschätzer dazu ausgebildet ist,  $\pm 8$  Pixel zu erfassen, kann das System einen intermittierenden Ton emittieren, wenn die Durchlaufrate ungefähr korrekt ist (z. B. 4 Pixel der Bewegung pro Abschätzung). Wenn die abgeschätzten Bewegungen zu klein sind (beispielsweise kleiner als 2 Pixel) wird der intermittierende Ton durch einen niedrigen kontinuierlichen Ton ersetzt, welcher sogar noch niedriger wird, wenn die Abtastrate sich weiter verringert. Wenn die abgeschätzten Bewegungen zu groß sind (z. B. größer als 6 Pixel), wird umgekehrt der intermittierende Ton durch einen hohen kontinuierlichen Ton ersetzt, der sogar noch höher wird, wenn die Durchlaufrate schneller wird.

**[0090]** Eine geeignete visuelle Aufforderung umfasst einen Pfeil variabler Länge, welcher eine größere Länge aufweisen kann, um zu einer schnelleren Durchlaufrate aufzufordern, sowie eine kürzere Länge aufweisen, um zu einer kürzeren Abtastrate aufzufordern, und der aufleuchten kann, um eine optimale Abtastrate anzuzeigen.

**[0091]** Ein anderer Ansatz ist es, den Bewegungsabschätzer derart zu programmieren, dass er die Zeitabstände der einander korrelierten Frames auswählt, um die Bewegungskomponente abzuschätzen. Durch geeignete Auswahl dieses Abstands in einer adaptiven Weise kann die gemessene Bewegungskomponente innerhalb eines optimalen Bereichs für einen weiten Bereich von Durchlaufgeschwindigkeiten gehalten werden. Wenn beispielsweise viele nicht verwendete Nachführframes zwischen jedem Paar von korrelierten Nachführframes vorhanden sind, und wenn 8 Pixel die maximal erfassbare Bewegung ist, kann die Anzahl von nicht verwendeten Nachführframes zwischen jedem Paar von korrelierten Nachführframes in Echtzeit je nach Bedarf erhöht oder erniedrigt werden, um die erfasste Bewegung im Bereich von 4 bis 6 Pixeln zu halten.

**[0092]** Bewegungsabschätzungen mit niedriger Qualität können mit einem niedrigen Pegel gewichtet werden und insgesamt entfernt werden. Ein Ansatz zum Auswählen von Bewegungsabschätzungen mit niedriger Qualität ist es zunächst eine Kurve an alle Bewegungsabschätzungen anzupassen (sowohl in der Länge als auch im Winkel). Dann werden die einzelnen Bewegungsabschätzungen mit der angepassten Kurve verglichen und Bewegungsabschätzungen, welche von der Kurve um mehr als einen Schwellenwert, etwa 30%, abweichen, werden als Bewegungsabschätzungen mit niedriger Qualität betrachtet und von der Sammlung von Bewegungsabschätzungen gelöscht. Dann wird die Kurvenanpassungsoperation unter Verwendung lediglich der verbleibenden Bewegungsabschätzungen wiederholt. Wenn mehr als ein bestimmter Anteil, etwa 20%, der Bewegungsabschätzungen als Abschätzungen mit niedriger Qualität klassifiziert werden, kann der Vorgang abgebrochen werden und die Bedienungsperson aufgefordert werden, den Durchlauf zu wiederholen.

**[0093]** Im Allgemeinen ist es oft notwendig, lediglich die Bewegungskomponente zu bestimmen, die die Relativpositionen von aufeinander folgenden Bildern betrifft. Wenn erforderlich, ist es auch möglich, die Drehachse durch Ziehen von Linien rechtwinklig zu den bestimmten Bewegungsvektoren zu bestimmen, wie in [Fig. 12](#) gezeigt ist. Wenn dies gemacht wird, ist die Länge eines Bewegungsvektors eine Anzeige des Abstands des Bewegungsvektors von der Drehachse.

**[0094]** Genauer gesagt, ist es nicht notwendig, dass zwei Nachführarrays **20**, **22** vorhanden sind. Wenn jedoch zwei Nachführarrays vorhanden sind, ist die Fähigkeit, mit unsauberer Drehung umzugehen (bei der das eine Ende des Bilddatenarrays **18** mehr gedreht wird als das andere), wesentlich erhöht. Wenn ferner mehrfache Nachführarrays verwendet werden und Bewegungen für verschiedene Bereiche jedes Nachführarrays bestimmt worden sind, kann eine Interpolation angewendet werden, um den Mittelpunkt der Drehung zu finden, der für alle Zwischenpunkte in der Bereichsrichtung in jedem Nachführarray gilt.

**[0095]** Da die Nachführarrays auf jeder Seite der Bildebene liegen und die exakte Geometrie der Bilddatenebene bezüglich der Nachführarrays bekannt ist, ist es möglich, linear entlang der Azimutalachse des Bilddatenarrays zu interpolieren, um die genauen Pixeltranslationen für alle Punkte in der Bilddatenebene zu berechnen.

**[0096]** Typischerweise werden Bewegungsabschätzungen entlang einer geraden Strecke oder über ein rechtwinkliges Gitter hinweg gesammelt. Aufgrund der Begrenzungen der Arraygeometrie und der Fortbewegung der geraden Akustiklinien von dem Array muss das theoretische Verhalten der Bewegungsvektoren als eine Funktion der Tiefe bestimmte Nebenbedingungen erfüllen. Insbesondere sollte sich die Länge der Bewegungsvektoren linear mit der Tiefe verändern. Diese Nebenbedingungen können verwendet werden, um den

Fehler in der Bewegungsabschätzung zu verringern. Beispielsweise kann eine Sequenz von Bewegungsabschätzungen als eine Funktion der Tiefe aufgenommen werden und dann in Bewegungsvektorabschätzungen (Länge und Winkel) umgewandelt werden. Eine gerade Linie wird dann unter Verwendung wohlbekannter Verfahren angepasst, um die beste Anpassungslinie an die tatsächlichen Daten für die Längskomponente zu bestimmen. Eine zweite gerade Linie wird dann an die tatsächlichen Daten für die Winkel- oder Richtungskomponente angepasst. Diese angepassten Linien (umfassend Länge und Richtung) können entlang der Azimutalrichtung während einer dreidimensionalen Rekonstruktion an anderen Zwischenstellen als den zur Ableitung der Bewegungsvektoren verwendeten linear interpoliert werden.

**[0097]** Man beachte, dass dann, wenn der Patient und der Aufnehmer sich gemeinsam langsam bewegen, nicht notwendigerweise ein Leistungsverlust das Ergebnis ist, solange die Relativposition des Aufnehmers **16** bezüglich des Patienten grob beibehalten bleibt.

**[0098]** Um die Bewegungsabschätzung ferner zu verbessern kann es wünschenswert sein, nicht nur Bilder zu verwenden, die ausgewählten Abschnitten des ECG-Zyklus oder Atmungszyklus entsprechen. Sowohl ECG-Tastung als auch Atmungstastung sind in der dreidimensionalen Rekonstruktion von Bildern wohlbekannt. Siehe beispielsweise Mc Cann et al. "Multidimensional Ultrasonic Imaging for Cardiology" auf Seite 1065. Mit der ECG-Tastung wird ein Fenster zu einer festen Zeitdauer nach dem ECG-Prüfmaximum ausgewählt. Bei der Atmungstastung ist es oft am einfachsten, den Patienten zu bitten, seinen oder ihren Atem für die kurze Dauer des Ultraschallscans anzuhalten. Alternativ kann die Brustbewegung unter Verwendung eines Verlagerungssensors aufgenommen werden und Daten können für einen Abschnitt des Atmungszyklus ausgewählt werden.

**[0099]** Verschiedene andere Techniken können verwendet werden, um die Bewegungsabschätzung zu optimieren. Beispielsweise kann die Genauigkeit durch Interpolieren auf feinere und feinere Pixel verbessert werden. Rauschen in den Daten kann unter Verwendung eines Tiefpassfilters oder eines Medianfilters entfernt werden und das Zuordnen von Spannungspegel zur Helligkeit kann für Bewegungsabschätzungszwecke optimiert werden. Typischerweise wird eine logarithmische Komprimierung an den Nachführarrays **20**, **22** verwendet und diese logarithmische Komprimierung kann unabhängig von der logarithmischen Komprimierung, die für die Bilddaten von dem Bilddatenarray verwendet wird, optimiert werden. Die verwendete besondere Zuordnung kann gemäß den Wünschen der Bedienungsperson in weitem Maße variieren. Es ist wahrscheinlich, dass in vielen Fällen eine Bewegungsanpassung am effizientesten unter Verwendung anderer Zuordnungen als derjenigen, die durch die Bedienungsperson für die Bilddaten verwendet wird, funktioniert. Falls gewünscht, kann das System **10** die intern für die Daten von den Nachführarrays **20**, **22** verwendete Zuordnung variieren, bis eine Zuordnung gefunden wird, die eine Bewegungserfassung mit hoher Qualität bereitstellt.

### Dreidimensionaler Volumenfüllcomputer **36**

**[0100]** Viele Ansätze können beim Anordnen der Bilddatenframes gemacht werden, um die gewünschte dreidimensionale Rekonstruktion bereitzustellen. Ein Beispiel ist schematisch in [Fig. 17–Fig. 19](#) gezeigt. In diesem Beispiel sind Bilddatenframes vor der Rekonstruktion schematisch in [Fig. 17](#) gezeigt. Das Bilddatenframe für die Mittelebene ist in einer Ebene eingefügt, welche zu der Mitte des Volumens ausgerichtet angeordnet ist, wie in [Fig. 18](#) gezeigt ist. Sich von dieser Mittelebene nach außen arbeitend sind aufeinander folgende Bilddatenframes an ihren geeigneten XYZ Stellen eingefügt, wie in [Fig. 19](#) gezeigt ist. Sobald alle Frames eingefügt sind, werden Zwischenpunkte unter Verwendung dreidimensionaler linearer Interpolationstechniken berechnet, welche auf den acht nächsten bekannten Datenpunkten beruhen, die als ein Quader um den zu interpolierenden Punkt angeordnet sind. Solche dreidimensionalen Manipulationstechniken sind bekannt und daher werden sie hier nicht im Detail beschrieben.

**[0101]** Ein Ansatz ist es, das Abtastumwandlungsinterpolationsverfahren zu verwenden, welches durch Leavitt in Hewlett Packard Journal, Oktober, 1983, Seiten 30–34 beschrieben ist, und zwar angewendet zur Verwendung in drei Dimensionen. Der durch Leavitt beschriebene Ansatz arbeitet mit Daten in einer zweidimensionalen Ebene. Daten in drei Dimensionen können als zwei aufeinander folgende zweidimensionale Operationen behandelt werden. Die Bildebenenendaten können in einer Abtastung umgewandelt und interpoliert werden, wie durch Leavitt beschrieben ist, unter Verwendung von Pixelabständen, die die Anforderungen an die dreidimensionale Abtastumwandlung erfüllen. Dann kann eine orthogonale zweidimensionale Abtastumwandlung an jeder Azimutalposition durchgeführt werden, um das Volumen in der rechtwinkligen Richtung auszufüllen. Die Leavitt-Technik nimmt an, dass die Drehachse für aufeinander folgende zweidimensionale Bilder korrekt ausgerichtet ist. Wenn dies nicht der Fall ist, können andere volumetrische Rekonstruktionsverfahren verwendet werden: Geeignete Rekonstruktionsverfahren sind wohlbekannt und werden bei herkömmlichen auf

Magnetsensoren basierenden Systemen verwendet.

**[0102]** Wenn erfasst wird, dass aufeinander folgende Frames zu eng beieinander liegen, können einige der Framedaten verworfen werden. Wenn eine große Anzahl von Frames vorhanden ist, ist es möglich, lediglich diejenigen beizubehalten, welche in der Nähe eines gewünschten einheitlichen Abstands zueinander liegen. Wenn beispielsweise der gewünschte Abstand zur Rekonstruktion  $2^\circ$  beträgt und Daten in 0, 1,2, 2,1, 2,8, 3,9 Grad aufgenommen werden, können die Frames 1,3 und 5 ungefähr als die korrekten Frames angenommen werden, die ungefähr bei 0, 2 und 4 Grad liegen. Der Fehler aus der Approximation ist nicht signifikant und kann zu einer vereinfachten Rekonstruktion führen.

#### Translationstechniken

**[0103]** Man beachte, dass eine Bewegungskomponente innerhalb des Bilddatenframes auch unter Verwendung der oben diskutierten Techniken erfasst werden kann. Diese Bewegungskomponente ist parallel zur Azimuthalachse und kann zu der mit den Nachführarrays erfassten Bewegungskomponente addiert werden, welche senkrecht zur Azimuthalachse ist. Da die Bilddaten von dem Bilddatenarray **18** sich signifikant aufgrund der Bewegung der Elevationsebene bewegen, ist es bevorzugt, dass die Bewegungserfassung in dieser Ebene überabgetastet (oover-sampled) ist. Vorzugsweise wird während der Rekonstruktion lediglich eine gemessene Nettobewegung angewendet, wie oben in Verbindung mit [Fig. 14](#) diskutiert wurde.

**[0104]** Darüber hinaus kann eine Bewegung in der Ebene der Bilddatenframes erfasst werden, wenn der Aufnehmer **18** in Translation entlang der Azimuthalachse bewegt wird, im Gegensatz zu den oben diskutierten Drehdurchläufen. Mit diesem Ansatz kann ein erweitertes Gesichtsfeld bereitgestellt werden, indem der Aufnehmer **16** entlang der Azimuthalachse axial verschoben wird, ohne dass der Aufnehmer **16** gedreht wird. Wenn das einzige Interesse in der Verfolgung einer solchen linearen Translation liegt, sind die Nachführarrays **20, 22** nicht erforderlich.

**[0105]** Wie hierin verwendet, bezeichnet ein erweitertes Gesichtsfeld ein System, das Bilddaten von einem Aufnehmerarray speichert, wenn das Aufnehmerarray axial entlang seiner Azimuthalachse bewegt wird. Daten von dem Array in verschiedenen Positionen entlang der Azimuthalachse werden dann zur Rekonstruktion registriert, um ein Bild mit erweitertem Gesichtsfeld zu bilden.

**[0106]** Das oben diskutierte erweiterte Gesichtsfeld kann mit Daten von einem beliebigen der Nachführarrays **20, 22** oder dem Bilddatenarray **18** rekonstruiert werden. Es ist logischer, das Bilddatenarray **18** zu verwenden, weil das Bilddatenarray **18** für Bildqualität optimiert ist. Das Bilddatenarray wird dann bezüglich des Zielgewebes translatorisch bewegt, wobei seine Azimuthalachse parallel zur Bewegungslinie orientiert ist. Eine Bildbewegungserfassung unter Verwendung der oben beschriebenen Techniken wird an den Bilddaten von dem Bilddatenarray **18** durchgeführt. Aufeinander folgende Frames von Bilddaten von dem Array **18** werden gespeichert, und zwar gemeinsam mit Verlagerungsinformation, welche die Bewegung zwischen Frames von Bilddaten definiert.

**[0107]** Sobald der Durchlauf von Bildframes beendet ist, wird die Verlagerungsinformation verwendet, und zwar beginnend mit dem am wenigsten zurückliegend aufgenommenen Bilddatenframe, um aufeinander folgende der Bilddatenframes bezüglich einander in geeigneter Ausrichtung zu registrieren, und zwar im Sinn des Gewebes. Die älteren Bilddaten werden dann den neueren Bilddaten überlagert. Typischerweise stimmen die meisten der älteren Bilddaten beinahe genau mit den neueren Daten überein, aber ein kleiner nicht überlappender Bereich ist vorhanden, der an der älteren Bildposition aufgenommene Daten wiedergibt, welche durch die neuere Bildposition nicht aufgenommen werden konnten. Vorzugsweise wird während des Schreibens der älteren Daten über die neueren Daten lediglich der nicht überlappende Bereich geschrieben. Dieser Ansatz eliminiert redundante Bildschreiboperationen. Diese Prozedur wird dann für immer weiter fortschreitend frühere Frames von Bilddaten wiederholt, bis alle Bilddaten des Durchlaufs zur Anzeige neu angeordnet sind.

**[0108]** Es existiert eine Möglichkeit, dass Versuche gemacht werden, über die Speichergrenzen hinaus zu schreiben. Wenn diese Situation erfasst wird, können die Bilddaten skaliert werden, um diese kleiner zu machen, so dass sie in den zur Verfügung stehenden Bildspeicher zu passen. Die Skalierung kann durch erneute Zuordnung der Pixel zu einem neuen Speicher unter Verwendung geometrischer Transformation und Interpolation erreicht werden, wie es im Gebiet der Computergrafik wohlbekannt ist.

**[0109]** Die folgenden Verfahren können entweder allein oder in verschiedenen Unterkombinationen verwendet werden, um die Bewegungserfassung zur erhöhen.

1. Frequenzauswahl: In einem Beispiel wird jedes N'te Frame zur Bewegungserfassung verwendet. An jedem N'ten Frame wird eine unterschiedliche Frequenz verwendet, um die Aufnahmerelemente des Bilddatenarrays **18** anzuregen, um das Specklemuster in einer solchen Weise zu modifizieren, dass die Fähigkeit zur Bewegungserfassung erhöht wird. Da lediglich eine Relativbewegung erforderlich ist, kann es bevorzugt sein, eine höhere Frequenz zu verwenden, um höher aufgelöste Speckledaten an jedem N'ten Frame zu erhalten. Höhere Frequenzen sind mit verringerten Penetrationstiefen assoziiert, aber wie oben diskutiert wurde, muss dies kein Nachteil sein, da lediglich zur Bewegungserfassung lediglich oberflächlich liegende Zieldaten erforderlich sein können. Alternativ können höhere Frequenzen das Speckle sehr positionsempfindlich machen. Dies kann unerwünscht sein, weil es verursacht, dass der Bewegungserfassungsvorgang fehlschlägt aufgrund einer Unfähigkeit, Merkmale zu verfolgen, die sich in die Elevationsebene des Bildes hinein und aus dieser heraus bewegen. In diesem Fall kann es bevorzugt sein, eine niedrigere Frequenz für die Bewegungserfassungsframes zu verwenden.
2. Bandbreiteneinstellung: Wie oben können ausgewählte der Bilddatenframes zur Bewegungserfassung optimiert werden, in diesem Fall durch Optimieren der Bandbreite ebenso wie die oder anstelle der Mittelfrequenz zur Bewegungserfassung.
3. Elevationsfokussierung: Wenn ein Array mit 1,5 Dimensionierung verwendet wird, kann eine Elevationsfokussierung während des Durchlaufs eingestellt werden, um einige Frames für die Bilddatensammlung oder andere Frames zur Bewegungserfassung zu optimieren. Um beispielsweise den Einfluss von Elevationsbewegung zu reduzieren, kann es bevorzugt sein, den Strahl in denjenigen Bilddatenframes, die zur Bewegungserfassung verwendet werden, geringfügig zu defokussieren.
4. Azimuthalfokussierung: In ähnlicher Weise kann es bevorzugt sein, den akustischen Strahl leicht im Azimuth für ausgewählte Frames zu defokussieren, um die Bewegungserfassung zu stabilisieren ohne die Bewegungserfassung übermäßig zu verschlechtern.

