

Projektionsdisplay und Verfahren zum Projizieren eines Gesamtbildes

Beschreibung

5

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung beziehen sich auf ein Projektionsdisplay und ein Verfahren zum Projizieren eines Gesamtbildes. Weitere Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung beziehen sich auf ein Projektionsdisplay für virtuelle Bilder mit

10

Mehrkanaloptik.

Head-Mounted Displays (HMD, kopfbefestigte Displays) werden üblicherweise mit einem Mikrodisplay, wie z.B. einem LCD-(Liquid Crystal Display, Flüssigkristallbildschirm), LCoS-(Liquid Crystal on Silicon, Flüssigkristalle auf Silizium) oder OLED-(Organic Light

15

Emitting Diode, organische Leuchtdiode) basierten Mikrodisplay, in Verbindung mit einer Okularoptik, die das Mikrodisplay in einen zur Betrachtung geeigneten Abstand zwischen der deutlichen Sehweite und Unendlich abbildet, realisiert. Die Brennweite des Okulars f_{Ok} bestimmt dabei zusammen mit der Diagonalen D des Mikrodisplays das Gesichtsfeld (Field of View, FOV) des Head-Mounted Displays:

20

$$FOV = 2 \arctan \frac{D}{2f_{Ok}} \quad (1)$$

Um übliche Gesichtsfelder von Head-Mounted Displays im Bereich zwischen 40° und 60° mit verfügbaren Mikroimagern bzw. Mikro-Bildgebern mit typischen Schirmdiagonalen

25

von $2/3''$ zu erzielen, benötigt man somit Okularbrennweiten im Bereich zwischen 15 und 23 mm. Der Pupillendurchmesser des Okulars $D_{Pupille}$ bestimmt dabei die Größe des Bereichs, in dem sich das Auge des Betrachters bewegen darf (Eye Motion Box, EMB). Die Pupillengröße bzw. EMB erhält man aus dem Verhältnis von Brennweite f_{Ok} und Blendenzahl $f/\#$ des Okulars:

30

$$EMB = D_{Pupille} = \frac{f_{Ok}}{f/\#} \quad (2)$$

35

Für typische Blendenzahlen im Bereich von ca. $f/2,8$ erhält man daraus eine EMB von größenordnungsmäßig 5 bis 8 mm. Hier zeigen sich zwei Hauptschwierigkeiten. Zum einen

bedingt die vergleichsweise große, erforderliche Okularbrennweite große Systemabmaße, was den Tragekomfort des Head-Mounted Displays verschlechtert. Zum anderen erschwert die für eine große EMB erforderliche geringe Blendenzahl zusammen mit dem großen FOV die Korrektur von Abbildungsfehlern, was die Komplexität (und damit die Größe und Masse) der Okularoptik weiter vergrößert.

Um die Baugröße der Optik bei gegebener Brennweite zu verringern, werden im Stand der Technik beispielsweise mehrfach gefaltete Strahlengänge, wie z.B. beim „Canon Video see-through“-System wie in (A. Takagi, S. Yamazaki, Y. Saito, und N. Taniguchi, „Development of a stereo video see-through HMD for AT systems,“ in Int. Symp. On Augmented Reality, Munich, Germany, Oct. 5-6 2000), oder eine Verlagerung der Okularoptik in Richtung des Brillenbügels mit anschließendem Bildleiter zur Einspiegelung in das Auge wie in (Ichiro Kasai Yasushi, Yasushi Tanijiri, Takeshi Endo, Hiroaki Ueda, „A Forgettable Near Eye Display“, Proc. 4th Int. Symp. on Wearable Computers, ISWC 2000, Atlanta) genutzt. Hauptnachteile dieser bekannten Optikschemata sind die resultierenden vergleichsweise großen Systemabmessungen und -massen sowie die gemäß dem Stand der Technik zur Aberrationskorrektur erforderlichen komplizierten Freiformoptiken wie in (A. Takagi, S. Yamazaki, Y. Saito, und N. Taniguchi, „Development of a stereo video see-through HMD for AT systems,“ in Int. Symp. On Augmented Reality, Munich, Germany, Oct. 5-6 2000) bzw. herstellungstechnisch aufwendigen Bildleiter Elemente wie in (Ichiro Kasai Yasushi, Yasushi Tanijiri, Takeshi Endo, Hiroaki Ueda, „A Forgettable Near Eye Display“, Proc. 4th Int. Symp. on Wearable Computers, ISWC 2000, Atlanta).

Ein im Stand der Technik beschriebener alternativer optischer Ansatz nutzt eine Lin senarray-(Linsenraster) Optik, wobei jeweils einem Pixel eines Mikroimagers bzw. Mikro Bildgebers ein Lenslet (Linsenelement) zugeordnet ist, wie es in der US 5,499,138, der US 5,561,538, der US 6,816,313 B2 und der US 2008/020473 A1 beschrieben ist. Dieses bekannte alternative Optikschemata verspricht zwar eine sehr geringe Baulänge der Optik, erlaubt aber nur kleine darstellbare Pixelzahlen und eine sehr geringe Transmission, was eine geringe Bildhelligkeit und eine kurze Batterielaufzeit bei netzunabhängigen Geräten bedeutet.

Ein weiterer bekannter Ansatz ist die Nutzung eines Arrayprojektors bzw. Rasterprojek tors, wie es in der WO 2010/145784 A1 beschrieben ist. Hier ist schon eine deutlich größere Bildhelligkeit als mit den in der US 5,499,138, der US 5,561,538, der US 6,816,313 B2 und der US 2008/020473 A1 beschriebenen Arrayoptiken bzw. Rasteroptiken erreichbar. Der bekannte, auf einer Mehrkanalprojektion basierende Arrayprojektor hat jedoch den Nachteil, dass die darstellbare Pixelzahl dennoch hinter den Einkanaloptiken wie in (A.

Takagi, S. Yamazaki, Y. Saito, und N. Taniguchi, „Development of a stereo video see-through HMD for AT systems,“ in Int. Symp. On Augmented Reality, Munich, Germany, Oct. 5-6 2000) und (Ichiro Kasai Yasushi, Yasushi Tanijiri, Takeshi Endo, Hiroaki Ueda, „A Forgettable Near Eye Display“, Proc. 4th Int. Symp. on Wearable Computers, ISWC 2000, Atlanta) zurückbleibt.

Die US 6,611,241 B1 beschreibt große optische Anzeigen umfassend eine Anordnung von kleineren Anzeigevorrichtungen oder -Modulen, von denen jede einen Teil des anzuzeigenden Bildes anzeigt, so dass die Anordnung von kleineren Anzeigevorrichtungen zusammen das vollständige Bild anzeigt. Die Anzeigevorrichtung kann Anzeigeelemente verwenden, die keine schmalen Kanten haben und die nicht zusammenhängend sind, um überlappende Teilbilder zu erzeugen. Bildpixel, die ansonsten „Nahtstellen“ oder Lücken sind, werden von den Bilddaten erzeugt und in der richtigen Position und Helligkeit in dem angezeigten Bild angezeigt, wie beispielsweise in den Überlappbereichen der überlappenden Teilbilder.

Die WO 2011/157632 A1 beschreibt ein Projektionsdisplay mit mindestens einer Lichtquelle, mindestens einem reflektiven Bildgeber, der ausgebildet ist, um in einer zweidimensionalen Verteilung von Teilbereichen desselben Einzelbilder darzustellen, einer Projektionsoptikanordnung mit einer zweidimensionalen Anordnung von Projektionsoptiken, die konfiguriert ist, um einen zugeordneten Teilbereich des mindestens einen Bildgebers jeweils auf eine Bildebene abzubilden, so dass sich Abbildungen der Einzelbilder in der Bildebene zu einem Gesamtbild überlagern, und mindestens einem Strahlteiler, der in einem Strahlengang zwischen dem mindestens einen reflektiven Bildgeber und der zweidimensionalen Anordnung von Projektionsoptiken einerseits und im Strahlengang zwischen der mindestens einen Lichtquelle und dem mindestens einen reflektiven Bildgeber andererseits angeordnet ist.

Die US 5 499 138 A beschreibt eine Bildanzeigevorrichtung, wie beispielsweise eine Bildanzeigevorrichtung vom Brillentyp, die in der Lage ist, ein hochauflösendes Bild durch Projizieren von Pixeln bei einem richtigen Pitch auf der Netzhaut in dem Auge des Benutzers zu reproduzieren. Die Bildanzeigevorrichtung umfasst eine Mikrolinsenanordnung. Anstelle der Mikrolinsenanordnung kann auch eine Fresnel-Zonenplattenanordnung verwendet werden.

