



(19)  
Bundesrepublik Deutschland  
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) DE 699 14 615 T2 2004.09.30

(12)

## Übersetzung der europäischen Patentschrift

(97) EP 1 116 385 B1

(21) Deutsches Aktenzeichen: 699 14 615.1

(86) PCT-Aktenzeichen: PCT/US99/22088

(96) Europäisches Aktenzeichen: 99 949 814.0

(87) PCT-Veröffentlichungs-Nr.: WO 00/18138

(86) PCT-Anmeldetag: 23.09.1999

(87) Veröffentlichungstag

der PCT-Anmeldung: 30.03.2000

(97) Erstveröffentlichung durch das EPA: 18.07.2001

(97) Veröffentlichungstag

der Patenterteilung beim EPA: 04.02.2004

(47) Veröffentlichungstag im Patentblatt: 30.09.2004

(51) Int Cl.<sup>7</sup>: H04N 9/12

H04N 17/04

(30) Unionspriorität:

159024 23.09.1998 US

(84) Benannte Vertragsstaaten:

AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT,  
LI, LU, MC, NL, PT, SE

(73) Patentinhaber:

Honeywell Inc., Morristown, N.J., US

(72) Erfinder:

JOHNSON, J., Michael, Phoenix, US;  
CHANDRASEKHAR, Rajesh, Phoenix, US; CHEN,  
Chung-Jen, Phoenix, US

(74) Vertreter:  
derzeit kein Vertreter bestellt

(54) Bezeichnung: VERFAHREN UND GERÄT ZUR ABGLEICHUNG EINER BILDANZEIGEVORRICHTUNG MIT EINER GRUPPE VON KAMERAS

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 eingelebt, 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****Allgemeiner Stand der Technik**

[0001] Die vorliegende Erfindung betrifft das Kalibrieren von Displays und insbesondere das Kalibrieren von fliesenartigen Displays, die mit mehreren Displayeinrichtungen größere und/oder höher aufgelöste Bilder erzeugen.

[0002] Fliesenartige Displaysysteme und insbesondere fliesenartige Projektionssysteme werden seit vielen Jahren vorgeschlagen und verwendet. In den 1950igern wurde das „CINERAMA“-System für die Filmindustrie entwickelt. Das CINERAMA-System projizierte drei Filme unter Verwendung von drei getrennten Projektionsdisplays, die miteinander kombiniert wurden und ein einziges Panoramabild bildeten. Disneyland verwendet weiterhin ein ähnliches Mehrprojektorsystem. In Disneyland leuchtet ein Kreis von Projektoren auf einen Schirm, der die Wand eines runden Raums umgibt.

[0003] Auf dem Videogebiet sind Mehrprojektorsysteme für eine Reihe von speziellen Anwendungen vorgeschlagen und verwendet worden. Beispielsweise schlagen das US-Patent Nr. 4,103,435 an Herndon und das US-Patent Nr. 3,833,764 an Taylor den Einsatz von Mehrprojektorsystemen für Flugsimulatoren vor. Bei vielen dieser Systeme werden mehrere Videoschirme nebeneinander angeordnet und bilden ein großes Bilddisplay für mehrere Projektoren. Bei vielen der videobasierten Mehrprojektordisplaysysteme besteht eine Schwierigkeit darin, die mehreren Bilder auf dem Displayschirm als ein einziges durchgehendes Bild erscheinen zu lassen.

[0004] Wenn zwei Bilder nebeneinander auf einen einzigen Schirm projiziert werden, liegt zwischen den Bildern normalerweise eine Naht vor. Das endgültige Displaybild erscheint entweder wie zwei Bilder, die nebeneinander angeordnet sind mit einem Spalt dazwischen oder, falls die Bilder auf einem einzigen Schirm überlappt werden, es liegt eine helle Linie vor, wo sich die beiden Bilder überlappen. Wegen der Schwankungen bei herkömmlichen Kameras, Videoverarbeitungs- und -lieferungskanälen bei Displays und insbesondere Projektionsdisplays ist es außerordentlich schwierig, die sich ergebenden Videobilder perfekt aufeinander abzustimmen, so daß zwischen den Bildern keine fliesenartigen Artefakte erscheinen. Wenn die Bilder auf dem gleichen Schirm sehr nahe zueinander bewegt werden, treten in der Regel an jeder Naht sowohl Lücken als auch Überlappungen auf.

[0005] Aus dem Artikel mit dem Titel Design Considerations and Applications for Innovative Display Options Using Projector Arrays von Theo Mayer, SPIE Band 2650 (1996), S. 131–139, ist das Projizieren einer Reihe diskreter Bilder in einer überlappenden Beziehung und das Verändern der Helligkeit der diskreten Bilder in den Überlappungsgebieten jedes Bilds bekannt. Mayer offenbart die Verwendung einer

Mischfunktion, um jede überlappende Kante der diskreten Bilder derart abklingen zu lassen, daß das Gamma (Videosignalreduktion als Funktion der Lichtausgangskurve) eines Leuchtstoffs, eines Lichtventils oder eines LCD-Projektors mit dem Ziel kompensiert wird, über das Display hinweg eine gleichförmige Helligkeit zu erzeugen.

[0006] In dem US-Patent Nr. 5,136,390 an Inova et al. wird erkannt, daß es sich bei der Mischfunktion in der Regel nicht um eine einfache gleichmäßige Rampenfunktion handeln kann. Ein typischer Videoprojektor erzeugt ein Bild, das als eine natürliche Funktion des verwendeten Linsensystems zu den Kanten des Bilds hin dunkler wird und eine Reihe von hellen und dunklen Teilen aufweist, die durch normale Unregelmäßigkeiten im Signal, den dazwischengeschalteten Signalprozessor, Projektor, Schirm usw. verursacht werden. Diese Unregelmäßigkeiten variieren in der Regel von einer Videokomponente zur anderen und sogar zwischen verschiedenen Komponenten mit ähnlichem Aufbau. Außerdem reagieren verschiedene Arten von Projektoren oftmals unterschiedlich auf den gleichen Grad der Helligkeitsmodifikation. Somit kann eine einfache Rampe der Helligkeit in den überlappenden Gebieten in dem entstehenden Bild helle und dunkle Streifen und/oder Flecken erzeugen.

[0007] Zur Überwindung dieser Einschränkungen schlagen Inova et al. die Anwendung einer einfachen gleichmäßigen Mischfunktion auf die überlappenden Gebiete des Bilds vor, wie von Mayer vorgeschlagen, doch danach das manuelle Abstimmen der einfachen Mischfunktion an spezifischen Stellen, um die sichtbaren Artefakte aus dem Display zu entfernen. Die Stelle jedes Artefakts wird identifiziert, indem ein Cursor von Hand über jede Stelle bewegt wird, die als ein Artefakt besitzend identifiziert ist. Wenn sich der Cursor an seiner Position befindet, stimmt das System die entsprechende Stelle der Mischfunktion so ab, daß die entsprechenden Artefakte entfernt werden.

[0008] Da jedes Artefakt von einem Benutzer von Hand identifiziert werden muß, kann der Prozeß, ein ganzes Display zu kalibrieren, zeitraubend und mühsam sein. Dies gilt insbesondere, weil viele Displays eine periodische Neukalibrierung erfordern, da sich die Leistung ihrer Projektoren und/oder anderen Hardwareelemente im allgemeinen im Laufe der Zeit ändert. Aus JP07239504A ist ein Displaysystem bekannt, das unter Verwendung von mehreren Projektoren und einer Kamera unerwünschte sichtbare Artefakte in einem Display korrigiert. Angesichts des obengesagten wäre es wünschenswert, ein Display zu haben, das mit weniger manuellem Eingriff kalibriert und neukalibriert werden kann, als dies bei Inova et al. und anderen erforderlich ist.

**KURZE DARSTELLUNG DER ERFINDUNG**

[0009] Gemäß einem ersten Aspekt der Erfindung wird ein Rückprojektionsdisplay wie in An-

spruch 1 dargelegt bereitgestellt. Gemäß einem zweiten Aspekt der Erfindung wird ein Verfahren wie in Anspruch 10 dargelegt bereitgestellt.

[0010] Die vorliegende Erfindung überwindet viele der Nachteile des Stands der Technik durch Bereitstellung eines Displays, das mit wenig oder keinem manuellen Eingriff kalibriert und neukalibriert werden kann. Dazu stellt die vorliegende Erfindung zwei oder mehr Kameras zum Erfassen eines Bilds bereit, das auf einer Display-Betrachtungsfläche oder einem Betrachtungsschirm gezeigt wird. Bei einer vergleichenden Ausführungsform werden eine oder mehrere Kameras auf der Betrachtungsseite der Displays angeordnet. Bei einem Ausführungsbeispiel werden die zwei oder mehr Kameras auf der Nichtbetrachtungsseite der Displays, beispielsweise zwischen der Rückbeleuchtung und einem benachbarten LCD oder im Fall einer CRT auf der Innenseite und Rückseite der Vakuumflasche angeordnet.

[0011] Bei einem Ausführungsbeispiel werden die zwei oder mehr Kameras auf der gleichen Seite des Schirms wie das Projektionsdisplay angeordnet. Bei einem anderen Ausführungsbeispiel wird ein Array von Kameras auf der Projektions-Nichtbetrachtungsseite oder auf beiden Seiten des Schirms bereitgestellt, um eine Reihe benachbarter und/oder überlappender Erfassungsbilder des Schirms zu erfassen. Jedenfalls werden die entstehenden Erfassungsbilder verarbeitet, um etwaige unerwünschte Eigenschaften darin zu identifizieren, einschließlich etwaiger sichtbare Artefakte wie etwa Nähte, Streifen, Ringe usw. Nachdem die unerwünschten Eigenschaften identifiziert sind, wird eine entsprechende Transformationsfunktion bestimmt. Mit der Transformationsfunktion wird das Eingangsvideosignal zu dem Display so im voraus verzogen, daß die unerwünschten Eigenschaften reduziert oder vom Display eliminiert werden. Die Transformationsfunktion kompensiert bevorzugt räumliche Ungleichförmigkeit, Farb-Ungleichförmigkeit, Luminanz-Ungleichförmigkeit und/oder andere sichtbare Artefakte.

[0012] Bei einem Ausführungsbeispiel wird ein Schirm mit einer ersten Seite und einer zweiten Seite bereitgestellt. Bei einem Rückprojektionsdisplay kann die erste Seite der Projektionsseite und die zweite Seite der Betrachtungsseite entsprechen.

[0013] Bei einem Ausführungsbeispiel wird ein Projektor zum Projizieren eines Bilds auf die Projektionsseite des Schirms und ein Kameraarray zum Erfassen eines Erfassungsbilds oder Erfassungsbildsegments von der Projektionsseite des Schirms bereitgestellt. Ein Bestimmungsblock ist bereitgestellt, um das oder die Erfassungsbilder zu empfangen und zu bestimmen, ob das oder die Erfassungsbilder eine oder mehrere unerwünschte Eigenschaften aufweist. Ein Identifizierungsblock kann ebenfalls bereitgestellt sein, um eine Transformationsfunktion zu identifizieren, die das Eingangsvideosignal derart im voraus verziehen kann, daß die unerwünschten Eigenschaften reduziert oder aus dem zusammengesetzten Dis-

play eliminiert sind.

[0014] Es wird in Betracht gezogen, daß zwei oder mehr Displays und insbesondere Projektoren bereitgestellt werden, wobei auf jedem der Displays ein diskretes Bild erscheint, so daß die diskreten Bilder zusammen auf dem Schirm ein zusammengesetztes Bild bilden. Es wird außerdem in Erwägung gezogen, daß zwei oder mehr Kameras bereitgestellt werden können. Bei Bereitstellung von zwei oder mehr Kameras wird in Erwägung gezogen, daß die Kameras auf einer Projektions-Nichtbetrachtungsseite oder auf beiden Seiten des Schirms bereitgestellt werden und eine Reihe benachbarter und/oder überlappender Erfassungsbilder des Schirms erfassen. Bevorzugt stellt jede der Kameras mit einem der Displays ein Paar dar, wodurch eine Reihe von Display-Kamera-Clustern ausgebildet wird. Jedes der Display-Kamera-Cluster enthält bevorzugt eine Reihe elektromechanischer Schnittstellen, damit Schnittstellen mit benachbarten Display-Kamera-Clustern bereitgestellt werden und die Vereinigung von zwei oder mehr Clustern ein Gesamtdisplay bildet.

[0015] Es wird in Betracht gezogen, daß bei Bereitstellung von mehr als einem Display der Identifizierungsblock für jedes Display eine getrennte Transformationsfunktion identifizieren kann und weiterhin die Transformation für jedes Display zu einer steigern kann, die eine zusammengesetzte Transformationsfunktion für das ganze fliesenartige Display ist. Indem für jedes Display getrennt und bevorzugt in Verbindung mit den Einschränkungen für das ganze Display eine Transformationsfunktion bereitgestellt wird, können die verschiedenen unerwünschten Eigenschaften leichter aus dem zusammengesetzten Bild entfernt werden.

[0016] Es wird außerdem in Betracht gezogen, daß der Identifizierungsblock die von mehreren Kameras bereitgestellten Erfassungsbilder analysiert, wenn eine Transformationsfunktion für ein bestimmtes Display identifiziert wird. Beispielsweise kann zum Identifizieren einer Transformationsfunktion, die die Luminanz-Ungleichförmigkeit aus einem bestimmten Display entfernt, der Identifizierungsblock die Helligkeit aller Erfassungsbilder des Displays analysieren, um ein entsprechendes unteres und/oder oberes Helligkeitsniveau zu bestimmen, wie unten ausführlicher beschrieben wird.

[0017] Es wird schließlich in Betracht gezogen, daß jedes der Display-Kamera-Cluster ein Verarbeitungsmodul enthalten kann, um mindestens einen Teil der obenbeschriebenen Bestimmungs-, Identifizierungs- und/oder Verarbeitungsfunktion zu implementieren. Es wird dementsprechend in Betracht gezogen, daß die Bearbeitungshardware des Displays mindestens teilweise über die Display-Kamera-Cluster verteilt sein kann. Bei einer Implementierung sind die Kamera, das Display, die elektrische E/A-Funktion und die Verarbeitungsfunktionen (unten beschrieben) auf dem gleichen Substrat eingebettet.

## KURZE BESCHREIBUNG DER ZEICHNUNGEN

- [0018] Weitere Aufgaben der vorliegenden Erfindung und viele der sie begleitenden Vorteile kann man ohne weiteres würdigen, wenn sie unter Bezugnahme auf die folgende ausführliche Beschreibung zusammen mit den begleitenden Zeichnungen besser verstanden wird, bei denen in allen ihren Figuren gleiche Bezugszahlen gleiche Teile bezeichnen. Es zeigen:
- [0019] **Fig. 1** eine Perspektivansicht eines 4-mal-6-Arrays von Projektoren;
- [0020] **Fig. 2** eine Perspektivansicht eines beispielhaften Projektors von **Fig. 1**;
- [0021] **Fig. 3** ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels der vorliegenden Erfindung;
- [0022] **Fig. 4** ein Blockschaltbild, das eine veranschaulichende Implementierung für einen der Prozessorblöcke von **Fig. 3** zeigt;
- [0023] **Fig. 5** ein Schemadiagramm einer Ausführungsform ähnlich der, die in **Fig. 3** gezeigt ist, mit Zwischen-Prozessor-E/A-Zwischenprozessorblöcken;
- [0024] **Fig. 6** ein Blockschaltbild, das eine Grundlegende Verteilte Fliesenkomponente gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung zeigt;
- [0025] **Fig. 7** ein Blockschaltbild, das ein  $3 \times 3$ -Array der Grundlegenden Verteilten Fliesenkomponenten von **Fig. 6** zeigt;
- [0026] **Fig. 8** ein Flußdiagramm, das ein veranschaulichendes Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt;
- [0027] **Fig. 9** ein Flußdiagramm, das ein weiteres veranschaulichendes Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt;
- [0028] **Fig. 10** ein Flußdiagramm, das noch ein weiteres veranschaulichendes Verfahren der vorliegenden Erfindung zeigt, einschließlich der Unterscheidung der von der Kamera eingeführten Verzerrung von der vom Rest des Displays eingeführten Verzerrung;
- [0029] **Fig. 11** ein Diagramm, das ein beispielhaftes Muster zeigt, das angezeigt und später zum Bestimmen von räumlichen Verzerrungen im Display erfaßt wird;
- [0030] **Fig. 12** ein Diagramm, das das beispielhafte Muster von **Fig. 11** auf zwei benachbarten und überlappenden Fliesen angezeigt darstellt, ebenfalls zum Bestimmen von räumlichen Verzerrungen im Display;
- [0031] **Fig. 13** ein Diagramm, das die Funktionsweise einer veranschaulichenden Transformationsfunktion zeigt, mit der die räumliche Verzerrung in einem Display durch Bewegen ausgewählter Merkmale zu einer korrigierenden Stelle reduziert werden kann;
- [0032] **Fig. 14** ein Diagramm, das die Funktionsweise einer veranschaulichenden Transformationsfunktion zeigt, mit der die räumliche Verzerrung in einem Display durch ausgewählte Merkmale zu einer korrigierenden Stelle reduziert werden kann, und zwar um

eine Entfernung, die zu einem relativen Verfahren in Beziehung steht, beispielsweise einen gewichteten Mittelwert, modifiziert durch zusammengesetzte Bild- oder globale Einschränkungen;

[0033] **Fig. 15** ein Flußdiagramm, das ein veranschaulichendes Verfahren zum mindestens teilweisen Entfernen einer räumlichen Verzerrung aus dem Display zeigt;

[0034] **Fig. 16** ein Flußdiagramm, das ein veranschaulichendes Verfahren zum Identifizieren einer Transformation für ein fliesenartiges Display zum mindestens teilweisen Entfernen einer räumlichen Verzerrung aus dem fliesenartigen Display zeigt;

[0035] **Fig. 17** eine grafische Darstellung, die die Luminanzaufwölbungen für einen LCD-Projektor bei verschiedenen Eingangsintensitäten zeigt und außerdem, wie sich die Aufwölbungsformen je nach dem Eingangsintensitätspiegel ändern;

[0036] **Fig. 18** ein Schemadiagramm, das die Luminanzaufwölbungen für drei fliesenartige LCD-Projektoren jeweils bei verschiedenen Eingangsintensitäten zeigt; und

[0037] **Fig. 19** ein Flußdiagramm, das ein veranschaulichendes Verfahren zum mindestens teilweisen Entfernen einer Luminanzverzerrung aus dem Display zeigt.