**[0110]** Wenn beliebige der oben diskutierten vier Ansätze verwendet werden, brauchen die zur Bewegungserfassung optimierten Bilddatenframes nicht auf dem Schirm angezeigt zu werden. Stattdessen können lediglich die Bilddatenframes angezeigt werden, die zur Bilderzeugung optimiert sind.

**[0111]** Da während eines langsamen Durchlaufs redundante Daten vorhanden sind (mehrfache Datenpunkte für einzelne Positionen innerhalb des Gewebes) kann es bevorzugt sein, die Verwendung verschiedener Frequenzen, Bandbreiten und Fokussierverfahren zu mischen, um redundante Bewegungserfassungsdaten zu sammeln. Nachdem mehrfache redundante Daten gesammelt worden sind, können sie gemittelt werden, um zu einer Bewegungsabschätzung zu kommen, welche zuverlässiger ist und weniger anfällig gegenüber einem Fehler ist.

**[0112]** Beispielsweise dann, wenn das Array um zwei Millimeter pro Sekunde bewegt wird, wird die erforderlich minimale Bewegung, welche in nutzbarer Weise aufgelöst werden kann, 0,5 Millimeter beträgt, und die Framerate vierzig Frames pro Sekunde beträgt, existieren zehn Frames zwischen Zeiten, zu denen eine nutzbare Bewegungserfassung erhalten werden kann. Darüber hinaus ist lediglich ein Bilddatenframe für jedes dieser zehn Bewegungserfassungsframes erforderlich. Betrachtet man die ersten zwanzig Frames, können die Frames 1 und 11 Bilddaten sein, die unter Verwendung von durch den Nutzer bestimmten Mittelfrequenz- und Bandbreiten gesammelt werden. Die Frames 3 und 13 können Bewegungserfassungsframes mit einer ersten alternativen Mittelfrequenz und Bandbreite sein. Die Frames 5 und 15 können Bewegungserfassungsframes mit einer zweiten alternativen Mittelfrequenz und Bandbreite sein, und die Frames 7 und 17 können Bewegungserfassungsframes mit der ersten alternativen Mittelfrequenz und der zweiten alternativen Bandbreite sein. Die Frames 9 und 19 können Bewegungserfassungsframes unter Verwendung eines geänderten Fokussierschemas sein. Die Frames 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18 und 20 werden aufgenommen, als ob sie Bildrahmen wären und werden angezeigt, aber nicht gespeichert oder zur Nachführung verwendet. Die erfasste Bewegung von den Frames 1, 3, 5, 7 und 9 bezüglich der Frames 11, 13, 15, 17 und 19, kann dann jeweils gemittelt oder sortiert werden, um die Bewegungsabschätzungen zu eliminieren, welche sich signifikant von anderen Abschätzungen unterscheiden.

**[0113]** Alle der Techniken, die oben in Verbindung mit dem erweiterten Gesichtsfeld genannt wurden, können zur Verwendung mit Bewegungserfassung in Winkeldurchläufen wie oben beschrieben verwendet werden.

**[0114]** In dem Fall einer komplexen Bewegung, welche sowohl eine Bewegung in den Ebenen der Nachführarrays als auch eine Bewegung in der Ebene des Bilddatenarrays enthalten, kann die tatsächliche Bewegung ungefähr aus der Summe der Nachführarraybewegungen und der Bilddatenarraybewegungen, die jeweils separat gemessen werden, berechnet werden. Wenn nach Erhalten der Summe solcher Bewegungen herausgefunden wird, dass die zweite auszuführende Bewegung verursacht hat, dass die erste Bewegung modifiziert

worden ist, kann eine rekursive Operation angewendet werden, bis eine dreidimensionale Bewegung gefunden wird, welche die erfassten Bewegungen in allen Arrays korrekt erfüllt. Ein Monte-Carlo-Verfahren zum Herausfinden der Komponenten, welche eine komplexe Bewegung erfüllen, kann verwendet werden. Weiterhin können neue Bewegungen aus der letzten Frame-zu-Frame-Bewegung, die berechnet wurde, abgeschätzt werden. Als letzter Punkt, kann das System herausfinden, dass es nicht in der Lage ist, einen Satz von Bewegungskomponentenvektoren zu bestimmen, welche die erfassten Bewegungen erfüllen und kann ein Signal an die Bedienungsperson ausgeben, den letzten Durchlauf zu wiederholen. Je einfacher, glatter und reiner die Bildbewegung in jeder gegebenen Bildebene ist, desto einfacher ist es; die Bewegungserfassung zu implementieren.

#### Alternative Ausführungsformen

**[0115]** Eine einfache Einrichtung zur Implementierung der oben diskutierten bi-planaren Bilderzeugungstechniken kann wie folgt konstruiert sein. Diese Einrichtung verwendet ebenfalls ein lineares Array für die Bilddatenaufnahme und zwei kleinere lineare Arrays mit gleichem Teilungsabstand, die derart angebracht sind, dass sie sich mit dem größeren linearen Array bewegen. Die beiden kleinen linearen Nachführarrays sind mit einem Verbinder gekoppelt, der ähnlich zu demjenigen ist, der bei dem Bilddatenarray verwendet wird, aber die Aufnahmerelemente sind derart unterteilt, dass die Aufnahmerelemente für jedes Nachführarray mit dem Aufnahmeverbinder in der Nähe der gegenüberliegenden Enden des Verbinders gekoppelt sind. Beispielsweise können für einen Verbinder mit 128 Leitern und ein Nachführarray mit 10 Elementen die Leiter **10–19** und **100–109** als die beiden Nachführarrays verwendet werden. Sowohl das Bilddatenarray als auch das kombinierte Nachführarray sind mit einem Verbinder desselben Typs versehen und zur Zusammenwirkung mit demselben Strahlformer entworfen. Die beiden Verbinder sind in dem linken und rechten Anschluss einer geeigneten Ultraschallbilderzeugungsmaschine eingeführt, etwa den Acuson Model XP, und eine Bildspeichereinrichtung, etwa ein VCR ist vorgesehen. Wenn das Array langsam gedreht wird, drückt die Bedienungsperson den Arrayauswahlschalter (links gegenüber rechts) wiederholt mit einer hohen Rate und die sich ergebenden Bilder werden zur Offline-Analyse gespeichert. Nachfolgende Sätze von Frames, von denen jeder aus einem Frame aus der Bilddatenebene und jeder Nachführbildebene besteht, werden über Standardvideoübertragungstechniken in einen Computerspeicher übertragen. Der Computer ist derart programmiert, dass er die Nachführbildebeneendaten zur Bewegungserfassung unter Verwendung der oben diskutierten Verfahren analysiert. Das Nachführbild wird in der Tat als zwei Bilder erscheinen, nämlich eines auf jeder Seite entsprechend den beiden räumlich getrennten Nachführarrays. Die beiden Bilder werden separat analysiert.

**[0116]** Als eine bevorzugte Modifikation für das unmittelbar vorangehend beschriebenen vereinfachten System ist die Ultraschallbilderzeugungsmaschine vorzugsweise derart programmiert, dass sie die Arrayschaltoperation durchführt und einen Satz von Frames für jeden aufeinander folgenden Durchlauf an den Computerspeicher oder eine geeignete Speichereinrichtung überträgt.

#### Alternative Aufnehmer

**[0117]** Verschiedene Variationen sind zu den oben beschriebenen bevorzugten Aufnehmern möglich. Beispielsweise können gekreuzte Arrays des in dem Hashimoto U.S. Patent 5,327,895 und von Schaulov, et al., Ultrasonics Symposium, Seiten 635–638 (IEEE, 1988) beschriebenen Typs zur Verwendung mit dieser Erfindung ausgebildet sein. Solche gekreuzten Arrays umfassen typischerweise eine PZT Platte, welche in rechtwinkligen Richtungen in Chips aufgeteilt ist. Die Kerben sind mit einem Niedrig-Durometer-Polymer, etwa einem Niedrig-Durometer-Epoxydharz gefüllt. Lineare Elektroden (welche die Arrayelemente definieren) sind auf die obere Fläche und die unter Fläche aufgetragen und die Elektroden auf der oberen Fläche sind rechtwinklig zu den Elektroden auf der unteren Fläche orientiert. Wenn das Array in einer Richtung verwendet wird, sind alle Elektroden auf der oberen Fläche geerdet und die Elektroden auf der unteren Fläche mit den phasengesteuerten Anregungspulsen angeregt. Die Elektroden auf der unteren Fläche werden dann nach erfassten Echos überwacht. Wenn das Array in der anderen Richtung verwendet wird, sind die Elektroden der unteren Fläche geerdet und die Elektroden der oberen Fläche werden in einer phasengesteuerten Weise betrieben.

**[0118]** [Fig. 23–Fig. 26](#) zeigen schematische Ansichten von vier gekreuzten Arrays, die zur Sammlung sowohl von Bilddaten als auch von Nachführinformation verwendet werden können. In dem Aufnehmer **100** von [Fig. 23](#) bilden die Elemente **102** ein herkömmliches eindimensionales Array, das zur Sammlung von Bilddaten verwendet werden kann. Gekreuzte Elemente **104** an beiden Enden des Aufnehmers **100** können wie oben beschrieben, als Nachführarrays verwendet werden. Der Aufnehmer **100'** ist ähnlich zu den Aufnehmern **100**, außer dass die gekreuzten Elemente **104'** lediglich an einem Ende vorgesehen sind.



[0119] Das gekreuzte Array **100'** von [Fig. 25](#) ist ebenfalls ähnlich dem Array **100** von [Fig. 23](#), außer dass die gekreuzten Elemente **104''** lediglich in der Mitte des Aufnehmers vorgesehen sind. [Fig. 26](#) zeigt einen Aufnehmer **100'''**, der dem Aufnehmer **100''** von [Fig. 25](#) ähnlich ist, außer dass die gekreuzten Elemente **104'''** über die gesamte Länge des Arrays verlaufen.

[0120] Wie in [Fig. 23–Fig. 26](#) gezeigt ist, können ein oder mehrere Nachführarrays mit einem Bilddatenarray unter Verwendung der Technik gekreuzter Arrays integriert sein. Das gekreuzte Array wird in der normalen Weise entlang der langen Azimuthalachse betrieben, um 2-D Bilddaten zu erhalten. Die gekreuzten Arrays werden betrieben, um Daten entlang der Elevationsrichtung zu erhalten, um die orthogonalen Nachführdaten zu erhalten. Auf diese Weise wird der Empfangsbereich des Aufnehmers minimiert. Falls gewünscht, können die Nachführdaten aus demselben Volumen von Gewebe aufgenommen werden, wie dasjenige, welches zum Erhalten der Bilddaten abgefragt wird.

[0121] [Fig. 27](#) stellt eine schematische Ansicht eines anderen Aufnehmers **110** dar, der ein Bilddatenarray **112** und ein einzelnes Nachführarray **114** aufweist. In diesem Fall ist das Nachführarray **114** rechtwinklig zu dem Bilddatenarray **112** orientiert. Wie in [Fig. 27](#) gezeigt ist, ist das Nachführarray **114** lateral von dem Bilddatenarray **112** versetzt und bezüglich diesem zentriert.

[0122] [Fig. 27a](#) bis [Fig. 27e](#) zeigen fünf alternative Aufnehmer, von denen jeder ein einzelnes Bilddatenarray **112** und wenigstens ein Nachführarray **114** umfasst. In dem Aufnehmer von [Fig. 27a](#) befinden sich zwei Nachführarrays **114**, die beide lateral von dem Bilddatenarray **112** versetzt und bezüglich diesem zentriert sind. In dem Aufnehmer von [Fig. 27b](#) befindet sich ein einzelnes Nachführarray **114**, welches mit dem Bilddatenarray **112** co-linear und von diesem axial mit Abstand angeordnet ist.

[0123] Der Aufnehmer von [Fig. 27c](#) umfasst zwei Nachführarrays **114**, die beide auf derselben Seite des Bilddatenarrays **112** in der Nähe von entgegengesetzten Enden des Bilddatenarrays **112** angeordnet ist. Der Aufnehmer von [Fig. 27d](#) ist demjenigen von [Fig. 27c](#) ähnlich, außer dass die beiden Nachführarrays **114** auf entgegengesetzten Seiten des Bilddatenarrays **112** angeordnet sind. Der Aufnehmer von [Fig. 27e](#) umfasst vier Nachführarrays **114**, wobei zwei auf jeder Seite des Bilddatenarrays **112** in der Nähe von jeweiligen Enden des Bilddatenarrays **112** angeordnet sind.

[0124] Aufnehmergeometrien, bei denen die Nachführarrays entlang des Bilddatenarrays angeordnet sind, können die Gesamtlänge des Aufnehmers verringern, was Vorteile in einigen Anwendungen bringen kann.

[0125] Wie in [Fig. 28](#) und [Fig. 29](#) gezeigt ist, kann ein Aufnehmer **120**, **120'**, der zur Verwendung beim Bilden eines erweiterten Gesichtsfelds, wie oben beschrieben, geeignet ist, ein Bilddatenarray **122** und ein Nachführarray **124** verwenden, wobei die Aufnehmerelemente der beiden Arrays **122**, **124** parallel zueinander sind. In dem Aufnehmer **120** ist das Nachführarray **124** lateral versetzt von dem Bilddatenarray **122** und bezüglich diesem zentriert angeordnet. Wie in [Fig. 29](#) gezeigt ist, sind in dem Aufnehmer **120'** das Bilddatenarray **122'** und das Nachführarray **124'** kollinear und voneinander getrennt angeordnet. Mit jedem der Aufnehmer **120**, **120'** kann eine Frame-zu-Frame-Bewegung unter Verwendung der Nachführarrays **124**, **124'** bestimmt werden und das Verbindungsbild kann von Bilddaten von dem Bilddatenarray **122**, **122'** zusammengesetzt werden.

[0126] In jeder der vorangehenden Ausführungsformen können einige oder alle der Nachführarrays und der Bilddatenarrays als nicht planare lineare Arrays, etwa beispielsweise als gekrümmte Lineararrays ausgebildet sein. Separate, orientierte lineare Arrays können für jede Akustiklinie verwendet werden, falls gewünscht.

#### Alternative Optimierungstechniken für Nachführdaten

[0127] [Fig. 30](#) ist ein Blockdiagramm eines alternativen Ultraschallbilderzeugungssystems **10'**, das in vieler Hinsicht ähnlich zu dem System **10** in [Fig. 1](#) ist. In beiden Zeichnungen werden dieselben Bezugszeichen für vergleichbare Elemente verwendet und die folgende Diskussion wird sich auf die Unterschiede konzentrieren. Das System **10'** speichert Bilddaten von dem Bilddatenarray **18** oder einem der Nachführarrays **20**, **22** in einem Rohbilddatenpuffer **15**. Die in dem Puffer **15** gespeicherten Daten können beispielsweise I, Q-Daten oder IF-Daten sein. Selbstverständlich soll der Ausdruck "Bildinformation" in breitem Sinne Information betreffen, die sich mit räumlichen Variationen in dem Ziel verändert, und in vielen Fällen wird Bildinformation niemals als ein Bild angezeigt. Vorzugsweise umfassen die in dem Puffer **15** gespeicherten Rohbilddaten Nachführdaten, die mit dem Breitbandultraschallpulsbetrieb gespeichert werden. Bilddaten von dem Puffer **15** werden zu einem Detektor **21** durch einen von vier alternativen Blocks geführt. Block **17** ist ein Alpassblock, der keine Filterung durchführt, und der typischerweise für Bilddaten von dem Bilddatenarray **18** verwendet wird. Nachführ-

daten von einem der Nachführarrays **20**, **22** können durch einen der eines der drei Filter **19**, **19'**, **19''** geführt werden, welche verschiedene Filtercharakteristiken aufweisen können. Beispielsweise kann das Filter **19** ein Tiefpassfilter sein und das Filter **19'** kann ein Hochpassfilter sein. Das Filter **19''** kann ein Bandpassfilter sein, welches an jedem beliebigen gewünschten Abschnitt des Frequenzspektrum zentriert sein kann.

**[0128]** Der Detektor **21** kann jeder beliebige herkömmliche Detektor sein und führt ein erfasstes Ausgangssignal dem Abtastumwandler **24** zu. Falls gewünscht, können Nachführdaten von den Nachführarrays **20**, **22** mehrere Male verarbeitet werden, und zwar unter Verwendung verschiedener der Filter **19**, **19'**, **19''**. Selbstverständlich können mehr oder weniger Filter in alternativen Ausführungsformen verwendet werden.

**[0129]** Der Abtastumwandler **24** verwendet vorzugsweise das wohlbekanntes Histogrammequalisierungsverfahren, um den Kontrast in den Nachführbilddaten zu maximieren. Histogrammequalisierung wird beispielsweise in Gonzales und Woods, Digital Image Processing, Addison-Wesley, 1993, Seiten 173–178 diskutiert, sowie in dem Kim U.S. Patent 5,492,125. Der Abtastumwandler **24** kann ein 2D-Tiefpassfilter und/oder ein 2D-Hochpassfilter verwenden, um die Nachführbilddaten zu glätten oder in anderer Weise zu verarbeiten.

**[0130]** Bildframes von dem Abtastwandler **24** werden in den Framepuffern **30**, **32**, **34** gespeichert und Nachführsätze von Bilddaten von den Puffern **32**, **34** werden selektiv auf den Bewegungsabschätzer **38** angewandt. Der Bewegungsabschätzer **38** schätzt die Relativbewegung zwischen den ausgewählten Nachführbildsätzen ab und wendet diese Bewegungsabschätzungen auf einen Bewegungsglättungs-/Summierblock **40'** an.

