

(19)



(11)

**EP 2 487 449 A2**

(12)

## EUROPÄISCHE PATENTANMELDUNG

(43) Veröffentlichungstag:  
**15.08.2012 Patentblatt 2012/33**

(51) Int Cl.:  
**F41G 1/38 (2006.01)**

(21) Anmeldenummer: **12154951.3**

(22) Anmeldetag: **10.02.2012**

(84) Benannte Vertragsstaaten:  
**AL AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR HR HU IE IS IT LI LT LU LV MC MK MT NL NO PL PT RO RS SE SI SK SM TR**  
Benannte Erstreckungsstaaten:  
**BA ME**

(72) Erfinder: **Hesse, Helke Karen**  
**35934 Gießen (DE)**

(74) Vertreter: **Buchhold, Jürgen**  
**Olbricht Buchhold Keulertz**  
**Partnerschaft**  
**Bettinastrasse 53-55**  
**60325 Frankfurt/Main (DE)**

(30) Priorität: **11.02.2011 DE 102011000685**

(71) Anmelder: **Schmidt & Bender GmbH & Co. KG**  
**35444 Biebertal (DE)**

### (54) Zielfernrohr mit Korrekturfeldlinse

(57) Bei einem Zielfernrohr (1) mit einem zwischen einem Objektiv (10) und einem Okular (20) angeordneten Umkehrsystem (30), das eine objektivseitige Feldlinse (50) und okularseitig wenigstens zwei relativ zueinander verschiebbare optische Elemente (31,32) aufweist, mit einer zwischen dem Objektiv (10) und der Feldlinse (50) liegenden und zur Feldlinse (50) beabstandeten objektivseitigen Bildebene (BE1) sowie einer zwischen dem Okular (20) und dem Umkehrsystem (30) liegenden okularseitigen Bildebene (BE2), wobei durch das Verschieben der optischen Elemente (31,32) ein von dem Objektiv (10) in der objektivseitigen Bildebene (BE1) entworfenes Zwischenbild mit einer veränderbaren Vergrößerung aufgerichtet in der okularseitigen Bildebene (BE2) abgebildet ist, und mit einer wenigstens vierfachen maximalen Vergrößerung, sieht die Erfindung vor, dass zwischen der objektivseitigen Bildebene (BE1) und der Feldlinse (50) eine Korrekturfeldlinse (40) angeordnet ist.

larseitigen Bildebene (BE2), wobei durch das Verschieben der optischen Elemente (31,32) ein von dem Objektiv (10) in der objektivseitigen Bildebene (BE1) entworfenes Zwischenbild mit einer veränderbaren Vergrößerung aufgerichtet in der okularseitigen Bildebene (BE2) abgebildet ist, und mit einer wenigstens vierfachen maximalen Vergrößerung, sieht die Erfindung vor, dass zwischen der objektivseitigen Bildebene (BE1) und der Feldlinse (50) eine Korrekturfeldlinse (40) angeordnet ist.