Ein Nachteil des in der US 5 499 138 A beschriebenen Projektionssystems ist die Zuordnung von jeweils nur einem (einzigen) Displaypixel (z.B. sehr kleiner LED-Chip oder

LCD-Pixel) zu je einer Mikrolinse. Somit führt dieser bekannte Ansatz zu einer geringen darstellbaren Pixelzahl bei gleichzeitig großen lateralen Optikabmessungen.

Ein generelles Problem ist somit, dass im bekannten Stand der Technik kein Konzept existiert, welches eine Mehrkanalprojektion bei einer größeren Zahl darstellbarer Pixel mit einer geringen Baulänge eines Projektionsdisplays vereint.

Die Aufgabe der vorliegenden Erfindung besteht daher darin, ein Konzept zu schaffen, welches eine Mehrkanalprojektion mit einer größeren Zahl darstellbarer Pixel und gleichzeitig eine geringere Baulänge des Projektionsdisplays ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch ein Projektionsdisplay nach Anspruch 1 und ein Verfahren nach Anspruch 15 gelöst.

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung schaffen ein Projektionsdisplay mit einem Bildgeber zum Darstellen von Teilbildern in einer zweidimensionalen Verteilung von Teilbereichen des Bildgebers und einer Projektionsoptikanordnung mit einer zweidimensionalen Verteilung von Projektionsoptiken. Die Projektionsoptikanordnung ist konfiguriert, um Projektionen der Teilbilder in einer Bildebene zu einem Gesamtbild so zu überlagern, dass paarweise eine gegenseitige flächenmäßige Überlappung der Projektionen der Teilbilder in der Bildebene resultiert, die für alle Paare zwischen 0,1 und 0,8 liegt. Hierbei ist das Projektionsdisplay so ausgelegt, dass das Gesamtbild ein virtuelles Gesamtbild ist.

Der Kerngedanke der vorliegenden Erfindung ist es, dass die oben genannte größere Zahl darstellbarer Pixel der Mehrkanalprojektion bei einer gleichzeitig geringeren Baulänge des Projektionsdisplays erreicht werden kann, wenn Teilbilder mit einem Bildgeber in einer zweidimensionalen Verteilung von Teilbereichen des Bildgebers dargestellt werden und wenn Projektionen der Teilbilder durch eine Projektionsoptikanordnung mit einer zweidimensionalen Verteilung von Projektionsoptiken in einer Bildebene zur einem Gesamtbild derart überlagert werden, dass paarweise eine gegenseitige flächenmäßige Überlappung der Projektionen der Teilbilder in der Bildebene resultiert, die für alle Paare zwischen 0,1 und 0,8 liegt, wobei das Projektionsdisplay so ausgelegt ist, dass das Gesamtbild ein virtuelles Gesamtbild ist. Somit kann einerseits die größere Zahl darstellbarer Pixel (bzw. die höhere Bildqualität) der Mehrkanalprojektion erreicht werden, und andererseits kann gleichzeitig die geringere Baulänge des Projektionsdisplays realisiert werden. Hierbei kann von einer Darstellung von Teilbildern Gebrauch gemacht und eine spezielle Überlagerung von Projektionen der Teilbilder in einer Bildebene zu einem (virtuellen) Gesamtbild verwendet werden.

Bei Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung weist die Projektionsoptikanordnung ferner eine Feldlinse auf, die in Projektionsrichtung der zweidimensionalen Verteilung der Projektionsoptiken nachgeschaltet ist, um die Projektionen der Teilbilder in eine Pupille eines Benutzers des Projektionsdisplays zu lenken. Somit kann die Bildebene eine virtuelle Bildebene sein, zwischen der und der Feldlinse der Bildgeber und die zweidimensionale Verteilung der Projektionsoptiken angeordnet sind.

Bei Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung ist der Bildgeber ausgelegt, um jedes der Teilbilder mit einer Bildhelligkeit darzustellen, die kontinuierlich zum Rand des Teilbildes hin abfällt. Somit können Artefakte in einem Überlappungsbereich der Projektionen in der Bildebene unterdrückt oder vermieden werden.

Bei Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung ist der Bildgeber ausgelegt, um alle Teilbilder gleichmäßig in Richtung einer lateralen Ausdehnung der zweidimensionalen Verteilung der Teilbereiche des Bildgebers zu verschieben. Hierbei ist die gleichmäßige Verschiebung der Teilbilder abhängig von einer gemessenen Lage eines Augapfels eines Benutzers bezüglich einer optischen Achse der Projektionsoptikanordnung einstellbar. Somit kann eine Kompensation einer Dezentrierung des Augapfels des Benutzers bezüglich der optischen Achse der Projektionsoptikanordnung erreicht werden. Durch die Kompensation dieser Dezentrierung kann eine Wahrnehmung von Geisterbildern unterdrückt oder vermieden werden.

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung werden nachfolgend Bezug nehmend auf die beiliegenden Figuren, in denen gleiche oder gleichwirkende Elemente mit gleichen Bezugszeichen bezeichnet sind, näher erläutert. Es zeigen:

Fig. 1a eine Seitenansicht eines Projektionsdisplays gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;

Fig. 1b eine schematische Darstellung zur Veranschaulichung einer erfindungsgemäßen gegenseitigen flächenmäßigen Überlappung von Projektionen von Teilbildern in einer Bildebene;

Fig. 2a eine schematische Darstellung zur Veranschaulichung eines erfindungsgemäßen Gesamtbildes in der Bildebene;

- Fig. 2b eine schematische Darstellung zur Veranschaulichung von Teilbildern in einer zweidimensionalen Verteilung von Teilbereichen eines Bildgebers gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;
- 5 Fig. 3 eine schematische Darstellung zur Veranschaulichung von Teilbildern in einer zweidimensionalen Verteilung von Teilbereichen eines Bildgebers gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;
- 10 Fig. 4 eine Seitenansicht einer zweidimensionalen Verteilung von Projektionsoptiken gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung;
- Fig. 5a, b Draufsichten auf Bildgeber zur Darstellung von Verschiebungen von Teilbildern gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung; und
- 15 Fig. 6a, b schematische Darstellungen von einem Strahlengang und einer Zerlegung des FOV zur Herleitung einer erfindungsgemäßen Gleichung für eine darstellbare Gesamtpixelzahl.
- 20 Bevor im Folgenden die vorliegende Erfindung anhand der Figuren näher erläutert wird, wird darauf hingewiesen, dass in den nachfolgend dargestellten Ausführungsbeispielen gleiche Elemente oder funktionell gleiche Elemente in den Figuren mit den gleichen Bezugszeichen versehen sind. Eine Beschreibung von Elementen mit gleichen Bezugszeichen ist daher gegenseitig austauschbar und/oder in verschiedenen Ausführungsbeispielen auf-
- 25 einander anwendbar.

Fig. 1a zeigt eine Seitenansicht eines Projektionsdisplays 100 gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. Wie in Fig. 1a gezeigt, weist das Projektionsdisplay 100 einen Bildgeber 110 zum Darstellen von Teilbildern in einer zweidimensionalen Verteilung von Teilbereichen 115 des Bildgebers 110 auf. Ferner weist das in Fig. 1a gezeigte Projektionsdisplay 100 eine Projektionsoptikanordnung 120 mit einer zweidimensionalen Verteilung 122 von Projektionsoptiken 125 auf. Fig. 1b zeigt eine schematische Darstellung zur Veranschaulichung einer erfindungsgemäßen gegenseitigen flächenmäßigen Überlappung von Projektionen von Teilbildern in einer Bildebene. In Bezug auf Fig. 1a und 1b ist die Projektionsoptikanordnung 120 des Projektionsdisplays 100 konfiguriert, um Projektionen 135 der Teilbilder in einer Bildebene 140 zu einem Gesamtbild 150 so zu überlagern, dass paarweise eine gegenseitige flächenmäßige Überlappung 139 der Projektionen 135 der Teilbilder in der Bildebene 140 resultiert, die für alle Paare 137 zwischen

0,1 und 0,8 liegt. Hierbei ist das Projektionsdisplay 100 so ausgelegt, dass das Gesamtbild 150 ein virtuelles Gesamtbild ist. Durch das Bereitstellen der für alle Paare zwischen 0,1 und 0,8 liegenden gegenseitigen flächenmäßigen Überlappung kann eine Mehrkanalprojektion mit einer höheren Bildqualität bei einer gleichzeitig geringeren Baulänge des Projektionsdisplays erreicht werden.