**[0131]** Der Bewegungsglättungs-/Summierblock **40'** verarbeitet Bewegungsabschätzungen von mehrfachen Bewegungserfassungsoperationen. Vorzugsweise ist jede Bewegungserfassungsabschätzung einem Qualitätsfaktor zugeordnet, welcher das der Bewegungsabschätzung zugeordnete Vertrauensniveau anzeigt. Beispielsweise kann ein geeigneter Qualitätsfaktor ein Wert der minimalen Summe von absoluten Differenzen sein, die einer besonderen Bewegungsabschätzung zugeordnet sind. Der Block **40'** berechnet mehrfache Bewegungsabschätzungen unter Verwendung einer gewichteten Summe. Beispielsweise sei die Situation betrachtet, in der drei Bewegungsabschätzungen zur Verfügung stehen, wobei die folgenden Werte und Qualitätsfaktoren Q zugeordnet sind:

Abschätzung 1: 5 Pixel nach rechts Q = 0,9

Abschätzung 2: 3 Pixel nach rechts Q = 0,8

Abschätzung 3: 2 Pixel nach links Q = 0,2

**[0132]** In diesem Beispiel ist ein hoher Wert von Q einem hohen Vertrauensniveau zugeordnet. Der Block **40'** kann eine gewichtete Summe dieser Bewegungsabschätzungen wie folgt bilden:

$$\begin{aligned} \text{Bewegungsabschätzung} &= \frac{(5 \times 0,9) + (3 \times 0,8) + (-2 \times 2,0)}{(0,9 + 0,8 + 2,0)} \\ &= 3,4 \text{ Pixel nach rechts} \end{aligned}$$

**[0133]** Die vorangehende Bewegungsspeicherung **41** [Fig. 3](#) wird zur Speicherung vorangehender Bewegungsabschätzungen verwendet, bis diese beim Bilden der oben beschriebenen gewichteten Summe benötigt werden. Andere Verfahren zur Verwendung mehrfacher Bewegungsabschätzungen werden im Folgenden beschrieben.

**[0134]** Andere Techniken, die zur Verbesserung der Qualität der Bewegungsabschätzung verwendet werden können, umfassen die Verwendung von mehrfachen Übertragungszonen, zur Übertragung der Nachführbilddaten bester Qualität und die Verwendung eines frequenzabhängigen Fokusses, wie in Hossack U.S. Patent 5,608,690 beschrieben, welches dem Anmelder der vorliegenden Erfindung zugeordnet ist, um die Nachführbilddaten bester Qualität aufzunehmen.

**[0135]** Wie oben ausgeführt wurde, kann die Aufnahme von Bilddaten über das Array **18** im Zeit-Multiplexverfahren mit der Aufnahme von Nachführdaten über die Nachführarrays **20**, **22** durchgeführt werden. In einer alternativen Ausführungsform wird die zeitliche Trennung zwischen aufeinander folgenden Nachführdatenframes adaptiv gesteuert/geregelt, um Bewegungsabschätzungen bereitzustellen, die innerhalb eines gewünschten Bereichs fallen. Wie hierin erläutert, existiert dann, wenn die Bewegungsabschätzung (d. h. die Verlagerung) zwischen aufeinander folgenden Nachführframes übermäßig ist, eine Gefahr, dass die Verlagerung die Messungsfähigkeiten des Bewegungsabschätzers **38** überschreiten kann. Umgekehrt kann dann, wenn die

Bewegungsabschätzung zwischen aufeinander folgenden Nachführframes zu gering ist, eine übermäßige Rechenzeit beim Erzeugen von Bewegungsabschätzungen verbraucht werden. Wenn die Bewegungsabschätzungen klein sind, sind weiterhin die relativen Fehler groß und Verbindungsfehler können unerwünschte Ausmaße erreichen. Um diese Probleme zu vermeiden, kann eine Steuer-/Regeleinheit wie oben beschrieben, vorgesehen sein, um die Anzahl von Bilddatenframes zu bestimmen, die zwischen aufeinander folgenden Nachführrahmen gesammelt werden und dies kann in einer adaptiven Weise erreicht werden, wie in [Fig. 31](#) gezeigt ist.

**[0136]** In [Fig. 31](#) wird die Variable N zur Angabe der Anzahl von Bilddatenframes verwendet, welche zwischen aufeinander folgenden Nachführrahmen gesammelt werden. Wie in [Fig. 31](#) gezeigt ist, ist N anfänglich auf eine Konstante K1 gesetzt, und dann wartet die Steuer-/Regeleinheit auf eine neue Bewegungsabschätzung von dem Bewegungsabschätzer **38** von [Fig. 3](#). Wenn diese Bewegungsabschätzung oberhalb eines gewünschten Bereichs liegt, wird N um den Betrag  $\Delta$  verringert. Wenn umgekehrt die Bewegungsabschätzung unterhalb des gewünschten Bereichs liegt, wird N um  $\Delta$  erhöht. Sobald N falls nötig korrigiert worden ist, wartet die Steuer-/Regeleinheit auf eine neue Bewegungsabschätzung von dem Bewegungsabschätzer **38**. Auf diese Weise wird die Bewegungsabschätzung automatisch innerhalb eines gewünschten Bereichs gehalten und mit übermäßig großen Bewegungsabschätzungen und übermäßig kleinen Bewegungsabschätzungen verbundene Probleme werden vermieden.

#### Bildübertragungsoptimierungstechniken

**[0137]** Das System **10'** von [Fig. 30](#) ist zur Verwendung in Situationen gut geeignet, in denen ein entfernter Computer zur Durchführung der Bewegungsabschätzung, entweder in Echtzeit oder nach einer Verzögerung, verwendet wird. In diesem Zusammenhang kann entfernt bedeuten, dass der Bewegungsabschätzungscomputer über ein Kabel oder eine andere Datenverbindung verbunden ist. Wie in [Fig. 30](#) gezeigt ist, können Bilddatenframes von dem Puffer **30** unter Verwendung jeder beliebigen geeigneten Komprimierungstechnik, etwa JPEG, vor der Übertragung an die möglicherweise entfernte Stelle komprimiert werden. Nachdem die Bilddaten an der möglicherweise entfernten Stelle empfangen worden sind, werden sie dekomprimiert, wie in [Block 35](#) gezeigt ist. Ähnliche Komprimierungs- und Dekomprimierungsblöcke können zwischen den Puffern **32**, **34** und dem Bewegungsabschätzer **38** eingefügt sein. Beispielsweise kann die entfernte Bewegungsabschätzung und 3D-Volumenrekonstruktion an einer entfernten Workstation, etwa der AEGIS Workstation von Acuson Corporation, der Anmelderin der vorliegenden Erfindung, durchgeführt werden.

#### Alternative Bewegungsabschätzungstechniken

**[0138]** Für den Fall, dass die Bewegung zwischen aufeinander folgenden Nachführframes klein ist (kleiner als ein Pixel), existiert eine Gefahr, dass Bewegung falsch eingeschätzt werden kann, wenn jedes Nachführframe mit dem unmittelbar vorangehenden Nachführframe verglichen wird. Wenn beispielsweise die Trennung zwischen benachbarten Nachführframes  $1/3$  eines Pixels betragen würde, würde der Vergleich jedes Nachführframes mit dem unmittelbar vorangehenden Nachführframe keine Bewegung erfassen. Um dieses Problem zu überwinden, wird der Bewegungsabschätzer **32** von [Fig. 30](#) vorzugsweise unter Verwendung des Algorithmus von [Fig. 32](#) gesteuert/geregelt. In diesem Algorithmus definiert N die Framenummer des Bildbereichs, der als Referenz bei der Bewegungsabschätzung verwendet wird, und das Symbol  $N+i$  wird verwendet, um die Framenummer des Bildbereichs zu bezeichnen, der mit dem Referenzbildbereich verglichen werden soll. Wie in [Fig. 32](#) gezeigt ist, ist der erste Schritt,  $i=1$  zu setzen und dann zu bestimmen, ob eine Bewegung zwischen dem Bildbereich N und dem Bildbereich  $N+i$  erfasst worden ist. Falls nicht, wird i erhöht und die Steuerung/Regelung kehrt zu [Block 130](#) zurück. Sobald in [Block 130](#) eine Bewegung erfasst worden ist, wird das Referenzbildframe aktualisiert um gleich  $N+i$  zu sein, i wird auf 1 zurückgesetzt und die Steuerung/Regelung kehrt zurück zu [Block 130](#).

**[0139]** Als Beispiel soll eine Sequenz von Nachführframes 1, 2, 3 und 4 betrachtet werden. Unter der Annahme, dass keine Bewegung zwischen den Frames 1 und 2 erfasst wird, wird Frame 3 mit Frame 1 verglichen. Unter der Annahme, dass keine Bewegung zwischen Frame 3 und Frame 1 erfasst wird, wird Frame 4 ebenfalls mit Frame 1 verglichen. Dieser Prozess wird wiederholt, bis eine Bewegung erfasst wird, und erst dann wird das Referenzframe auf das neue Frame aktualisiert, bei dem Bewegung erfasst worden ist. Auf diese Weise bleiben mehrfache Subpixelbewegungen nicht unerfasst, weil Subpixelbewegungen sich schließlich zu dem Punkt aufsummieren, bei dem sie erfassbar werden.

**[0140]** Die Auswahl des Referenzbildbereichs entspricht nicht notwendigerweise einem gesamten Frame. Wenn die Framebewegung an der Oberseite Null ist und am Boden des Frames von Null verschieden ist (wie

es bei einem fächerartigen Durchlauf der Fall sein kann), wird der ältere Frameabschnitt vorzugsweise als Referenz für die Bewegungserfassung an der Oberseite des Frames beibehalten, während der Boden des Frames aktualisiert wird, sobald Bewegung in diesem Bereich erfasst wird.

**[0141]** Da die Nachführarrays **20**, **22** grundsätzlich entlang der Oberfläche durchgeführt werden, wird die Mehrzahl von Bewegungen in der Elevationsrichtung stattfinden, anstatt in der Tiefenrichtung. Während der Suche nach der Minimalsumme von absoluten Differenzen (MSAD) ist es bevorzugt, den Suchbereich rechteckig zu gestalten, anstatt quadratisch. Beispielsweise kann an Stelle des Durchsuchens eines Bereichs von 64×64 Pixeln ein Bereich von 128×32 Pixeln in derselben Zeit durchsucht werden (128 laterale Suchpixel und 32 Tiefensuchpixel). In ähnlicher Weise wird dann, wenn die Maximalbewegung 64 Pixel beträgt, durch Begrenzen des Bereichs der Suche auf 32×64 Pixel die Suchzeit stark verringert.

**[0142]** Zusätzlich kann die Framebewegung interpoliert werden, um die Verarbeitungszeit weiter zu reduzieren. Wenn beispielsweise Nachführframes 1, 3 und 5 zur Bewegungserfassung verwendet werden (anstatt 1, 2, 3, 4 und 5), kann die erfasste Bewegung zwischen den Frames 1 und 3 interpoliert werden, um die Bewegung für Frame 2 zu bestimmen. In diesem Fall würde die interpolierte Bewegung für Frame 2 eine Hälfte der erfassten Bewegung zwischen Frame 1 und 3 sein. Dieses Verfahren ermöglicht es, dass eine verringerte Verarbeitungszeit zur Bewegungserfassung verbraucht wird, aber ermöglicht es, dass alle aufgenommenen Bilddaten in dem 3-D Bild der höchsten Qualität verwendet werden. Eine Interpolation dieses Typs kann in dem 3D-Volumentranslations-/Interpolationsblock **36** von **Fig. 30** durchgeführt werden.

**[0143]** Verschiedene alternative Ansätze können in dem Bewegungsabschätzer **38** verwendet werden, um die Verarbeitungszeit ferner zu reduzieren. Wenn beispielsweise ein kleiner Satz von Akustiklinien übertragen, empfangen und als eindimensionale RF- oder Basisbandsignale gespeichert werden, können Vektorkomponenten der Bewegung entlang dieser Linien durch Korrelation von aufeinander folgenden Abtastsequenzen entlang der Linien abgeschätzt werden. Auf diese Weise kann die Vektorkomponente der Bewegung in jeder der Linienrichtungen bestimmt werden und diese Vektorkomponenten der Bewegung können aufsummiert werden, um die endgültige zweidimensionale Bewegungsabschätzung zu erzeugen. Falls gewünscht, können mehr als zwei Akustiklinien in dem Satz verwendet werden, aber das folgende Beispiel verwendet zwei rechtwinklige Akustiklinien.

**[0144]** Wie in **Fig. 33** gezeigt ist, kann beispielsweise das Nachführarray **20** zur Speicherung von zwei akustischen Empfangslinien **140**, **142**, welche rechtwinklig zueinander verlaufen, verwendet werden. Diese Linien können als ein einzelnes Frame von Nachführdaten bildend betrachtet werden. Die Linie **140** kann zwischen zwei separaten Frames von Nachführdaten gekreuzkorreliert sein, um die Vektorkomponente der Bewegung entlang der Richtung des Pfeils **144** zu finden, und ähnlich können die Linien **142** in diesen beiden Frames von Nachführdaten verwendet werden, um die Vektorkomponente der Bewegung in der Richtung des Pfeils **146** zu bestimmen. Diese beiden Komponenten der Bewegung können als Vektoren aufsummiert werden um die zweidimensionale Bewegung zwischen den beiden Frames von Nachführdaten abzuschätzen. Kreuzkorrelationstechniken, die zur Anwendung in der gegenwärtigen Aufgabe geeignet sind, sind in Engeler U.S. Patent-Nr. 4,937,775, O'Donnell U.S. Patent-Nr. 4,989,143 und Wright et al. U.S. Patent Nr. 5,570,691 beschrieben. Das Wright et al. Patent ist dem Anmelder der vorliegenden Erfindung zugeordnet.

**[0145]** Vorzugsweise wird ein Register verwendet, um die komplexen abgetasteten Strahlendaten von einem Auslösen in einer der beiden Richtungen zu speichern. Wenn eine Zeiteinheit später derselbe Strahl erneut gebildet wird, sind die erzeugten abgetasteten Strahlendaten mit den Daten im Register gekreuzkorreliert. Aus der Position des Kreuzkorrelationspeaks wird die relative Zeitverzögerung zwischen den beiden Signalen bestimmt. Der Kreuzkorrelationsprozess kann auf einem oder mehreren Abschnitten der zur Verfügung stehenden Liniendaten arbeiten. Durch Erfassen einer Bewegung über Kreuzkorrelation an einer Anzahl von Punkten entlang jeder Linie können separate Bewegungen auf der Oberseite und der Unterseite des Bildes bestimmt werden, und folglich können sowohl Drehungen als auch Translationen abgeschätzt werden. Aus der durch den Kreuzkorrelationspeak bestimmten Verzögerungszeit wird die Komponente der Aufnehmerbewegung (parallel zur Strahlachse), die erforderlich ist um die gemessene Zeitverzögerung zu verursachen, aus der bekannten Schallgeschwindigkeit im Gewebe und unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Verzögerung eine Weglänge in zwei Richtungen betrifft, abgeleitet. Dieser Prozess wird für die andere Linie (vorzugsweise rechtwinklig zur ersten Linie orientiert) wiederholt, um die andere Vektorkomponente der Bewegung zu finden. Diese beiden Vektorkomponenten werden dann summiert, um die abgeschätzte tatsächliche Aufnehmerbewegung an diesem Punkt entlang des Arrays zu finden. In ähnlicher Weise wird der Prozess typischerweise bei der zweiten Seite des Arrays für das zweite Nachführarray wiederholt.

**[0146]** In einer Ausführungsform sind die beiden Linien (und daher die beiden Strahlen) in  $\pm 45$  Grad orientiert und es existiert daher eine strikte Anforderung an den Elementabstand, wenn Gitterkeulen vermieden werden sollen. In einer anderen Ausführungsform sind die beiden Linien in  $\pm 60$  Grad orientiert, um die Genauigkeit der Bewegungserfassung entlang der Haut eines Patienten zu erhöhen. Vorzugsweise sollten die Aufnahmerelemente einem Abstand einer halben Wellenlänge oder weniger angeordnet sein. Diese Anforderung kann die Verwendung einer niedrigeren Frequenz für die Nachführarrays als für das Bilddatenarray befördern. Jedoch ist es möglich, dass die Kreuzkorrelationstechnik in der Lage ist, eine Verzögerung bis einem kleinen Anteil einer Wellenlänge zu verfolgen. Wie oben ist es nicht erforderlich, den Vergleich zwischen dem einen Satz von Nachführdaten und dem nächsten Satz von Nachführdaten an jedem aufgenommenen Satz von Nachführdaten durchzuführen, sondern stattdessen an einem zeitlich beabstandeten Untersatz. Wenn beispielsweise die Bewegung schnell ist, können Bewegungsabschätzungen zwischen jedem aufeinander folgenden Paar von Sätzen von Nachführdaten gemacht werden, aber wenn die Bewegung langsam ist, ist eine längere Zeit zwischen Bewegungsabschätzungen möglich.

#### Suchtechniken für Erfassung schneller Bewegung

**[0147]** Eine Vielzahl von Verfahren stehen zur Verfügung, um die Suche nach abgeschätzten Bewegungen zu beschleunigen. Diese Verfahren können mit jeder beliebigen der oben beschriebenen Ausführungsformen verwendet werden.