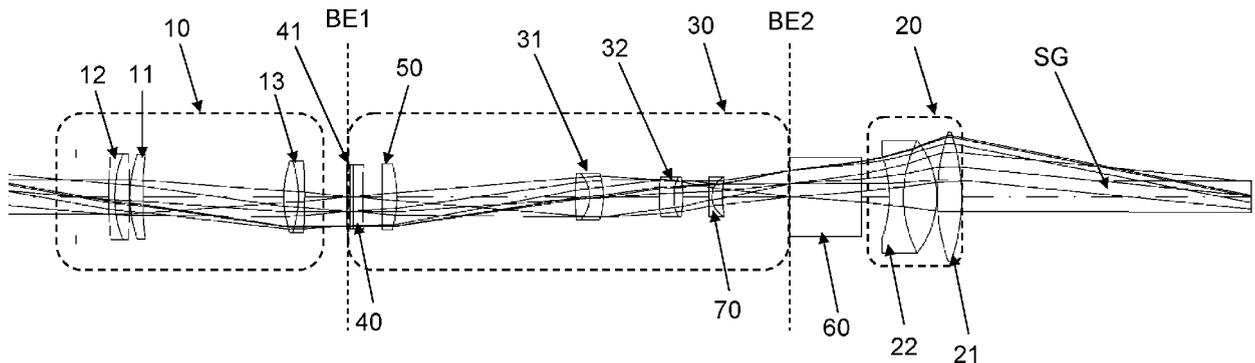


Fig. 1

**EP 2 487 449 A2**

## Beschreibung

**[0001]** Die Erfindung betrifft ein Zielfernrohr gemäß dem Oberbegriff von Anspruch 1.

**[0002]** Zielfernrohre werden bei der Jagd und beim Militär dafür eingesetzt mittels Waffen Ziele in großen Distanzen anzuvisieren. Hierfür verfügen sie über eine Linsenordnung innerhalb eines Gehäuses, die ein Zielobjekt vergrößert. Insbesondere weist die Linsenordnung wenigstens ein Objektiv und ein Okular auf. Das Objektiv ist ein sammelndes optisches System zur reellen optischen Abbildung des Zielobjektes und das Okular ein Linsensystem, durch das mit einem Auge in die Linsenordnung geblickt wird.

**[0003]** Ein von dem Objektiv in einer objektivseitigen Bildebene entworfenes Zwischenbild wird in einer okularseitigen Bildebene vergrößert abgebildet. Durch die Vergrößerung ist jedoch der Blickwinkel sehr eingeschränkt und Objekte in kürzerer Distanz können schlecht anvisiert oder betrachtet werden. Um auch diese Objekte effektiv ins Visier nehmen zu können, sieht der Stand der Technik eine variable Vergrößerung, den so genannten Zoom, vor. Zudem wird das anvisierte Objekt in der objektivseitigen Bildebene seitenverkehrt und auf dem Kopf stehend abgebildet und muss deshalb korrigiert werden.

**[0004]** Zur Ansichtskorrektur und Vergrößerung des Bildes kommt deshalb ein Umkehrsystem innerhalb des Zielfernrohres zum Einsatz. Dieses ermöglicht eine axiale unabhängige bzw. definierte Verschiebung von zwei optischen Elementen. Zu den optischen Elementen zählen dabei unter anderem Linsen, Kittlinsen und Absehen. Hierdurch wird ein in der objektivseitigen Bildebene erzeugtes Zwischenbild aufgerichtet und in der okularseitigen Bildebene, wo es betrachtet wird, vergrößert abgebildet.

**[0005]** Bei einer solchen Linsenordnung kommt es jedoch zu Bildfehlern. Jede einzelne Linse erzeugt bei der optischen Abbildung des Objektes in ein virtuelles oder reales Zwischenbild verschiedene Aberrationen, unter anderem Sphärische Aberration, Defokus, Koma, Bildfeldwölbung, Verzeichnung, Farblängs- und Farbquerfehler in verschiedenen Ordnungen.

**[0006]** Zur Korrektur dieser Bildfehler in der ersten Bildebene werden in dem Objektiv eines Zielfernrohres die Linsen so kombiniert und angeordnet, dass die Fehler über den Strahlverlauf vom Objekt zum Bild sich gegenseitig möglichst gut kompensieren. So werden beispielsweise Kittglieder aus Flint- und Kronglas eingesetzt um die Farbfehler zu korrigieren.

**[0007]** Trotz Einsatz von optischen Mitteln verbleibt in der ersten Bildebene stets eine gewisse Menge an Bildfehlern, die insbesondere bei hochzoomigen Ferngläsern oder Zielfernrohren, insbesondere bei einer mehr als vierfachen Vergrößerung, in der okularseitigen Bildebene bei einer hohen Vergrößerung verstärkt sichtbar sind. Dabei werden Querfehler mit der Vergrößerung linear und Längsfehler mit der Vergrößerung quadratisch verstärkt.