## AUSFÜHLICHE BESCHREIBUNG DER BEVORZUGTEN AUSFÜHRUNGSFORMEN

[0038] Die vorliegende Erfindung stellt ein Display bereit, das mit keinem bis zu einem minimalen Aufwand an manuellem Eingriff kalibriert und neukalibriert werden kann. Dazu stellt die vorliegende Erfindung zwei oder mehr Kameras zum Erfassen eines Bilds bereit, das auf eine Display-Betrachtungsfläche oder einen Betrachtungsschirm projiziert wird. Bei einer vergleichenden Ausführungsform werden ein oder mehrere Kameras auf der Betrachtungsseite der Displays angeordnet. Bei einer Ausführungsform werden zwei oder mehr Kameras auf der Nichtbetrachtungsseite der Displays angeordnet, beispielsweise zwischen der Rückbeleuchtung und einer benachbarten LCD oder im Fall einer CRT auf der Innenseite und Rückseite der Vakuumflasche. Bei einer Ausführungsform werden die zwei oder mehr Kameras auf der gleichen Seite des Schirms wie das Projektionsdisplay angeordnet. Bei einer anderen Ausführungsform wird ein Array von Kameras auf der Projektions-Nichtbetrachtungsseite oder auf beiden Seiten des Schirms bereitgestellt, um eine Reihe benachbarter und/oder überlappender Erfassungsbilder des Schirms zu erfassen. Bei allen der Ausführungsformen werden die entstehenden Erfassungsbilder verarbeitet, um etwaige unerwünschte Eigenschaften zu identifizieren, einschließlich etwaiger sichtbarer Artefakte wie etwa Nähte, Streifen, Ringe usw. Nachdem die unerwünschten Eigenschaften identifiziert sind, wird eine entsprechende Transformationsfunktion bestimmt. Mit der Transformationsfunktion wird

das Eingangsvideosignal zu dem Display so im voraus verzogen, daß die unerwünschten Eigenschaften reduziert oder vom Display eliminiert werden. Die Transformationsfunktion kompensiert bevorzugt räumliche Ungleicheiformigkeit, Farb-Ungleicheiformigkeit, Luminanz-Ungleicheiformigkeit und/oder andere sichtbare Artefakte.

[0039] Bei einem Ausführungsbeispiel wird ein fliesenartiges Display bereitgestellt, das zwei oder mehr in einer Arraykonfiguration angeordnete Projektoren aufweist. Bei den Projektoren kann es sich um direktschreibende (z. B. CRT, LCD, DMD, CMOS-LCD) oder eine beliebige andere Art von Bildgebungseinrichtung handeln, und sie können Aufprojektions- und Rückprojektionsarten sein. Bei einem fliesenartigen Display erscheint jedes der Displays bevorzugt als ein diskretes Bild separat auf einer Betrachtungssoberfläche oder einem Schirm, wobei die diskreten Bilder zusammen ein zusammengesetztes Bild bilden. Die diskreten Bilder können einander überlappen oder nicht überlappen. Eine derartige Konfiguration ist in **Fig. 1** gezeigt.

[0040] Ein veranschaulichender Projektor **8** ist in **Fig. 2** gezeigt und verwendet bevorzugt eine Digitale Mikrospiegel-Einrichtung (DMD = Digital Micromirror Device) **10**. DMD-Einrichtungen enthalten in der Regel ein Array aus elektronisch adressierbaren bewegbaren quadratischen Spiegeln, die elektrostatisch ausgelenkt werden können, um Licht zu reflektieren. Durch den Einsatz einer DMD-Einrichtung kann man ein leichtes zuverlässiges digitales Display mit einem großen Betrachtungswinkel und einer guten Bildklarheit erhalten. Zudem entsprechen einige DMD-Einrichtungen verschiedenen Umgebungs- und Beanspruchungsanforderungen nach MIL-STD-**810** und können farbliche, grafische, Text- und Videodaten mit verschiedenen Bildfolgefrequenzen anzeigen.

[0041] Der Projektor **8** enthält bevorzugt außerdem verschiedene optische Elemente, um die ankommenden Beleuchtungen ordnungsgemäß vorzubereiten, die DMD **10** zu beleuchten und das abgehende Bild zu projizieren. Wie in **Fig. 2** gezeigt, kann der Lichtweg zwei Segmente enthalten: den Beleuchtungsweg **12** und den Projektionsweg **14**. Der Lichtweg kann mit einer sehr zuverlässigen Metallhalogenidlampe **16** mit kurzem Lichtbogen beginnen, die die DMD **10** beleuchtet. Das Licht von der Lichtbogenlampe **16** verläuft durch ein sich drehendes RGB-Farbfiltersrad **18**. Eine Beleuchtungsrelaislinse vergrößert den Strahl, um die DMD **10** zu beleuchten und an der DMD **10** ein telezentrisches Bild auszubilden. Ein TIR- (Total Internal Reflection = Innere Totalreflexion)-Prisma **20** ermöglicht, daß das ankommende Licht von der Lampe auf die DMD **10** fällt und zurück in die Projektionsoptik. Je nach dem Drehzustand (z. B.  $\pm 10$  Grad für ein/aus) jedes Spiegels auf der DMD wird das Licht von der DMD **10** in die Pupille der Projektionslinse gelenkt (ein) oder weg von der Pupille der Projektionslinse (aus). Eine mehrelementige Projektionszelle vergrößert das von der DMD **10**

zurückkommende Bild bei der gewünschten MTF, seitlichen Farbe und Verzerrung.

[0042] Jeder Projektor **8** kann auch ein nicht explizit gezeigtes Elektronikmodul enthalten. Das Elektronikmodul kann die ankommenden Datensignale empfangen, die zeitlichen Signale in räumliche Darstellungen auf der DMD umwandeln und das Filter **18** steuern, das die sequentielle Farbe für das Display liefert. Die Elektronik kann wie unten beschrieben modular sein, wodurch eine willkürliche Anzahl von Projektoren fliesenartig zusammengesetzt werden kann. Weiterhin können gegebenenfalls in die Elektronik Fliesenalgorithmen integriert werden, um „intelligente“ Projektoren zu ermöglichen. Dadurch kann sich die Elektronik jedes Projektors automatisch oder manuell mit wenig oder keinem manuellen Eingriff durch den Benutzer an eine willkürliche Konfiguration von Projektoren anpassen.

[0043] **Fig. 3** ist ein Schemadiagramm einer veranschaulichenden Ausführungsform der vorliegenden Erfindung. Das System ist allgemein bei **30** gezeigt und kann zwei oder mehr Displays enthalten, bei denen es sich um Projektoren **32** und **34** handeln kann, damit eine Reihe diskreter Bilder auf einer Betrachtungssoberfläche oder einem Schirm **36** in Erscheinung treten können. Zu Veranschaulichungszwecken wird das Display als ein Projektor erörtert. Es können auch Kameras **38** und **40** bereitgestellt sein, die ein auf den Schirm **36** projiziertes Bild erfassen. Bei einer veranschaulichenden Ausführungsform sind die zwei oder mehr Kameras **38** und **40** auf der gleichen Seite des Schirms **36** wie die Projektoren **32** und **34** angeordnet.

[0044] Bei einer weiteren veranschaulichenden Ausführungsform ist ein Array aus Kameras auf einer Projektions-Nichtbetrachtungsseite oder auf beiden Seiten des Schirms vorgesehen, um eine Reihe benachbarter und/oder überlappender Erfassungsbilder des Schirms **36** zu erfassen. Bei einer allgemeineren vergleichenden Ausführungsform sind eine oder mehrere Kameras auf der Betrachtungsseite der Displays angeordnet. Bei einer weiteren veranschaulichenden Ausführungsform sind die zwei oder mehr Kameras auf der Nichtbetrachtungsseite der Displays angeordnet, beispielsweise zwischen der Rückbeleuchtung und einer angrenzenden LCD oder im Fall einer CRT auf der Innenseite und Rückseite der Vakuumflasche. Jedenfalls kann ein Bestimmungsblock bestimmen, ob die Erfassungsbilder irgendwelche unerwünschten Eigenschaften aufweisen, und ein Identifizierungsblock kann die Transformationsfunktion identifizieren, die bei Anwendung auf das Eingangsvideosignal die unerwünschten Eigenschaften reduzieren kann. Der Bestimmungsblock und der Identifizierungsblock können unter Verwendung von einem oder mehreren Prozessoren implementiert werden.

[0045] Bei der veranschaulichenden Ausführungsform kann jedes Kamera-Projektor-Paar oder -Cluster einen entsprechenden Prozessor oder dergle-

chen enthalten. Beispielsweise weisen Projektor **32** und Kamera **38** einen entsprechenden Prozessor **44** auf, und Projektor **34** und Kamera **40** weisen einen entsprechenden Prozessor **46** auf. Bei einer veranschaulichenden Ausführungsform sind die lokalen Prozessoren **44** und **46** über eine Schnittstelle **62** an einen ausführenden Prozessor **48** gekoppelt.

[0046] Jeder der lokalen Prozessoren **44** und **46** empfängt wie gezeigt einen Eingangsvideostrom. Da jeder der Projektoren **32** und **34** in der Regel nur einen Teil des gewünschten zusammengesetzten Bilds projiziert, können die Prozessoren **44** und **46** den Eingangsvideostrom in ein erstes Eingangsvideosignal **50** und ein zweites Eingangsvideosignal **52** segmentieren, die jeweils weiter verarbeitet werden können, wie unten beschrieben, um Artefakte zu kompensieren und im zusammengesetzten Bild eine hohe Bildqualität zu erzielen. Bei der veranschaulichenden Ausführungsform segmentieren die Prozessoren **44** und **46** den Eingangsvideostrom derart, daß etwaige Überlappungen zwischen benachbarten diskreten Bildern, beispielsweise Überlappung **60**, berücksichtigt werden.

[0047] Der Eingangsvideostrom kann von einer Reihe von Quellen geliefert werden und kann ein NTSC-, PAL-, HDTV-, Workstation- oder PC-Videosignal sein. Diese Signalarten sind beispielsweise mit den RS-170-, RS-343-Richtlinien und -spezifikationen oder in jüngerer Zeit mit den VESA-Videosignalstandards und -Richtlinien kompatibel. Die Signale können zusätzlich zu dem aktiven Videosignal, mit dem das Ausgangsbild aufgebaut wird, Horizontal- und Vertikalsynchronisations- und Austastinformationen enthalten. Die Synchronisationssignale können von den Prozessoren **44** und **46** dazu verwendet werden, insbesondere im Fall eines analogen Eingangssignals, das digitalisiert werden muß, einen System- und/oder Videoabtasttakt abzuleiten.

[0048] Die Kameras **38** und **40** sind wie gezeigt bevorzugt auf den Schirm **58** ausgerichtet, wobei jede ein Kameraausgangssignal über die Schnittstellen **54** und **56** an den entsprechenden Prozessor **44** bzw. **46** liefert. Die Kameras **38** und **40** können ein Blickfeld aufweisen, das ausreicht, ein Erfassungsbild mindestens eines Teils des zusammengesetzten Bilds zu erfassen. Es wird in Betracht gezogen, daß das Blickfeld jeder Kamera nur 1% des zusammengesetzten Bilds, 50% des zusammengesetzten Bilds, das ganze zusammengesetzte Bild oder einen beliebigen anderen Teil des zusammengesetzten Bilds umfaßt, der als wünschenswert angesehen wird. Bei einem fliesenartigen Display entspricht dies möglicherweise nur einem Teil einer Fliese, etwa einer Fliese, mehr als einer Fliese oder allen Fliesen. Wenn das Blickfeld der Kameras nicht das ganze Display umfaßt, kann es möglicherweise erforderlich sein, jeden Abschnitt des Displays getrennt zu kalibrieren und dann die Ergebnisse in einem Hintergrund- oder Echtzeitmodus zu montieren, um über alle Fliesen hinweg ein kalibriertes Display zu erhalten.

[0049] Bei einem Array von Kameras muß wie gezeigt das Blickfeld jeder Kamera nicht notwendigerweise dem Blickfeld des entsprechenden Projektors entsprechen. Bei der veranschaulichenden Ausführungsform ist das Blickfeld der Kamera **38** relativ zum Blickfeld des Projektors **32** beispielsweise nach oben versetzt. Das Blickfeld der Kamera kann relativ zur Orientierung der angezeigten Bildfliese gedreht, skaliert oder parallel verschoben werden. Analog ist das Blickfeld der Kamera **40** relativ zum Blickfeld des Projektors **34** nach oben versetzt. Dies ist akzeptabel, da Kameras von benachbarten Prozessor-Kamera-Projektor-Clustern dazu verwendet werden können, auf Art und Weise einer Verkettung den verbleibenden oder fehlenden Szeneninhalt zu erfassen. Das Ergebnis kann unter Einsatz eines beliebigen von vielen bekannten Verfahren für die Auto- und Kreuzkorrelation extrahierter Merkmale analysiert werden. Das benachbarte Cluster kann den restlichen oder fehlenden Szeneninhalt über den ausführenden Prozessor **48** zurück zum entsprechenden Prozessor weiterleiten. Der ausführende Prozessor **48** setzt bevorzugt aus den ihm gelieferten vielen Bildern ein Gemisch zusammen und liefert die entsprechenden Gemischinformationen an jeden lokalen Prozessor. Das Gemisch kann als ein Bild, Bildmerkmale, Daten oder eine beliebige andere Form von Informationen ausgedrückt werden und über die Schnittstelle **62** zum entsprechenden Prozessor zurückübertragen werden. Es wird außerdem in Betracht gezogen, daß die Ziellinie der Kameras nicht orthogonal zum Schirm **36** liegen muß. Vielmehr können die Kameras vertikal und/oder horizontal abgewinkelt sein (nicht gezeigt), um mehr oder weniger von dem projizierten Bild zu umschließen.

[0050] Nachdem die entsprechenden Informationen zu jedem lokalen Prozessor zurückübertragen worden sind, können die unerwünschten Eigenschaften bestimmt werden. Ein bevorzugt innerhalb jedes lokalen Prozessors angeordneter Identifizierungsblock kann dann eine Transformationsfunktion identifizieren, die bei Anwendung auf den Eingangsvideostrom die unerwünschten Eigenschaften im entsprechenden Prozessor-Kamera-Projektor-Cluster und somit im zusammengesetzten Bild auf dem Schirm **36** reduziert. Die unerwünschten Eigenschaften können räumliche Ungleichförmigkeit, farbliche Ungleichförmigkeit und/oder Luminanz-Ungleichförmigkeit beinhalten, können aber auch andere bekannte Bildartefakte oder -unregelmäßigkeiten beinhalten.

[0051] Bei der gezeigten Ausführungsform ist der Schirm **36** ein durchlässiger Schirm. Die gezeigte Ausführungsform ist ein Rückprojektionsdisplay. Die Kamera und Projektoren sind auf der gleichen Seite des Schirms, nämlich der Projektionsseite, gezeigt. Es wird jedoch in Betracht gezogen, daß, wenn ein Array aus Kameras bereitgestellt wird, die Kameras auf einer Projektions-Nichtbetrachtungsseite oder beiden Seiten des Schirms relativ zu den Projektoren angeordnet werden können, die wiederum ein Bei-

spiel für Displays sind, die allgemeiner in Betracht gezogen werden.

[0052] Die Kameras können elektronische Standbild- oder Videokameras sein oder eine gleichwertige Kombination aus Komponenten aufweisen, die die Szene an mehreren Punkten erfassen und eine elektronische Darstellung des Bilds an den entsprechenden lokalen Prozessor liefern. Bei der bevorzugten Ausführungsform sind die Kameras CCD- oder CMOS-Kameras, entweder in Farbe (z. B. Mehrpunktcolorimeter) oder monochrom. Die Kameras enthalten bevorzugt einen photopischen Filter, damit die Kameras das Ausgangsbild auf eine Weise messen können, die mit dem menschlichen Sehsystem übereinstimmt. So werden Rauschen und Fehler bei der Luminanz und bei der Farbart auf eine Weise gemessen, die ähnlich der ist, wie das Auge derartige Anomalien erfaßt. Die Bilder können über einen kurzen Zeitraum (z. B. unter 60 Millisekunden) oder über eine längere Belichtungszeit (z. B. in der Größenordnung von einer Sekunde) aufgenommene Schnappschüsse sein.

[0053] Bei einer bevorzugten Ausführungsform sind die Kameras herkömmliche Miniaturvideokameras, die ein analoges Ausgangssignal erzeugen. Das analoge Ausgangssignal wird digitalisiert und von einem Framegrabber oder dergleichen (nicht gezeigt), der in jedem der lokalen Prozessoren 44 und 46 angeordnet ist, erfaßt. Nach der Digitalisierung werden die Erfassungsbilder gespeichert und verarbeitet, wobei digitale Verarbeitungstechniken verwendet werden. Um zu bestimmen, ob das Erfassungsbild unerwünschte Eigenschaften aufweist, kann das Erfassungsbild mit einem vorbestimmten Daten- oder Informationssatz verglichen werden. Zunächst wird jedoch in Betracht gezogen, daß die durch die Kameras und zugeordnete Verarbeitungshardware eingeführte Verzerrung bestimmt und entfernt wird.

[0054] Zur Isolierung der Kameraverzerrung wird erwogen, daß wie gezeigt vor dem Schirm 36 eine physische Schablone 70 bereitgestellt werden kann. Auf der physischen Schablone 70 befindet sich bevorzugt ein vorbestimmtes Muster, wie etwa ein Punktarray. Wenn sich die physische Schablone 70 an ihrem Platz befindet, können die Kameras 38 und 40 jeweils ein Erfassungsbild mindestens eines Teils der physischen Schablone 70 erfassen, einschließlich eines Teils des vorbestimmten Musters. Indem die Erfassungsbilder mit vorbestimmten erwarteten Bildern verglichen und insbesondere die Stelle der Punkte des vorbestimmten Musters in den Erfassungsbildern mit den erwarteten Stellen jedes der Punkte verglichen wird, kann die Verzerrung der Kameras 38 und 40 und der zugeordneten Hardware bestimmt werden. Anhand der Abweichung von den erwarteten Stellen kann eine Transformationsfunktion für jeden Projektor bestimmt und auf den Eingangsvideostrom angewendet werden, um die Verzerrung in den Kameras zu kompensieren.

[0055] Nachdem die Verzerrung der Kameras be-

stimmt ist, kann die physische Schablone 70 entfernt und die Verzerrung des Displays selbst bestimmt werden. Das Display kann eine Reihe von Verzerrungsarten aufweisen, einschließlich räumliche Verzerrung, farbliche Verzerrung, Luminanz-Verzerrung usw. Um beispielsweise die räumliche Verzerrung des Projektionsdisplays zu bestimmen, kann ein Eingangssignal an ausgewählte Projektoren 32 und 34 geschickt werden, um eine Reihe von diskreten Bildern zu projizieren, die jeweils ein vorbestimmtes oder bekanntes Muster aufweisen. Das bekannte Muster kann aus dem standardmäßigen Eingangsvideostrom erfaßt werden. Mit den Kameras 38 und 40 kann dann eine Reihe von Erfassungsbildern mindestens eines Teils des Schirms 36 erfaßt werden. Mit den Erfassungsbildern kann die Verzerrung des Projektionsdisplays bestimmt werden, indem beispielsweise die Erfassungsbilder mit vorbestimmten erwarteten Bildern verglichen werden. Als Alternative oder zusätzlich kann die Verzerrung bestimmt werden, indem die Stelle von ausgewählten Merkmalen des vorbestimmten Musters in benachbarten diskreten Bildern und besonders bevorzugt in ausgewählten überlappenden Gebieten 60 zwischen Bildern bestimmt wird. Indem eine affine, perspektivische, bilineare, polynomiale, stückweise polynomiale oder globale Spline- oder eine ähnliche Technik verwendet wird, kann eine Transformationsfunktion bestimmt und auf den Eingangsvideostrom angewendet werden, um die räumliche Verzerrung der Projektoren 32 und 34 zu kompensieren. Es wird in Betracht gezogen, daß die durch die Kameras 38 und 40 eingeführte Verzerrung wie obenbeschrieben aus den Erfassungsbildern entfernt werden kann, bevor die Verzerrung des Projektionssystems bestimmt wird.