1. Entweder die Systemsteuer/regeleinheit oder eine Benutzereingabe kann die zu durchsuchende Blockgröße variieren. Große Blockgrößen erfordern mehr Berechnung, aber für bestimmte Bildtypen (z. B. Daten mit Rauschen) ergeben größere Blocks ein qualitativ besseres Ergebnis (d. h. minimales SAD gegenüber mittlerem SAD).
2. Das System verändert adaptiv den Suchbereich auf Grundlage der vorangehenden Bewegungsabschätzung. Wenn die letzte Bewegung **10** Pixel nach rechts war, kann die Suche über einen Bereich von 0 Pixel nach rechts bis 20 Pixel nach rechts durchgeführt werden, das heißt, der Suchbereich wird um die erwartete Bewegung zentriert, wie sie durch die vorangehende Bewegungsmessung angezeigt wird.
3. Wenn die erfassten Bewegungen wenig Variation aufweisen (z.B. 7, 8, 10, 9 Pixel nach rechts in aufeinander folgenden Bewegungsmessungen, im Gegensatz zu 5, 15, 8, 12 Pixeln), kann das System einen kleineren Suchbereich verwenden, da es einen relativ hohen Vertrauensgrad ergibt, dass die Bewegung zwischen 7 und 10 liegt. Wenn aufeinander folgende Bewegungsabschätzungen stark variieren, dann verwendet das System im Gegensatz hierzu vorzugsweise einen größeren Suchbereich, um eine Sicherheit einer erfolgreichen Suche (d.h. die Bewegung geht nicht über die Grenzen des Suchbereichs hinaus) zu maximieren. Wenn in dem obigen Beispiel Pixelbewegungen 7, 8, 10, 9 sind, wird ein  $15 \times 15$  Suchbereich verwendet, aber wenn die Pixelbewegungen 5, 15, 8, 12 sind, wird ein  $30 \times 30$  Suchbereich verwendet.
4. Da die meiste Bewegung in der lateralen Richtung statt in der Abstandsrichtung erwartet wird (weil der Aufnehmer über die Hautoberfläche gezogen wird), kann der Suchbereich asymmetrisch sein, z. B.  $\pm 5$  Pixel in der Abstandsrichtung und  $\pm 20$  Pixel in der lateralen Richtung.
5. Die Suche kann mit mehreren Niveaus von räumlicher Auflösung durchgeführt werden. Anfänglich wird die Suche in grober Weise lediglich entlang der lateralen Richtung durchgeführt, z. B. um jede zweite Pixelstelle zu testen. Sobald der geeignete laterale Versatz auf diese Weise erfasst worden ist, wird eine feine Suche (jede Pixelstelle) sowohl in der lateralen als auch in der Abstandsrichtung erfasst.
6. Eine hierarchische Bewegungserfassung kann basierend auf Grundlage mehrfacher Niveaus der Signalpegelauflösung verwendet werden. Anfänglich werden lediglich die am meisten signifikanten 2 oder 4 Bits, die jedem Pixelintensitätspegel zugeordnet sind, zum Auffinden der Position mit der minimalen SAD verwendet. Sobald die Stelle ungefähr gefunden ist, wird ein zweiter Suchpegel in dieser Region unter Verwendung aller Bits, typischerweise 8, durchgeführt. Mehr als zwei Hierarchiepegel können verwendet werden.

#### Nachführtechniken mit höherer Auflösung

**[0148]** Das feinste Niveau der Bewegungserfassung kann erhöht werden, indem zusätzliche Pixel zwischen den zur Verfügung stehenden Pixeln interpoliert werden. Ein alternatives Verfahren, welches durch Li und Gonzales, IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Techn., 6, 1 Seite 118 (Feb., 1996) beschrieben wird, berechnet die Bewegungsabschätzung für Subpixelauflösung auf Grundlage der Werte der benachbarten SAD-Werte zu dem einen mit der minimalen SAD.

#### Techniken zum Kombinieren von Bewegungsabschätzungen

**[0149]** Die endgültige Abschätzung der Aufnehmerbewegung basiert vorzugsweise auf einer Zusammensetzung mehrerer Eingaben. Vorzugsweise werden diese Eingaben derart gewichtet, dass diejenigen, die schein-

bar die größte Qualität (oder Sicherheit) haben, die größte Gewichtung zugeordnet wird. Eingaben, welche im Gegensatz zu der Mehrzahl von Eingaben stehen, werden entweder aus der Zusammensetzungsberechnung eliminiert oder mit sehr kleinen Gewichtungen versehen.

**[0150]** Zunächst wird das Verhältnis einer minimalen Summe absoluter Differenzen ("min SAD") zur mittleren Summe von absoluten Differenzen ("mittleres SAD") als ein Qualitätsfaktor verwendet. Ein niedriges Verhältnis zeigt ein Ergebnis mit hoher Qualität an, und ein Ergebnis in der Nähe von 1,0 zeigt eine unzuverlässige Abschätzung an. In der Praxis wird ein gutes Verhältnis selten geringer als 0,3 sein. Unter der Annahme, dass Verhältnisse im Bereich 0,3 bis 1,0 liegen, kann man dieses in eine Gewichtungsfunktion im Bereich von 0,0 bis 1,0 umwandeln, wobei 1,0 ein ideales (hohe Sicherheit) Ergebnis und 0,0 ein nicht brauchbares Ergebnis bedeutet.

$$\text{Gewichtetes\_MSAD} = 1 - (\text{min\_SAD}/\text{mittleres\_SAD})/0,7.$$

**[0151]** Wenn das minimal beobachtbare SAD < 0,3 ist, kann diese Gleichung modifiziert werden:

$$\text{Gewichtetes\_MSAD} = (1 - (\text{min\_SAD}/\text{mittleres\_SAD})) / (1 - \text{min\_beobachtbares\_SAD}).$$

**[0152]** Ein zweiter Qualitätsfaktor basiert auf der Ähnlichkeit der vorliegenden Bewegungsabschätzung zur vorangehenden Abschätzung. Dieser Ansatz basiert auf der Beobachtung, dass in einer sanften Abtastung, die typisch für die in der Praxis verwendete ist, die tatsächliche Relativbewegung zwischen einem Satz von Nachführdaten und einem nachfolgenden Satz von Nachführdaten ähnlich ist. Wenn eine Bewegungsabschätzung eine Bewegungsumkehr vorhersagt, ist es wahrscheinlich, dass sie eine schlechte Abschätzung ist. Ursache für schlechte Abschätzungen können ein Bild mit starkem Rauschen, ein schwacher Pixelkontrast oder das Vorhandensein von großen Mengen von strömendem Blut sein. Man beachte, dass die vorangehende Bewegungsabschätzung, die als eine Referenz verwendet wird, entweder die Rohabschätzung der Bewegung der MSAD-Operation oder der vorangegangenen geglätteten und gewichteten Abschätzung ist. Vorzugsweise wird geglättete vorangehende Bewegungsabschätzung als die Referenz verwendet, mit der die am wenigsten zurückliegende Rohbewegungsabschätzung verglichen wird.

**[0153]** In dem gegenwärtigen Beispiel wird der Ähnlichkeitsgrad zwischen den beiden Abschätzungen der Bewegung wie folgt berechnet. Dieses Beispiel gilt für eine Bewegung in Y (Elevations)-Richtung, aber kann auf eine Bewegung in Z (Tiefen)-Richtung angewendet werden. Gewichts\_seq ist der Gewichtungsfaktor, der auf Grundlage eines Vergleichs von aufeinander folgenden Abschätzungen erzeugt wird.

$$\text{Gewichtungs\_seq} = 1 - [\text{abs}(Y_{\text{curr}} - Y_{\text{last}}) / (\text{abs}(Y_{\text{curr}}) + \text{abs}(Y_{\text{last}}))]$$

wobei

Ycurr = gegenwärtige Abschätzung der Y-Bewegung und  
Ylast = die letzte Abschätzung der Y-Bewegung, geglättet.

**[0154]** Für die anfängliche Bewegungsberechnung ist kein Maß einer Ähnlichkeit mit einer vorangehenden Abschätzung möglich, so dass der anfänglichen bewegungsbezogenen Gewichtung ein willkürlicher Wert, etwa 0,5, zugewiesen werden muss.

**[0155]** Ein Zusammensetzungs-Gewichtungsfaktor ("Gewichtungs\_comp") wird dann gebildet. Abhängig von der Erfahrung mit dem Abtasten von echtem Gewebe kann man eine Auswahl treffen, um die Gewichtung entweder mehr auf die Seite der MSAD-Qualität oder der sequenziellen Qualität vorzuzählen. Gegenwärtig bezieht sich 0,75 der gesamten Gewichtung auf die MSAD-Qualität und 0,25 auf die sequenzielle Qualität.

$$\text{Gewichtungs\_comp} = 0,75 \times \text{Gewichtungs\_MSAD} + 0,25 \times \text{Gewichtungs\_seq}.$$

**[0156]** Diese Gewichtungen werden für alle Punkte berechnet, für die Bewegungsabschätzungen gemacht werden. In einem Beispiel wurden sechs Bewegungsabschätzungen in der Abstandsrichtung gemacht. Jede verwendet einen 48×48 Pixelblock.

**[0157]** Da für eine reale Bewegung die die Bewegung beschreibende Gleichung als eine Funktion der Tiefe einer geraden Linie folgen muss, kann man die erhaltende Bewegungsabschätzung an eine gerade Linie anpassen. Vorzugsweise werden Bewegungen unter Verwendung eines Verfahrens gewichteter kleinster Qua-

drate angepasst, wobei die Gewichtungen diejenigen sind, die oben für jeden der Abstandspunkte beschrieben wurden, für die eine Bewegungsabschätzung zur Verfügung steht. Dieser Prozess wird sowohl für die Bewegung in Y-Richtung als auch für die Bewegung in Z-Richtung wiederholt.

**[0158]** Schließlich erhält man nach Bestimmung der angepassten Bewegungen die in Ausdrücken eines Achsenabschnitts ( $c$ ) und einer Steigung ( $m$ ) definierte Linie:  $Y\_Bewegung = mZ + c$ .

**[0159]** In ähnlicher Weise werden die Z-Bewegungen als eine Funktion der Z-Beobachtungspunkte berechnet:

$Z\_Bewegung = mZ + c$  (unterschiedliches  $m$  und  $c$ ).

**[0160]** Obwohl man typischerweise erwartet, dass Z Bewegung als eine Funktion von Z eine Konstante ist, ist dies im Fall einer Aufnehmerdrehung um die Azimuthalachse nicht der Fall.

**[0161]** Dieser angepasste Wert kann ferner geglättet werden auf Grundlage des Durchschnitts des Parameters  $Gewichtungs\_comp$ . Daher erfolgt bei Vorhandensein einer Abschätzung mit sehr schlechter Qualität die gegenwärtige Abschätzung grundsätzlich basierend auf der vorangehenden Abschätzung (anstatt der gegenwärtigen Abschätzung):

$m\_mod = fact \cdot (Mittelwert(Gewichtungs\_comp)) \cdot m + (1 - fact \cdot (Mittelwert(Gewichtungs\_comp))) \cdot m\_last$

$c\_mod = fact \cdot (Mittelwert(Gewichtungs\_comp)) \cdot c + (1 - fact \cdot (Mittelwert(Gewichtungs\_comp))) \cdot c$  last

$c$	die gegenwärtige Abschätzung des Achsenabschnitts
$c\_last$	der Achsenabschnitt der Bewegungsabschätzung für das vorangehende Paar von Frames
$c\_mod$	der modifizierte Achsenabschnitt
$m$	die gegenwärtige Abschätzung der Steigung
$m\_last$	die Steigung der Bewegungsabschätzung von dem vorangehenden Paar von Frames
$m\_mod$	die modifizierte Steigung
$fact$	ein Faktor zur Bestimmung, wieviel Signifikanz an der Gewichtung anzubringen ist (gegenwärtig $fact = 1,0$ )

**[0162]** Alternativ kann das endgültige  $Gewichtungs\_comp$  unter Verwendung von Fuzzylogik bestimmt werden. Ein Fuzzylogik-Steuer-/Regelblock nimmt als Eingaben die Größen  $Gewichtungs\_MSAD$  und  $Gewichtungs\_seq$  an und kombiniert dieselben, um eine Ausgabe zu bilden, welche  $Gewichtungs\_comp$  ist. Den Eingaben  $Gewichtungs\_MSAD$  und  $Gewichtungs\_seq$  werden zunächst Klassen (separate Klassen für  $Gewichtungs\_MSAD$  und  $Gewichtungs\_seq$ ) zugeordnet. Diese Klassen sind "niedrig", "mittel" und "hoch". Die Mitgliedschaft basiert darauf, ob die Eingabe innerhalb jedes von drei dreieckartigen Bereichen liegt, wie sie in [Fig. 34](#) gezeigt sind. Die Ableitung von Positionen der Linien, welche definieren, in welche Klasse besondere gemessene Werte fallen, basiert auf Experimenten. Obwohl die gezeigten Bereiche der Zeichnung in ihrer Form dreieckförmig gezeigt sind, sollte beachtet werden, dass diese Bereiche derart geformt sein können, dass sie einer beliebigen stetigen Funktion folgen, für die experimentell bestimmt wird, dass gute Ergebnisse erzielt werden. Die horizontale Achse der Klassenfunktion entspricht dem Eingabewert ( $Gewichtungs\_MSAD$  oder  $Gewichtungs\_seq$ ) und die vertikale Achse definiert den Grad der Mitgliedschaft der Klasse. In diesem Fall wird dasselbe Klassenmitgliedschaftsdiagramm sowohl für  $Gewichtungs\_MSAD$  als auch für  $Gewichtungs\_seq$  verwendet. Eine ähnliche Klasse von Mitgliedschaftsdiagrammen wird für die Fuzzyausgabe  $Gewichtungs\_comp$  abgeleitet, wie in [Fig. 35](#) gezeigt ist. In diesem Fall besitzt das Diagramm fünf Bereiche: sehr niedrig, niedrig, mittel, hoch und sehr hoch.

**[0163]** Die folgenden Fuzzyregeln können angewandt werden, um  $Gewichtungs\_comp$  zu bestimmen; in diesen Regeln wird ein logisches UND zwischen  $Gewichtungs\_MSAD$  und  $Gewichtungs\_seq$  angenommen:

Regel Nr.	Gewichts_MSAD	Gewichts_seq	Gewichts_comp
1	niedrig	niedrig	sehr niedrig
2	niedrig	mittel	niedrig
3	niedrig	hoch	mittel
4	mittel	niedrig	sehr niedrig
5	mittel	mittel	mittel
6	mittel	hoch	hoch
7	hoch	niedrig	niedrig
8	hoch	mittel	hoch
9	hoch	hoch	sehr hoch

**[0164]** Fuzzyregeln werden angewandt, um die Wahrheit der Regeln zu bestimmen. Beispielsweise sei angenommen, dass Gewichts\_MSAD und Gewichts\_seq jeweils 0,35 und 0,9 betragen.

**[0165]** Die Eingabe 0,35 führt zu einem 0,5 Grad der Mitgliedschaft zur Klasse "niedrig" und 0,5 Grad der Mitgliedschaft zur Klasse "mittel". Die Eingabe 0,9 führt zu einem 1,0 Grad der Mitgliedschaft zur Klasse "hoch".

**[0166]** Daher sind die Regeln 3 und 6 wahr, stellen aber unterschiedliche Werte für die Ausgabe Gewichts\_comp (jeweils "mittel" und "hoch") bereit. Die Ausgaben, die für diese Regeln möglich sind, sind in [Fig. 36](#) gezeigt.

**[0167]** Zunächst Bezug nehmend zu Regel 3, ist der niedrige Wert von Gewichts\_MSAD mit einem logischen UND mit dem hohen Wert von Gewichts\_seq kombiniert und der Minimalwert dieser beiden Ausdrücke wird als das Wahrheitsniveau von Regel 3 genommen. Die 0,5 Grad Mitgliedschaft zu "niedrig" für Gewichts\_MSAD ist geringer als die 1,0 Grad Mitgliedschaft zu Klasse "hoch" für Gewichts\_seq. Daher ist das Wahrheitsniveau der Regel 3 0,5.

**[0168]** Bezug nehmend auf Regel 6 ist der Mittelwert von Gewichts\_MSAD mit einem logischen UND mit dem hohen Wert von Gewichts\_seq kombiniert und der Minimalwert der beiden Ausdrücke wird als das Wahrheitsniveau von Regel 6 genommen. Die 0,5 Grad Mitgliedschaft für Gewichts\_MSAD zur Klasse "mittel" ist geringer als die 1,0 Grad Mitgliedschaft für Gewichts\_seq zur Klasse "hoch". Folglich beträgt das Wahrheitsniveau der Regel 6 0,5.

**[0169]** Die "mittel" und "hoch"-Beschriftungen kennzeichnen für die Gewichts\_comp Funktionsmitgliedschaft in [Fig. 36](#) werden bei den durch die obigen Fuzzyregeln definierten Wahrheitsniveaus abgeschnitten. Dies ist in [Fig. 37](#) gezeigt.

**[0170]** Eine numerische Ausgabe für Gewichts\_comp wird unter Verwendung einer Schwerpunkts-Defuzzifikationstechnik („centroid defuzzification technique“) abgeleitet. Eine Abschätzung des Schwerpunkts des gesamten schraffierten Bereichs in [Fig. 37](#) wird gemacht. In diesem Fall liegt der Schwerpunkt bei 0,625 und folglich wird der Ausgabe Gewichts\_comp dieser Wert zugeordnet.

**[0171]** Nach Bestimmung von Gewichts\_comp kann man das oben gezeigte Verfahren verwenden, um die Anpassung gemäß gewichteter kleinster Quadrate zu bestimmen und zu bestimmen, in welchem Ausmaß die gegenwärtige Bewegung auf der gegenwärtigen Bewegungsabschätzung oder der vorangehenden Bewegungsabschätzung basieren soll.

**[0172]** Es wird natürlich aus der vorangehenden Diskussion deutlich, dass die erfassten Bewegungen in der X-, Y- und/oder Z-Richtung lokale Bewegungen sind, d. h. Bewegungen bezüglich der gegenwärtigen Position und Orientierung des Aufnehmers und seiner Arrays. Anfänglich, beim Start der Abtastung, wird typischerweise angenommen, dass die lokalen X-, Y- und Z-Richtungen einem angenommenen globalen Achsensystem entsprechen, welches während der gesamten Bewegung des Aufnehmers hinweg konstant bleibt. Wenn der Aufnehmer um die azimuthale Achse der Bildebene gedreht wird, wie es während eines fächerartigen Durchlaufs sein kann, dreht sich die lokale Z-Bewegung (Tiefenrichtung des Aufnehmers) so lange, bis sie eine signifikante Komponente in der globalen Y- oder Elevationsrichtung aufweist. Mit jeder erfassten Bewegung des



Aufnehmers werden die neue Position und Orientierung des Aufnehmers im globalen Achsensystem berechnet. Die Orientierungen der lokalen X-, Y- und Z-Richtungen (d. h. Azimuth, Elevation und Abstand oder Tiefe des Aufnehmers) bezüglich des globalen Achsensystems werden aktualisiert. Daher wird eine nachfolgende Analyse der Bewegung in der lokalen Z-Richtung des Aufnehmers beispielsweise in Komponenten in der globalen Z- und Y-Richtung zerlegt.