**[0008]** Deshalb sieht der Stand der Technik vor, die Bildfehler durch geschickte Auslegung des Linsensystems so zu reduzieren, dass eine gleichbleibend gute Bildqualität über den gesamten Vergrößerungsbereich gewährleistet ist.

**[0009]** Bei herkömmlichen hochzoomigen Systemen kommt es hier zu einem Konflikt mit der Korrektur der vergrößerten Bildfehler auf den hohen Vergrößerungen und der Korrektur der Bildfehler auf den kleinen Vergrößerungen auf dem gesamten Sehfeld. Wird das Linsensystem so ausgelegt, dass die Bildfehler bei hoher Vergrößerungen bei der Abbildung von der ersten in die okularseitige Bildebene möglichst gut kompensiert werden, kommt es zu deutlich sichtbaren Restfehlern, insbesondere Koma und Sphärische Aberration, bei geringer Vergrößerung.

**[0010]** Diese Bildfehler wirken sich für den Anwender störend auf den optischen Eindruck hinsichtlich Brillanz, Ruhe und Schärfe des Bildes aus, und vermitteln einen Eindruck minderwertiger Qualität.

**[0011]** Ein hochzoomiges Zielfernrohr ist beispielsweise in EP 1 746 451 B1 beschrieben. Diese beschreibt ein Zielfernrohr, mit einem Mittelrohr, das zwischen einem Objektiv und einem Okular angeordnet ist. Das Mittelrohr enthält ein Umkehrsystem, in das eine verstellbare Vergrößerungsoptik integriert ist. Diese besteht aus zwei relativ zueinander verschiebbaren optischen Elementen. Das Umkehrsystem ist dabei zwischen einer objektivseitigen Bildebene und einer okularseitigen Bildebene angeordnet. Durch das Verschieben der optischen Elemente wird ein von dem Objektiv in der objektivseitigen Bildebene entworfenes Zwischenbild mit einem veränderbaren Abbildungsmaßstab in der okularseitigen Bildebene vergrößert und aufgerichtet abgebildet. Die maximale Vergrößerung ist dabei wenigstens vierfach.

**[0012]** Weiterhin ist eine optische Strahlumlenkrichtung in das Umkehrsystem integriert. Diese besteht aus einer zusätzlichen Linsenordnung, die auf der dem Okular zugewandten Seite des Umkehrsystems angeordnet ist und eine negative Brechkraft zwischen -20 dpt (Dioptrien) und -40 dpt aufweist. Diese weitet den Vergrößerungsbereich auf. Hierdurch wird bei allen Vergrößerungen, ein subjektives Sehfeld des Zielfernrohres von mindestens 22°, zumindest für Licht mit einer Wellenlänge von etwa 550 nm gewährleistet.

**[0013]** Zusätzlich weist das Umkehrsystem objektivseitig beabstandet zur objektivseitigen Bildebene eine Feldlinse auf, mittels derer ein vom Objektiv kommendes Strahlenbündel eines am Sehfeldrand liegenden Objektpunktes durch den engen Kanal des Umkehrsystems leitbar ist.

**[0014]** Diese Feldlinse hat außerdem die Aufgabe, den Vergrößerungsbereich des Zielfernrohres zu verschieben und wird nicht in erster Linie zur Bildfehlerkorrektur eingesetzt.

**[0015]** Um die Bildfehler hochzoomiger Zielfernrohre auch bei kleiner Vergrößerung zu reduzieren, haben weiterent-

wickelte bekannte Zielfernrohre ein bewegbares drittes optisches Element im Umkehrsystem (zum Beispiel US 7 684 114 B2) oder setzen asphärische Linsen in diesem ein. Ein drittes bewegbares optisches Element erhöht jedoch die Anforderungen an eine präzise Führung, was zu einer hohen Komplexität sowie hohen Kosten führt. Ebenso verursacht die Herstellung asphärischer Linsen hohe Kosten.