Insbesondere ist das Projektionsdisplay 100 so ausgelegt, dass das Gesamtbild 150 ein virtuelles Gesamtbild ist und dafür kein (Projektions-)Schirm benötigt wird.

Bei Ausführungsbeispielen können die Paare 137 durch die sich paarweise überlappenden Projektionen 135 gebildet werden und dieselben (und zwar alle von denselben) eine gegenseitige flächenmäßige Überlappung 139 aufweisen, die zwischen 0,1 und 0,8 liegt. Hierzu wird auch auf die Fig. 1b verwiesen, in der beispielhaft gezeigt ist, dass sich alle (zueinander benachbarten) Paare 137 in der Bildebene 140 überlappen können.

Ferner wird noch auf Fig. 6a und 6b verwiesen, anhand derer die Überlappung der von benachbarten Projektionsoptiken 125 (bzw. Mikrolinsen) projizierten Teile des Gesichtsfelds (bzw. des FOV) im Winkelraum beschrieben wird. Bei Ausführungsbeispielen ist es möglich, dass nicht nur direkt benachbarte, sondern auch „übernächste“ Nachbarn (bzw. Projektionen 135 von Projektionsoptiken 125, die in der zweidimensionalen Verteilung 122 nicht unmittelbar nebeneinander angeordnet sind) überlappen. Dies ist auch bei der Projektion des Buchstabens „B“ in Fig. 3 beispielhaft verdeutlicht.

Somit ist es bei Ausführungsbeispielen möglich, dass auch eine Überlappung (bzw. „Paarung“) von übernächsten oder noch weiter voneinander entfernten Projektionen (bzw. Nachbarteilbildern) realisiert wird. Mit anderen Worten, es ist auch eine Überlappung von projizierten bzw. dargestellten Teilen des FOV möglich, die durch nicht direkt benachbarte Projektionsoptiken 125 (bzw. „Lenslets“) hervorgerufen werden.

Es wird darauf hingewiesen, dass die gegenseitige flächenmäßige Überlappung im Wesentlichen dem Parameter σ in der erfindungsgemäßen Gleichung 6 entspricht, welche noch anhand der Fig. 6a und 6b beispielhaft hergeleitet wird. Hierbei beschreibt $\sigma = 0$ den Fall, dass keine Überlappung vorliegt, während $\sigma = 1$ den Fall beschreibt, dass eine vollständige Überlappung vorliegt. Bei Ausführungsbeispielen ist die gegenseitige flächenmäßige Überlappung größer 0 und kleiner 1. D.h., es liegt eine teilweise und keine vollständige Überlappung vor.

Bei Ausführungsbeispielen ist insbesondere die durch die Wahl der Brennweiten f der Mikrolinsen und F der Feldlinse eindeutig bestimmte Überlappung der einzelnen Bildinhalte gemäß der erfindungsgemäßen Gleichung 6 vorteilhaft.

- 5 Bei Ausführungsbeispielen gemäß Fig. 1a und 1b kann die Projektionsoptikanordnung 120 ausgelegt sein, um die Projektionen 135 der Teilbilder in der Bildebene 140 zu dem Gesamtbild 150 so zu überlagern, dass eine zentrale Tendenz einer Verteilung der gegenseitigen flächenmäßigen Überlappung 139 der Projektionen der Paare 137 zwischen 0,2 und 0,8 liegt. Die zentrale Tendenz der Verteilung der gegenseitigen flächenmäßigen Überlappung kann beispielsweise einen Wert von 0,5 haben. Typischerweise ermöglicht dieser Wert eine hohe Bildqualität für die Anzeige des Gesamtbildes in der Bildebene.

- Bei Ausführungsbeispielen gemäß Fig. 1a und 1b sind Projektionen 135, die sich in der Bildebene 140 überlappen, auch in den Projektionsoptiken 125 zueinander benachbart. Mit anderen Worten, die in Fig. 1b gezeigten Projektionen der Paare 137, die die gegenseitige flächenmäßige Überlappung 139 bilden, sind zwei zueinander benachbarten Projektionsoptiken 125 der in Fig. 1a gezeigten Projektionsoptikanordnung 120 zugeordnet.

- Bei Ausführungsbeispielen sind die Projektionsoptiken 125 jeweils einem Teilbereich 115 des Bildgebers 110 zugeordnet (siehe Fig. 1a). Hierbei ist ein Mittenabstand 127 der Projektionsoptiken 125 gleich einem Mittenabstand 117 der den Projektionsoptiken 125 zugeordneten Teilbereichen 115 des Bildgebers 110. Durch die Verwendung eines gleichen Mittenabstands der Projektionsoptiken und der zugeordneten Teilbereiche können einzelne Teilbilder, die von den zugeordneten Teilbereichen 115 des Bildgebers 110 geliefert werden, nach Unendlich abgebildet werden. Hierbei kann ein Abstand der zweidimensionalen Verteilung 122 der Projektionsoptiken 125 von der zweidimensionalen Verteilung von Teilbereichen 115 des Bildgebers 110 beispielsweise der resultierenden Brennweite F_{res} aus der Addition der Brechkraft der Projektionsoptiken 125 mit Brennweite f und der Brechkraft der Feldlinse 130 mit der Brennweite F entsprechen.

30

- Bei Ausführungsbeispielen gemäß Fig. 1a und 1b weist die Projektionsoptikanordnung 120 ferner eine Feldlinse 130 auf, die in Projektionsrichtung 111 der zweidimensionalen Verteilung 122 der Projektionsoptiken 125 nachgeschaltet ist, um die Projektionen 135 der Teilbilder in eine Pupille 103 eines Benutzers des Projektionsdisplays 100 zu lenken. Somit kann die Bildebene 140 eine virtuelle Bildebene sein, zwischen der und der Feldlinse 130 der Bildgeber 110 und die zweidimensionale Verteilung 122 der Projektionsoptiken 125 angeordnet sind. In Fig. 1a ist ein Auge 105 des Benutzers schematisch dargestellt.

35

Wie in Fig. 1a beispielhaft gezeigt, kann die Feldlinse 130 ausgelegt sein, um Winkel 102 von optischen Kanälen bezüglich einer Richtung einer optischen Achse 101 der Projektionsoptikanordnung 120 so zu ändern, dass die optischen Kanäle durch die Pupille 103 in das Auge 105 des Benutzers verlaufen. Vorzugsweise befindet sich der Brennpunkt der Feldlinse dabei in der Nähe des Drehpunkts des Augapfels. Hierbei entsprechen die optischen Kanäle jeweils Strahlengängen durch einzelne Projektionsoptiken 125 in Projektionsrichtung 111. Durch die Verwendung der mehreren optischen Kanäle für die Projektionen der Teilbilder auf die Bildebene kann im Wesentlichen eine Mehrkanalprojektion erreicht werden.

Die in Fig. 1a gezeigte Feldlinse 130 kann beispielsweise eine Fresnellinse sein. Typischerweise ist eine Fresnellinse vergleichsweise dünn. Durch die Verwendung der Fresnellinse als Feldlinse kann somit die Baulänge des Projektionsdisplays weiter verkürzt werden.

In Fig. 1a ist somit eine Prinzipskizze des Optikschemas des Projektionsdisplays 100 beispielhaft dargestellt. Der prinzipielle Aufbau des in Fig. 1a gezeigten Ausführungsbeispiels lässt sich folgendermaßen zusammenfassen. Auf dem Bildgeber 110 bzw. Mikroimager werden in den Teilbereichen 115 jeweils Teilbilder des gesamten zu übertragenden Bildinhalts als Array (zweidimensionales Raster) dargestellt. Jedes dieser Teilbilder wird durch eine zugeordnete Projektionsoptik 125 (z.B. Mikrolinse) der zweidimensionalen Verteilung 122 (Linsenarray) abgebildet. Die in Projektionsrichtung 111 nachgeschaltete bzw. nachfolgende Feldlinse 130 bildet alle Teilbilder überlagert in das Auge 105 des Beobachters ab. Durch diese Anordnung gemäß Fig. 1a entsteht für den Benutzer bzw. Betrachter ein zusammenhängendes, virtuelles Gesamtbild in der Bildebene 140.