**[0173]** Als ein Beispiel sei die Situation betrachtet, bei der die Tiefe oder Z-Richtung des Aufnehmers von ihrer anfänglichen nach unten zeigenden Richtung in Übereinstimmung mit der globalen Z-Richtung gedreht wurde, bis sie um  $45^\circ$  bezüglich der globalen Z-Richtung abgewinkelt ist. Eine Bewegung in der lokalen Z-Richtung des Aufnehmers von 10 Pixeln wird nun in  $10\cos(45^\circ)$  in der globalen Z-Richtung plus  $10\sin(45^\circ)$  in der globalen Y-Richtung zerlegt. In diesem Beispiel ist die lokale Z-Richtung immer noch rechtwinklig bezüglich der globalen X-Richtung orientiert und folglich besitzt eine lokale Z-Bewegung keine Komponente in der globalen X-Richtung.

**[0174]** Beispielsweise kann die Beziehung der lokalen Achsenrichtungen bezüglich der globalen Achsenrichtungen unter Verwendung von Kosinus-Funktionen berechnet werden, welche kontinuierlich aktualisiert werden, wenn der Aufnehmer durch das Volumen bewegt wird. Vorzugsweise werden diese Richtungskosinusse kontinuierlich für alle drei Achsen beibehalten.

**[0175]** Hierin verwendet, soll der Begriff „Bewegungskomponente“ in breitem Maße Translationskomponenten, Drehkomponenten und Kombinationen derselben umfassen.

#### Datenüberlappungstechniken

**[0176]** Wenn zwei Bereiche von Bilddaten kombiniert werden, um ein erweitertes Gesichtsfeld zu erhalten, wie oben beschrieben, wird vorzugsweise ein glattes Interpolationsschema an den Grenzen der Daten von unterschiedlichen Bilddatenframes verwendet. Wie in [Fig. 38](#) gezeigt ist, können variable Gewichtungsfaktoren verwendet werden, um solche glatten Interpolationsschemata bereitzustellen. In [Fig. 38](#) endet die rechte Kante des vorangehenden Frames mit Pixelzahl 3 und der neue Abschnitt des Frames beginnt mit Pixelzahl 4. Der Gewichtungsfaktor für das vorangehende Frame 1 variiert von 1 innerhalb des alten Frames bei Pixel 0 und 1 sanft zurück nach 0 innerhalb des neuen Abschnitts des Frames bei Pixel 5, 6 und 7. Umgekehrt variiert der Gewichtungsfaktor für das nachfolgende Frame 2 von 0 innerhalb des alten Frames bei Pixel 0 und 1 allmählich nach oben zu 1 bei Pixel 5, 6 und 7 des neuen Abschnitts des Frames. Im allgemeinen kann für akkumulierte Bilddaten in Jeder der oben beschriebenen Ausführungsformen eine Zusammensetzung verwendet werden, um Rauschen in dem Bild zu verringern. In ähnlicher Weise können zusammengesetzte Daten mit den Nachführdaten zur Verringerung von Rauschen verwendet werden.

#### Techniken zur Erfassung Inkorrektur Abschätzungen der Bewegungskomponente

**[0177]** Es gibt eine Vielzahl von Wegen der Verwendung der Bewegungsabschätzungen entlang der Strahllinien, welche von den Nachführarrays ausgehen, um eine Definition der Ebene des Bildarrays und der 3D-Pixelstellen für Pixel in der Bildarrayebene zu erzeugen.

**[0178]** Ein Ansatz ist es, gerade Linien unter Verwendung einer Technik kleinster Quadrate oder gewichteter kleinsten Quadrate, bei denen die Bewegungsqualität als ein Gewichtungsfaktor verwendet wird, anzupassen. Auf Grundlage dieser Linien kann eine Anzahl von Punkten zusammen mit ihren zugeordneten 3D-Bewegungen identifiziert werden. Beispielsweise können vier Punkte im oberen linken, unteren linken, unteren rechten und oberen rechten Abschnitt des Bereichs ausgewählt werden und eine bi-lineare Interpolation kann verwendet werden, um Pixelstellen aufzufinden. Aus den Bewegungsabschätzungen entlang der Linien kann die Gleichung für eine Ebene ( $Y = a + bX + cZ$ ) angepasst werden. Die Qualität der Anpassung kann durch eine Technik kleinster Quadrate oder gewichteter kleinster Quadrate gemessen werden. Dann wird unter Verwendung der vier zuvor identifizierten Schlüsselpunkte die Gleichung für eine Ebene aufgefunden, d. h. drei Gleichungen  $Y = a + bX + cZ$  für drei Punkte angepasst, um a, b, c aufzufinden, beispielsweise unter Verwendung von Matrixinversionstechniken. Dieser Schritt wird für einen unterschiedlichen Satz von drei der vier Schlüsselpunkte wiederholt. Wenn die Verhältnisse  $a1/a2$  (wobei a1 und a2 die „a“ Werte sind, die von verschiedenen Sätzen der drei Punkte abgeleitet werden),  $b1/b2$ , oder  $c1/c2$  eine Schwelle überschreiten (entweder zu groß oder zu klein) kann das System dazu programmiert sein, den Benutzer über eine Videoausgabe zu warnen, dass die Ebene schräg ist und dass eine erneute Abtastung empfohlen wird.

**[0179]** Die Summe von quadrierten Fehlern, im Linien- oder Ebenenfall oder in beiden, kann als ein Maß von

geringer Qualität von Bewegungsabschätzungen verwendet werden und entweder dazu verwendet werden, die Bewegungsabschätzung intern anzupassen (d. h. größere Blockgrößen zu verwenden oder mehr Bewegungsabschätzungen zu machen) oder dem Benutzer, beispielsweise als eine Videowarnung oder hörbare Warnung, eine Aufforderung zu einer erneuten Abtastung bereitzustellen. In ähnlicher Weise ist es möglich, die erfassten Bewegungsfehler zwischen aufeinander folgenden Bewegungsabschätzungen zu akkumulieren und den kumulativen Bewegungsfehler gegenüber einer vorgewählten Schwelle zu vergleichen. Wenn der kumulative Bewegungsfehler diese Schwelle überschreitet, ist das System vorzugsweise dazu programmiert, den Benutzer zu warnen, dass ein kumulativer Positionsfehler unzureichend ist und dass eine erneute Abtastung bevorzugt ist. Optional kann der kumulative Bewegungsfehler (welcher aus der Summe der quadrierten Fehler erhalten werden kann, aber nicht notwendigerweise gleich der Summe der quadrierten Fehler ist) für den Benutzer angezeigt werden.

#### Alternative 3D-Anzeigetechniken

**[0180]** Wie oben beschrieben, können mehrfache 2D-Scheiben zu einem festen 3D-Volumensatz rekonstruiert werden. Das heißt, dies ist nicht der einzige Ansatz, der zur Bildung der Ausgabeanzeige **46** verwendet werden kann. Beispielsweise kann eine einfachere Anzeige einen angezeigten Referenzumgrenzungskasten umfassen, welcher eine 3D-Form aufweist, obwohl er als 2D-Projektion angezeigt ist. Unter Verwendung der oben beschriebenen Bewegungserfassungsinformation wird die Position und Winkorientierung aller Ebenen von Bilddaten berechnet wie zuvor. Jedoch wird bei dieser Alternative eine ausgewählte 2D-Scheibe angezeigt, die innerhalb des 3D-Umgebungskastens orientiert ist, welcher auf dem Schirm angezeigt wird. Dies kann unter Verwendung des in Keller, U.S. Patent Nr. 5,353,354 beschriebenen Prozesses gemacht werden. Techniken zum Projizieren von Bilddaten, die in drei Dimensionen definiert sind, auf einen zweidimensionalen Schirm sind wohlbekannt, wie beispielsweise in Kapitel 5 und 6 von Computer Graphics (Foley, et al., Addison-Wesley, 1995) beschrieben. Selbstverständlich ist die Anzeige einer einzelnen 2D-Scheibe innerhalb eines 3D-Rahmens ein Gegensatz des allgemeinen 3D-Rekonstruktions- und Visualisationssystems, welches oben beschrieben wurde.

#### Alternative Strahlformungstechniken

**[0181]** Die oben beschriebenen Ausführungsformen verwenden Bilddatenframes, um Daten zur Anzeige und Nachführung von Frames zu sammeln, um Daten zur Bestimmung einer Relativbewegung der Aufnehmer zu sammeln. Da die Öffnungen für die Bilddatenframes und Nachführungsframes physikalisch getrennt sind, bildet die Sammlung dieser Frames von Bilddaten in Wirklichkeit zwei unabhängige Strahlformeraufgaben. Wenn gewünscht, können gleichzeitig mehrere Sende- und/oder Empfangsstrahlen verwendet werden, um die zur Akkumulation von Nachführdaten erforderliche Zeit zu verringern. Ein Beispiel eines Mehrfachstrahlübertragungssystems, welches ohne Weiteres zur gleichzeitigen Übertragung von Ultraschallstrahlen für die Bilddatenframes und Nachführframes verwendet werden könnte, ist in der US-A-5,675,554 offenbart. In ähnlicher Weise kann ein Mehrfachempfangsstrahl-Strahlformer verwendet werden, um einen separaten Empfangsstrahl für jeden Übertragungstrahl bereitzustellen, wodurch die Datenaufnahme beschleunigt wird. Der in der US-A-5,685,308 offenbarte Mehrfachempfangsstrahl-Strahlformer kann für diesen Zweck ausgebildet werden. Siehe auch den Mehrfachempfangsstrahl-Strahlformer, der in O'Donnell U.S. Patent 4,886,069 offenbart ist.

**[0182]** Die kohärenten Bildformungstechniken, die in US-A-5,623,928 und US-A-5,667,373 offenbart sind, können vorteilhaft mit ausgewählten Ausführungsformen dieser Erfindung verwendet werden. Das System der Wright-Patentanmeldungen stellt eine Phasenausrichtung zwischen benachbarten Abtastlinien in dem Nahfeld bereit und stellt daher ein verschiebungs-invariantes Specklemuster bereit. Ein solches verschiebungs-invariantes Specklemuster sollte überlegene Bildbewegungserfassungen auf Grundlage der Specklenachführung bereitstellen, gegenüber demjenigen, das mit einem herkömmlichen System erreichbar ist, bei dem das Specklemuster aufgrund des Fehlens einer Phasenausrichtung zwischen Abtastlinien verschiebungsvariabel ist.

#### Alternative Warnmeldungen für die Bedienungsperson

**[0183]** Wenn eines der Nachführarrays eine Bewegung erfasst, aber das andere nicht, kann diese Bedingung als ein Hinweis darauf genommen werden, dass das Nachführarray, welches keine Bewegung zeigt, nicht mit Gewebe in Kontakt ist. Vorzugsweise umfasst die Steuer-/Regeleinheit des Systems eine programmierte Logik, die auf diese Bedingung durch Warnen der Bedienungsperson des Systems mit einer Warnmeldung reagiert, etwa einem hörbaren Ton oder einer sichtbaren Nachricht auf einem Anzeigeschirm.

## Schlussbemerkung

**[0184]** Die oben beschriebenen Systeme und Verfahren stellen eine Anzahl von wichtigen Vorteilen bereit. Sie sind unempfindlich gegenüber elektromagnetischer Umgebung und Patientenbewegung im Gegensatz zu Magnetorientierungsverfahren. Die vorliegende Erfindung ist potentiell mit geringeren Kosten implementiert als Magnetverfahren, und Aufnehmerarrays mit geringer Spezifikation können verwendet werden. Potentiell können die oben beschriebenen Techniken eine ausgezeichnete Genauigkeit der Registrierung bereitstellen, da die Genauigkeit durch Bilderzeugungsauflösung bestimmt wird, welche mit der Frequenz skaliert.

**[0185]** Abhängig von der Anwendung können die oben beschriebenen verbesserten Aufnehmer mehr und größere Kabel erfordern und der Empfangsbereich des Aufnehmers geringfügig vergrößert sein. Jedoch können diese potentiellen Probleme durch Verwendung der oben beschriebenen Techniken minimiert werden.

**[0186]** Es versteht sich selbstverständlich, dass die vorangehende detaillierte Beschreibung als eine Erläuterung von gegenwärtig bevorzugten Formen der Erfindung anstatt einer Beschränkung anzusehen ist.

## Patentansprüche

1. Ultraschallaufnehmer (16), umfassend:  
 ein Trägerelement (53),  
 ein erstes Aufnehmerarray (18), das zur Bewegung mit dem Trägerelement (53) gekoppelt ist und eine Mehrzahl von ersten Aufnehmerelementen (48) umfasst, die entlang einer azimutalen Achse (A) angeordnet sind, wobei das erste Aufnehmerarray (18) ein erstes und ein zweites Ende (54, 56) umfasst, die entlang der azimutalen Achse (A) im Abstand voneinander angeordnet sind, und eine erste zentrale Bildebene umfasst,  
 ein zweites Aufnehmerarray (20), das zur Bewegung mit dem Trägerelement (53) gekoppelt ist und eine Mehrzahl von zweiten Aufnehmerelementen (50) umfasst, wobei das zweite Aufnehmerarray (20) in der Nähe des ersten Endes (54) des ersten Aufnehmerarrays (18) angeordnet ist und eine zweite zentrale Bildebene umfasst, und  
 ein drittes Aufnehmerarray (22), das zur Bewegung mit dem Trägerelement (53) gekoppelt ist und eine Mehrzahl von dritten Aufnehmerelementen (52) umfasst, wobei das dritte Aufnehmerarray (22) in der Nähe des zweiten Endes (56) des ersten Aufnehmerarrays (18) angeordnet ist und eine dritte zentrale Bildebene umfasst,  
 wobei die erste und die zweite zentrale Bildebene nicht parallel zueinander sind und wobei die erste und die dritte zentrale Bildebene nicht parallel zueinander sind.
2. Ultraschallaufnehmer nach Anspruch 1, wobei die erste und die zweite zentrale Bildebene im Wesentlichen orthogonal zueinander sind und wobei die erste und die dritte Bildebene im Wesentlichen orthogonal zueinander sind.
3. Aufnehmer nach Anspruch 1, wobei das zweite (20) und das dritte (22) Aufnehmerarray im Wesentlichen eine kürzere Länge entlang der jeweiligen Achse aufweisen als das erste Aufnehmerarray (18).
4. Aufnehmer nach Anspruch 1, wobei das zweite und das dritte Aufnehmerarray (20, 22) jeweils im Wesentlichen weniger der jeweiligen Aufnehmerelemente (48, 50) umfassen als das erste Aufnehmerarray (18).
5. Aufnehmer nach Anspruch 1, wobei die ersten, zweiten und dritten Aufnehmerelemente (48, 50, 52) jeweils im Abstand voneinander mit einer jeweiligen Teilung angeordnet sind und wobei die Teilung der zweiten Aufnehmerelemente (50) ein erstes ganzzahliges Vielfaches der Teilung der ersten Aufnehmerelemente (48) ist.
6. Aufnehmer nach Anspruch 1, ferner umfassend eine Sender-Strahlbündelungseinrichtung und eine Empfänger-Strahlbündelungseinrichtung, die mit dem ersten (18), dem zweiten (20) und dem dritten (22) Aufnehmerarray gekoppelt sind.
7. Aufnehmer nach Anspruch 6, wobei die Sender-Strahlbündelungseinrichtung das erste (18) und das zweite (20) Aufnehmerarray mit unterschiedlichen Ultraschallfrequenzen betreibt.
8. Aufnehmer nach Anspruch 6, wobei die Sender-Strahlbündelungseinrichtung das erste (18), das zweite (20) und das dritte (22) Aufnehmerarray mit einer gemeinsamen Ultraschallfrequenz betreibt.

9. Aufnehmer nach Anspruch 6, wobei die Sender-Strahlbündelungseinrichtung das zweite **(20)** und das dritte **(22)** Aufnehmerarray mit weniger Abastzeilen als das erste Aufnehmerarray **(18)** betreibt.

10. Aufnehmer nach Anspruch 6, wobei die Sender- und die Empfänger-Strahlbündelungseinrichtungen übereinstimmende Bilder von dem ersten **(18)**, dem zweiten **(20)** und dem dritten **(22)** Aufnehmer zur Anzeige aufnehmen.