5 **[0016]** Aufgabe der Erfindung ist deshalb, die Bildfehler über den gesamten Vergrößerungsbereich zu reduzieren, insbesondere im Randbereich und auch bei kleinen Vergrößerungen, wobei die Lösung eine geringe mechanische Komplexität und geringe Kosten verursachen soll. Dabei soll das Zielfernrohr einfach und komfortabel handhabbar bleiben und eine hohe Lebensdauer aufweisen.

10 **[0017]** Hauptmerkmale der Erfindung sind im kennzeichnenden Teil von Anspruch 1 angegeben. Ausgestaltungen sind Gegenstand der Ansprüche 2 bis 10.

15 **[0018]** Bei einem Zielfernrohr mit einem zwischen einem Objektiv und einem Okular angeordneten Umkehrsystem, das eine objektivseitige Feldlinse und okularseitig wenigstens zwei relativ zueinander verschiebbare optische Elemente aufweist, mit einer zwischen dem Objektiv und der Feldlinse liegenden und zur Feldlinse beabstandeten objektivseitigen Bildebene sowie einer zwischen dem Okular und dem Umkehrsystem liegenden okularseitigen Bildebene, wobei durch das Verschieben der optischen Elemente ein von dem Objektiv in der objektivseitigen Bildebene entworfenes Zwischenbild mit einer veränderbaren Vergrößerung aufgerichtet in der okularseitigen Bildebene abgebildet ist, und mit einer wenigstens vierfachen maximalen Vergrößerung, sieht die Erfindung vor, dass zwischen der objektivseitigen Bildebene und der Feldlinse eine Korrekturfeldlinse angeordnet ist.

20 **[0019]** Eine solche Korrekturfeldlinse ist nicht bewegbar, wodurch sich die Komplexität des Zielfernrohrs nur geringfügig erhöht. Indem bereits vor der Feldlinse eine Korrektur des Strahlengangs erfolgt, setzen sich Bildfehler weniger stark im Umkehrsystem fort. Hierdurch erhöht sich die Bildgüte erheblich.

25 **[0020]** Durch die unbewegbare Anordnung, ist die Korrekturfeldlinse unempfindlich gegenüber Erschütterungen sowie thermische Veränderungen, die durch den Einsatz unter verschiedenen Einsatzbedingungen entstehen. Hieraus ergibt sich eine lange Lebensdauer des Zielfernrohrs. Außerdem werden die Stellkräfte für die bewegbaren optischen Elemente nicht erhöht, die eine stabilere und somit schwerere Auslegung erfordern würden. Die wenigen benötigten zusätzlichen Bauteile erhöhen das Gewicht des Zielfernrohrs nur unwesentlich. Das Zielfernrohr bleibt leicht, komfortabel und einfach handhabbar.

30 **[0021]** Die besonderen Vorteile der Korrekturlinse an der erfindungsgemäßen Position ergeben sich aus der Korrektur verschiedener Bildfehler, die auf der okularseitigen Bildebene weniger stark auftreten. Besonders vorteilhaft ist die Position zwischen der objektivseitigen Bildebene und der Feldlinse. Durch diese ändert sich die Bildfehlerkorrektur in Abhängigkeit der Position der bewegbaren optischen Elemente und somit der Vergrößerung. Es ist nunmehr möglich die Bildfehlerkorrektur über den gesamten Zoombereich so auszulegen, dass ein brillantes, scharfes und gut ausgeleuchtetes Bild auf der okularseitigen Bildebene dargestellt ist. Ein drittes bewegbares optisches Element im Umkehrsystem ist nicht erforderlich.