Fig. 2a zeigt eine schematische Darstellung zur Veranschaulichung eines erfindungsgemäßen Gesamtbildes in der Bildebene. In Fig. 2a ist ein projiziertes, virtuelles Gesamtbild 150 beispielhaft dargestellt. Das projizierte, virtuelle Gesamtbild 150 von Fig. 2a liegt in der Bildebene 140 des in Fig. 1a gezeigten Projektionsdisplays 100. Das in der Bildebene 140 liegende Gesamtbild 150 umfasst einen Bildinhalt 205. Beispielsweise stellt der Bildinhalt 205 des Gesamtbilds 150 die Symbole „ABC“ (vollständiger Bildinhalt) dar.

Fig. 2b zeigt eine schematische Darstellung zur Veranschaulichung von Teilbildern in einer zweidimensionalen Verteilung von Teilbereichen eines Bildgebers gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. In Fig. 2b sind Teilbilder 215 auf dem Bildgeber 110 bzw. Mikrodisplay beispielhaft dargestellt. Wie in Fig. 2b gezeigt, werden die Teilbilder 215 von dem Bildgeber 110 in einer zweidimensionalen Verteilung von Teilbe-

reichen 115 des Bildgebers 110 dargestellt. Die in der zweidimensionalen Verteilung von Teilbereichen 115 des Bildgebers 110 bereitgestellten Teilbilder 215 stellen Teile des in Fig. 2a gezeigten Gesamtbildes 150 mit dem Bildinhalt 205 dar. Im Übrigen sind die in Fig. 1a gezeigten Projektionsoptiken 125 jeweils den in Fig. 2b gezeigten Teilbereichen 115 des Bildgebers 110 zugeordnet. Ferner ist in der schematischen Darstellung von Fig. 2b die optische Achse 101 der Projektionsoptikanordnung 120 gezeigt. Die in Fig. 2b gezeigte optische Achse 101 verläuft im Wesentlichen durch ein Zentrum der zweidimensionalen Verteilung von Teilbereichen 115 des Bildgebers 110.

Bei dem in Fig. 2b gezeigten Ausführungsbeispiel ist der Bildgeber 110 ausgelegt, um mit einem größer werdenden Abstand von der optischen Achse 101 der Projektionsoptikanordnung 120 in den den Projektionsoptiken 125 zugeordneten Teilbereichen 115 des Bildgebers 110 die Teilbilder 215 so darzustellen, dass dieselben zunehmend dezentrierte Teile eines anzuzeigenden Gesamtbildes sind, das dem Bildgeber 110 vorgegeben wird. Das dem Bildgeber 110 vorgegebene anzuzeigende Gesamtbild entspricht im Wesentlichen dem projizierten, virtuellen Gesamtbild 150 mit dem Bildinhalt 205 in der Bildebene 140.

Bei Ausführungsbeispielen ist die optische Achse 101 dadurch definiert, dass sie im Wesentlichen durch ein Zentrum der zweidimensionalen Verteilung von Teilbereichen 115 des Bildgebers 110 verläuft.

In Fig. 2b sind Teilbilder 217-1, 217-2, die in Teilbereichen des Bildgebers 110 mit einem größeren Abstand von der optischen Achse 101 dargestellt werden, im Vergleich zu einem Teilbild 213, das in einem Teilbereich des Bildgebers 110 dargestellt wird, der den geringsten Abstand von der optischen Achse 101 hat, dezentriertere Teile des dem Bildgeber 110 vorgegebenen anzuzeigenden Gesamtbildes. Beispielsweise stellt das Teilbild 213 einen relativ zentralen Teil (z.B. das Symbol „B“) für den Bildinhalt des projizierten Gesamtbildes 150 dar, während die Teilbilder 217-1, 217-2 dezentriertere Teile (z.B. die Symbole „A“ bzw. „C“) für den Bildinhalt 205 des projizierten Gesamtbildes 150 darstellen. Durch die Mehrkanalprojektion über die mehreren optischen Kanäle können die Teilbilder 215 bzw. die zunehmend dezentrierten Teile des dem Bildgeber 110 vorgegebenen anzuzeigenden Gesamtbildes in der Bildebene 140 zu dem Gesamtbild 150 überlagert werden. In der Bildebene 140 entsteht somit das projizierte, virtuelle Gesamtbild 150 mit dem vollständigen Bildinhalt (z.B. „ABC“).

Fig. 3 zeigt eine schematische Darstellung zur Veranschaulichung von Teilbildern in einer zweidimensionalen Verteilung von Teilbereichen eines Bildgebers gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. In Fig. 3 ist ein kontinuierlicher Randabfall der

Bildhelligkeit der Teilbilder auf dem Bildgeber zur Unterdrückung von Artefakten im projizierten, virtuellen Gesamtbild beispielhaft dargestellt. Bei dem Ausführungsbeispiel von Fig. 3 ist wiederum der Bildgeber 110 gezeigt, auf dem die Teilbilder 215 in der zweidimensionalen Verteilung von Teilbereichen 115 des Bildgebers 110 dargestellt werden. Die in Fig. 3 gezeigten Teilbilder 215 können beispielsweise zunehmend dezentrierte Teile eines anzuzeigenden Gesamtbildes sein, das dem Bildgeber 110 vorgegeben wird, wie es anhand des Ausführungsbeispiels von Fig. 2b erläutert wurde.

Bei dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 3 kann der Bildgeber 110 ausgelegt sein, um jedes der Teilbilder 215 mit einer Bildhelligkeit darzustellen, die kontinuierlich zum Rand 218 des Teilbildes 215 hin abfällt. Dadurch können Artefakte in einem Überlappungsbereich der Projektionen in der Bildebene unterdrückt oder vermieden werden.

Beispielsweise kann die Bildhelligkeit des jeweiligen Teilbildes auf dem Bildgeber 110 so eingestellt sein, dass die Bildhelligkeit in einem Mittenbereich des Teilbildes 215 höher ist als in einem den Mittenbereich umgebenden Randbereich (Rand 218). Gleichzeitig kann die Bildhelligkeit so eingestellt sein, dass sie von einem maximalen zu einem minimalen Wert monoton fällt. Dies beschreibt einen beispielhaften kontinuierlichen Randabfall der Bildhelligkeit. Bei dem Ausführungsbeispiel von Fig. 3 entspricht der Überlappungsbereich, in dem die Artefakte durch die Verwendung des beispielhaften kontinuierlichen Randabfalls der Bildhelligkeit unterdrückt oder vermieden werden, der in Fig. 1b gezeigten gegenseitigen flächenmäßigen Überlappung 139 der Projektionen 135 der Teilbilder 135 in der Bildebene 140.

Mit anderen Worten, bei dem in Fig. 3 gezeigten Ausführungsbeispiel kann der Bildgeber so ausgelegt sein, dass die Bildhelligkeit an Berandungen der Teilbilder auf dem Bildgeber kontinuierlich abfällt, um Helligkeitssprünge im überlagerten Gesamtbild zu unterdrücken.

Fig. 4 zeigt eine Seitenansicht einer zweidimensionalen Verteilung von Projektionsoptiken gemäß einem Ausführungsbeispiel der vorliegenden Erfindung. In der Seitenansicht von Fig. 4 sind der Bildgeber 110 mit der zweidimensionalen Verteilung von Teilbereichen 115 und die zweidimensionale Verteilung 122 von Projektionsoptiken 125 des Projektionsdisplays 100 gezeigt. Bei dem in Fig. 4 gezeigten Ausführungsbeispiel sind die Projektionsoptiken 125 jeweils einem Teilbereich 115 des Bildgebers 110 zugeordnet. Ähnlich zu dem Ausführungsbeispiel gemäß Fig. 1a ist bei dem in Fig. 4 gezeigten Ausführungsbeispiel ein Mittenabstand 127 der Projektionsoptiken 125 gleich einem Mittenabstand 117 der den Projektionsoptiken 125 zugeordneten Teilbereichen 115 des Bildgebers 110.