[0056] Um die farbliche und Luminanz-Verzerrung des Projektionssystems zu bestimmen, können nacheinander eine Reihe von Eingangssignalen unterschiedlicher Intensität in das Projektionssystem eingegeben werden, wobei jedes Eingangssignal einem Flachfeldbild einer ausgewählten Farbe entspricht. Beispielsweise kann ein erstes Eingangssignal einem roten Flachfeldbild mit einer LCD-Eingangsintensität von „255“ oder dem hellsten Eingangswert entsprechen. Das nächste Eingangssignal kann ebenfalls einem roten Flachfeldbild entsprechen, aber eine dunklere LCD-Eingangsintensität von „220“ aufweisen. Es können Eingangssignale mit ständig geringerer Intensität geliefert werden, bis das Eingangssignal eine LCD-Eingangsintensität von „0“ entsprechend schwarz aufweist, dem dunkelsten Eingangswert. Diese Eingangssignale können als Äquivalente hell bis dunkel insbesondere dann ausgedrückt werden, wenn das Eingangssignal eine analoge Spannung anstelle eines digital gemessenen Werts ist. Dieser Prozeß kann sowohl für das blaue als auch grüne Flachfeldbild wiederholt werden. Die entsprechenden Kameras erfassen bevorzugt jedes der Flachfeldbilder. Die entstehenden Bilder werden bevorzugt als ein Array von Erfassungs-

bildern oder komprimierte Versionen davon in einem Referenzbilder- und -datenblock **100** in dem entsprechenden Prozessor gespeichert (siehe **Fig. 4**). Nach dem Sammeln können die unerwünschten Eigenschaften jedes Erfassungsbilds bestimmt werden, einschließlich der Farbe entsprechend und Eingabeintensitätsvariantenluminanzaufwölbungen jedes der Projektoren **32** und **34**.

[0057] Nachdem die Luminanzaufwölbungen identifiziert sind, kann sowohl für die Farbe als auch die Intensität über das ganze Display hinweg ein höchster und ein niedrigster Wert bestimmt werden. Beispielsweise kann ein Projektor heller sein als ein anderer, obwohl alle mit größter Intensität (z. B. LCD „255“) angesteuert werden, und die von jedem Projektor gelieferte Helligkeit kann in der Nähe der Kanten des Bilds abnehmen. Dementsprechend kann ein höchster Wert so ausgewählt werden, daß er dem dunkelsten Überlagerungswert aller Fliesen entspricht, wenn alle Projektoren mit maximaler Intensität betrieben werden. Analog kann ein niedrigster Wert ausgewählt werden, der dem hellsten Überlagerungsergebnis entspricht, wenn alle Projektoren mit der kleinsten Intensität (LCD „0“) betrieben werden.

[0058] Danach kann eine Transformationsfunktion bestimmt werden, um die Luminanzaufwölbungen über ausgewählte Fliesen zu reduzieren und die Helligkeit und Farbe jeder Fliese mit benachbarten Fliesen abzustimmen. Beispielsweise kann die Transformationsfunktion durch eine Farbnachschatztabellen erfaßter oder komprimierter Farbaufwölbungen, eine Nächste-Nachbar-Erfassungs- und Identifizierungsfunktion und eine Interpolationsfunktion unter den nächsten Nachbarn dargestellt werden, damit der am Display benötigte Eingangspiegel zur Ausgabe des gewünschten linearen Ausgangspiegels bestimmt wird.

[0059] Bei einer Ausführungsform stellt die Transformationsfunktion die Luminanzänderung über das ganze Display hinweg auf unter etwa 2% ein, was gemäß dem Weberschen Gesetz unter einer „just noticeable difference“ (JND, eben merklicher Unterschied) liegt. Damit dieses Niveau an Luminanzgleichförmigkeit erzielt werden kann, ist die Transformationsfunktion bevorzugt eine Funktion der X- und Y-Stelle auf dem Display und bei einigen Bildquellentechnologien wie etwa Polysilicium-LCDs der LCD-Eingangsintensitätswert. Die Änderungen über das Display hinweg werden gemäß der Kontrastmodulationsempfindlichkeitskurve des menschlichen Sehens bevorzugt unter einem JND gehalten. Diese Kurve gestattet eine größere oder kleinere Änderung als Funktion der Raumfrequenz.

[0060] Wenn das Display sich überlappende Fliesen aufweist, so wird erwogen, daß die Verzerrung des Systems direkt aus auf das Display projizierten Mustern bestimmt werden kann. Bei einem fliesenartigen Display mit überlappenden diskreten Bildern kann ein erstes Merkmal in einem ausgewählten Überlappungsgebiet identifiziert werden, wobei das erste

Merkmal von einem ersten Projektor projiziert wird. Dann kann im gleichen ausgewählten Überlappungsgebiet ein zweites Merkmal identifiziert werden, wobei das zweite Merkmal von einem zweiten Projektor projiziert wird und wobei das zweite Merkmal dem ersten Merkmal entspricht. Dann kann die räumliche Beziehung zwischen dem ersten und zweiten Merkmal bestimmt werden und daraus kann eine erste Transformationsfunktion für den ersten Projektor identifiziert werden. Analog kann eine zweite Transformationsfunktion für den zweiten Projektor identifiziert werden. Eine eingehendere Erörterung dieses Sachverhalts findet man unten unter Bezugnahme auf die **Fig. 12–14**.

[0061] Schließlich wird in Betracht gezogen, daß die Kameras zum Erfassen eines neuen Erfassungsbilds periodisch aktiviert werden können. Der Bestimmungsblock in den Prozessorblöcken **44** und **46** kann bestimmen, ob das neu erfaßte Bild ein oder mehrere unerwünschte Eigenschaften aufweist, und der Identifizierungsblock der Prozessorblöcke **44** und **46** kann eine neue Transformationsfunktion identifizieren, mit der der Eingangsvideostrom verarbeitet und verarbeitete Eingangsvideosignale zu den Projektoren **32** und **34** geliefert werden können, um die identifizierten unerwünschten Eigenschaften zu reduzieren. Es wird somit erwogen, daß die vorliegende Erfindung dazu eingesetzt werden kann, das Display mit wenig oder keinem manuellen Eingriff periodisch neu zu kalibrieren. Der Zeitraum der Neukalibrierung kann so verlängert oder verkürzt werden, wie dies durch das betriebliche Umfeld gefordert wird. Es kann beispielsweise mit einer Rate von 60 Hz erfolgen, um Effekte in einem Umfeld mit starken Schwingungen zu negieren. In einem freundlichen Umfeld, wie dies in einem Heim der Fall sein kann, kann der Zeitraum auf 0,001 Hz oder weniger reduziert werden.

[0062] Es wird außerdem in Erwägung gezogen, daß der Prozessor **52** eine eingebaute Testlogik enthalten kann. Die eingebaute Selbsttestlogik kann periodisch erfassen, ob irgendein Teil des Displays ausgefallen ist und dann gegebenenfalls durch entsprechendes Neukalibrieren des Displaysystems den Ausfall korrigieren. Das ist insbesondere dann nützlich, wenn die diskreten Bilder einander um etwa 50% oder mehr überlappen. Der 50%-Wert grenzt beispielsweise eine Packungsanordnung ab, die vollständig redundant ist, was zu signifikanten betriebs-sicheren (fail-operational) Systemattributen führt. Betriebssicher bedeutet, daß eine Komponente ausfallen kann, das System aber in vollem Umfang weiter arbeiten kann. Bei einer Überlappung von 50% steht, falls ein Projektor ausfällt, mindestens ein weiterer bereit, um die Lücke auszufüllen, was zu signifikanten Gewinnen bei der Systemzuverlässigkeit führt.

[0063] Um Speicher Kosten einzusparen, werden die Transformationsfunktionen und die extrahierten Merkmale, Informationen und Datensätze wie hier beschrieben bevorzugt als eine Reihe reduzierter In-

formationssätze dargestellt und gespeichert, wie etwa affinen Transformationen oder vordere Differenzkoeffizienten oder Komprimierungskoeffizienten wie diejenigen, die in JPEG- oder MPEG-Spezifikationen empfohlen werden. Über Interpolation oder der gleichen können die entsprechenden Korrekturfaktoren für jede Stelle unter den ausgewählten Punkten rekonstruiert werden (siehe **Fig.** 11 unten).

[0064] **Fig.** 4 ist ein Blockschaltbild, das eine veranschaulichende Implementierung für einen der Prozessorblöcke von **Fig.** 3 zeigt. Bei der veranschaulichenden Ausführungsform ist Prozessorblock **44** von **Fig.** 3 gezeigt. Der Prozessorblock **44** enthält einen Referenz- und -Meß-Bildmaterial-Block **100**, einen Transformationsrechnerblock **102** und einen Echtzeit-Warper- und -Farbmisch-Block **104**. Man beachte, daß beliebige der Nicht-Echtzeit-Rechnungen und -Operationen mit dem ausführenden Prozessor **48** geteilt oder zu diesem bewegt werden können (siehe **Fig.** 3).

[0065] Der Prozessor **44** und der ausführende Prozessor **48** haben über den Referenzbilder- und -datenblock **100** Zugriff auf die vom Projektor und den benachbarten Projektoren gezeigten erfaßten und gemessenen Bilder. Die erfaßten Bilder werden von den entsprechenden Prozessoren analysiert und Merkmale werden extrahiert. Im Fall von Raumkompensationsfunktionen kann die Merkmalsextrahierung das Suchen, Erfassen und Identifizieren von Ankerpunkten beinhalten, wie unten eingehender beschrieben wird. Bei der farblichen Kompensation kann eine Reihe von Bildern über den/die zu testenden Projektor(en) auf den Schirm projiziert werden. Diese Bilder können monochrome oder farbige Flachfeldbilder sein, die von digitalen Eingangswerten von 0 bis 255 jeweils für Rot, Grün und Blau reichen. Die Vignettierungsaspekte der Kameralinsenöffnung und -baugruppe können ebenfalls erfaßt und in das Ergebnis hineingerechnet werden. Der Vignettenaspekt der Kamera kann ebenfalls im voraus gemessen werden, wobei ein weißes Flachfeldbild verwendet wird, das von einem gleichmäßig beleuchteten weißen Flachfeld geliefert und als a priori-Informationen, bevorzugt bildmäßig komprimiert im Referenzbilder- und -datenblock **100** gespeichert ist.

[0066] Die Referenzbilder und das Datenbildmaterial werden im Transformationsrechnerblock **102** verglichen. Die verschiedenen Testbilder – einschließlich räumlicher und farbiger Testbilder – werden in diesem Block analysiert. Herausragende und relevante Merkmale werden automatisch extrahiert, und zwar unter Verwendung von Variationen aus Filter-, Schwellwert-, Linearitätskorrektur- und Gammakorrekturverfahren. Um eine räumliche Kompensation zu erhalten, können die affine, perspektivische, bilineare, polynomiale, stückweise polynomiale oder globale Spline-Transformation (als Beispiele) berechnet werden, indem die gemessenen räumlichen Testmustermerkmale mit residenten Referenztestbildmerkmalen verglichen werden. Für Farbinformatio-

nen können das Gamma, der Verstärkungsfaktor und die Offsets von Kamera, Digitalisierer und Projektoren extrahiert werden. Diese und verwandte Merkmale werden kategorisiert und gelöst, um einen Satz räumlicher und farblicher kompensierender Transformationskoeffizienten zu erzeugen. Der Transformationsrechnerblock **102** enthält somit sowohl den obenerörterten Bestimmungsblock als auch den Identifizierungsblock.

[0067] Die kompensierenden Koeffizienten, die in der Regel über den ausführenden Prozessor **48** im Nicht-Echtzeitmodus berechnet werden, werden in den Echtzeit-Warper- und -Farbmischblock **104** geladen. Der Echtzeit-Warper- und -Farbmischblock **104** konvertiert dann die Koeffizienten in Hochgeschwindigkeits-Echtzeit-Kompensationssignale. Der transformierte Videostrom (TVS) **50** ist eine gedehnte/komprimierte Version des Eingangsvideostroms. Das Dehnen und Komprimieren kann bezüglich der Fliese und ihrer Nachbarn lokal oder global sein. Eine Verformung (warping) wird hinsichtlich Farbe und Raum auf eine Weise angewendet, daß, wenn der transformierte Videostrom (TVS) durch das Projektor-Schirm-System geschickt wird, das Ausgangsbild in einer räumlichen und farblichen Ausrichtung und in einem beliebigen anderen bekannten Bildattribut wie etwa zeitlicher Ausrichtung austritt.

[0068] Es wird in Betracht gezogen, daß der Echtzeit-Warper- und -Farbmischblock **104** unter Verwendung einer Kombination aus standardmäßigen Verarbeitungskomponenten implementiert werden kann, zu denen Hochgeschwindigkeits-Nachschatgetabellen, digitale Hochgeschwindigkeits-Signalprozessoren, Bildspeicher, x/y-Positionszähler, bilineare Interpolationseinrichtungen (oftmals als Multiplizierer-Addierer-Blöcke oder Nachschlagetabellen implementiert) und Vordere-Differenzier-Maschinen (die beispielsweise aus Koeffizientenregistern, Addierern und Signalspeichern bestehen) zählen. Es können auch andere Komponenten verwendet werden.

[0069] **Fig.** 5 ist ein Schemadiagramm einer Ausführungsform ähnlich der in **Fig.** 3 gezeigten, wobei sich ein Zwischen-Prozessor-E/A zwischen Prozessorblöcken erstreckt. Die E/A-Funktion beinhaltet auch das mechanische Koppeln, um das ineinander greifen und den ordnungsgemäßen Abstand jedes Displays zu ermöglichen. Die erwogene mechanische Kopplung beinhaltet Abstand, Lichtblende, Klemmemechanismen, Stapelunterstützung und Wärmemanagementkanäle. Der Zwischen-Prozessor-E/A kann als Videokanäle, parallele und/oder serielle Datenbusübertragungsleitungen oder eine beliebige andere Art von Kommunikationsverbindung implementiert werden. Bei bereitgestellter Zwischen-Prozessor-E/A-Funktion bilden die lokalen Prozessoren **110** und **112** ein verteiltes Array aus Prozessoren, wodurch potentiell die Notwendigkeit für den zentralen ausführenden Prozessor **48** von **Fig.** 3 entfällt. Bei einer Ausführungsform kann der Prozessor **110** die Funktion eines globalen ausfüh-

renden annehmen, wodurch Bildqualität über das ganze Array sichergestellt wird, der Prozessor **112** kann die Funktion eines Farbmischrechners annehmen, während ein anderer (nicht gezeigt) die Funktion eines Raumverformungsrechners annehmen kann, und noch ein anderer kann die Funktion eines eingebauten Testmonitors annehmen usw. Bevorzugt wendet jeder Prozessor die entsprechende Transformation hinsichtlich Farbe, Raum und Zeit auf den unter seiner unmittelbaren Steuerung stehenden entsprechenden Teil des Eingangsvideosignals an, um einen Echtzeit-Transformationsprozeß für seine Fliese zu erzielen.

[0070] Wenngleich ein ausführender Prozessor **48** nicht ausgeschlossen wird, gestattet der Zwischen-Prozessor-E/A, daß jedes Fliesencluster aus Ressourcen in einen Dialog mit seinen Nachbarn eintritt. Dies kann als eine lokale und globale Anordnung von Informationen implementiert werden, einschließlich Bildmessung und Systemkompensation. Die Funktion des Prozessorarrays kann die Stelle jeder Fliese identifizieren, die benachbarten Fliesen identifizieren und die Ergebnisse einschließlich ausgewählter benachbarter Ergebnisse analysieren. Dementsprechend kann eine willkürliche Anzahl und Konfiguration von Fliesen bereitgestellt werden, wodurch vom Benutzer Fliesenmodule transparent addiert oder subtrahiert werden können.

[0071] **Fig. 6** ist ein Blockschaltbild, das eine Verteilte Fliesenbasiskomponente gemäß einer veranschaulichenden Ausführungsform der vorliegenden Erfindung zeigt. Die verteilte Fliesenbasiskomponente **118** enthält bevorzugt eine Kamera, einen Projektor, einen elektromechanischen E/A und einen Prozessor, wie beispielsweise in **Fig. 5** gezeigt. Der Zwischen-Prozessor-E/A ist in einer Nord-, Ost-, West- und Südordnung gezeigt. Es wird erwogen, daß der Zwischen-Prozessor-E/A so implementiert werden kann, daß er mehr oder weniger Kanäle von schnellen bis langsam Schnittstellen enthalten und in einem ein-, zwei- oder dreidimensionalen Array angeschlossen sein kann. Ein  $3 \times 3$ -Array von verteilten Fliesenbasiskomponenten ist in **Fig. 7** gezeigt.

[0072] Gemäß dem obengesagten zeigt **Fig. 8** ein Flußdiagramm eines veranschaulichenden Verfahrens gemäß der vorliegenden Erfindung. Der Algorithmus beginnt bei Element **120**, und die Steuerung wird an Element **122** weitergegeben. Element **122** stellt einen Schirm mit einer ersten Seite und einer zweiten Seite bereit. Die Steuerung wird dann an Element **124** weitergegeben. Element **124** zeigt oder projiziert ein Bild auf die erste Seite des Schirms. Die Steuerung wird dann an Element **126** weitergegeben. Element **126** erfaßt ein Bild mindestens eines Teils der ersten Seite des Schirms. Die Steuerung wird dann an Element **128** weitergegeben. Element **128** bestimmt, ob das Erfassungsbild eine oder mehrere unerwünschte Eigenschaften aufweist. Die Steuerung wird dann an Element **130** weitergegeben. Element **130** identifiziert eine Transformationsfunktion,

die auf ein Eingangsvideosignal angewendet werden kann, um die unerwünschten Eigenschaften zu reduzieren. Die Steuerung wird dann an Element **132** weitergegeben. Element **132** verarbeitet das Eingangsvideosignal unter Verwendung der Transformationsfunktion, um ein transformiertes Eingangsvideosignal derart zu liefern, daß eine oder mehrere der unerwünschten Eigenschaften reduziert sind. Die Steuerung wird dann an Element **134** weitergegeben, in dem der Algorithmus existierte.