35 **[0022]** Mittels der Korrekturfeldlinse wird ein Strahlengang, derart beeinflusst, dass unter anderem die sphärische Aberration und die Koma auf allen Vergrößerungen, insbesondere aber auf der kleinen Vergrößerung, in der okularseitigen Bildebene verringert werden, aber auch Astigmatismus und Bildfeldwölbung werden verringert.

40 **[0023]** Die Korrekturfeldlinse dient dabei der Korrektur der bereits aus dem Objektiv kommenden aber auch des Ausgleichs der im Umkehrsystem entstehenden Aberrationen, sodass in der okularseitigen Bildebene ein möglichst gutes Bild entsteht.

**[0024]** Besonders vorteilhaft hierbei ist, dass die Korrekturfeldlinse zwischen der objektivseitigen Bildebene und der Feldlinse angeordnet ist, da hiermit die Fehler aus dem Objektiv korrigiert werden können.

**[0025]** Folgende Tabelle zeigt den Einfluss der erfindungsgemäßen Korrekturfeldlinse auf Bildfehler 3. Ordnung, gemäß einem Optikdesignprogramm nach MIL-HDBK-141 (Military Standardization Handbook: Optical Design):

45

50

55

<b>Bildfehlerstärke aus Optikdesignprogramm gemäß MIL-HDBK-141</b>						
	<b>OHNE KORREKTURFELDLINSE</b>			<b>MIT KORREKTURFELDLINSE</b>		
<b>Bildfehlertyp</b>	Kleine Vergrößerung	Mittlere Vergrößerung	Große Vergrößerung	Kleine Vergrößerung	Mittlere Vergrößerung	Große Vergrößerung
Sphärische Abberation	0.821086	0.150681	0.235905	0.448830	0.106225	0.187797
Koma	-0.199421	-0.100022	0.100028	-0.051632	-0.100011	0.100030
Tangentialer Astigmatismus	0.307891	-0.011196	0.067351	0.066316	-0.051988	0.033315
Sagittaler Astigmatismus	0.239279	0.023984	0.037844	0.136409	0.004444	0.023182
Bildfeldwölbung	0.204973	0.041574	0.023091	0.171455	0.032660	0.018116
Verzeichnung	-0.342277	-0.267520	-0.275009	-0.071922	-0.354690	-0.373345
Chromatischer Längsfehler	0.085116	0.136314	0.225582	0.080157	0.127397	0.197048
Chromatischer Querfehler	-0.009277	-0.018927	-0.020088	-0.009153	-0.022958	-0.027716

**[0026]** Anhand der oben stehenden Tabellenwerte ist erkennbar, dass mit einer erfindungsgemäßen Korrekturfeldlinse nahezu jeder Bildfehlertyp deutlich verringert auftritt.

**[0027]** In einer Ausbildung der Erfindung ist die Korrekturfeldlinse an der dem Objektiv abgewandten Seite der objektivseitigen Bildebene angeordnet.

5 **[0028]** Besonders vorteilhaft hierbei ist, dass die Linse mit einer dem Objektiv zugewandten Planseite ausgestaltet sein kann und direkt bei der objektivseitigen Bildebene angeordnet sein kann. Dies erlaubt eine Verkittung mit einer Strichplatte oder einem Absehen. Hierdurch wird die Transmission nicht wesentlich verringert, und die sonst hohe Empfindlichkeit der beiden einander zugewandten Glasflächen von Absehen und Korrekturfeldlinse gegenüber der Sichtbarkeit von Kratzern wird in der Kittfläche deutlich reduziert.

10 **[0029]** Weiterhin kann vorgesehen sein, dass die Korrekturfeldlinse sammelnd oder streuend ist. Hierfür kann diese konvex, konkav oder flach gestaltet sein. Besonders vorteilhaft ist eine sphärische und/oder plane Oberfläche, da eine solche Korrekturfeldlinse deutlich weniger kostet als asphärische Linsen.