Bei Ausführungsbeispielen weist die zweidimensionale Verteilung 122 der Projektionsoptiken 125 eine Mehrzahl von Linsensegmenten 425 auf, die bezüglich ihrer Apertur unterschiedlich dezentriert sind. Hierbei ist die Mehrzahl der Linsensegmente 425 ausgelegt, um die Projektionen der Teilbilder in die Pupille 103 des Benutzers des Projektionsdisplays 100 zu lenken, wie es in Fig. 4 beispielhaft dargestellt ist. Durch die Verwendung der mehreren unterschiedlich dezentrierten Linsensegmente 425 können die Projektionen der Teilbilder, die von den Teilbereichen 115 des Bildgebers 110 geliefert werden, direkt in die Pupille 103 des Benutzers gelenkt werden, ohne dass dabei eine in Projektionsrichtung 111 nachgeschaltete Feldlinse (z.B. Feldlinse 130 in Fig. 1a) benötigt wird. Die Funktion solch einer nachgeschalteten Feldlinse kann somit durch die Gesamtheit der unterschiedlich dezentrierten Linsensegmente 425 bereitgestellt werden.

Im Kreis 401 sind die bezüglich ihrer Apertur unterschiedlich dezentrierten Linsensegmente 425 vergrößert dargestellt. Die im Kreis 401 vergrößert dargestellten Linsensegmente 425 haben Linsenscheitel 427, die zur Apertur des jeweiligen Linsensegments 425 eine unterschiedliche Dezentrierung aufweisen. Durch das Vorsehen der unterschiedlichen Dezentrierung der Linsenscheitel 427 kann allein mit der Mehrzahl der Linsensegmente 425 im Wesentlichen die gleiche Wirkung wie mit der in Fig. 1a gezeigten zweidimensionalen Verteilung 122 der Projektionsoptiken 125 zusammen mit der in Projektionsrichtung 111 nachgeschalteten Feldlinse 130 erzielt werden.

Mit anderen Worten, bei dem in Fig. 4 gezeigten Ausführungsbeispiel kann durch die Verwendung eines Linsenarrays mit Lenslets, die aus unterschiedlich dezentrierten Linsensegmenten bestehen, die optische Funktion einer Feldlinse in das Linsenarray integriert werden. Somit wird eine separate Feldlinse nicht mehr benötigt.

Fig. 5a und 5b zeigen Draufsichten auf Bildgeber zur Darstellung von Verschiebungen von Teilbildern gemäß Ausführungsbeispielen der vorliegenden Erfindung. Bei dem in Fig. 5a gezeigten Ausführungsbeispiel ist der Bildgeber 110 ausgelegt, um Abstände zwischen Zentren 201 der Teilbilder 215 zu vergrößern oder zu verkleinern, um eine Projektionsdistanz einzustellen. In Fig. 5a sind die Teilbilder 215, die auf dem Bildgeber 110 dargestellt werden, in zwei unterschiedlichen Einstellungen gezeigt. Ferner ist die optische Achse 101 der Projektionsoptikanordnung 120, bezüglich derer die Teilbilder 215 dargestellt sind, in Fig. 5a gezeigt. Die zwei unterschiedlichen Einstellungen der Teilbilder 215 bezüglich der optischen Achse 101 auf dem Bildgeber 110 entsprechen im Wesentlichen zwei unterschiedlichen Projektionsdistanzen für das projizierte, virtuelle Gesamtbild in der Bildebene. In der ersten Einstellung sind die Teilbilder 215 mit gestrichelten Linien dargestellt, während die Teilbilder 215 in der zweiten Einstellung mit durchgezogenen Linien darge-

stellt sind. Ferner sind die Zentren 201 der Teilbilder 215 in der ersten Einstellung durch Kreuze dargestellt, während sie in der zweiten Einstellung durch Punkte dargestellt sind.

- Beim Umschalten zwischen der ersten und der zweiten Einstellung des Bildgebers 110 können die Zentren 201 der Teilbilder 215 beispielsweise radial symmetrisch bezüglich der optischen Achse 101 verschoben werden (Verschiebungsvektoren 211). Durch eine radiale, symmetrische Verschiebung der Zentren 201 der Teilbilder 215 bezüglich der optischen Achse 101 ändern sich die Abstände zwischen den Zentren 201 der Teilbilder 215 in den jeweiligen Einstellungen. Die Abstände zwischen den Zentren 201 der Teilbilder 215 können beispielsweise durch eine Verschiebung entlang der Verschiebungsvektoren 211 von der ersten Einstellung zu der zweiten Einstellung vergrößert oder verkleinert werden. Dadurch wird es ermöglicht, die Lage des projizierten virtuellen Gesamtbildes einzustellen bzw. die Projektionsdistanz zu vergrößern oder zu verkleinern.
- Bei Ausführungsbeispielen gemäß Fig. 5a können somit durch eine softwaregesteuerte Änderung der Abstände der Teilbilder auf dem Bildgeber zueinander unterschiedliche Abstände des virtuellen Bildes zum Betrachter zur Kompensation eventueller Fehlsichtigkeit eingestellt werden.
- In Fig. 5b sind ähnlich wie bei dem in Fig. 5a gezeigten Ausführungsbeispiel die Teilbilder 215 mit ihren Zentren 201 für zwei verschiedene Einstellungen des Bildgebers 110 gezeigt. In der ersten Einstellung sind die Teilbilder 215 mit durchgezogenen Linien und ihre Zentren 201 mit Punkten dargestellt, während die Teilbilder 215 in der zweiten Einstellung mit gestrichelten Linien und ihre Zentren 201 mit Kreuzen dargestellt sind. Ferner ist wiederum die optische Achse 101 der Projektionsoptikanordnung 120 gezeigt.

- Bei dem Ausführungsbeispiel von Fig. 5b ist der Bildgeber 110 ausgelegt, um alle Teilbilder 215 gleichmäßig in Richtung einer lateralen Ausdehnung der zweidimensionalen Verteilung der Teilbereiche des Bildgebers 110 zu verschieben (Richtung 212 der Verschiebung bzw. Verschiebungsvektoren 212). Hierbei ist die gleichmäßige Verschiebung der Teilbilder 215 (bzw. die Verschiebung der Zentren 201 aller Teilbilder 215 in Richtung der Verschiebungsvektoren 212 um den gleichen Betrag) abhängig von einer gemessenen Blickrichtung eines Augapfels eines Benutzers bezüglich der optischen Achse 101 der Projektionsoptikanordnung 120 einstellbar. Durch die gleichmäßige Verschiebung der Teilbilder 215 in Abhängigkeit von der gemessenen Blickrichtung des Augapfels des Benutzers kann ein Schielen des Benutzers bezüglich der optischen Achse 101 der Projektionsoptikanordnung 120 kompensiert werden. Dies ermöglicht es wiederum, dass die Wahrnehmung

von Geisterbildern unterdrückt oder vermieden wird, wodurch die Bildqualität der Mehrkanalprojektion weiter erhöht werden kann.

Bei Ausführungsbeispielen gemäß Fig. 5b können somit durch eine softwaregesteuerte, gleichmäßige Verschiebung der Teilbilder auf dem Bildgeber unterschiedliche Schielwinkel und somit auch Dezentrierungen des Auges des Betrachters zur optischen Achse des Projektionsdisplays kompensiert werden.

Ferner kann bei Ausführungsbeispielen gemäß Fig. 5b die Lage des Augapfels relativ zur optischen Achse des Projektionsdisplays durch einen „Eye-tracking“-Sensor bestimmt werden. Aus der von dem Sensor gelieferten Messgröße kann ein Sollwert für die Dezentrierung bzw. gleichmäßige Verschiebung der Teilbilder auf dem Bildgeber (Imager) abgeleitet werden.

Bei Ausführungsbeispielen weist die zweidimensionale Verteilung 122 der Projektionsoptiken 125 eine Mehrzahl von plankonvexen oder bikonvexen Projektionslinsen auf. In Fig. 1a sind die Projektionsoptiken 125 mit einer Mehrzahl von bikonvexen Projektionslinsen beispielhaft dargestellt.

Bei Ausführungsbeispielen weist die Projektionsoptikanordnung 120 eine Mehrzahl von zweidimensionalen Verteilungen von Projektionsoptiken (nicht gezeigt) auf, die in Projektionsrichtung 111 übereinander gestapelt sind. Hierbei kann die Mehrzahl der zweidimensionalen Verteilungen der Projektionsoptiken ausgelegt sein, um Aberrationen der Projektionsoptikanordnung 120 zu korrigieren. Durch das Bereitstellen der Mehrzahl (Stapel) der zweidimensionalen Verteilungen der Projektionsoptiken kann eine Korrektur von Abbildungsfehlern bei der Projektion durch die einzelnen Projektionsoptiken erreicht werden.