Es folgen 18 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

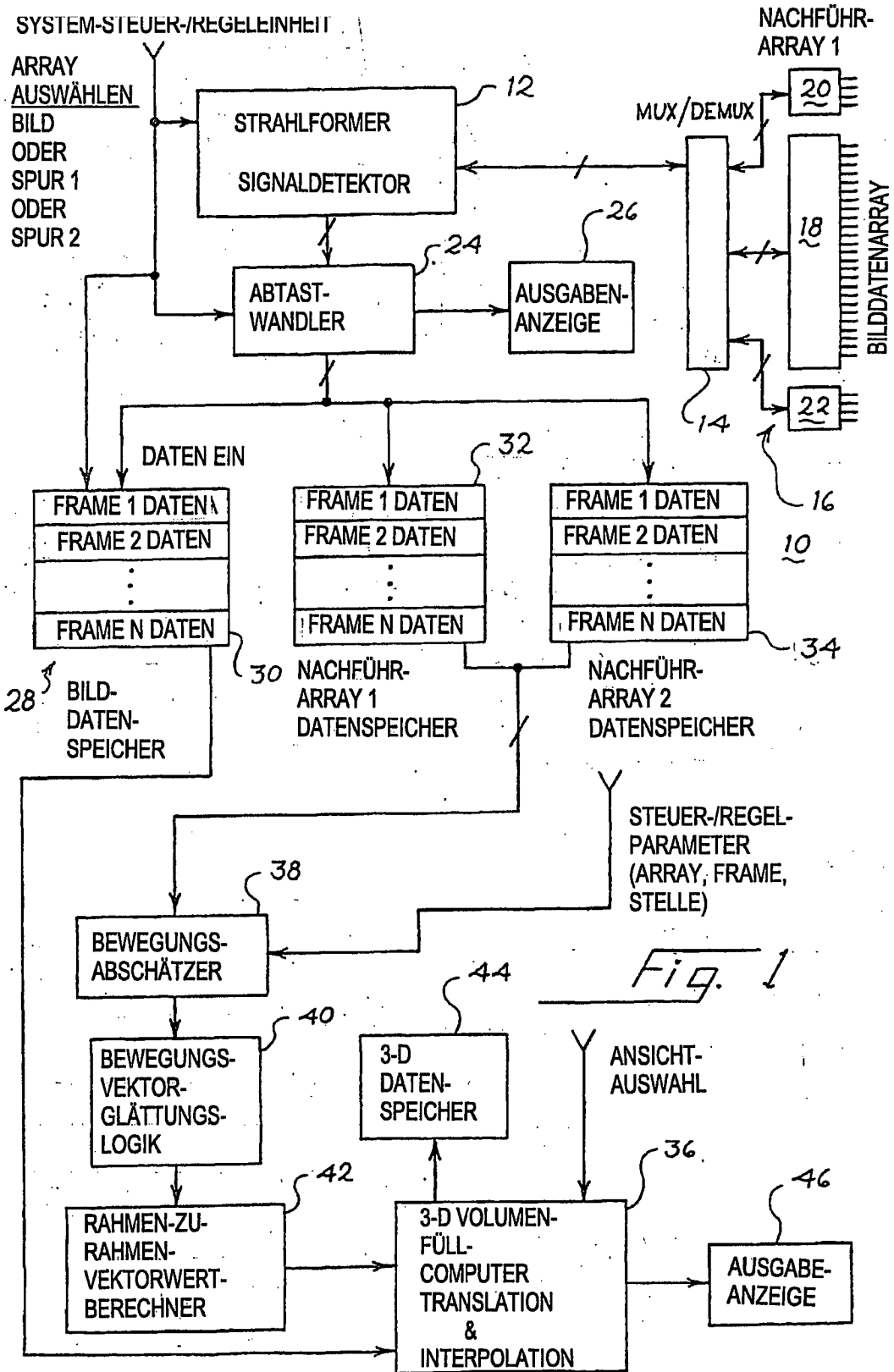
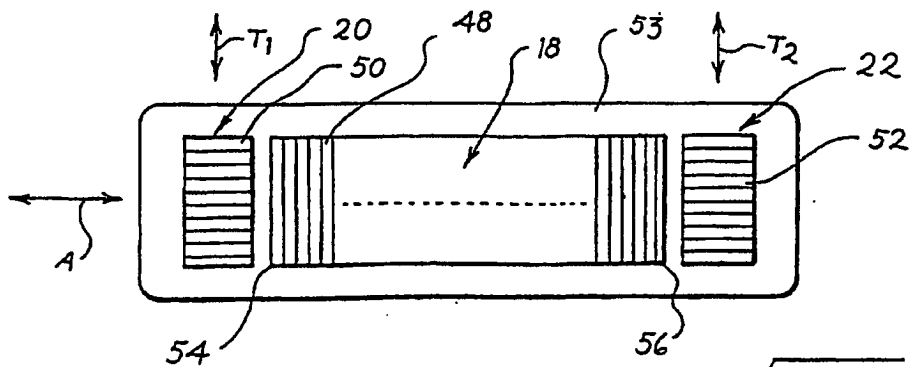
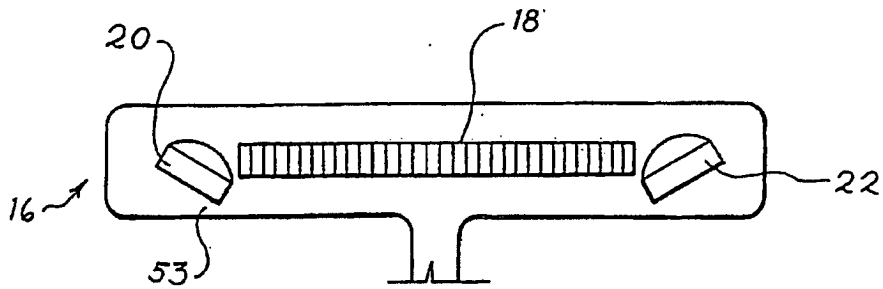
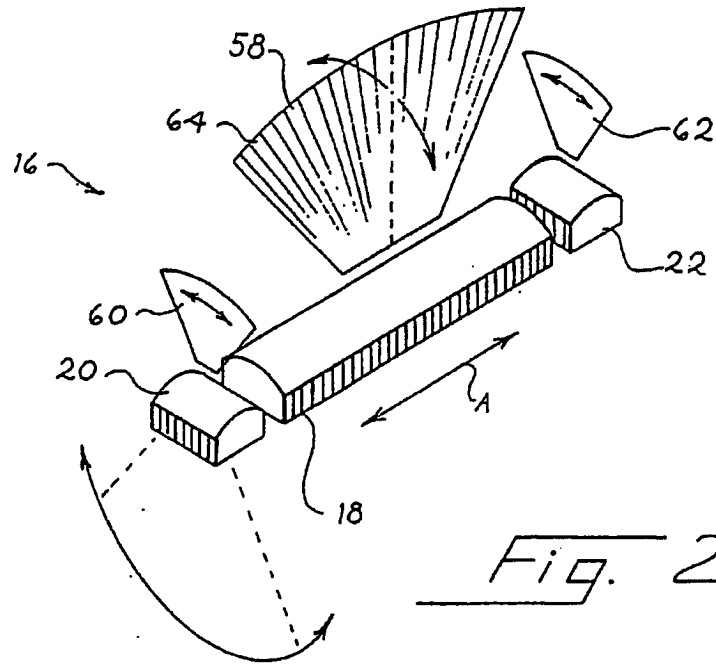


Fig. 1



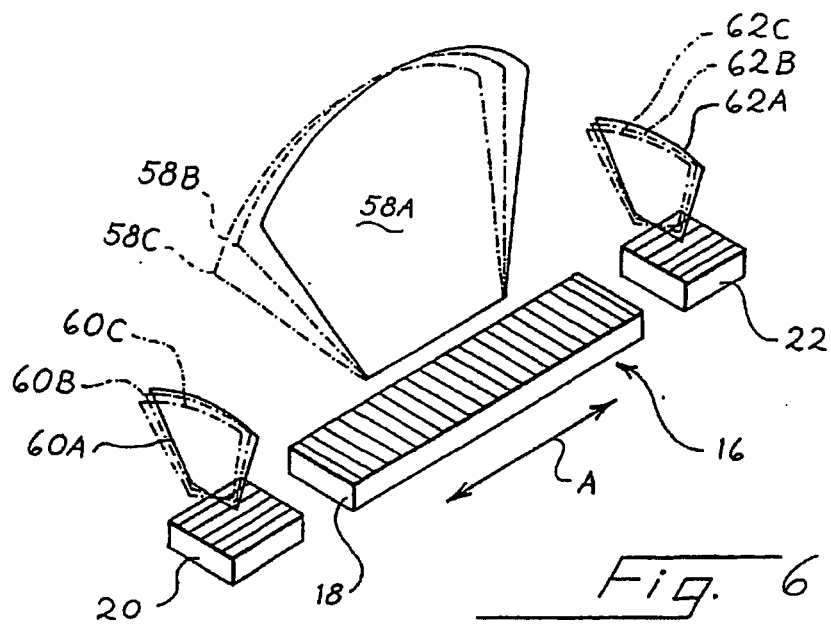
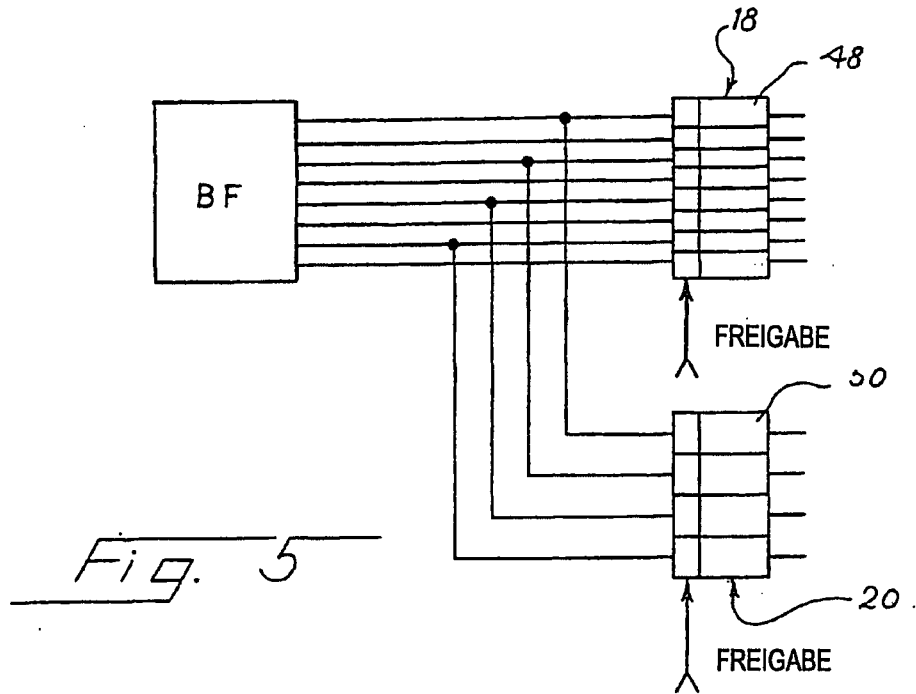


Fig. 7

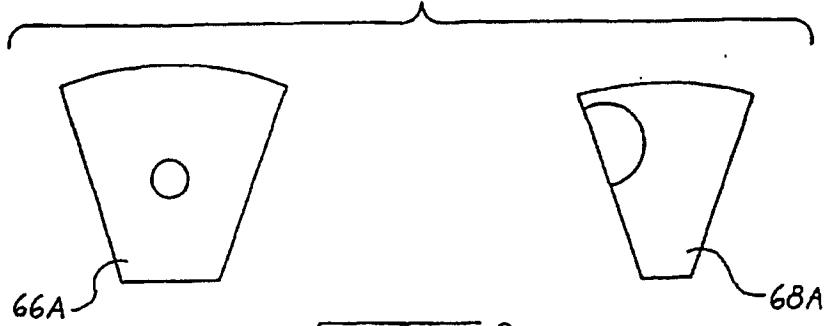


Fig. 8

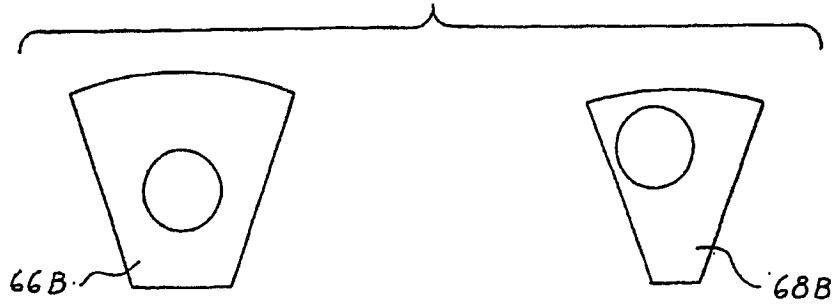


Fig. 9

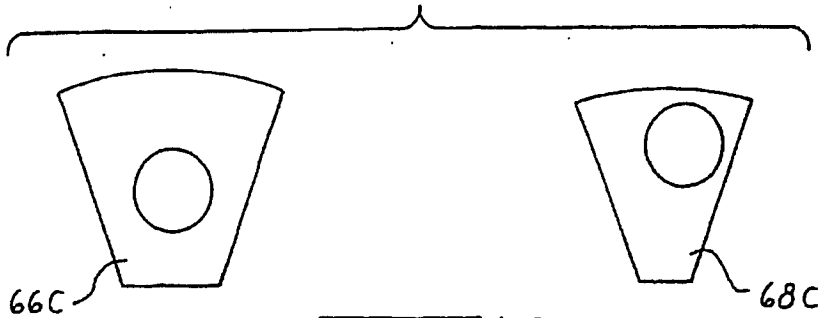


Fig. 10

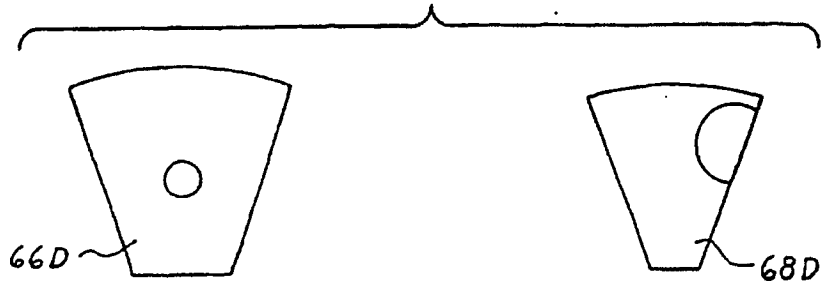




Fig. 11

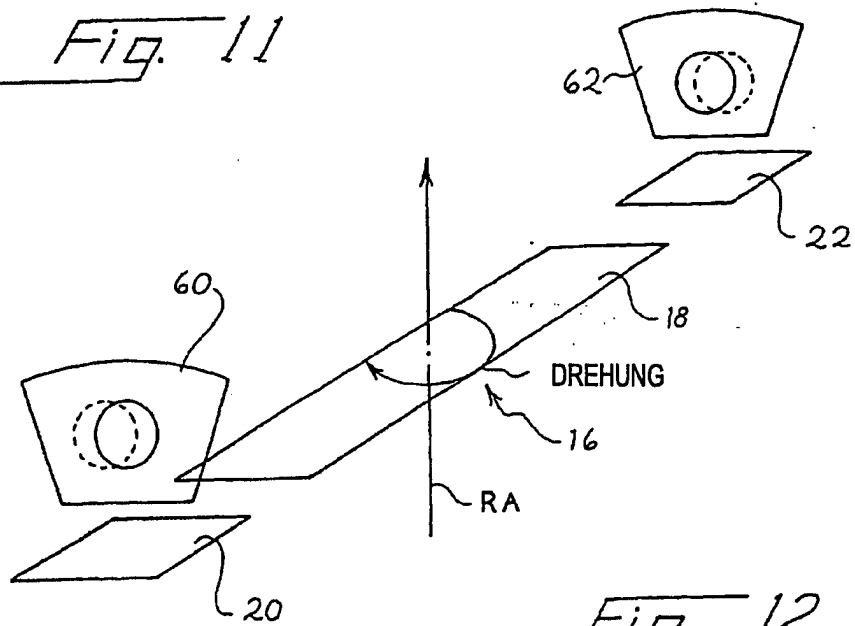
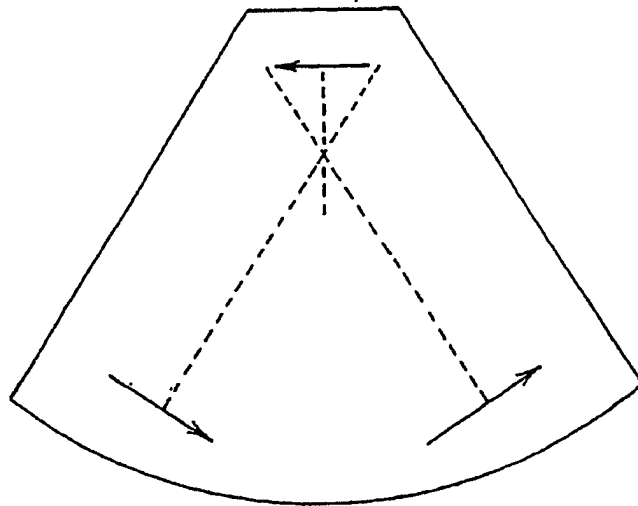


Fig. 12



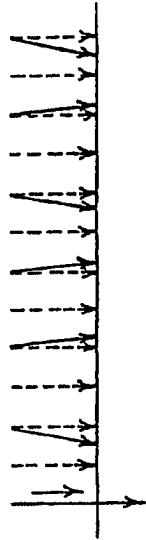


Fig. 13

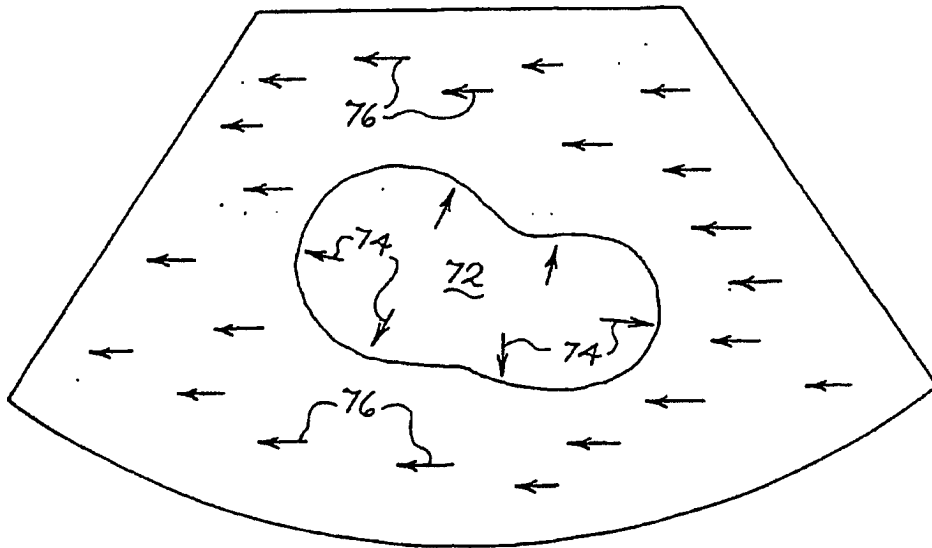


Fig. 14

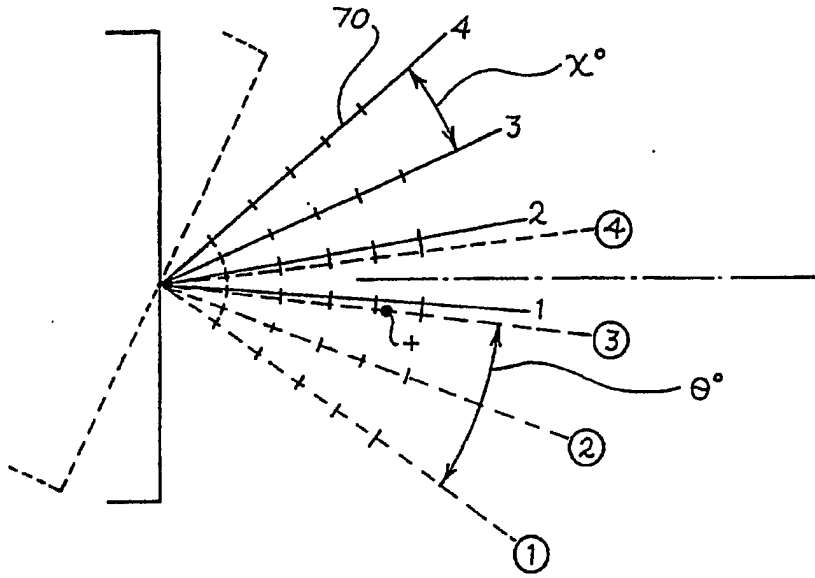
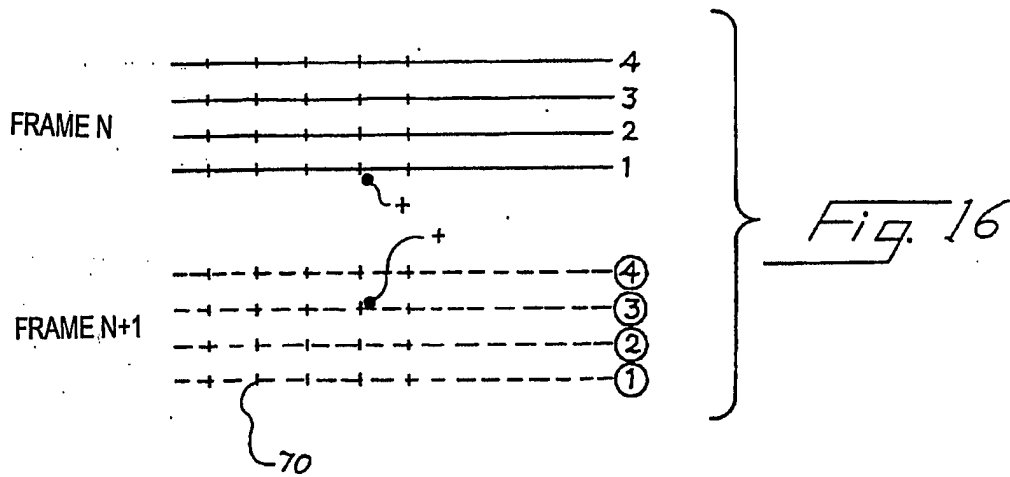