[0073] **Fig. 9** ist ein Flußdiagramm, das ein weiteres veranschaulichendes Verfahren gemäß der vorliegenden Erfindung zeigt. Der Algorithmus beginnt bei Element **140**, in dem die Steuerung an Element **142** weitergegeben wird. Element **142** stellt ein erstes Display (beispielsweise einen Projektor) und ein zweites Display (das beispielsweise ebenfalls ein Projektor sein kann) bereit. Es wird erwogen, daß die Displays eine heterogene Mischung aus Displayeinrichtungen sein können, einschließlich Direktbetrachtungs- und auch projizierte, reale und virtuelle Bildgebungseinrichtungen. Die Steuerung wird dann an Element **144** weitergegeben. Element **144** stellt eine erste Kamera und eine zweite Kamera bereit. Die Steuerung wird dann an Element **146** weitergegeben. Element **146** projiziert ein erstes diskretes Bild mit dem ersten Projektor auf einen Schirm und projiziert mit dem zweiten Projektor ein zweites diskretes Bild auf den Schirm, wobei das erste und zweite diskrete Bild mindestens einen Teil eines zusammengesetzten Bilds bilden. Die Steuerung wird dann an Element **148** weitergegeben. Element **148** erfaßt ein erstes Erfassungsbild eines ersten Teils des zusammengesetzten Bilds, einschließlich mindestens einen Teil des ersten diskreten Bilds, wobei die erste Kamera verwendet wird. Das Element **148** erfaßt außerdem ein zweites Erfassungsbild eines zweiten Teils des zusammengesetzten Bilds, das mindestens einen Teil des zweiten diskreten Bilds enthält, wobei die zweite Kamera verwendet wird. Die Steuerung wird dann an Element **150** weitergegeben. Element **150** bestimmt, ob das zusammengesetzte Bild eine oder mehrere unerwünschte Eigenschaften aufweist. Es wird erwogen, daß das Bestimmen einer oder mehrerer unerwünschter Eigenschaften die Autokorrelation und Kreuzkorrelation von extrahierten Merkmalen unter den redundanten Erfassungsbildern enthält, die jede Kamera von ihrer primären Fliese und benachbarten Fliesen aufnimmt. Die Steuerung wird dann an Element **152** weitergegeben. Element **152** verarbeitet ein Eingangsvideosignal und stellt ein erstes verarbeitetes Eingangsvideosignal für den ersten Projektor und ein zweites verarbeitetes Eingangsvideosignal für den zweiten Projektor bereit, und zwar derart, daß eine oder mehrere der unerwünschten Eigenschaften des zusammengesetzten Bilds reduziert sind. Die Steuerung wird dann an Element **154** weitergegeben, bei dem der Algorithmus verlassen wird.

[0074] **Fig. 10** ist ein Flußdiagramm, das noch ein weiteres veranschaulichendes Verfahren gemäß der

vorliegenden Erfindung zeigt, das das Unterscheiden der von jeder Kamera eingeführten Verzerrung von der durch den Rest des Displays eingeführten Verzerrung beinhaltet. Der Algorithmus beginnt bei Element **240**, bei dem die Steuerung an Element **242** weitergegeben wird. Element **242** stellt eine physische Schablone neben dem Schirm bereit. Die physische Schablone enthält bevorzugt ein vorbestimmtes Muster. Die Steuerung wird dann an Element **244** weitergegeben. Element **244** erfaßt ein Erfassungsbild mindestens eines Teils der physischen Schablone unter Verwendung einer Kameraeinrichtung. Die Steuerung wird dann an Element **246** weitergegeben. Element **246** bestimmt eine Kameraverzerrung, die durch die Kameraeinrichtung eingeführt wird, indem es das Erfassungsbild mit einer vorbestimmten Erwartung vergleicht. Die Steuerung wird dann an Element **248** weitergegeben. Element **248** entfernt die physische Schablone. Die Steuerung wird dann an Element **250** weitergegeben.

[0075] Das Element **250** liefert ein Eingangssignal an ausgewählte Projektoren, eine Reihe diskreter Bilder zu projizieren, die jeweils ein vorbestimmtes Muster aufweisen. Es versteht sich, daß möglicherweise nur ausgewählte Projektoren ein Muster projizieren, anstatt alle Projektoren. Die Steuerung wird dann weitergegeben an Element **252**. Element **252** erfaßt ein Erfassungsbild von mindestens einem Teil des Schirms, wobei die Kameraeinrichtung verwendet wird. Die Steuerung wird dann weitergegeben an Element **254**. Das Element **254** reduziert oder entfernt die durch die Kamera eingeführte Verzerrung aus dem Erfassungsbild. Die Steuerung wird dann an Element **256** weitergegeben. Element **256** bestimmt eine Transformationsfunktion zum Reduzieren oder Entfernen der durch das Projektionssystem eingeführten Verzerrung, indem es das Erfassungsbild mit einer vorbestimmten Erwartung vergleicht. Die Steuerung wird dann an Element **258** weitergegeben, wo der Algorithmus verlassen wird.

[0076] **Fig. 11** ist ein Diagramm, das ein veranschaulichendes Muster mit  $9 \times 9$  Punkten zeigt, die angezeigt und später zum Bestimmen von räumlichen Verzerrungen in einem Display erfaßt werden können. Bei der veranschaulichenden Ausführungsform ist jede Fliese **268** horizontal in acht Segmente und vertikal in acht Segmente unterteilt, was zu 64 vierseitigen Gebieten führt. Die Spitzen jedes Gebiets sind die entsprechenden Verbindungspunkte. Dementsprechend werden die Verbindungspunkte in dem Array aus Gebieten zum Bestimmen der lokalen Verzerrung im Gebiet **270** und anderen über die Fliese **268** hinweg verwendet. Verschiedene Sätze lokaler Transformationskoeffizienten entsprechen verschiedenen vierseitigen Gebieten. Die geometrische Verzerrung innerhalb jedes Gebiets wird durch eine Transformationsfunktion moduliert, die von einem Paar von bilinearer Gleichung mit acht Freiheitsgraden bestimmt wird. Die acht Transformationskoeffizienten werden bestimmt, indem die bekannten Stellen

der vier Verbindungspunkte in dem Erfassungsbild mit den entsprechenden erwarteten Stellen verglichen werden, wie sie beispielsweise unter Verwendung eines Erfassungsbilds des Schablonenoverlay bestimmt werden.

[0077] Der entsprechende Korrekturfaktor für diejenigen Stellen, die zwischen die Punkte fallen (beispielsweise Stelle **272**), können unter Verwendung einer bilinearen Interpolation oder dergleichen bestimmt werden. Eine weitere Erörterung bilinearer Transformationen findet man in Digital Image Warping, von George Wolberg, IEEE Computer Society Press Monograph, Seiten 50–51, der durch Bezugnahme hier aufgenommen ist. Eine weitere Erörterung von räumlichen Transformationen findet man in Digital Image Processing [Digitale Bildverarbeitung], zweite Auflage, Rafael C. Gonzalez und Paul Wintz, Seiten 246–251, das ebenfalls durch Bezugnahme hier aufgenommen ist.

[0078] Es wird erwogen, daß es sich bei dem Punkt-muster nicht um ein regelmäßiges Gitter aus Punkten handeln muß, sondern abgeleitet werden kann, indem stochastisch zuverlässige Ankerpunkte aus im Einzelbildspeicher oder Bildspeicher erfaßten Schnappschüssen des ankommenden Videostroms extrahiert werden. Diese können unter Verwendung von Auto- und Kreuzkorellationsalgorithmen weiter korrigiert werden, beispielsweise Bissels-Algorithmus, der gemeinsame Punkte aus einer von verschiedenen Stellen betrachteten Punktwolke assimiliert.

[0079] **Fig. 12** ist ein Diagramm, das das auf zwei benachbarten und überlappenden Fliesen angezeigte beispielhafte Muster von **Fig. 11** zeigt. Eine erste Fliese ist bei **290** gezeigt, und eine zweite Fliese ist bei **292** gezeigt. Die erste Fliese **290** und die zweite Fliese **292** überlappen sich in einem vorbestimmten Grad, wie bei **294** gezeigt. Jede Fliese weist einen nichtgezeigten Projektor auf, um ein diskretes Bild auf die entsprechende Fliese zu projizieren. Bei der gezeigten Ausführungsform projiziert jeder der Projektoren ein  $9 \times 9$ -Array aus Punkten. Falls die Projektoren ordnungsgemäß ausgerichtet wären und im System keine Verzerrung existierte, würden alle Punkte im Überlappungsgebiet **294** einander überlappen. Falls jedoch, wie in **Fig. 12** gezeigt, die Projektoren nicht ausgerichtet sind, überlappen die Punkte einander nicht.

[0080] Um diese Fehlausrichtung/Verzerrung zu korrigieren, wie sie von dem hier beschriebenen Kamera- und Rückkopplungssystem erfaßt wird, erwägt die vorliegende Erfindung eine Vorverformung des Eingangsvideosignals, so daß die entsprechenden Punkte ordnungsgemäß aufeinander ausgerichtet sind. Beispielsweise projiziert der erste Projektor, der der ersten Fliese **290** entspricht, den Punkt **296**, und ein der zweiten Fliese **292** entsprechender zweiter Projektor projiziert einen entsprechenden Punkt **298**. Eine erste Transformationsfunktion kann bereitgestellt werden, um die Stelle des ersten Punkts **296** ef-

fektiv zum zweiten Punkt **298** zu bewegen, wenn sie auf das Eingangssignal des ersten Projektors angewendet wird. Als Alternative oder zusätzlich kann eine zweite Transformation bereitgestellt werden, um die Stelle des zweiten Punkts **298** effektiv zum ersten Punkt **296** zu bewegen, wenn sie auf das Eingangssignal des zweiten Projektors angewendet wird. Bei ordnungsgemäßer Ausführung überlappen der erste Punkt **296** und der zweite Punkt **298** einander auf dem Schirm. Bei Ausführung gemäß den obenerwähnten absoluten oder relativen Verfahren ist dann weiterhin das kompensierte Bild global und entsprechend über dem ganzen Bild eingeschränkt.

[0081] Es wird erwogen, daß mit einem relativen Kompensationsverfahren die erste Transformationsfunktion die Stelle des ersten Punkts **296** um einen Betrag zum zweiten Punkt **298** bewegen kann, der im wesentlichen gleich der Hälfte der Entfernung zwischen dem ersten und zweiten Punkt ist. Analog kann die zweite Transformationsfunktion die Stelle des zweiten Punkts **298** um einen Betrag zum ersten Punkt **296** bewegen, der im wesentlichen gleich der Hälfte der Entfernung zwischen dem ersten und zweiten Punkt ist. Dies ist ein einfacher Mittelwertbildungsansatz, ohne globale Anpassungseinschränkungen, wie etwa der sicherzustellen, daß die implizierten Gitterlinien gerade durch die erste Ableitung verlaufen und gleichmäßig beabstandet sind, und ist in **Fig. 13** explizit gezeigt.

[0082] Als Alternative oder zusätzlich kann die erste Transformationsfunktion die Stelle des ersten Punkts **296** um einen Betrag zum zweiten Punkt **298** bewegen, der durch eine vorbestimmte Mischfunktion oder einen beliebigen anderen Faktor am ersten Punkt **296** relativ zum zweiten Punkt **298** gewichtet ist, und die zweite Transformationsfunktion kann die Stelle des zweiten Punkts **298** um einen Betrag zum ersten Punkt **296** bewegen, der durch eine vorbestimmte Mischfunktion oder einen beliebigen anderen Faktor am zweiten Punkt relativ zum ersten Punkt **296** gewichtet ist. Dies ist ein Ansatz über einen gewichteten Mittelwert, und er ist explizit in **Fig. 14** gezeigt. Bevorzugt steht die Gewichtungsfunktion zu der zum Mischen der Farbinformationen der Fliesen verwendeten Mischfunktion in Beziehung. Dies kann eine Rampe oder ein Spline oder eine beliebige andere, in der Technik bekannte geeignete Funktion sein.

[0083] Wenn mehr als zwei entsprechende Punkte betrachtet werden müssen, wie etwa bei Überlappung von drei oder mehr Bildern in einem ausgewählten Gebiet, kann jeder der entsprechenden Punkte zu einer korrigierten Stelle bewegt werden. Dies kann geschehen, indem ein ähnlicher Ansatz über Mittelwertbildung oder gewichtete Mittelwertbildung verwendet wird, wie oben erörtert.

[0084] Es werden auch andere Ansätze in Betracht gezogen. Beispielsweise wird erwogen, daß die Transformationsfunktionen zwischen ausgewählten Punkten eine vorbestimmte Beziehung aufrechterhalten können. Beispielsweise sind die Punkte **300**,

**302**, **304** und **306** aus einer gemeinsamen Punktreihe und sollten deshalb entlang einer gemeinsamen Linie **308** liegen. Die Transformationsfunktionen können zwischen diesen Punkten eine lineare Beziehung aufrechterhalten und gleichzeitig die Verzerrung im System kompensieren. Analog sind die Punkte **310**, **312** und **314** aus einer gemeinsamen Punktpalte und sollten deshalb entlang einer gemeinsamen Linie **316** liegen. Die Transformationsfunktionen können zwischen diesen Punkten eine lineare Beziehung aufrechterhalten und gleichzeitig die Verzerrung im System kompensieren. Bevorzugt liefert die lineare Beziehung eine Kontinuität durch die erste Ableitung der Linienfunktionen und behält einen relativ gleichförmigen Abstand zwischen den implizierten Verbindungslien bei.

[0085] Gemäß dem obengesagten ist **Fig. 15** ein Flußdiagramm, das ein veranschaulichendes Verfahren zum mindestens teilweisen Entfernen einer räumlichen Verzerrung aus dem Display zeigt. Der Algorithmus beginnt bei Element **330**, bei dem die Steuerung an Element **332** weitergegeben wird. Element **332** bewirkt, daß mindestens einer der Projektoren ein diskretes Bild projiziert, das ein vorbestimmtes Muster mit einer Reihe von Merkmalen enthält. Die Steuerung wird dann an Element **334** weitergegeben. Element **334** erfaßt ein Erfassungsbild eines ausgewählten Teils des zusammengesetzten Bilds. Die Steuerung wird dann an Element **336** weitergegeben. Element **336** identifiziert eine räumliche Verzerrung im Erfassungsbild, indem es die relative Stelle ausgewählter Merkmale im Erfassungsbild untersucht. Die Steuerung wird dann an Element **338** weitergegeben. Element **338** bestimmt eine Transformationsfunktion, die mindestens teilweise die räumliche Verzerrung aus dem zusammengesetzten Bild entfernt. Die Steuerung wird dann an Element **340** weitergegeben, bei dem der Algorithmus existierte. Bevorzugt identifiziert dieses Verfahren die räumliche Verzerrung des Displays, indem es ein projiziertes Bild einer Fliese relativ zum projizierten Bild einer benachbarten Fliese vergleicht, statt oder zusätzlich dazu, relativ zu einer physischen Schablone zu sein.

[0086] **Fig. 16** ist ein Flußdiagramm, das ein Verfahren zum Identifizieren einer Transformation für ein fliesenartiges Display zeigt, um eine räumliche Verzerrung mindestens teilweise aus dem fliesenartigen Display zu entfernen. Der Algorithmus beginnt bei Element **350**, bei dem die Steuerung an Element **352** weitergegeben wird. Element **352** identifiziert ein erstes Merkmal in einem ausgewählten Überlappungsgebiet, wobei das erste Merkmal von einem ersten Projektor projiziert wird. Dieses erste Merkmal kann aus einem Schnapschuß des ankommenen Video-bilds extrahiert werden. Die Steuerung wird dann an Element **354** weitergegeben. Element **354** identifiziert ein zweites Merkmal im ausgewählten Überlappungsgebiet, wobei das zweite Merkmal von einem zweiten Projektor projiziert wird und wobei das zweite Merkmal dem ersten Merkmal entspricht. Wieder

kann das zweite Merkmal aus dem an kommenden Standardvideoeingangssignal extrahiert werden. Die Steuerung wird dann an Element **356** weitergegeben. Element **356** bestimmt die räumliche Beziehung zwischen den ersten und zweiten Merkmalen, was veranschaulichend ist für das Herstellen der Beziehung innerhalb eines Ensembles von Merkmalen. Die Steuerung wird dann an Element **358** weitergegeben. Element **358** identifiziert eine erste Transformationsfunktion für den ersten Projektor. Die erste Transformationsfunktion bewegt die Stelle des ersten Merkmals effektiv zu einer korrigierenden Stelle, wenn sie auf das Eingangssignal des ersten Projektors angewendet wird. Die Steuerung wird dann an Element **360** weitergegeben. Element **360** identifiziert eine zweite Transformationsfunktion für den zweiten Projektor. Die gleichzeitig zu der ersten beschriebenen Funktion angewandte zweite Transformationsfunktion bewegt die Stelle des zweiten Merkmals effektiv zu der korrigierenden Stelle, wenn sie auf das Eingangssignal des zweiten Projektors angewendet wird. Die Steuerung wird dann an Element **362** weitergegeben, bei dem der Algorithmus existierte. Die Berechnung der Korrekturfunktion kann periodisch erfolgen, während das Ausgangssignal zur Echtzeitkorrektur an die Transformationsfunktion weitergegeben wird.

[0087] Gemäß der vorliegenden Erfindung kann die Stelle der Punkte bestimmt werden durch: Subtrahieren eines schwarzen Erfassungsbilds von dem Erfassungsbild, das die Punkte enthält; Untersuchen des resultierenden Bildinhalts über einem Rauschschwellwert unter Verwendung von Raumfiltern mit einem all-pass-Kernel; Messen des Schwerpunkts der Punkte, um die entsprechenden Punktstellen zu finden; Eliminieren von Punkten, dessen Energieschwellwert unter dem Schwellwert liegt; Sortieren der Punktstellen zur Korrelation mit bekannten oder erwarteten Punktmustern und Ableiten korrigierender Transformationsfunktionen daraus.

[0088] **Fig. 17** ist eine grafische Darstellung, die die Luminanz-Aufwölbungen für einen LCD-Projektor mit verschiedenen Eingangsintensitäten zeigt. Wie man sieht, nimmt die Größe der Luminanz-Aufwölbungen mit steigender Eingangsintensität zu. Außerdem nimmt die Zufallshelligkeitsschwankung (z. B. Rauschen) über das Display hinweg mit steigender Eingangsintensität zu. Diese Schwankung wird gedämpft und somit das Signal-Rausch-Verhältnis vergrößert, indem mehrere zeitliche Abtastwerte von Aufwölbungserfassungsbildern gefiltert werden. Dieses gleiche allgemeine Muster findet man für Rot, Grün und Blau. Außerdem weist jede Farbe in der Regel für die gleiche Eingangsintensität einen anderen Helligkeitswert auf. Zudem ändert sich beispielsweise bei Polysilicium-LCDs die Gestalt des Musters als Funktion des Eingangsintensitätspegels, was es erforderlich macht, daß die Kompensationsfunktion geometrische und Eingangsintensitätsvariablen pflegt.