Bei Ausführungsbeispielen ist der Bildgeber 110 ein transmittiver oder ein reflektiver Bildgeber.

Fig. 6a und 6b zeigen schematische Darstellungen von einem Strahlengang und einer Zerlegung des Gesichtsfelds bzw. des FOV zur Herleitung einer erfindungsgemäßen Gleichung für eine darstellbare Gesamtpixelzahl. In Fig. 6a ist ein Strahlengang bei einer Abbildung nach Unendlich beispielhaft dargestellt. Zur Verdeutlichung des Strahlengangs wird im Folgenden beispielhaft der Fall einer virtuellen Abbildung nach Unendlich unter Vernachlässigung eines Abstandes zwischen der zweidimensionalen Verteilung 122 von Projektionsoptiken 125 (Linsenarray) und der Feldlinse 130 betrachtet. Das Display bzw. der Bildgeber 110 befindet sich dabei beispielsweise in der Brennebene der aus den Einzel-

lenslets (bzw. den einzelnen Projektionsoptiken 125) des Arrays mit der Brennweite f und der Feldlinse 130 mit Brennweite F bestehenden Systems. Ferner befindet sich das Auge 105 des Beobachters beispielsweise in der Brennebene der Feldlinse 130 im Abstand F .

- 5 Den von einem Lenslet des Arrays übertragenen Teil des Gesichtsfelds FOV_{local} erhält man in paraxialer Näherung für die Projektion eines virtuellen Bildes im Unendlichen aus dem Quotient der Ausdehnung des Teilbildes d und der resultierenden Gesamtbrennweite $F_{res} = f * F/(f+F)$. Setzt man weiter den linearen Füllfaktor der Teilbilder auf dem Imager (Bildgeber) mit $\eta=d/a$, wobei a die in Fig. 6a gezeigte Ausdehnung des Lenslets ist, und die
10 Blendenzahl eines Lenslets $f/\# = f/a$ ein, erhält man

$$FOV_{local} = \frac{d}{F_{res}} = d \frac{F+f}{Ff} = \eta \frac{F+f}{Ff/\#} \quad (3)$$

Die Feldlinse erzeugt eine globale Komponente des Gesichtsfeldes

15

$$FOV_{global} = \frac{D-a}{F} \quad (4)$$

wobei D eine gesamte Ausdehnung der mehreren Teilbilder 215 von Fig. 6a ist.

- 20 Das resultierende Gesichtsfeld erhält man aus der Summation beider Komponenten

$$FOV = FOV_{global} + FOV_{local} = \frac{Df/\# - f + \eta(F+f)}{Ff/\#} \quad (5)$$

- 25 Um einen möglichst homogenen Anschluss zwischen benachbarten projizierten Teilbildern (bzw. zwischen den Projektionen 135 der Teilbilder in der Bildebene 140) zu erreichen, ist eine teilweise Überlappung der jeweils projizierten Gesichtswinkel (bzw. der Projektionen 135 der Teilbilder) vorteilhaft. Die lineare Überlappung der Projektionen 135 der Teilbilder in der Bildebene 140 berechnet sich zu

30

$$\sigma = \frac{FOV_{local} - \Delta FOV}{FOV_{local}} = \frac{FOV_{local} - a/F}{FOV_{local}} = 1 - \frac{f}{\eta(F+f)} \quad (6)$$

Einem präzisen Anschluss benachbarter Teilbilder entspricht $\sigma = 0$ (d.h. keine Überlappung), während das entgegengesetzte Extrem einer vollständigen Überlappung, die den

Fall einer vielfachen Projektion bzw. die Mehrkanalprojektion identischer Teilbilder beschreibt, $\sigma = 1$ entspricht.

Schätzt man die Zahl der mit diesem Optikschem in einer Dimension darstellbaren Pixelzahlen, so ergeben sich die folgenden Zusammenhänge. Die Pixelzahl eines Kanals berechnet sich aus dem Pixelpitch (bzw. dem Mittenabstand der Pixel) des Imagers p und der Teilbildgröße d zu

$$n = \frac{d}{p} = \eta \frac{a}{p} = \eta \frac{f}{p f / \#} \quad (7)$$

10

Die Gesamtzahl der in einer Dimension dargestellten Pixel erhält man daraus zu

$$N = n \frac{FOV}{FOV_{local}} = \frac{f}{p f / \#} \frac{D f / \# - f + \eta(F + f)}{F + f} \quad (8)$$

Die Auswertung der obigen Gleichung zeigt, dass gegenüber der Pixelanzahl des Imagers D/p nur eine deutlich geringere Pixelzahl tatsächlich darstellbar ist. Es wurde deshalb ein Kompromiss zwischen der Forderung nach einer hohen Pixelzahl und der oben beschriebenen Forderung nach möglichst großer Überlappung benachbarter projizierter Teilbilder zur Erreichung eines guten Bildanschlusses gefunden. Überlappungen von $\sigma = 1/2 \dots 3/4$ ermöglichen einen guten Kompromiss zwischen beiden Forderungen. Fig. 2b zeigt die Anordnung der Teilbilder 215 auf dem Bildgeber 110 bzw. Mikroimager für den beispielhaften Spezialfall $\sigma = 0,5$ und einen beispielhaften Flächenfüllfaktor der Teilbilder 215 von $\eta = 50 \%$.

Für achsennahe Teile des FOV entspricht die eye-motion-box des Projektors der Höhe, die ein Strahl mit einem Einfallswinkel gleich dem lokalen FOV eines Arrayelements auf der Feldlinse haben muss, um durch diese zu einem achsenparallelen Strahl gebrochen zu werden.

$$EMB = F FOV_{local} = \eta \frac{F + f}{f / \#} = \frac{a}{1 - \sigma} \quad (9)$$

Diese Gleichung gilt allerdings nur solange die eye-motion-box nicht die Gesamtausdehnung D der Teilbilder 215 überschreitet. Ist das bei großer Überlappung der lokalen FOV_{local} σ nicht mehr gegeben, entspricht die Größe der EMB dann D . In jedem Fall ist die EMB größer als die Apertur eines einzelnen Lenslets.

35

Für achsenferne Teile des FOV kann sich die Größe der eye-motion-box verringern, da weniger Lenslets an der Abbildung beteiligt sein können. Die Duktion des Augapfels beim Fixieren dieser achsenfernen Teile des FOV bewirkt eine Dezentrierung der Iris. Befindet sich der Brennpunkt der Feldlinse hinter der Iris (z.B. im Drehpunkt des Auges), entspricht die Orientierung dieser Dezentrierung der Lage der Strahlenbündel, die von den Lenslets
5 ausgehen, die genau diese Teile des FOV projizieren. Dieser Umstand gleicht die Verringerung der Größe der EMB für achsenferne Teile des FOV zumindest teilweise aus.

Bei Ausführungsbeispielen kann die beschriebene Anordnung vorteilhaft mit einem LED-hinterleuchteten, transmittiven LCD-Mikroimager oder einem selbstleuchtenden OLED-Mikrodisplay oder alternativ mit einem reflektiven LCoS- oder einem DLP- („Digital Light Processing“) Kippspiegelarray realisiert werden.
10

Bei Ausführungsbeispielen können ein plankonvexes oder bikonvexes Linsenarray 122 mit typischen Linsen-Pitches (Mittenabständen der Projektionsoptiken) im Bereich von einem
15 Millimeter und eine plankonvexe oder bikonvexe Feldlinse 130 als Abbildungsoptik dienen bzw. von der Projektionsoptikanordnung 120 umfasst sein. Die Brennweite F der Feldlinse 130 kann dabei zweckmäßig im Bereich von 20 ... 40 mm gewählt werden, um einen hinreichenden Abstand zum Auge des Betrachters (Eye Clearance, EC) zu erzielen. Der
20 Abstand der Optik zum Auge kann beispielsweise so gewählt werden, dass die Fokalebene der Feldlinse 130, in der sich Teilbündel der einzelnen Lenslets (bzw. die Strahlengänge durch die Projektionsoptiken 125) treffen, im Bereich zwischen der Hornhaut und dem Drehpunkt des Augapfels des Benutzers liegt.