Fig. 15



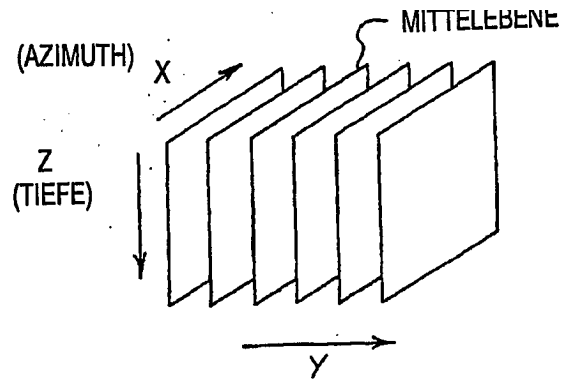


Fig. 17

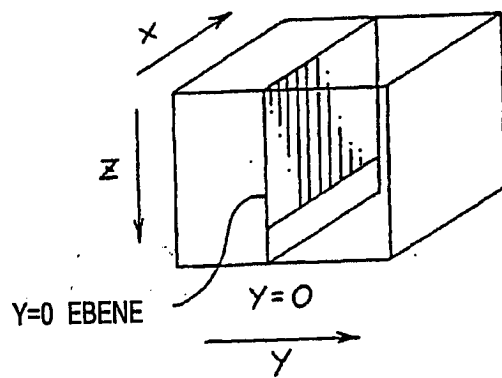


Fig. 18

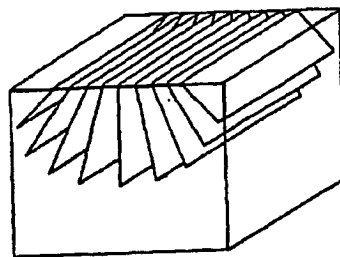
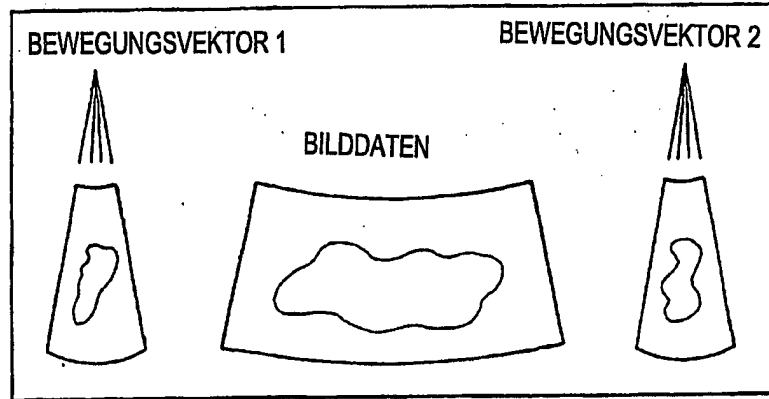
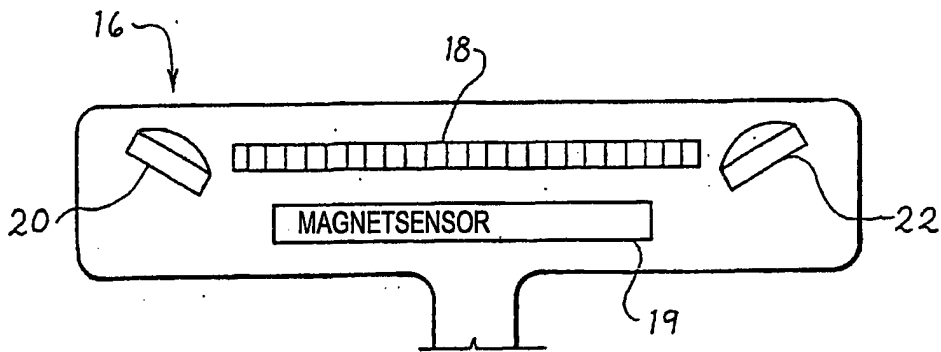


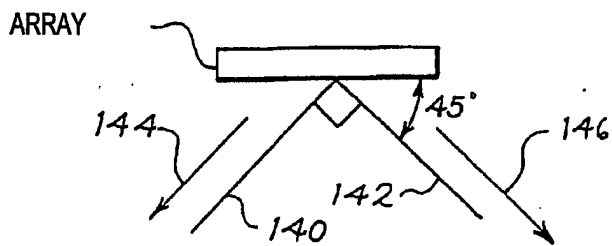
Fig. 19



*Fig. 20*

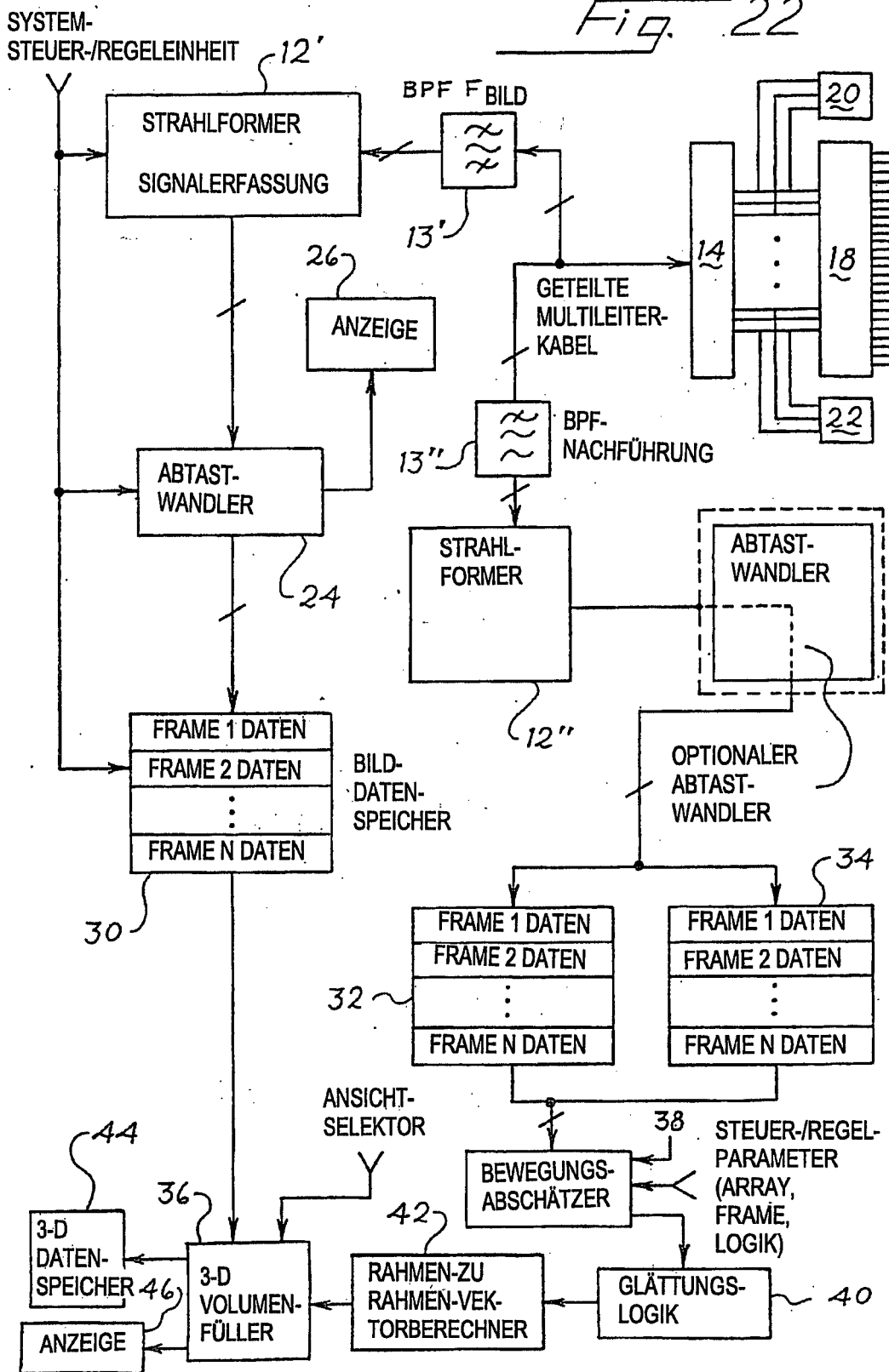


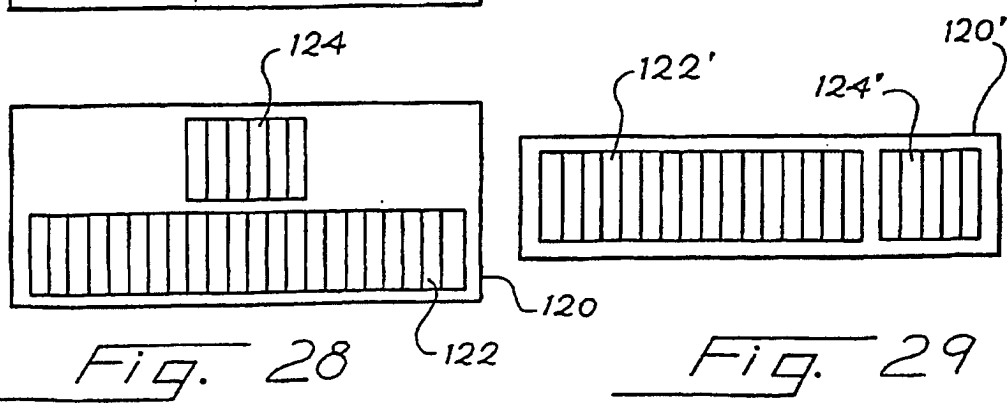
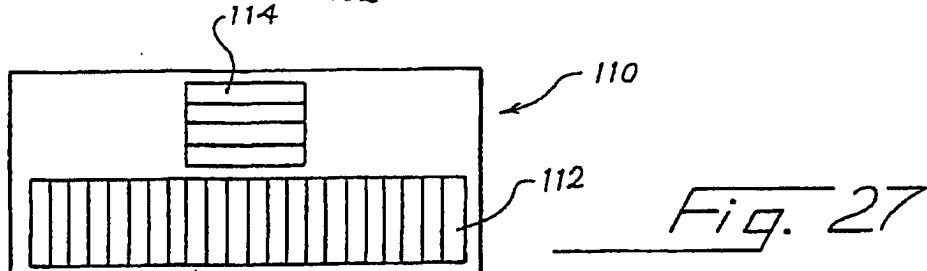
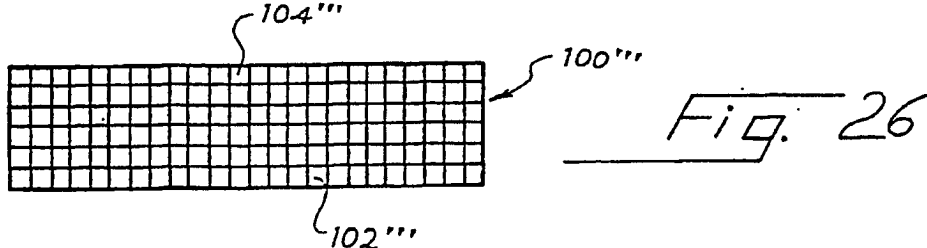
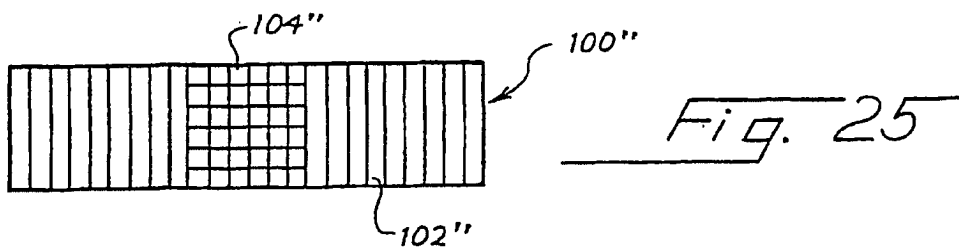
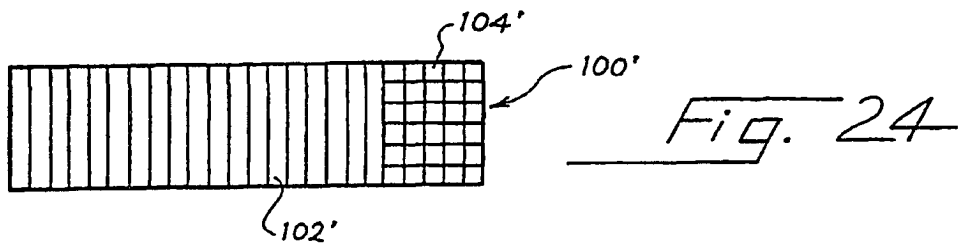
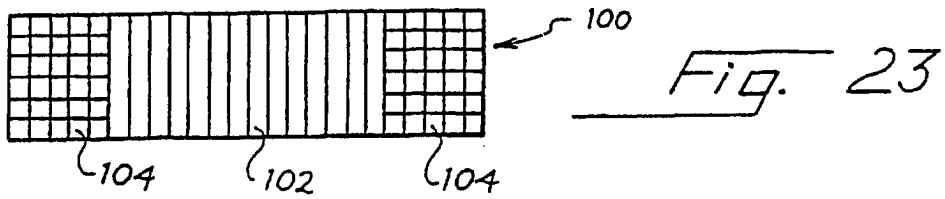
*Fig. 21*



*Fig. 33*

Fig. 22





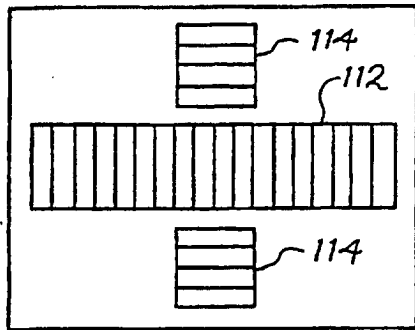


Fig. 27a

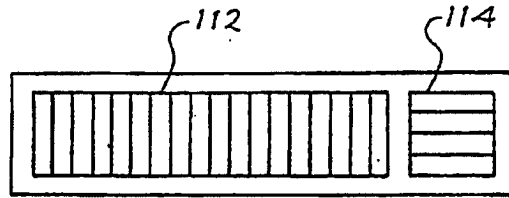


Fig. 27b

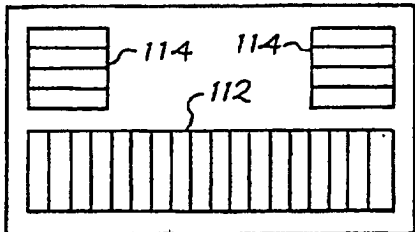


Fig. 27c

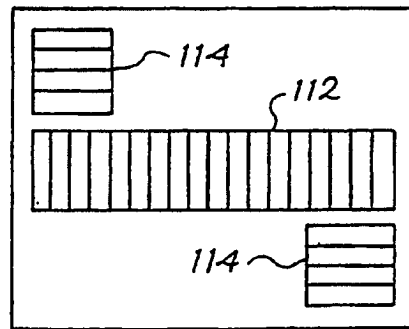


Fig. 27d

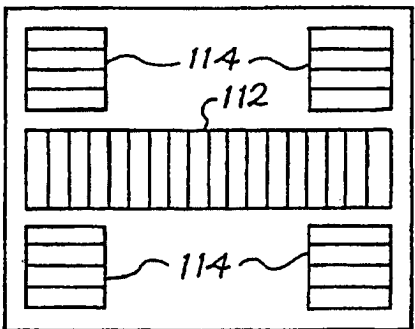


Fig. 27e

Fig. 38

	ALTER ABSCHNITT VON RAHMEN				NEUER ABSCHNITT VON RAHMEN			
PIXEL NR.	0	1	2	3	4	5	6	7
FRAME 1 GEWICHTUNGSFAKTOR	1	1	.75	.50	.25	0	0	0
FRAME 2 GEWICHTUNGSFAKTOR	0	0	.25	.50	.75	1	1	1