[0089] Zur Bestimmung der farblichen und Luminanz-Verzerrung eines Projektionssystems und insbesondere eines fliesenartigen Direktbetrachtungs- oder Projektionsdisplaysystems können nacheinander eine Reihe von Eingangssignalen varierender Eingangsintensität in das Projektionsdisplay eingegeben werden. Dies kann bei der Anfangskalibrierung oder periodisch erfolgen. Jedes Eingangssignal kann einem Flachfeldbild ausgewählter Farbe entsprechen. Beispielsweise kann ein erstes Eingangssignal einem roten Flachfeldbild mit einer LCD-Intensität von „255“ entsprechen. Das nächste Eingangssignal kann ebenfalls einem roten Flachfeldbild entsprechen, aber eine LCD-Intensität von „220“ aufweisen. Eingangssignale mit ständig niedrigerer Intensität können solange bereitgestellt werden, bis das Eingangssignal eine LCD-Intensität von „0“ aufweist. Dieser Prozeß kann sowohl für blaue als auch grüne oder andersfarbige Flachfeldbilder wiederholt werden. Eine Kameraeinrichtung kann jedes der Flachfeldbilder entweder als ein einziges Bild, falls das Blickfeld der Kameraeinrichtung dem ganzen Display entspricht, oder als mehrere Bilder erfassen, falls die Kameraeinrichtung ein kleineres Blickfeld aufweist. Die Auflösung der Kameraeinrichtung kann so gewählt werden, daß sie für das ausgewählte Blickfeld angemessen ist. Wenn beispielsweise das Blickfeld der Kameraeinrichtung relativ breit ist, kann bei Erfassen eines Bilds des ganzen Displays eine höherauflösende Kameraeinrichtung verwendet werden. Analog kann, wenn das Blickfeld der Kameraeinrichtung relativ schmal ist, beim Erfassen eines Bilds nur eines kleinen Teils des Displays eine niedriger auflösende Kameraeinrichtung verwendet werden. In jedem Fall werden die entstehenden Bilder bevorzugt als ein Array aus Erfassungsbildern oder Erfassungsbildern mit reduzierter Auflösung oder als Komprimierungskoeffizient-Erfassungsbilder gespeichert. Nach dem Sammeln können die unerwünschten Eigenschaften jedes Erfassungsbilds bestimmt werden, einschließlich der Luminanz- oder Farb-Aufwölbungen für jeden Projektor.

[0090] Nachdem die Luminanz- oder Farb-Aufwölbungen identifiziert sind, werden bevorzugt eine Obergrenzen- und Untergrenzenfunktion, bei der es sich sowohl um eine lineare oder eine Spline- oder eine andere geeignete Funktion handeln kann, über das ganze Display hinweg sowohl für Farbe (einschließlich Bunton) als auch Intensität bestimmt. Beispielsweise könnte bei der größten Intensität (z. B. LCD „255“) ein Projektor heller sein als ein anderer, und die von jedem Projektor gelieferte Helligkeit kann in der Nähe der Kanten des Bilds abnehmen. Dementsprechend kann eine Obergrenze ausgewählt werden, die dem dunkelsten Überlagerungsreich der Fliesen entspricht, wenn alle Projektoren mit maximaler Intensität betrieben werden. Analog kann eine Untergrenze ausgewählt werden, die dem hellsten Überlagerungsergebnis der Fliesen entspricht, wenn alle Projektoren mit der kleinsten Inten-

sität (LCD „0“) betrieben werden.

[0091] Danach kann eine Transformationsfunktion bestimmt werden zum Kompensieren der Luminanz-Aufwölbungen über ausgewählte Fliesen und Anpassen der Helligkeit und Farbe jeder Fliese auf benachbarte Fliesen, wodurch ein lineares Displaysystem entsteht. Beispielsweise kann die Transformationsfunktion durch eine Farbnachschatgetabelle von erfaßten oder komprimierten Farb-Aufwölbungen, eine Nächste-Nachbar-Detections- und -Identifikationsfunktion und eine Interpolationsfunktion unter den nächsten Nachbarn zum Bestimmen des beim Display benötigten Eingangspegels zum Ausgeben des erwünschten linearen Ausgangspegels dargestellt werden. Bevorzugt stellt die Transformationsfunktion die Luminanzänderung über das ganze Display bei Flachfeld-Testbildern beispielsweise auf unter etwa zwei Prozent ein, was gemäß dem Weberschen Gesetz unter einer „just noticeable difference“ (JND – eben merklicher Unterschied) liegt. Damit dieses Niveau an Luminanzgleichförmigkeit erzielt werden kann, ist die Transformationsfunktion bevorzugt eine Funktion der X- und Y-Stelle auf der Fliese und dem Eingangsintensitätspegel.

[0092] **Fig. 18** ist ein Schemadiagramm, das die Luminanz-Aufwölbungen für Drei-Fliesen-LCD-Projektoren bei jeweils verschiedenen Eingangsintensitäten zeigt. Eine erste Fliese **370**, eine zweite Fliese **372** und eine dritte Fliese **374** weisen jeweils verschiedene größte Helligkeitswerte bei einer gemeinsamen LCD-Eingangsintensität auf, wie etwa eine Eingangsintensität von „255“, wie bei **376**, **378** bzw. **380** gezeigt. Die Transformationsfunktion für jede der Fliesen kompensiert bevorzugt die Luminanz-Aufwölbungen über ausgewählte Fliesen hinweg, wobei mit den reduzierten Luminanz-Aufwölbungsinformationen das Aufwölbungsverhalten ( $x$ ,  $y$  und eingangsintensitätsunabhängig) jeder Fliese im System linearisiert wird und wobei die Mischfunktion verwendet wird, um eine Displayfliesenüberlagerung zu ermöglichen. Die Transformationsfunktion paßt außerdem den Bunton jeder Fliese auf benachbarte Fliesen an, wobei die Rückkopplungsbildinformationen in Kombination mit bekannten Normfarbwert-Farctransformationen oder äquivalenten Funktionen verwendet werden. Beispielsweise kann die Transformationsfunktion für die erste Fliese **370** die Helligkeit entsprechend einem Rückkopplungsverhalten, das an einem beliebigen Zeitpunkt aus dem Erfassungsbild des ersten Projektors erhalten wurde, so ändern daß sie entlang der Linie **382** liegt, wenn die Eingangsintensität zum ersten Projektor einen Wert von „255“ aufweist und bei Überlagerung über das Ausgangssignal von Fliese **372**. Bei dem gezeigten Diagramm kann dies möglicherweise erfordern, daß der Mittelteil des Bilds wegen der Aufwölbungsform des Luminanzprofils mehr reduziert wird als die Kantenteile des Bilds. Analog kann die Transformationsfunktion für die zweite Fliese **372** die Helligkeit entsprechend einem Rückkopplungsverhalten, das an einem belie-

bigen Zeitpunkt aus dem Erfassungsbild des zweiten Projektors erhalten wurde, so ändern, daß sie ebenfalls entlang der Linie **382** liegt, wenn die Eingangsintensität zum zweiten Projektor einen Wert von „255“ aufweist und bei Überlagerung mit Nachbarfliesen-ausgangssignalen. Schließlich kann die Transformationsfunktion für die dritte Fliese **374** die Helligkeit des dritten Projektors so ändern, daß sie entlang der Linie **382** liegt, wenn die Eingangsintensität zum dritten Projektor einen Wert von „255“ aufweist, und gemäß der Überlagerung mit der Nachbarfliese **372**.

[0093] Wie oben angemerkt wurde, hängen die Transformationsfunktionen bevorzugt auch von der Eingangsintensität ab, die den Projektoren bereitgestellt wird. Dies ist das Ergebnis der Abhängigkeit der Erfassungsbild-Aufwölbungen auf der Eingangsintensität zu Bildquellen wie der Polysilicium-LCD.

[0094] Bei niedrigeren Eingangsintensitäten können die Transformationsfunktionen die Helligkeit des ersten, zweiten und dritten Projektors so ändern, daß sie beispielsweise entlang Linien **386** oder **388** liegen, und zwar als Funktion der Mischfunktionen, der Luminanz-Aufwölbungsabhängigkeit von der X-, Y-Stelle auf dem Schirm und der Eingangsintensität zum fliesenartigen Displaysystem. Auf diese Weise können durch die Transformationsfunktionen die Schwankung bei Luminanz, Bunton und Sättigung über das ganze Display hinweg unabhängig von der bereitgestellten Eingangsintensität relativ klein eingestellt werden. Wenn dies bewerkstelligt oder ermöglicht ist, kann der Bildinhalt willkürlich sein, wodurch sich das fliesenartige Display mit Kamerarückkopplung für die Anzeige von allgemeinem Bildmaterial eignet.

[0095] Gemäß dem obengesagten ist **Fig. 19** ein Flußdiagramm, das ein Verfahren zum mindestens teilweisen Entfernen einer Luminanzverzerrung aus dem Display zeigt. Der Algorithmus beginnt bei Element **400**, bei dem die Steuerung an Element **402** weitergegeben wird. Element **402** gibt nacheinander ein oder mehrere Eingangssignale, die einem Flachfeldbild variierender Intensität entsprechen, in jeden Projektor ein. Die Steuerung wird dann an Element **404** weitergegeben. Element **404** erfaßt ein Erfassungsbild ausgewählter Flachfeldbilder. Die Steuerung wird dann an Element **406** weitergegeben. Element **406** identifiziert eine Luminanz-Aufwölbung auf einem oder mehreren der Erfassungsbilder. Die Steuerung wird dann an Element **408** weitergegeben. Element **408** bestimmt eine Rückkopplungstransformationsfunktion (abhängig von  $X$ ,  $Y$  und/oder der Eingangsintensität), die die Luminanz-Aufwölbungen mindestens teilweise aus dem zusammengesetzten Bild entfernt. Die Steuerung wird dann an Element **410** weitergegeben, in dem der Algorithmus bestand. [0096] Schließlich wird ein Verfahren zum Bestimmen der Grenzen jeder Fliese eines fliesenartigen Displays in Erwägung gezogen, wenn eine Kamera verwendet wird, die ein Blickfeld aufweist, das mehr als eine Fliese umfaßt. Dieses Verfahren beinhaltet das Anzeigen beispielsweise eines Weißfeldbilds auf

allen Fliesen mit Ausnahme einer ausgewählten Fliese. Die Kamera kann dann ein Bild des Displays erfassen, das die ausgewählte Fliese enthält. Es ist dann eine relativ einfache Sache, die Grenzen der ausgewählten Fliesen zu bestimmen, indem die Stelle identifiziert wird, wo das Weißfeldbild beginnt/aufhört. Ein weiteres Verfahren ist die Anzeige eines Schachbrettmusters, bei dem jede der Fliesen eins von zwei Flachfeldbildern annimmt. Bei dieser Ausführungsform können die Grenzen für jede Fliese bestimmt werden, indem die Stelle identifiziert wird, wo die Flachfeldbilder beginnen/aufhören. Ein weiteres Verfahren ist die Anzeige eines Musters aus Punkten, deren Außengrenzen bei Erfassung durch die Kamera in Kombination mit einer Detektionsfunktion auch die Grenzen jeder Fliese definieren. Diese können durch das Rückkopplungs-Prozessor-Kamera-System verwendet werden, um unter anderem die Ausrichtung der Projektoren relativ zueinander zu identifizieren. Weiterhin, und wenn die diskreten Bilder einander überlappen, identifizieren diese Verfahren weiterhin das Ausmaß der Überlappung.

[0097] Nachdem die bevorzugten Ausführungsformen der vorliegenden Erfindung beschrieben worden sind, erkennt der Fachmann ohne weiteres, daß die hier dargelegten Lehren innerhalb des Schutzbereichs der hier beigefügten Ansprüche auf noch weitere Ausführungsformen angewendet werden können.

## Patentansprüche

1. Fliesenartiges Rückprojektionsdisplayssystem, das folgendes umfaßt:  
 einen Schirm (**36**) mit einer Projektions-Nichtbetrachtungsseite und einer Nichtprojektions-Betrachtungsseite;  
 erste Bildgebungsmittel (**50**) zum Erzeugen eines ersten Bilds auf der Projektionsseite des Schirms entsprechend einem ersten Videosignal;  
 zweite Bildgebungsmittel (**52**) zum Erzeugen eines zweiten Bilds auf der Projektionsseite des Schirms entsprechend einem zweiten Videosignal, wobei das erste und zweite Bild mindestens einen Teil eines zusammengesetzten Bildes ausmachen;  
 ein Kameramittel zum Erfassen eines Erfassungsbilds mindestens eines Teils des Schirms;  
 Bestimmungsmittel (**44, 46**), die an das Kameramittel gekoppelt sind, um das Erfassungsbild zu empfangen und um zu bestimmen, ob das Erfassungsbild ein oder mehrere unerwünschte sichtbare Artefakte aufweist; wobei die Bestimmungsmittel weiterhin eine Transformationsfunktion identifizieren, die auf die Eingangsvideosignale angewendet werden kann, um das eine oder die mehreren unerwünschten sichtbaren Artefakte zu reduzieren; und  
 Verarbeitungsmittel (**48**), die an die ersten und zweiten Bildgebungsmittel und an die Bestimmungsmittel angekoppelt sind, um die Eingangsvideosignale unter Verwendung der Transformationsfunktion zu ver-

arbeiten und den ersten und zweiten Bildgebungsmitteln transformierte Eingangsvideosignale bereitzustellen, so daß ein oder mehrere der unerwünschten sichtbaren Artefakte reduziert sind, **dadurch gekennzeichnet**, daß:  
 das Kameramittel ein erstes Kameramittel (**38**) zum Erfassen eines ersten Erfassungsbilds eines ersten Teils des zusammengesetzten Bilds einschließlich mindestens eines Teils des ersten Bilds und ein zweites Kameramittel (**40**) zum Erfassen eines zweiten Erfassungsbilds eines zweiten Teils des zusammengesetzten Bilds einschließlich mindestens eines Teils des zweiten diskreten Bilds umfaßt, daß  
 das Bestimmungsmittel die Transformationsfunktion auf der Grundlage einer Analyse des ersten und zweiten Erfassungsbilds identifiziert und daß jedes des ersten und zweiten Kameramittels auf der Projektions-Nichtbetrachtungsseite des Schirms positioniert und zum Erfassen eines jeweiligen ersten und zweiten Erfassungsbilds der Projektions-Nichtbetrachtungsseite des Schirms angeordnet ist.

2. Fliesenartiges Displayssystem nach Anspruch 1, wobei das erste Erfassungsbild einen Teil des ersten Bilds und einen Teil des zweiten Bilds enthält, wobei das erste und zweite Bild diskret sind.

3. Fliesenartiges Displayssystem nach Anspruch 1 oder 2, wobei das zweite Erfassungsbild einen Teil des ersten Bilds und einen Teil des zweiten Bilds enthält, wobei das erste und zweite Bild diskret sind.

4. Fliesenartiges Displayssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das erste und zweite Kameramittel (**38, 40**) jeweils bezüglich des entsprechenden ersten und zweiten Bildgebungsmittels seitlich versetzt sind und jedes des ersten und zweiten Kameramittels eine Betrachtungsrichtung im wesentlichen senkrecht zum entsprechenden ersten und zweiten Teil des zusammengesetzten Bilds auf dem Betrachtungsschirm aufweist.

5. Fliesenartiges Displayssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das erste und zweite Bild mindestens teilweise seitlich voneinander versetzt sind, um verschiedene Teile des zusammengesetzten Bilds auszumachen.

6. Fliesenartiges Displayssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin mit einem oder mehreren zusätzlichen fliesenartigen Bildgebungsmitteln, die jeweils entsprechende, an die Bestimmungsmittel gekoppelte Kameramittel aufweisen.

7. Fliesenartiges Displayssystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei das Bestimmungsmittel so ausgelegt ist, daß es zwischen in den Kameramitteln entstehenden Bildartefakten und unerwünschten sichtbaren Artefakten innerhalb des zu-

sammengesetzten Bilds unterscheidet und die Transformationsfunktion nur zum Reduzieren der unerwünschten sichtbaren Artefakte auswählt.

8. Fliesenartiges Displaysystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die Transformation eine affine, perspektivische, bilineare, polynomiale, stückweise polynomiale oder globale Spline-Transformation ist.

9. Fliesenartiges Displaysystem nach einem der vorhergehenden Ansprüche, wobei die unerwünschten sichtbaren Artefakte eine räumliche, farbliche oder Luminanz-Ungleichförmigkeit sind.

10. Verfahren zum Kalibrieren eines Rückprojektionsdisplays, mit den folgenden Schritten:

Bereitstellen eines Schirms (36) mit einer Projektions-Nichtbetrachtungsseite und einer Nichtprojektions-Betrachtungsseite;

Projizieren eines ersten Bilds auf den Schirm entsprechend einem ersten Videosignal unter Verwendung eines ersten Projektormittels (32);

Projizieren eines zweiten Bilds auf den Schirm entsprechend einem zweiten Videosignal unter Verwendung eines zweiten Projektormittels (34), wobei das erste und zweite Bild mindestens einen Teil eines zusammengesetzten Bilds ausmachen;

Erfassen eines Erfassungsbilds mindestens eines Teils der Projektionsseite des Schirms unter Verwendung von Kameramitteln;

Bestimmen, ob das Erfassungsbild ein oder mehrere unerwünschte sichtbare Artefakte aufweist;

Identifizieren einer Transformationsfunktion, die auf ein Eingangsvideosignal angewendet werden kann, um das eine oder die mehreren unerwünschten sichtbaren Artefakte zu reduzieren; und

Verarbeiten von Eingangsvideosignalen unter Verwendung der Transformation, um dem ersten Projektormittel ein erstes verarbeitetes Eingangsvideosignal und dem zweiten Projektormittel ein zweites verarbeitetes Eingangsvideosignal zu liefern, so daß ein oder mehrere der unerwünschten sichtbaren Artefakte des zusammengesetzten Bilds reduziert sind, dadurch gekennzeichnet, daß:

die Erfassung unter Verwendung eines ersten Kameramittels (38) zum Erfassen eines ersten Erfassungsbilds eines ersten Teils des zusammengesetzten Bilds einschließlich mindestens eines Teils des ersten Bilds und unter Verwendung einem zweiten Kameramittel (40) zum Erfassen eines zweiten Erfassungsbilds eines zweiten Teils des zusammengesetzten Bilds einschließlich mindestens eines Teils des zweiten Bilds durchgeführt wird, daß

der Identifizierungsschritt die Transformationsfunktion auf der Basis einer Analyse des ersten und zweiten Erfassungsbilds identifiziert und daß

jedes des ersten und zweiten Kameramittels auf der Projektions-Nichtbetrachtungsseite des Schirms positioniert ist und jeweilige erste und zweite erfaßte Bil-

der der Projektions-Nichtbetrachtungsseite des Schirms erfaßt.