25 Um eine verbesserte Abberationskorrektur des Linsenarrays 122 zu erreichen, ist der Ersatz des einfachen plan- oder bikonvexen Linsenarrays 122 durch mehrere, gestapelte Linsenarrays sinnvoll, wie es im Vorhergehenden beschrieben wurde.

30 Ferner kann bei Ausführungsbeispielen eine platzsparende Realisierung der Optik bzw. eine verkürzte Baulänge des Projektionsdisplays 100 durch den Einsatz einer Fresnellinse als Feldlinse 130 ermöglicht werden.

Um einen möglichst guten Anschluss der einzelnen projizierten Teilbilder in der Bildebene zu erreichen, kann die teilweise Überlappung der Gesichtsfelder bzw. der Projektionen benachbarter Teilbilder realisiert werden, wie es anhand des in Fig. 1a und 1b gezeigten
35 Ausführungsbeispiels erläutert wurde. Damit eine Einschränkung der mit dem Projektionsdisplay 100 darstellbaren Pixelzahl und außerdem eine Verringerung der Bildhelligkeit am Rand des in der Bildebene liegenden Gesamtbildes 150 vermieden wird, können mögliche

Artefakte der Übergänge zwischen den Projektionen der Teilbilder im projizierten virtuellen Gesamtbild 150 durch den kontinuierlichen Abfall der Bildhelligkeit am Rand eines jeden Teilbildes auf dem Bildgeber 110 gemildert werden. Dies wurde bereits anhand des in Fig. 3 gezeigten Ausführungsbeispiels verdeutlicht.

5

In Bezug auf das Ausführungsbeispiel von Fig. 5a kann die Lage der virtuellen Bildebene, in der sich die einzelnen projizierten Teilbilder überlagern, durch die Vergrößerung oder Verkleinerung der Abstände zwischen den Zentren 201 der Teilbilder 215 auf dem Mikrodisplay bzw. dem Bildgeber 110 beeinflusst werden. Somit ist eine rein softwaretechnische
10 Anpassung an eine mögliche Fehlsichtigkeit des Beobachters ohne mechanisch bewegte Teile möglich. Beispielsweise kann durch eine Vergrößerung der Abstände der Bildzentren zueinander dabei der Abstand der virtuellen Bildebene vom Betrachter bzw. die Projektionsdistanz vergrößert werden.

- 15 Eine Dezentrierung des Auges des Beobachters bezüglich der optischen Achse 101 des Projektionsdisplays 100 kann zur Wahrnehmung von Geisterbildern durch die Betrachtung von Teilbildern des Bildgebers nicht durch die zugeordneten, sondern durch benachbarte Lenslets bzw. Projektionsoptiken führen (Crosstalk, optisches Übersprechen). Beispielsweise wird es durch eine Bildvorverarbeitungssoftware gesteuerte, gleichmäßige seitliche
20 Verschiebung oder Höhenverschiebung aller Teilbilder auf dem Bildgeber ermöglicht, die Kompensation einer solchen Dezentrierung in bestimmten Grenzen zu erreichen (vgl. Ausführungsbeispiel von Fig. 5b). Ergänzt man das Projektionsdisplay mit einem Sensor zum Eye-tracking (Augapfelverfolgung), so kann aus der mit dem Sensor gewonnenen Lageinformation des Augapfels ein Sollsignal für die Bildvorverarbeitungssoftware zur Dezentrierung der Teilbilder abgeleitet werden.
25

Bei Ausführungsbeispielen kann eine Vollfarbdarstellung vorzugsweise durch ein zeitsequenzielles Durchschalten der Teilbilder in den Grundfarben RGB erreicht werden. Alternativ können auch RGB-Pixeltripel verwendet werden, die allerdings die für eine gegebene
30 Pixelgröße darstellbare Pixelzahl verringern. Farbquerfehler im virtuellen Bild sind beispielsweise durch eine geeignete Bildvorverarbeitung zur farbabhängigen Vorverzerrung der Grundfarbbilder vorkompensierbar.

- Bei Ausführungsbeispielen kann die Vollfarbdarstellung dadurch ermöglicht werden, dass
35 eine farbsequenzielle Darstellung durch Schalten der Farbe der Beleuchtung und entsprechende synchrone Änderung der Bildinhalte für die jeweilige Grundfarbe verwendet wird.

Bei Ausführungsbeispielen können Farbquerfehler der Abbildungsoptik bzw. der Projektionsoptikanordnung durch eine geeignete Anpassung der Bildinhalte mit dem Bildgeber kompensiert werden.

- 5 Analog ist auch die Kompensation von Verzeichnungsfehlern, die von den Lenslets des Arrays als auch durch die Wirkung der Feldlinse hervorgerufen werden, durch eine Vorverzerrung der Teilbildinhalte möglich.

- 10 Zusammenfassend schaffen Ausführungsbeispiele ein Projektionsdisplay mit einem Mikrodisplay, einer regelmäßigen zweidimensionalen Anordnung (Array) von Projektionsoptiken, die jeweils einen zugeordneten Teilbereich des Bildgebers abbilden und einer Feldlinse zur Überlagerung der Strahlengänge in der Ebene des Betrachters, wobei die Bildinhalte der Teilbereiche des Bildgebers mit dem Abstand des jeweiligen Lenslets zur Arrayachse zunehmend dezentrierte Teile des Gesamtbildes darstellen. Als Projektionsoptikarray kann beispielsweise ein plankonvexes oder bikonvexes Linsenarray benutzt werden. Ferner können als Projektionsoptikarray mehrere gestapelte Linsenarrays zur Erzielung einer besseren Abberationskorrektur eingesetzt werden.

- 20 Bei Ausführungsbeispielen können die Inhalte benachbarter Teilbilder auf dem Bildgeber nach der Mehrkanalprojektion in der Bildebene teilweise überlappen.

- Bei Ausführungsbeispielen kann ein zweiäugiges System mit unterschiedlichen Bildinhalten links und rechts zur stereoskopischen Darstellung dreidimensionaler Szenen genutzt werden.
- 25

- Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung schaffen ein Verfahren zum Projizieren eines Gesamtbilds 150. Das Verfahren weist beispielsweise die folgenden Schritte auf. Teilbilder werden mit einem Bildgeber 110 in einer zweidimensionalen Verteilung von Teilbereichen 115 des Bildgebers 110 dargestellt. Ferner werden Projektionen 135 der Teilbilder durch eine Projektionsoptikanordnung 120 mit einer zweidimensionalen Verteilung 122 von Projektionsoptiken 125 in einer Bildebene 140 zu einem Gesamtbild 150 derart überlagert, dass paarweise eine gegenseitige flächenmäßige Überlappung 139 der Projektionen 135 der Teilbilder in der Bildebene 140 resultiert, die für alle Paare 137 zwischen 0,1 und 0,8 liegt. Hierbei ist das Projektionsdisplay 100 so ausgelegt, dass das Gesamtbild 150 ein virtuelles Gesamtbild ist.
- 30
- 35

Die oben beschriebenen Ausführungsbeispiele stellen lediglich eine Veranschaulichung der Prinzipien der vorliegenden Erfindung dar. Es versteht sich, dass Modifikationen und Va-

5 riationen der hierin beschriebenen Anordnungen und Einzelheiten anderen Fachleuten einleuchten werden. Deshalb ist beabsichtigt, dass die Erfindung lediglich durch den Schutzbereich der nachfolgenden Patentansprüche und nicht durch die spezifischen Einzelheiten, die anhand der Beschreibung und der Erläuterung der Ausführungsbeispiele hierin präsentiert wurden, beschränkt sei.