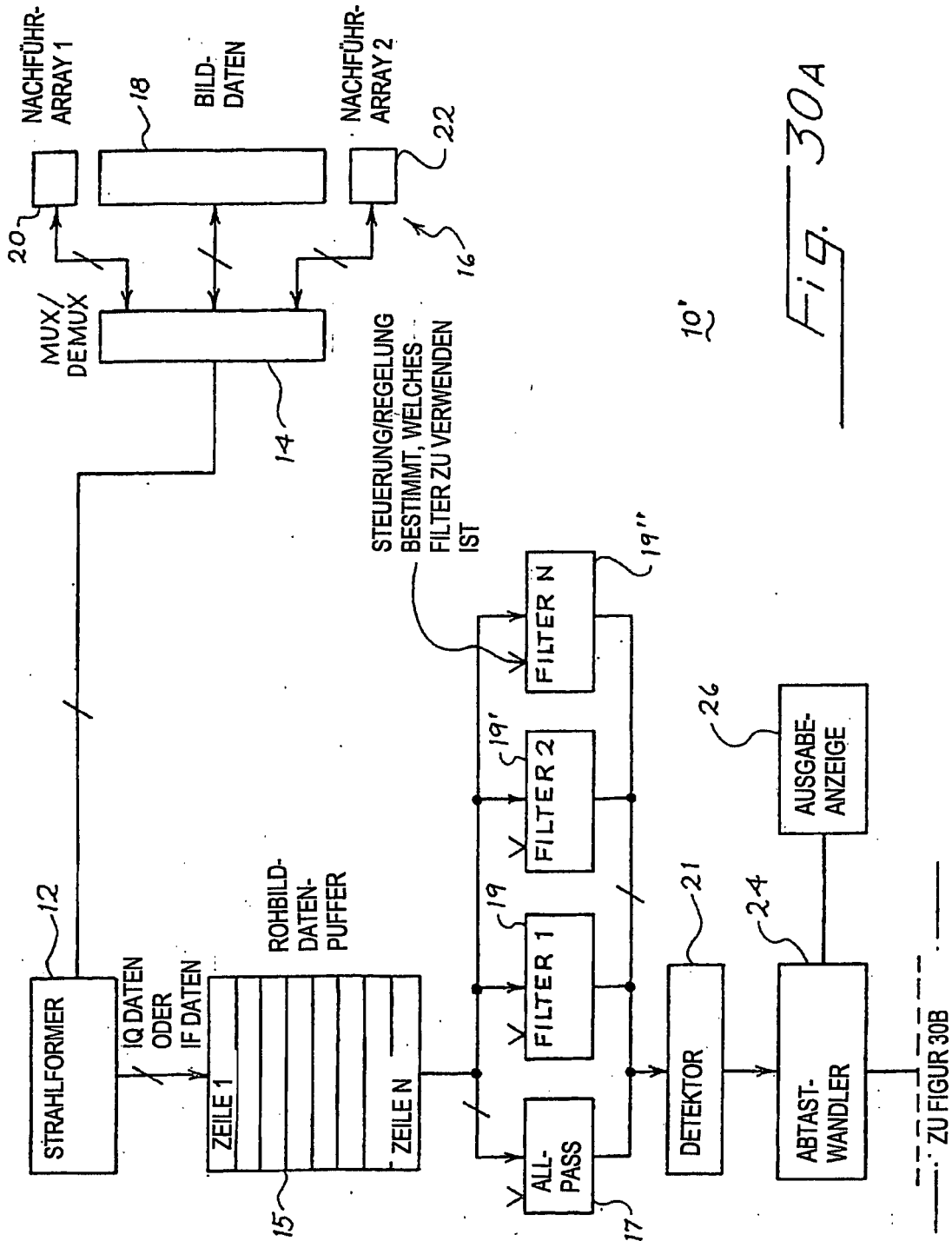
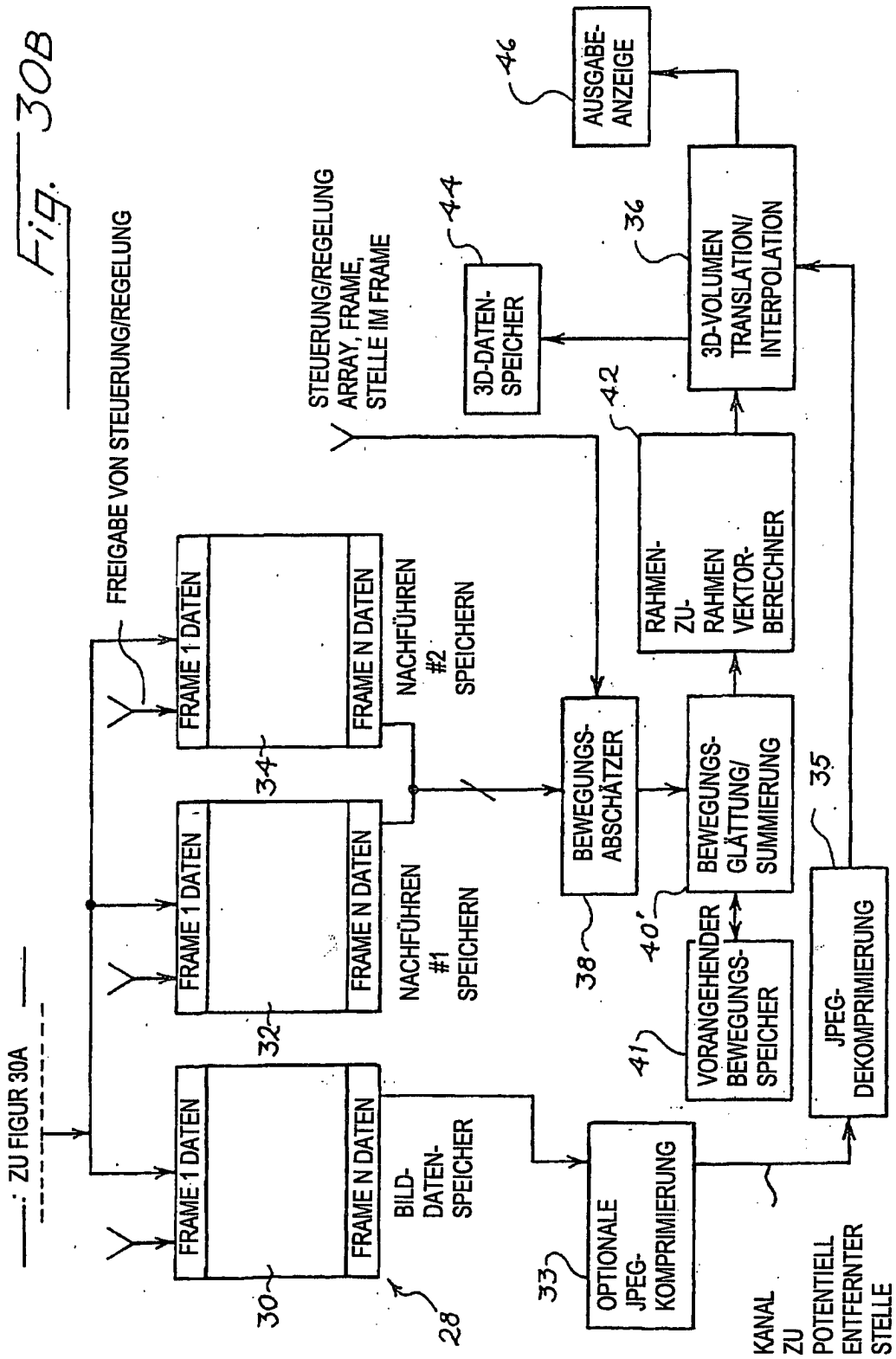
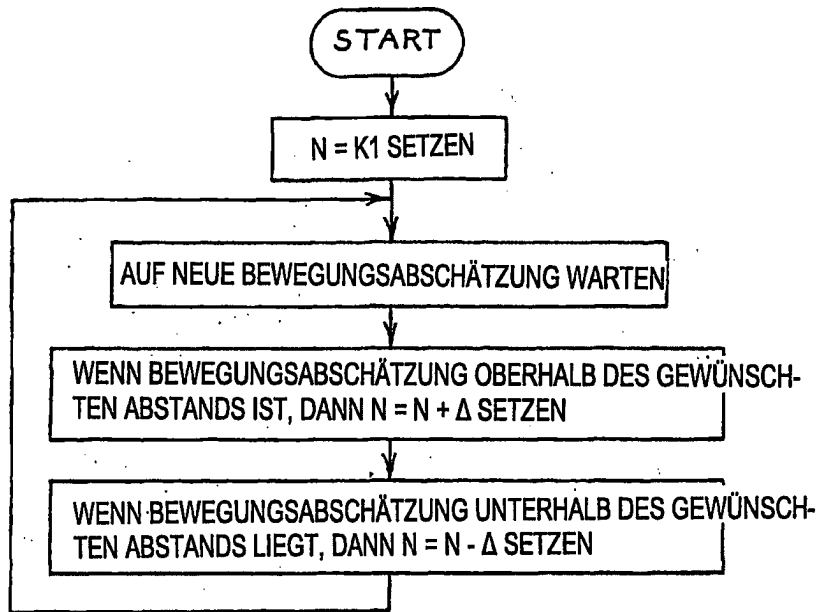


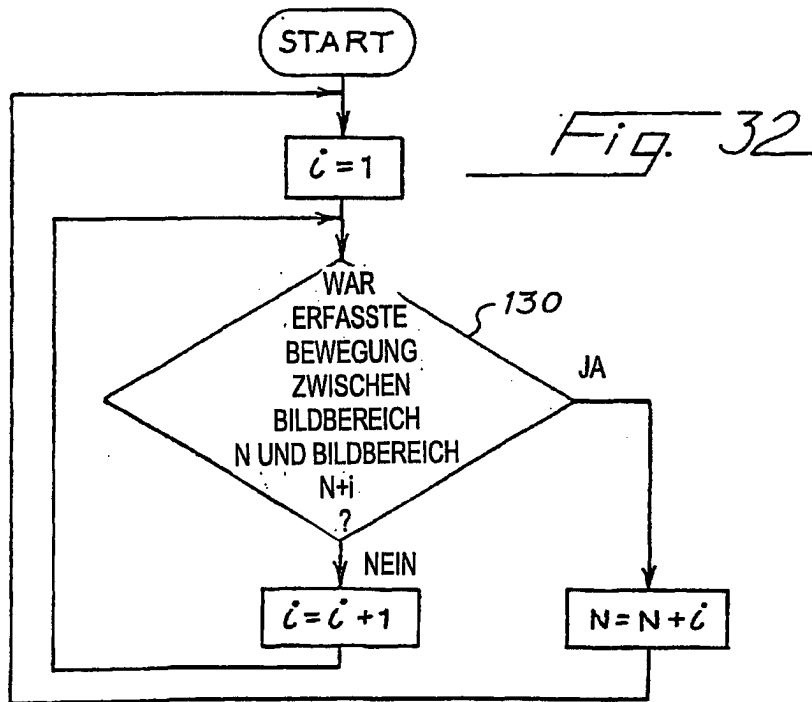
Fig. 30A

Fig. 30B

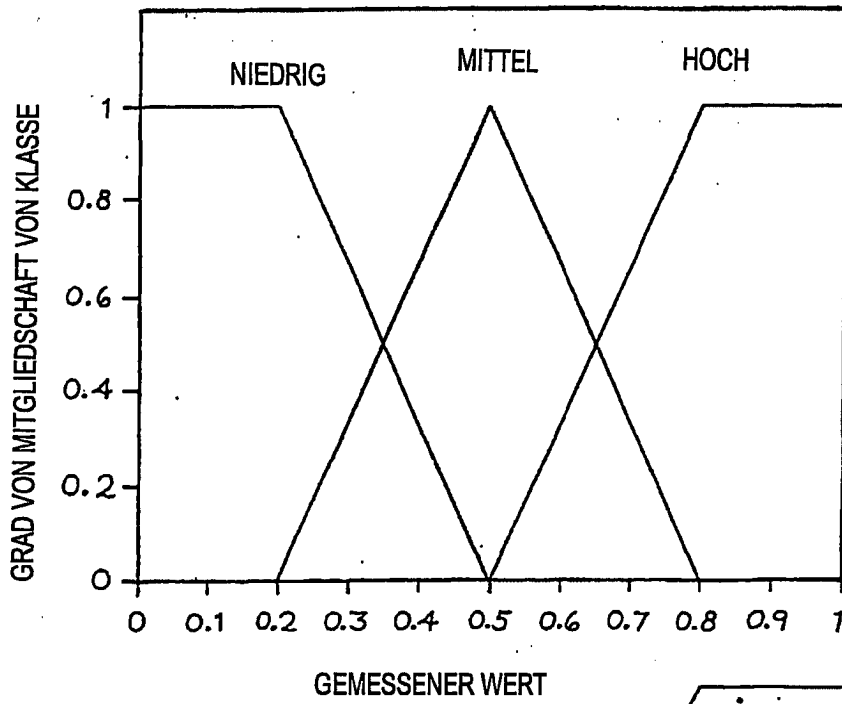




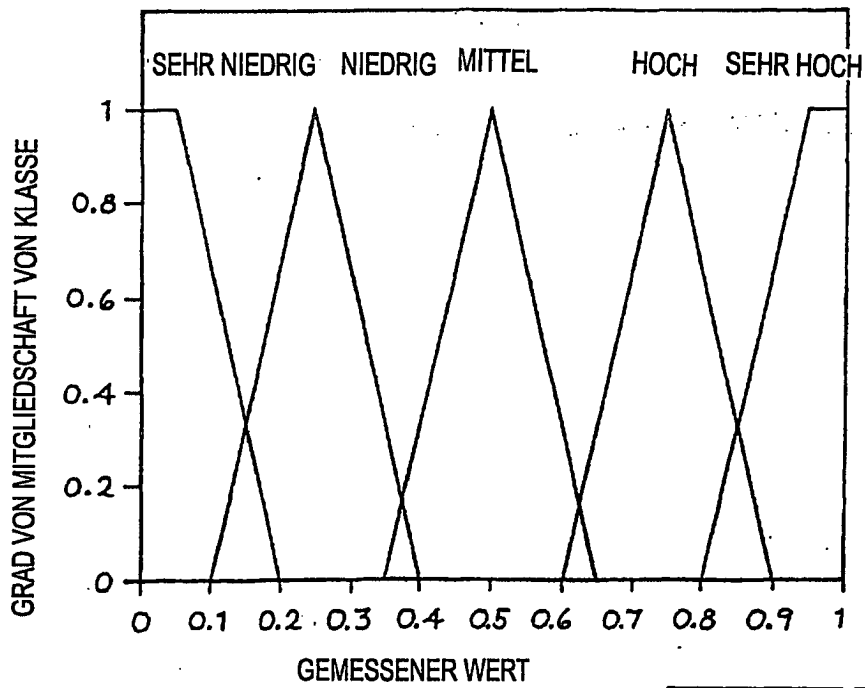
*Fig. 31*



*Fig. 32*



*Fig. 34*



*Fig. 35*

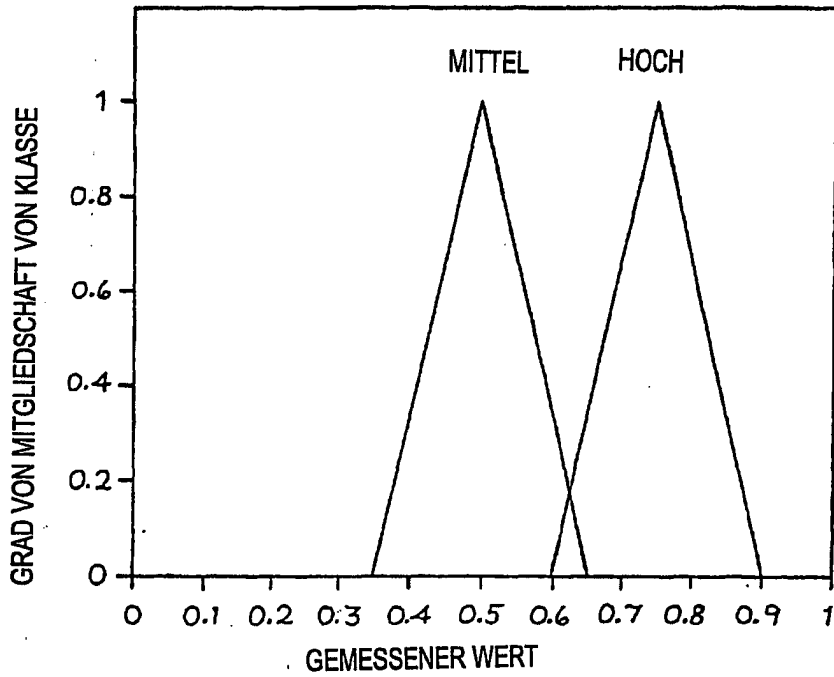


Fig. 36

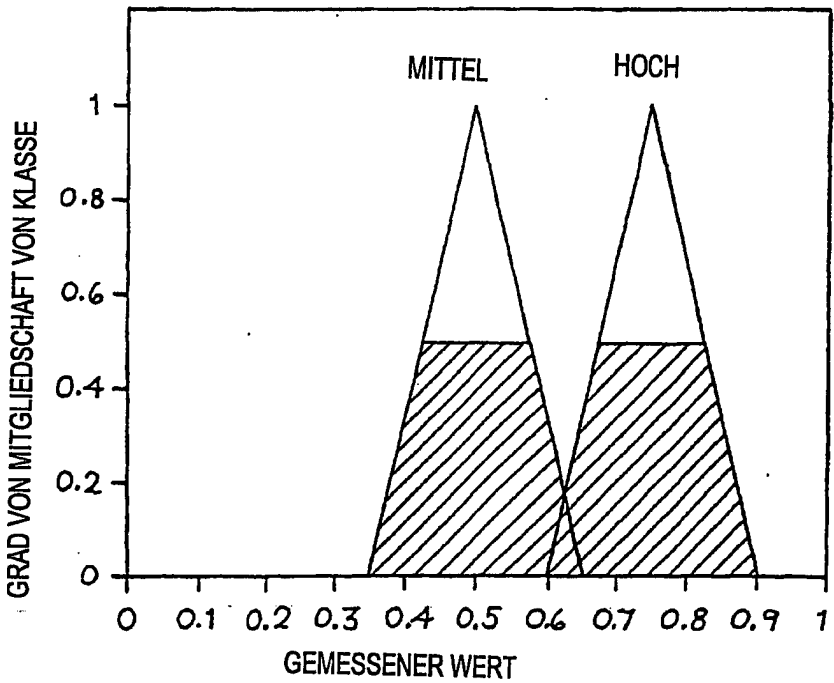


Fig. 37