11. Verfahren nach Anspruch 10, wobei der Bestimmungsschritt weiterhin umfaßt, zwischen in den Kameramitteln entstehenden Bildartefakten und unerwünschten sichtbaren Artefakten im zusammengesetzten Bild zu unterscheiden und die Transformationsfunktion nur zum Reduzieren der unerwünschten sichtbaren Artefakte auszuwählen.

12. Verfahren nach 10 oder 11, wobei der Erfassungsschritt, der Bestimmungsschritt und der Verarbeitungsschritt periodisch wiederholt werden.

13. Verfahren nach Anspruch 12, wobei der Erfassungsschritt, der Bestimmungsschritt und der Verarbeitungsschritt in Echtzeit unter Verwendung von innerhalb des Eingangsvideosignals identifizierten Merkmalen durchgeführt werden.

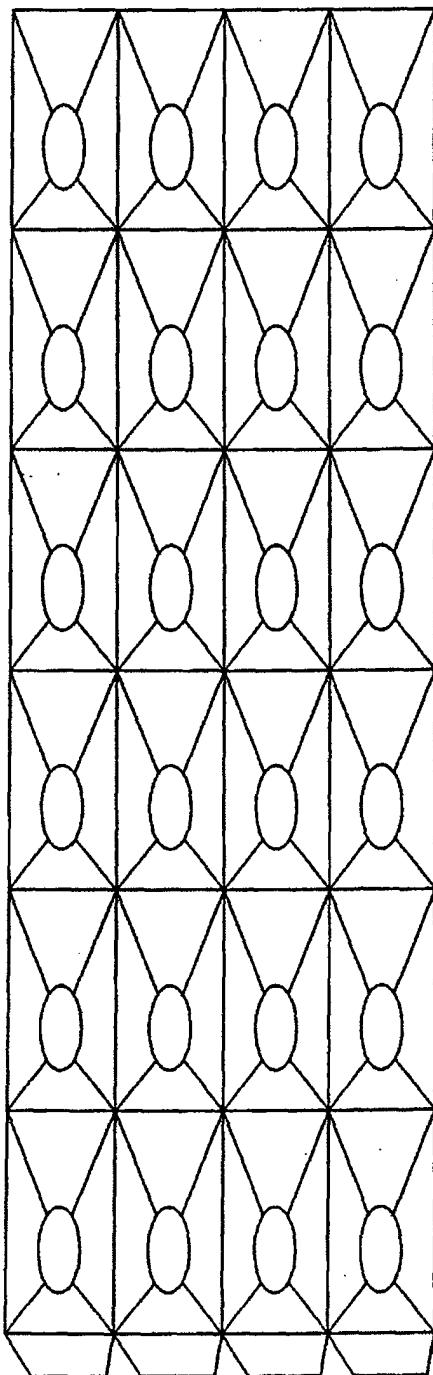
14. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 13, wobei der Verarbeitungsschritt die folgenden Schritte beinhaltet:

Identifizieren einer ersten Transformationsfunktion, mit der das Eingangsvideosignal verarbeitet und das erste und zweite verarbeitete Eingangsvideosignal geliefert werden können, um ausgewählte unerwünschte sichtbare Artefakte in dem zusammengesetzten Bild zu reduzieren.

15. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 14, wobei die Transformation eine affine, perspektivische, bilineare, polynomiale, stückweise polynomiale oder globale Spline-Transformation ist.

16. Verfahren nach einem der Ansprüche 10 bis 15, wobei die unerwünschten sichtbaren Artefakte eine räumliche, farbliche oder Luminanz-Ungleichförmigkeit sind.