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung schaffen ein optisches Konzept zur Projektion virtueller Bilder mit einem Projektionsdisplay, das einen Bildgeber bzw. ein Mikrodisplay und eine in Augennähe positionierte, miniaturisierte Optik bzw. Projektionsoptikanordnung umfasst. Die Projektionsoptikanordnung umfasst beispielsweise eine
10 zweidimensionale Verteilung von Projektionsoptiken (Linsenarray) und eine Feldlinse, wobei die Projektionsoptiken bzw. Lenslets des Arrays jeweils Teilbereiche des gesamten FOV abbilden. Das erfindungsgemäße Optikschemata hat den Vorteil, dass mit diesem die Einschränkung der mit einem bekannten Arrayprojektor gemäß dem Stand der Technik darstellbaren Pixelzahl überwunden werden kann. Gleichzeitig wird mit dem erfindungsgemäßen Optikschemata der Vorzug einer geringen Baulänge weiter aufrechterhalten.
15

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung schaffen eine einfache Optik. Die erfindungsgemäße Optik ist dadurch ausgezeichnet, dass ein sehr kurzes Head-Mounted Display (HMD), eine elektrische Einstellung des Bildabstandes und eine elektrische Kompensation der Dezentrierung realisiert werden kann.
20

Die vorliegende Erfindung weist die folgenden Vorteile auf. Es wird eine Überlappung des Field of View (FOV) und somit ein besseres Verhältnis (Trade-off) zwischen Pixelzahl und Eye Motion Box (EMB) erreicht. Ferner sind Artefakte des Arrays nicht mehr sichtbar („Schlüssellochprinzip bzw. -effekt“ wie bei der Verwendung eines Teleskops) bzw., es sind nur noch schwache Artefakte der FOV-Segmentierung vorhanden.
25

Ausführungsbeispiele der vorliegenden Erfindung ermöglichen somit eine elektrische Fokussierung, eine elektrische Kompensation der Dezentrierung sowie eine elektrische Kompensation von Farbquerfehlern.
30

Das erfindungsgemäße Projektionsdisplay dient beispielsweise zur Darstellung bewegter und statischer virtueller Bilder mit einer in Augennähe positionierten, miniaturisierten Optik, wie sie für Head-Mounted Displays (z.B. Datensichtbrillen) benötigt wird.
35

Patentansprüche

1. Projektionsdisplay (100), mit folgenden Merkmalen:
 - 5 einem Bildgeber (110) zum Darstellen von Teilbildern in einer zweidimensionalen Verteilung von Teilbereichen (115) des Bildgebers (110);
 - 10 einer Projektionsoptikanordnung (120) mit einer zweidimensionalen Verteilung (122) von Projektionsoptiken (125), die konfiguriert ist, um Projektionen (135) der Teilbilder in einer Bildebene (140) zu einem Gesamtbild (150) so zu überlagern, dass paarweise eine gegenseitige flächenmäßige Überlappung (139) der Projektionen (135) der Teilbilder in der Bildebene (140) resultiert, die für alle Paare (137) zwischen 0,1 und 0,8 liegt;
 - 15 wobei das Projektionsdisplay (100) so ausgelegt ist, dass das Gesamtbild (150) ein virtuelles Gesamtbild ist.
2. Das Projektionsdisplay (100) nach Anspruch 1, wobei die Projektionsoptikanordnung (120) ausgelegt ist, um die Projektionen (135) der Teilbilder in der Bildebene (140) zu dem Gesamtbild (150) so zu überlagern, dass eine zentrale Tendenz einer Verteilung der gegenseitigen flächenmäßigen Überlappung (139) der Projektionen der Paare (137) zwischen 0,2 und 0,8 liegt.
- 25 3. Das Projektionsdisplay (100) nach Anspruch 1 oder 2, wobei Projektionen (135), die sich in der Bildebene (140) überlappen, auch in den Projektionsoptiken (125) zueinander benachbart sind.
4. Das Projektionsdisplay (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 3, wobei die Projektionsoptiken (125) jeweils einem Teilbereich (115) des Bildgebers (110) zugeordnet sind, wobei ein Mittenabstand (127) der Projektionsoptiken (125) gleich einem Mittenabstand (117) der den Projektionsoptiken (125) zugeordneten Teilbereichen (115) des Bildgebers (110) ist.
- 30 5. Das Projektionsdisplay (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 4, wobei die Projektionsoptikanordnung (120) ferner eine Feldlinse (130) aufweist, die in Projektionsrichtung (111) der zweidimensionalen Verteilung (122) der Projektionsoptiken (125) nachgeschaltet ist, um die Projektionen (135) der Teilbilder in eine Pupille

(103) eines Benutzers des Projektionsdisplays (100) zu lenken, so dass die Bildebene (140) eine virtuelle Bildebene ist, zwischen der und der Feldlinse (130) der Bildgeber (110) und die zweidimensionale Verteilung (122) der Projektionsoptiken (125) angeordnet sind.

5

6. Das Projektionsdisplay (100) nach Anspruch 5, wobei die Feldlinse (130) eine Fresnellinse ist.

10

7. Das Projektionsdisplay (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, wobei die Projektionsoptiken (125) jeweils Teilbereichen (115) des Bildgebers (110) zugeordnet sind, wobei der Bildgeber (110) ausgelegt ist, um mit einem größer werdenden Abstand von einer optischen Achse (101) der Projektionsoptikanordnung (120) in den den Projektionsoptiken (125) zugeordneten Teilbereichen (115) des Bildgebers (110) Teilbilder (215) darzustellen, die zunehmend dezentrierte Teile eines anzuzeigenden Gesamtbildes sind, das dem Bildgeber (110) vorgegeben wird, wobei die optische Achse (101) im Wesentlichen durch ein Zentrum der zweidimensionalen Verteilung von Teilbereichen (115) des Bildgebers (110) verläuft.

15

8. Das Projektionsdisplay (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 7, wobei die zweidimensionale Verteilung (122) der Projektionsoptiken (125) eine Mehrzahl von plankonvexen oder bikonvexen Projektionslinsen aufweist.

20

9. Das Projektionsdisplay (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, wobei die Projektionsoptikanordnung (120) eine Mehrzahl von zweidimensionalen Verteilungen von Projektionsoptiken aufweist, die in Projektionsrichtung (111) übereinander gestapelt sind, wobei die Mehrzahl der zweidimensionalen Verteilungen der Projektionsoptiken ausgelegt ist, um eine Aberration der Projektionsoptikanordnung (120) zu korrigieren.

25

10. Das Projektionsdisplay (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 9, wobei der Bildgeber (110) ausgelegt ist, um jedes der Teilbilder (215) mit einer Bildhelligkeit darzustellen, die kontinuierlich zum Rand (218) des Teilbildes (215) hin abfällt, so dass Artefakte in einem Überlappungsbereich (139) der Projektionen (135) in der Bildebene (140) unterdrückt oder vermieden werden.

30

35

11. Das Projektionsdisplay (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, wobei die zweidimensionale Verteilung (122) der Projektionsoptiken (125) eine Mehrzahl von Linsensegmenten (425) aufweist, die bezüglich ihrer Apertur unterschiedlich de-

zentriert sind, wobei die Mehrzahl der Linsensegmente (425) ausgelegt ist, um die Projektionen der Teilbilder in eine Pupille (103) eines Benutzers des Projektionsdisplays (100) zu lenken.

5 12. Das Projektionsdisplay (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, wobei der Bildgeber (110) ausgelegt ist, um Abstände zwischen Zentren (201) der Teilbilder (215) zu vergrößern oder zu verkleinern, um eine Projektionsdistanz einzustellen.

10 13. Das Projektionsdisplay (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 12, wobei der Bildgeber (110) ausgelegt ist, um alle Teilbilder (215) gleichmäßig in Richtung (212) einer lateralen Ausdehnung der zweidimensionalen Verteilung der Teilbereiche (115) des Bildgebers (110) zu verschieben, wobei die gleichmäßige Verschiebung der Teilbilder (215) abhängig von einer gemessenen Lage eines Augapfels eines Benutzers bezüglich einer optischen Achse (101) der Projektionsoptikanordnung (120) einstellbar ist.

14. Das Projektionsdisplay (100) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, wobei der Bildgeber (110) ein transmittiver oder ein reflektiver Bildgeber ist.

20 15. Verfahren zum Projizieren eines Gesamtbilds (150) mit einem Projektionsdisplay (100), mit folgenden Schritten:

Darstellen von Teilbildern mit einem Bildgeber (110) in einer zweidimensionalen Verteilung von Teilbereichen (115) des Bildgebers (110);

25

Überlagern von Projektionen (135) der Teilbilder durch eine Projektionsoptikanordnung (120) mit einer zweidimensionalen Verteilung (122) von Projektionsoptiken (125) in einer Bildebene (140) zu einem Gesamtbild (150) derart, dass paarweise eine gegenseitige flächenmäßige Überlappung (139) der Projektionen (135) der Teilbilder in der Bildebene (140) resultiert, die für alle Paare (137) zwischen 0,1 und 0,8 liegt;

30

wobei das Projektionsdisplay (100) so ausgelegt ist, dass das Gesamtbild (150) ein virtuelles Gesamtbild ist.

35