15 **[0030]** Eine Weiterbildung sieht vor, dass an der Korrekturfeldlinse ein Absehen angeordnet ist, vorzugsweise in der objektivseitigen Bildebene. Dabei kann die Korrekturfeldlinse mit dem Absehen verkittet ist. Hierdurch sinkt die Komplexität der optischen Anordnung und der notwendigen Befestigungsmittel. Thermische Einflüsse und Erschütterungen haben keine verstärkte Auswirkung auf die optische Anordnung. Somit bleibt auch das Gewicht des Zielfernrohrs gering und es ergibt sich eine gute komfortable Handhabbarkeit. Grundsätzlich wäre es jedoch auch möglich das Absehen in der okularseitigen Bildebene anzuordnen, wie man es insbesondere auf dem amerikanischen Markt findet.

20 **[0031]** Ferner besteht die Möglichkeit, dass zwischen der okularseitigen Bildebene und dem Okular ein Strahlteiler angeordnet ist. Dieser kann dazu verwendet werden, eine weitere Zielmarke im Zielfernrohr einzuspiegeln.

25 **[0032]** Eine Variante der Erfindung sieht vor, dass das Objektiv aus einer Objektivlinse und einem zwischen der Objektivlinse und der objektivseitigen Bildebene angeordneten Objektiv-Achromat besteht. Zudem kann auch ein weiterer Objektiv-Achromat vorgesehen sein, der auf der gleichen Seite der Objektivlinse oder der gegenüberliegenden Seite von dieser angeordnet ist. Gleichsam kann vorgesehen sein, dass das Okular aus einer Okularlinse und einem zwischen der Okularlinse und der okularseitigen Bildebene angeordneten Okular-Achromat besteht. Mittels dieser Achromate ist es möglich, Farblängs- und Farbquerfehler deutlich zu reduzieren.

30 **[0033]** Als zusätzliches technisches Merkmal ist vorsehbar, dass das zweite optische Element näher am Okular angeordnet ist als das erste optische Element, und dass im Umkehrsystem zwischen dem zweiten optischen Element und der okularseitigen Bildebene eine Strahlmittenkeineinrichtung mit negativer Brechkraft angeordnet ist. Hierdurch wird der Vergrößerungsbereich aufgeweitet. Dies ist besonders bei hochzoomigen Zielfernrohren von Vorteil.

35 **[0034]** Besonders vorteilhaft ist die Korrekturfeldlinse zur Verbesserung der Bildgüte, wenn die maximale Vergrößerung des Zwischenbilds auf der okularseitigen Bildebene wenigstens fünffach, vorzugsweise jedoch wenigstens sechsfach und besonders bevorzugt wenigstens achtfach ist. Gerade bei großen Vergrößerungsbereichen wird so auch bei den niedrigen Vergrößerungen ein scharfes und brillantes Bild über den gesamten Bildbereich, insbesondere bis zum Bildrand, erreicht.

**[0035]** Weitere Merkmale, Einzelheiten und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus dem Wortlaut der Ansprüche sowie aus der folgenden Beschreibung von Ausführungsbeispielen anhand der Zeichnungen. Es zeigen:

- 40 Fig. 1 einen Querschnitt durch eine erfindungsgemäße optische Anordnung mit Strahlengang;
- Fig. 2 einen Querschnitt durch ein erfindungsgemäßes Zielfernrohr;
- Fig. 3a einen Strahlengang bei einer optischen Anordnung ohne Korrekturfeldlinse bei kleiner Vergrößerung;
- 45 Fig. 3b einen Strahlengang bei einer optischen Anordnung mit Korrekturfeldlinse bei kleiner Vergrößerung;
- Fig. 4a1 eine Queraberration in tangentialer Ebene für eine optische Anordnung ohne Korrekturfeldlinse bei kleiner Vergrößerung;
- 50 Fig. 4a2 eine Queraberration in tangentialer Ebene für eine optische Anordnung mit Korrekturfeldlinse bei kleiner Vergrößerung;
- Fig. 4b1 eine Queraberration in sagittaler Ebene für eine optische Anordnung ohne Korrekturfeldlinse bei kleiner Vergrößerung;
- 55 Fig. 4b2 eine Queraberration in sagittaler Ebene für eine optische Anordnung mit Korrekturfeldlinse bei kleiner Vergrößerung;