Es folgen 18 Blatt Zeichnungen



*Fig.1*

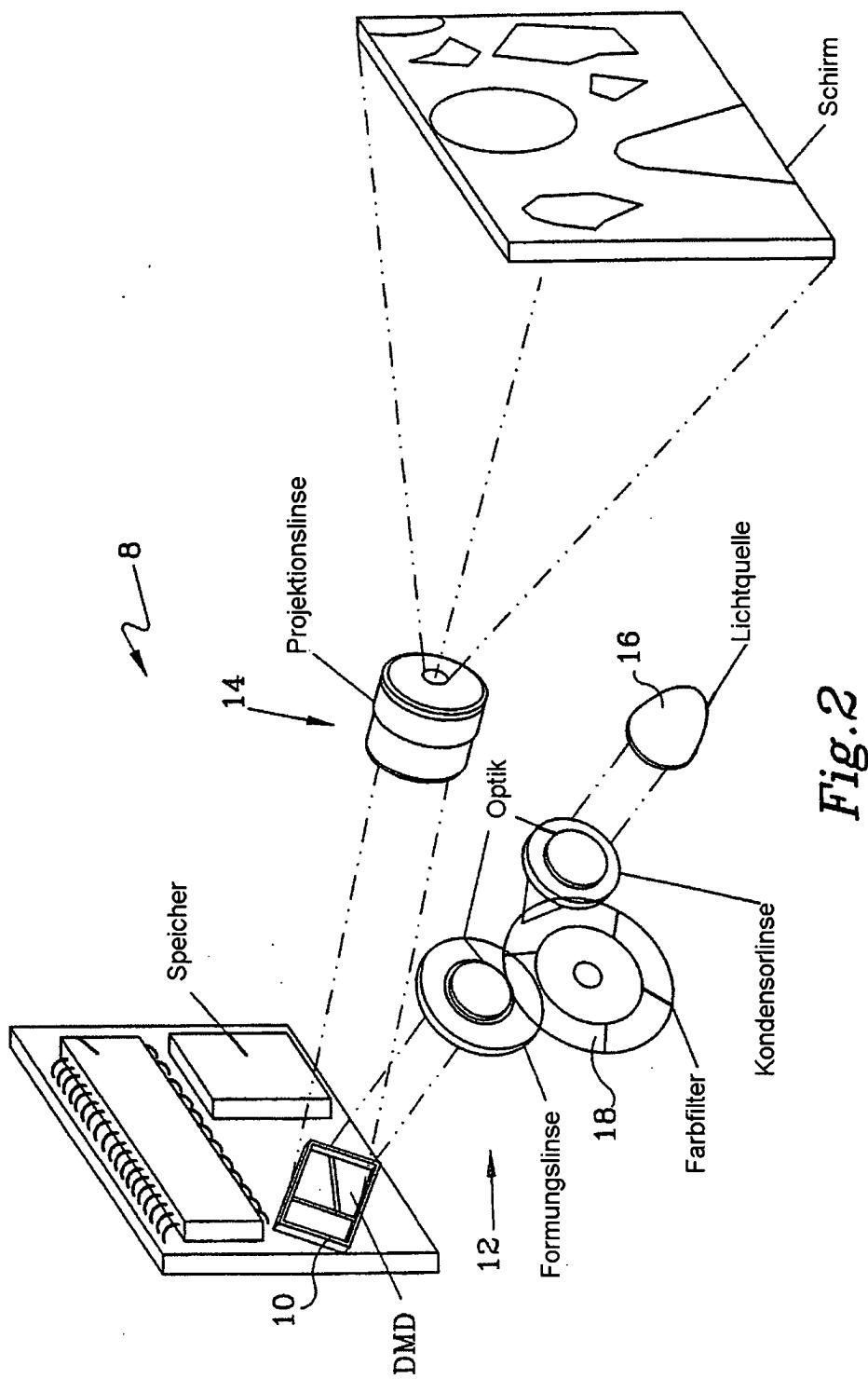


Fig. 2

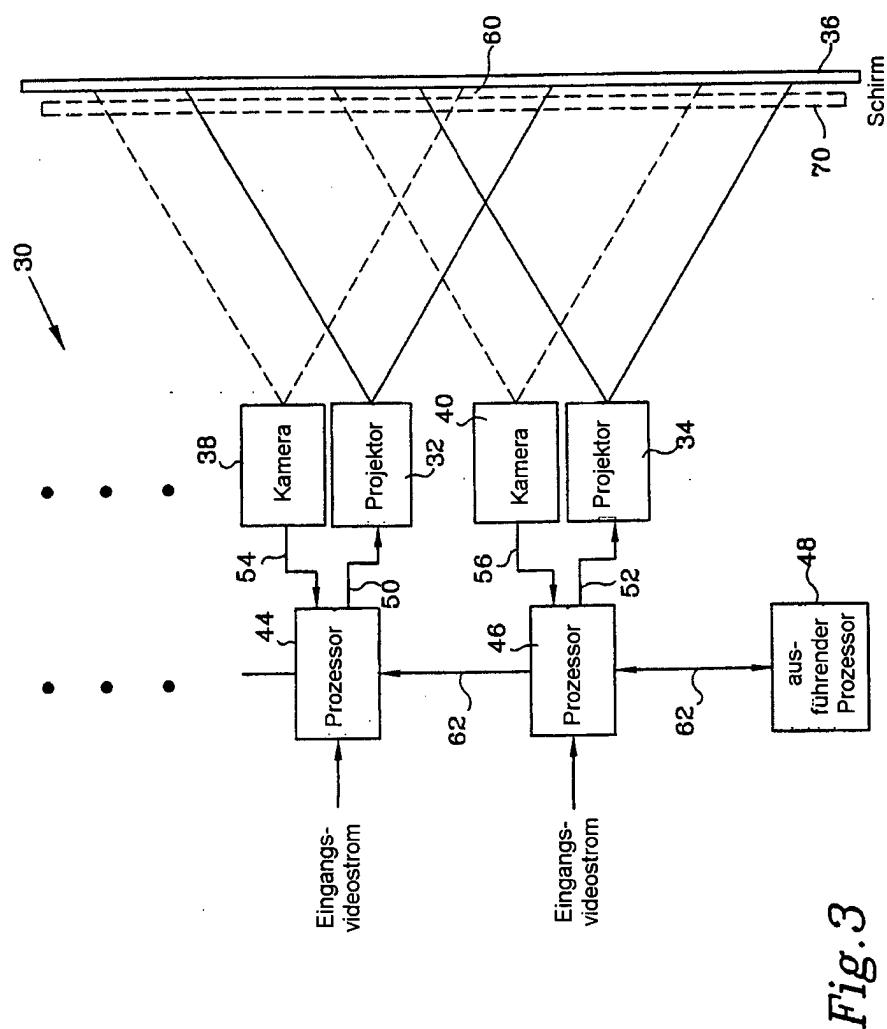


Fig. 3

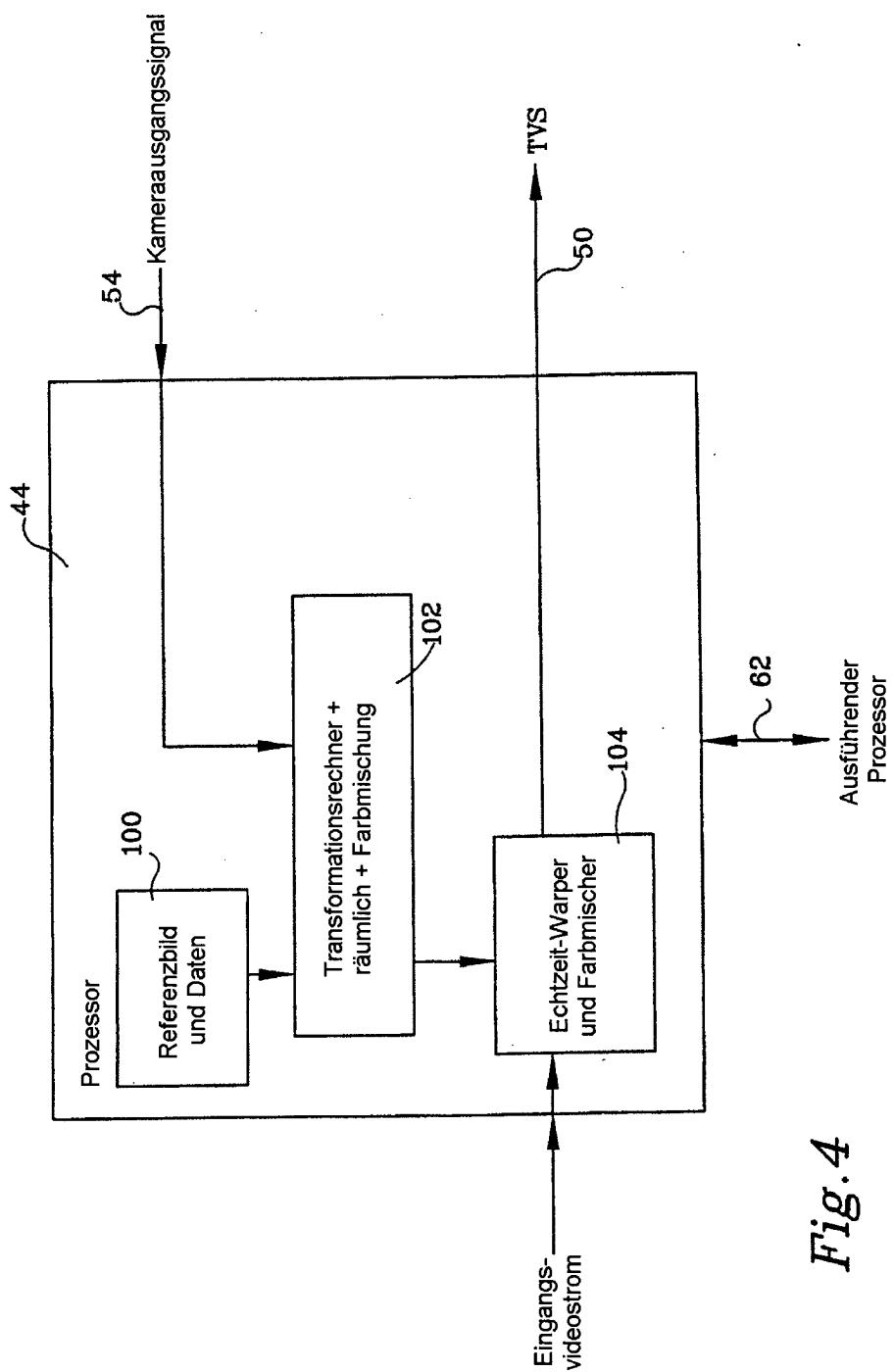


Fig. 4

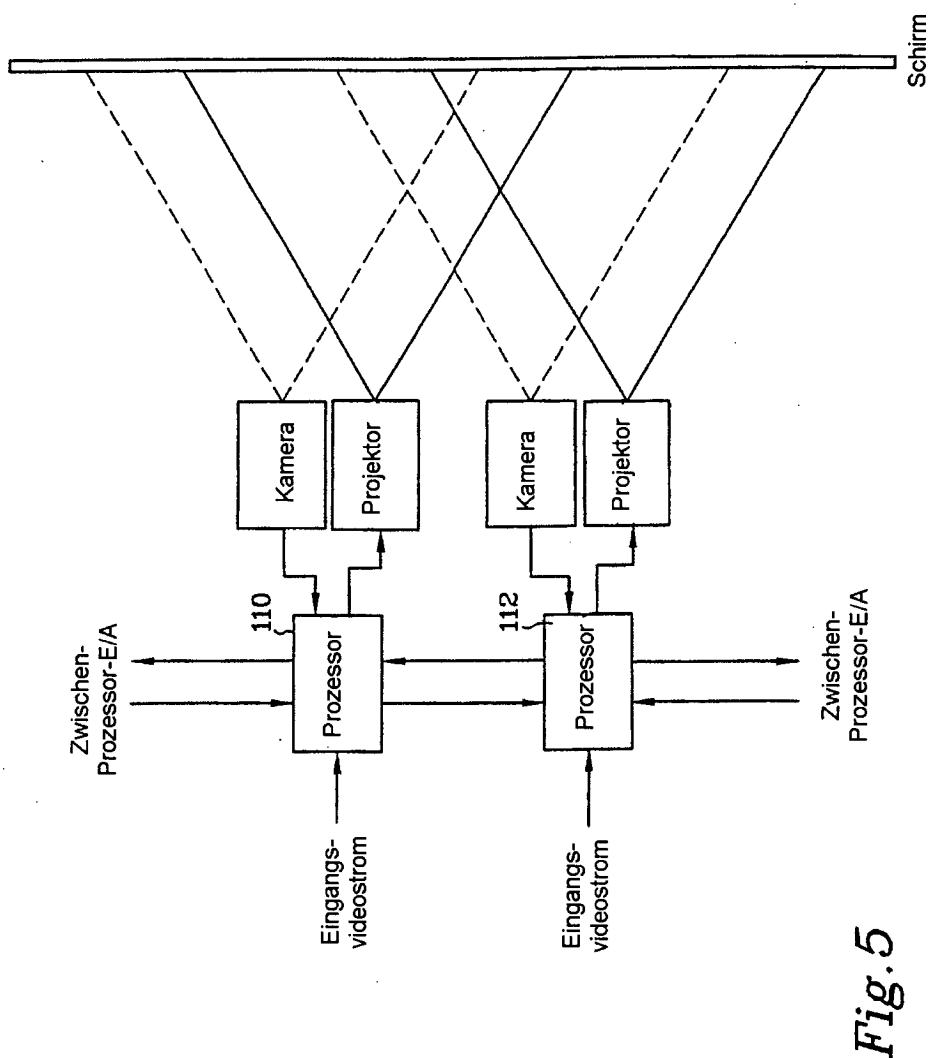


Fig. 5

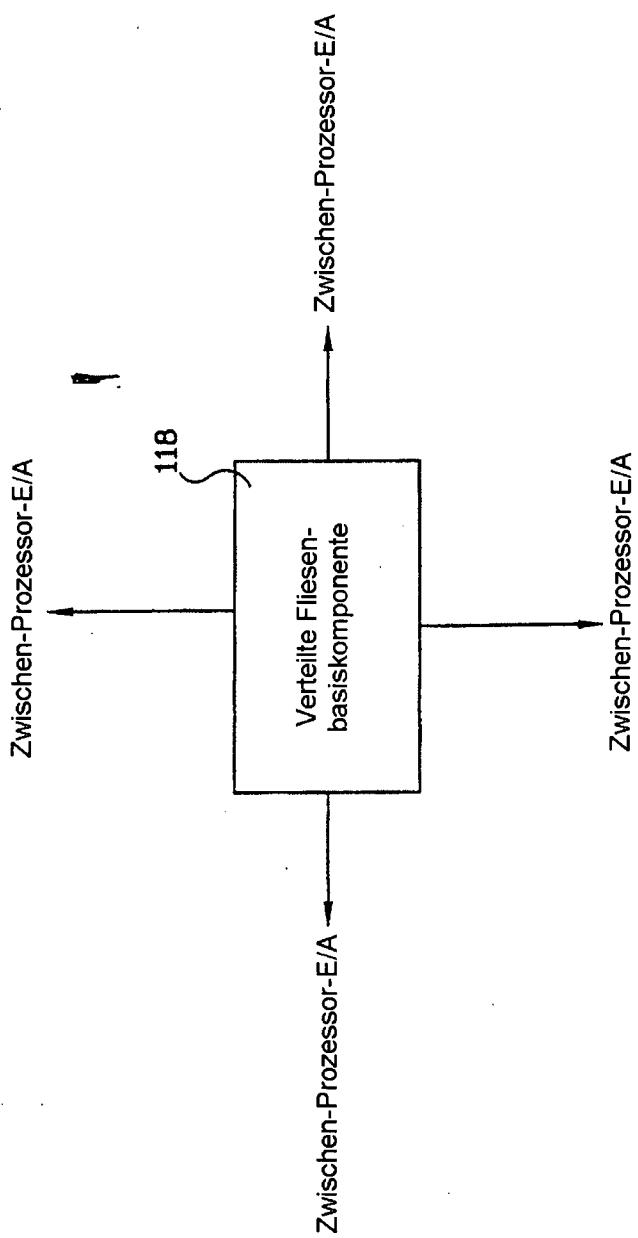


Fig. 6

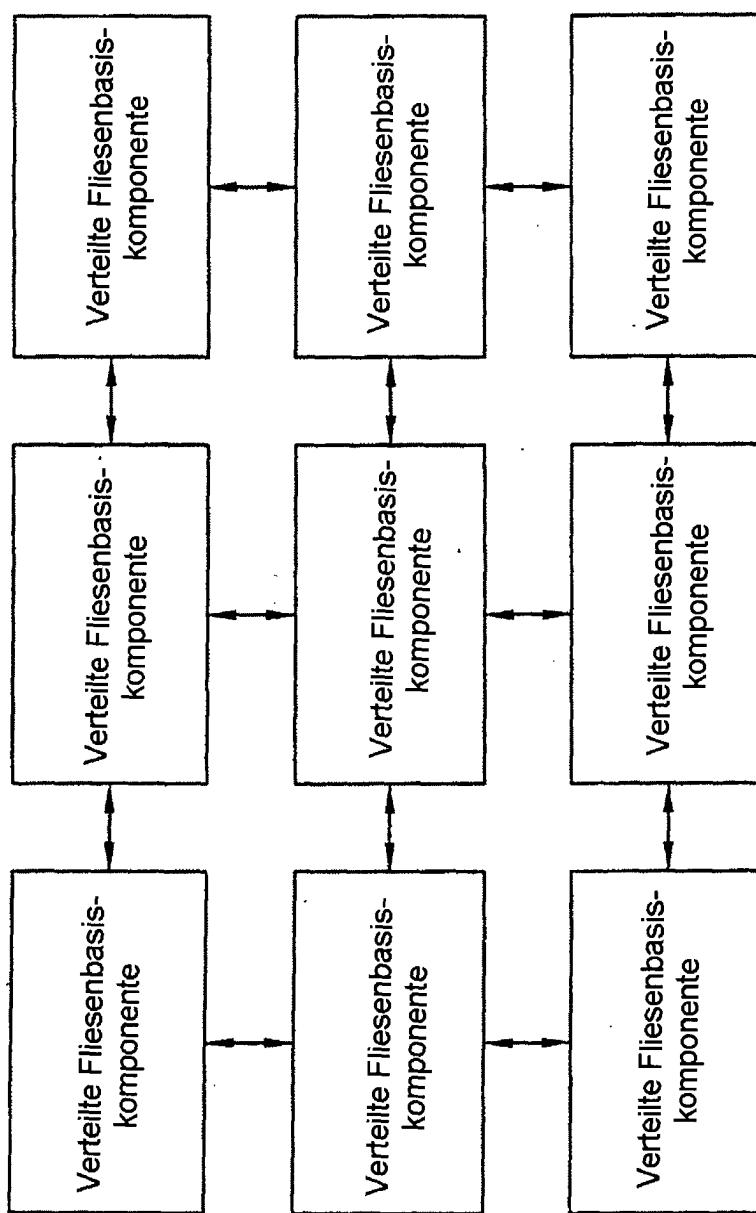


Fig. 7

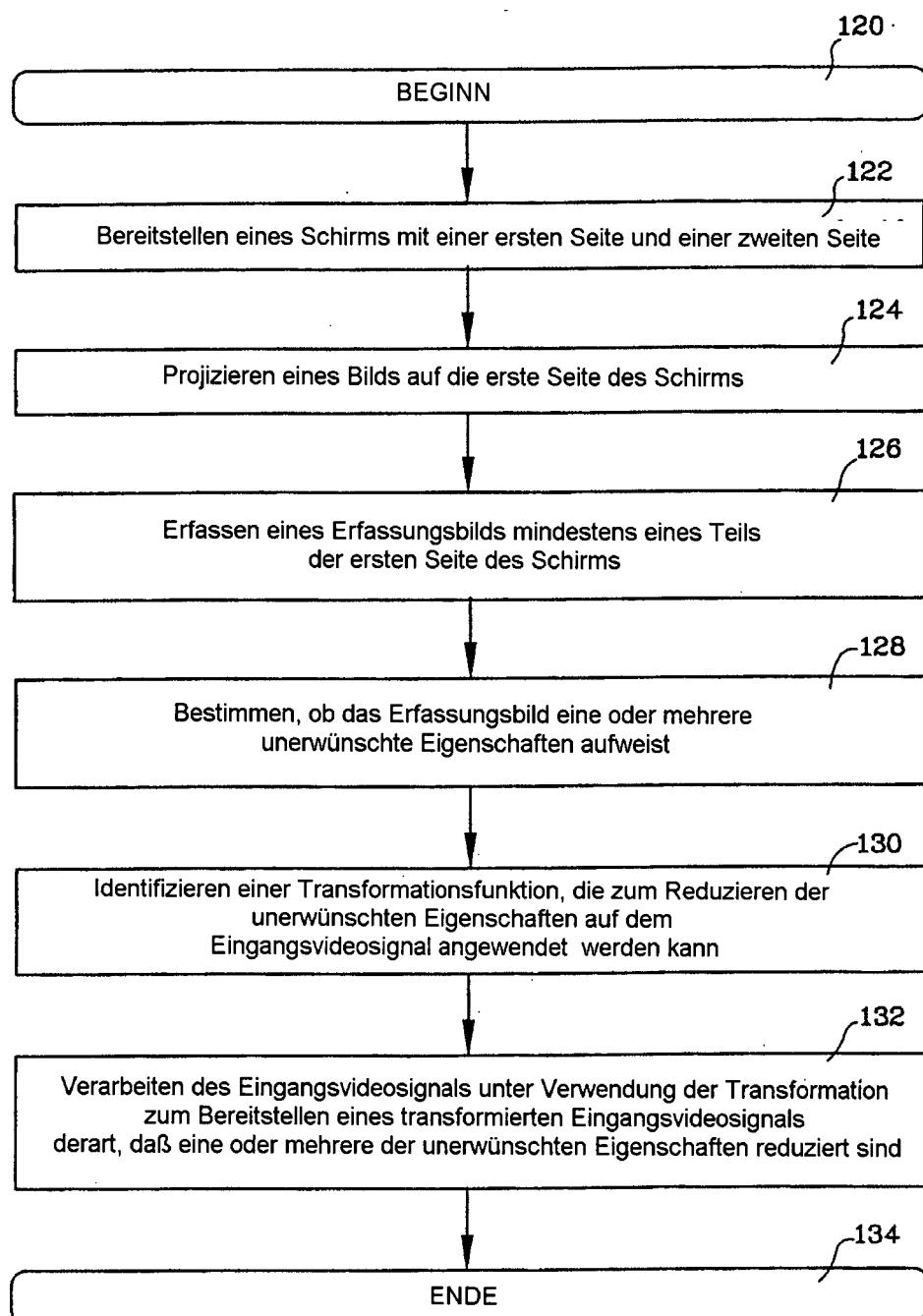
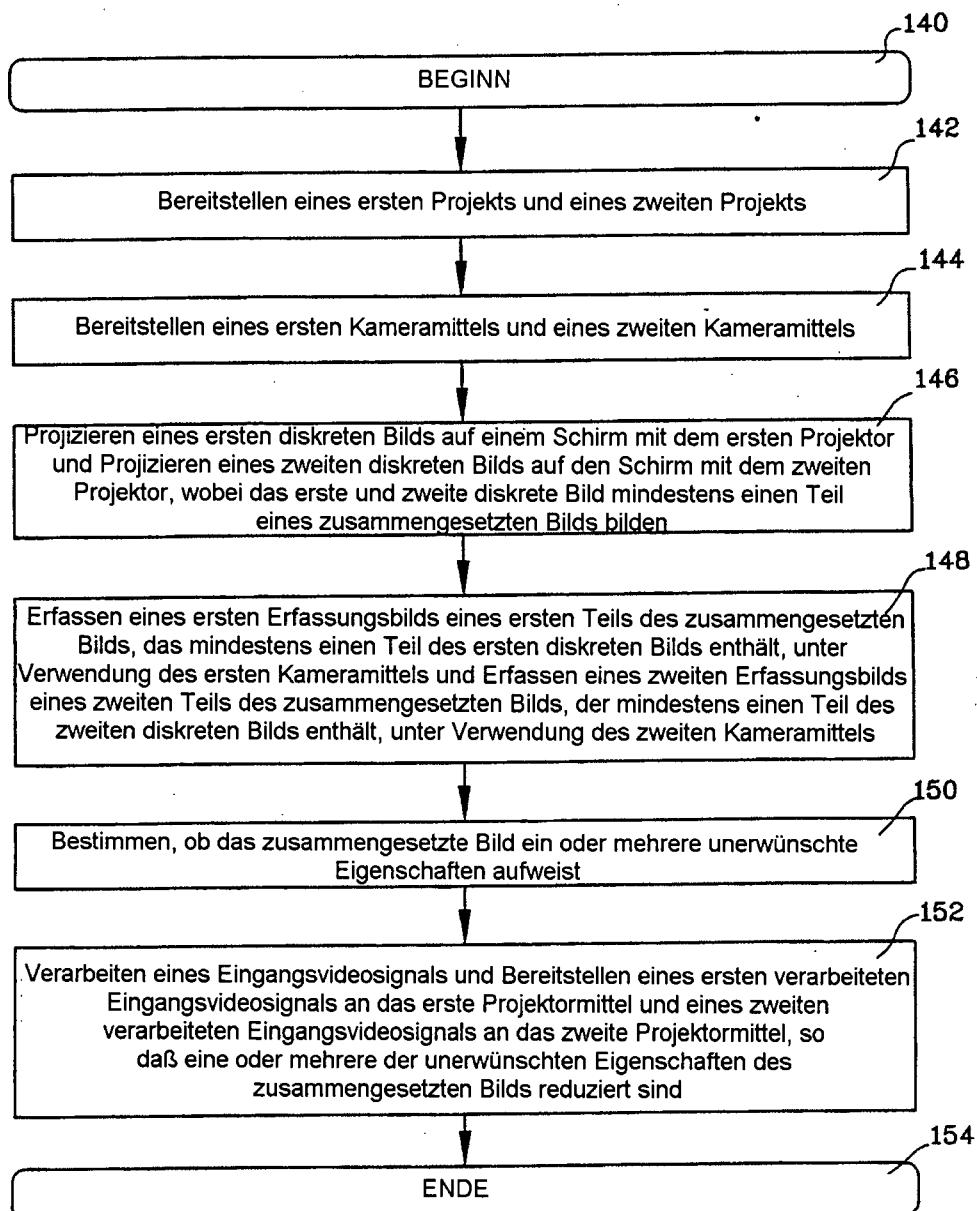


Fig.8

*Fig.9*

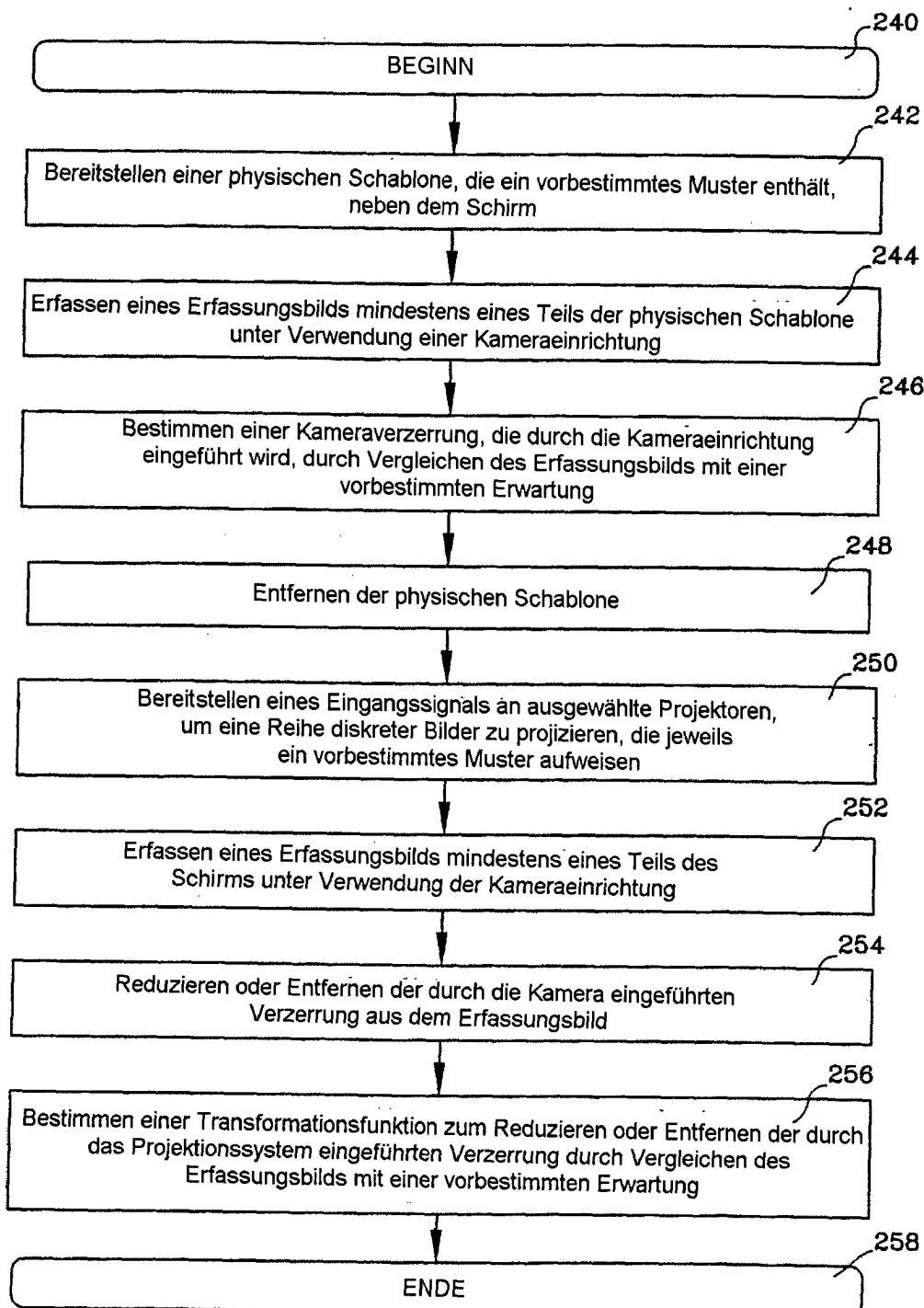


Fig.10

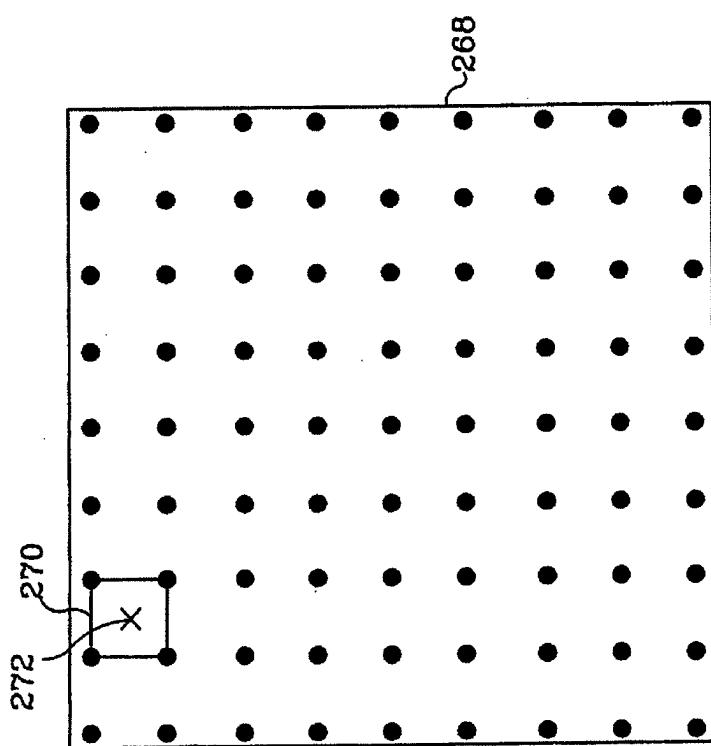


Fig. 11

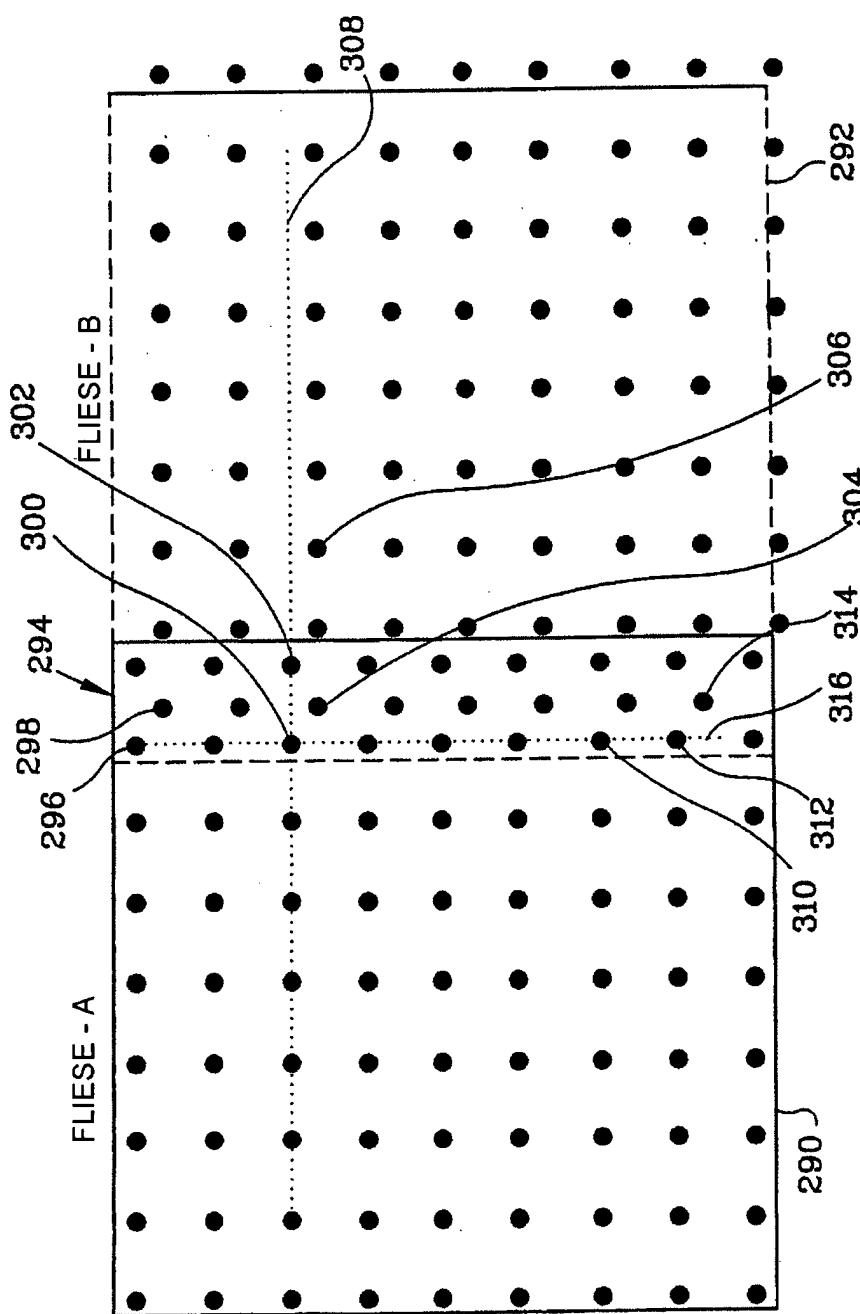


Fig.12

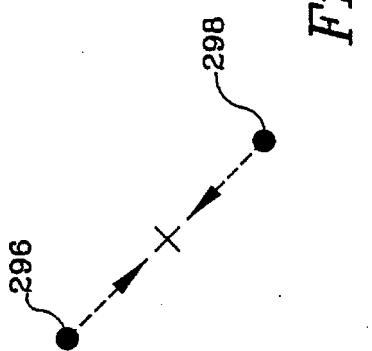


Fig.13

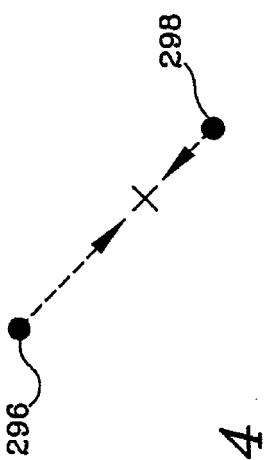
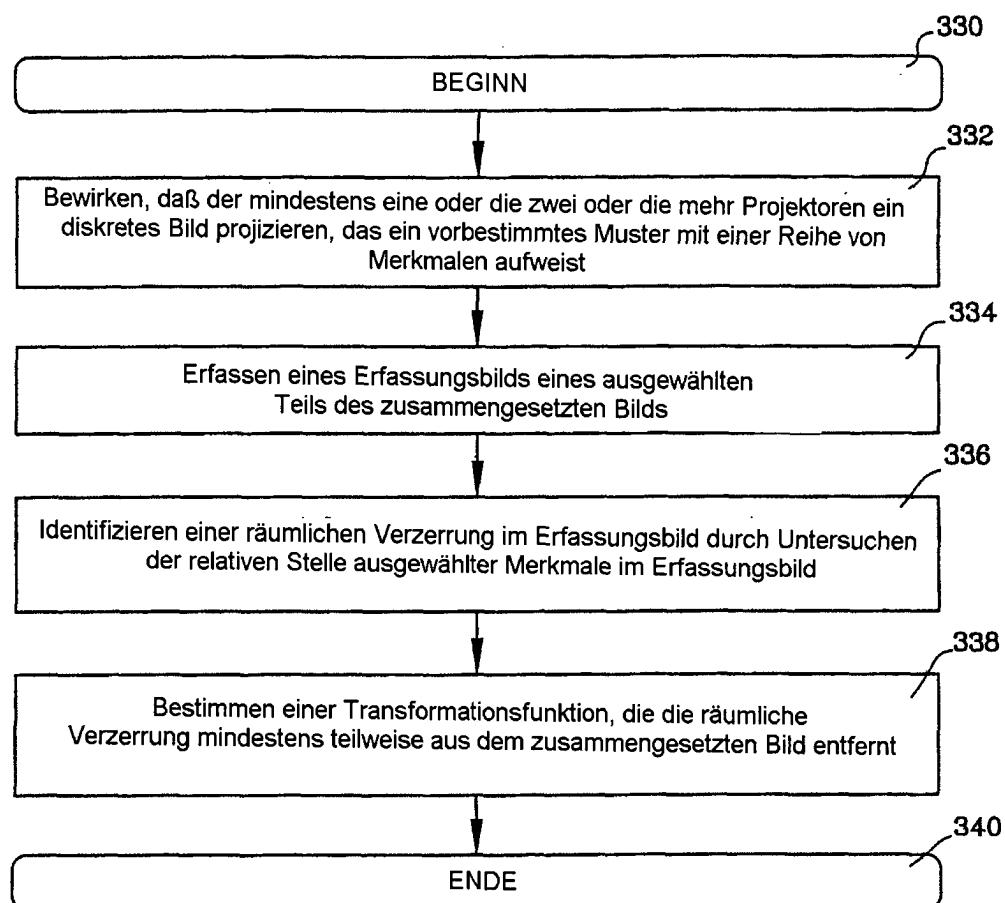
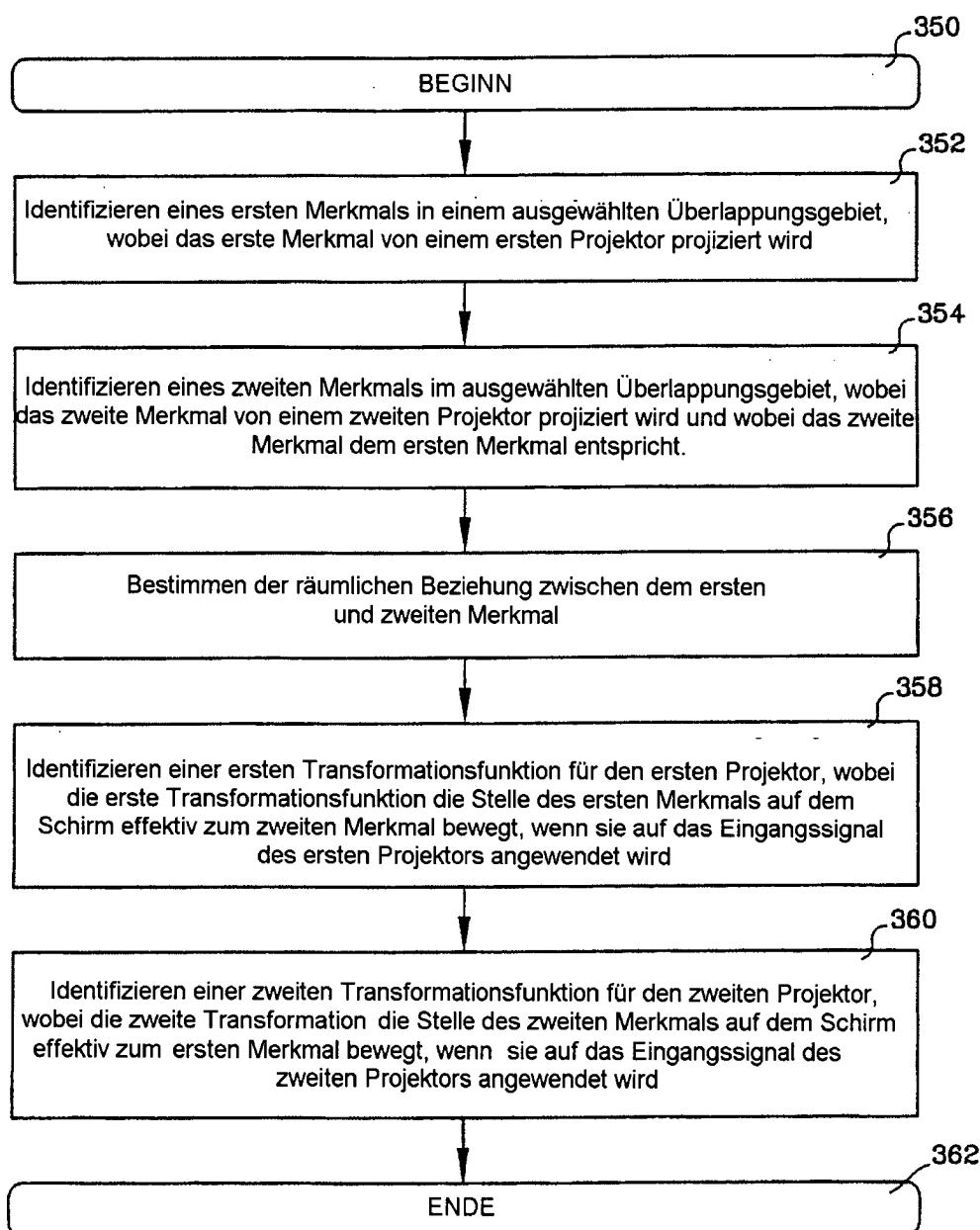


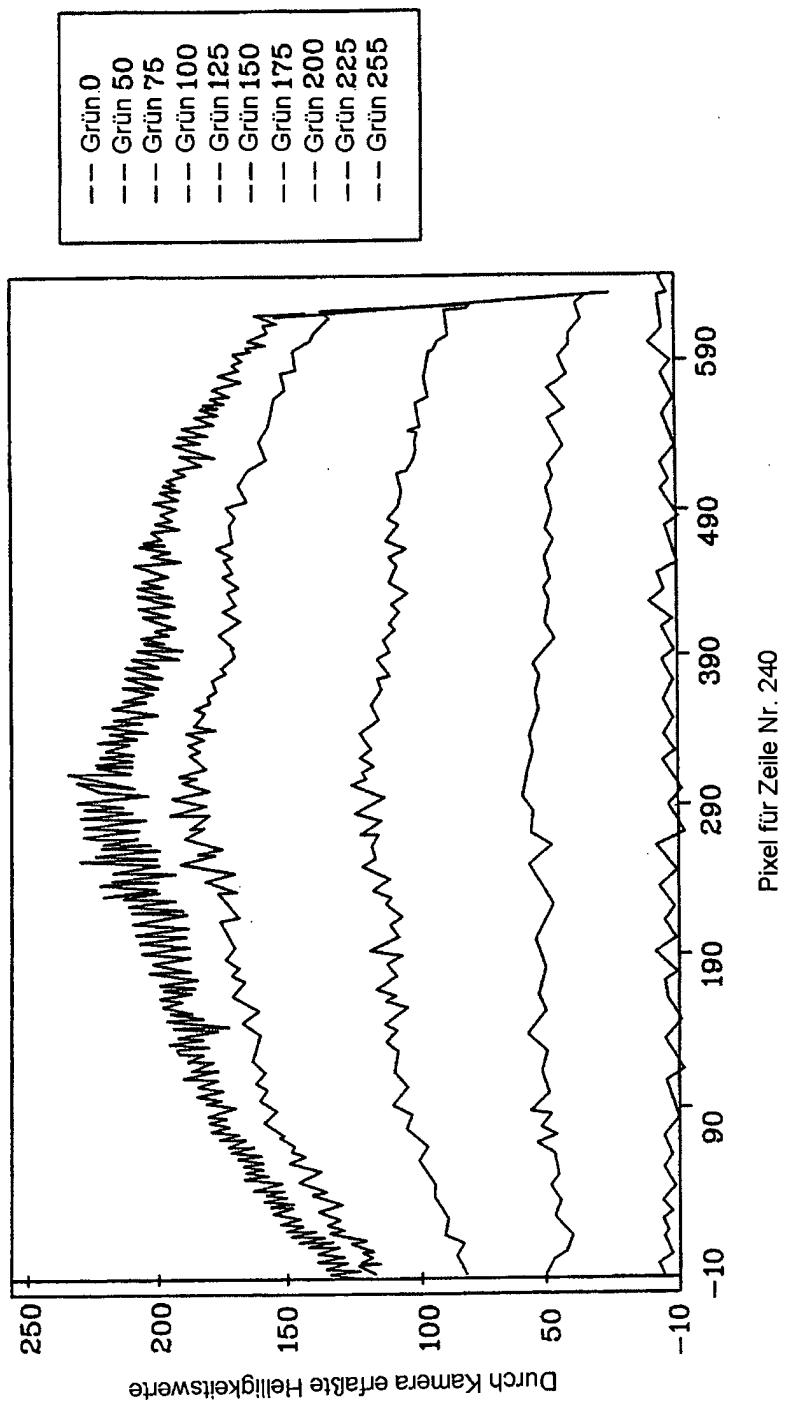
Fig.14



*Fig.15*

*Fig.16*

Grün - Aufwölbungs-Querschnitt über Zeile Nr. 240



*Fig. 17*

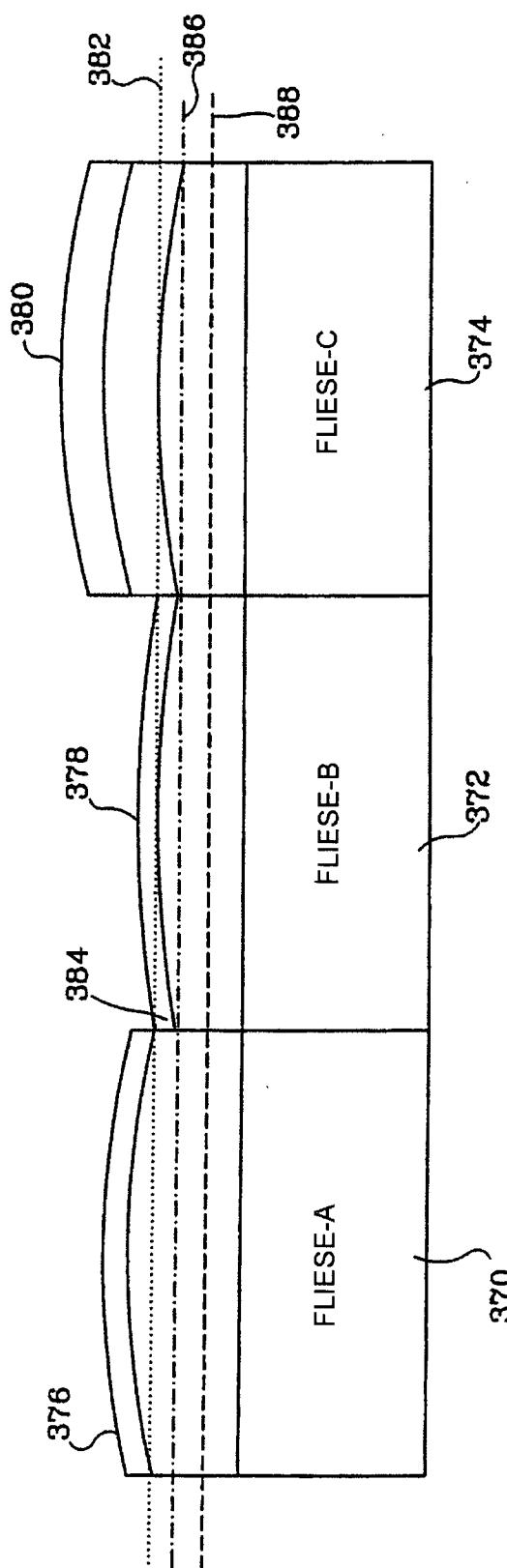
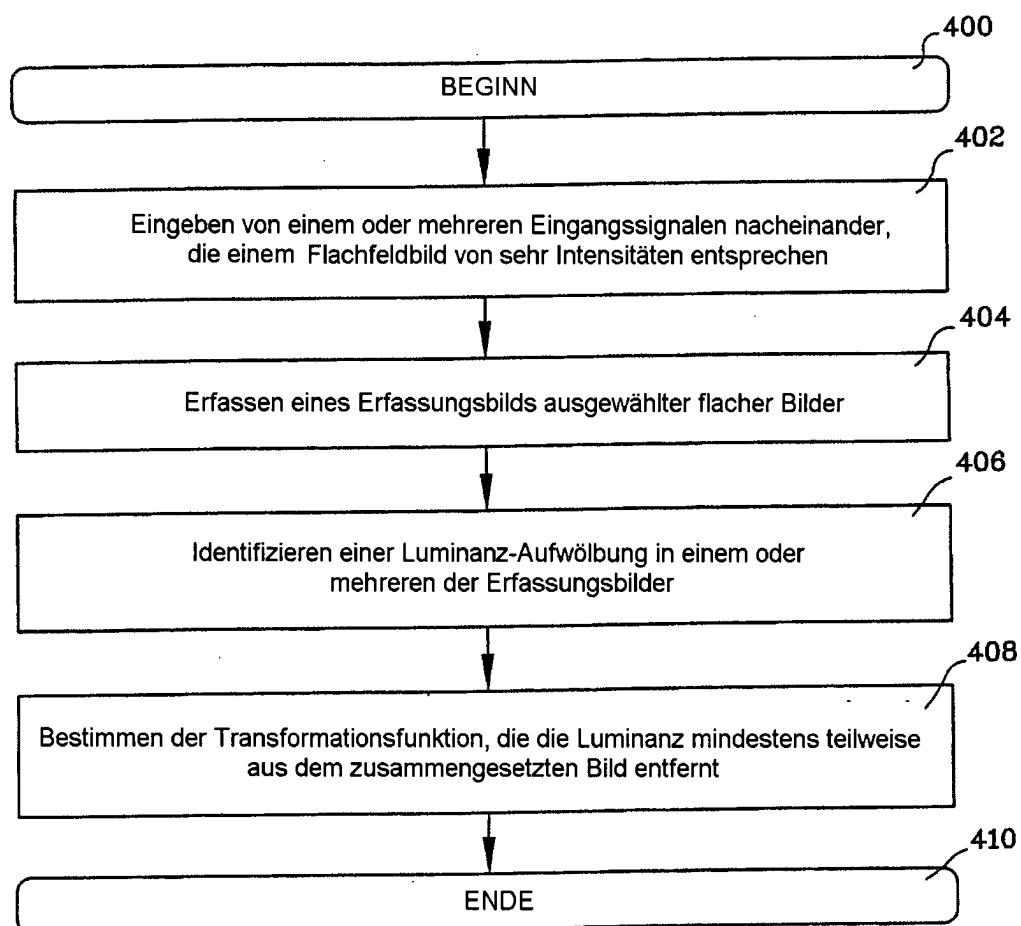


Fig. 18



*Fig.19*