Fig. 5a einen Strahlengang bei einer optischen Anordnung ohne Korrekturfeldlinse bei großer Vergrößerung;

Fig. 5b einen Strahlengang bei einer optischen Anordnung mit Korrekturfeldlinse bei großer Vergrößerung;

5 Fig. 6a1 eine Queraberration in tangentialer Ebene für eine optische Anordnung ohne Korrekturfeldlinse bei großer Vergrößerung;

Fig. 6a2 eine Queraberration in tangentialer Ebene für eine optische Anordnung mit Korrekturfeldlinse bei großer Vergrößerung;

10 Fig. 6b1 eine Queraberration in sagittaler Ebene für eine optische Anordnung ohne Korrekturfeldlinse bei großer Vergrößerung; und

15 Fig. 6b2 eine Queraberration in sagittaler Ebene für eine optische Anordnung mit Korrekturfeldlinse bei großer Vergrößerung.

**[0036]** Fig. 1 zeigt einen Querschnitt durch eine erfindungsgemäße optische Anordnung eines Zielfernrohrs mit einem Strahlengang SG. Zwischen einem Objektiv 10 und einem Okular 20 ist ein Umkehrsystem 30 angeordnet. Das Umkehrsystem 30 weist eine objektivseitige Feldlinse 50 und okularseitig zwei relativ zueinander verschiebbare optische Elemente 31, 32 auf, wobei das zweite optische Element 32 näher am Okular 20 angeordnet ist als das erste optische Element 31. Zwischen dem Objektiv 10 und der Feldlinse 50 liegt eine zur Feldlinse 50 beabstandete objektivseitige Bildebene BE1. Außerdem liegt zwischen dem Okular 20 und dem Umkehrsystem 30 eine okularseitige Bildebene BE2.

**[0037]** Im Detail besteht das Objektiv 10 aus einem ersten Objektiv-Achromat 12, einer zwischen dem Objektiv-Achromat 12 und der objektivseitigen Bildebene BE1 angeordneten Objektivlinse 11 und einem zwischen der Objektivlinse 11 und der objektivseitigen Bildebene BE1 angeordneten zweiten Objektiv-Achromat 13. Das Okular 20 besteht aus einer Okularlinse 21 und einem zwischen der Okularlinse 21 und der okularseitigen Bildebene BE2 angeordneten Okular-Achromat 22.

**[0038]** Zusätzlich sind ein Strahlteiler 60 und eine Strahlumlenkeinrichtung 70 vorgesehen. Der Strahlteiler 60 ist zwischen der okularseitigen Bildebene BE2 und dem Okular 20 angeordnet. Die Strahlumlenkeinrichtung 70 hat eine negative Brechkraft und befindet sich im Umkehrsystem 30 zwischen dem zweiten optischen Element 32 und der okularseitigen Bildebene BE2.

**[0039]** Erfindungsgemäß ist weiterhin zwischen der objektivseitigen Bildebene BE1 und der Feldlinse 50 eine Korrekturfeldlinse 40 angeordnet. Diese ist mit einem Absehen 41 verkittet, das in der objektivseitigen Bildebene BE1 positioniert ist. Aufgrund der physischen Ausdehnung des Absehens 41 liegt ein Teil von diesem zwischen dem Objektiv 10 und der objektivseitigen Bildebene BE1 und ein Teil zwischen der objektivseitigen Bildebene BE1 und der Feldlinse 50. Die eigentliche Korrekturlinse 40 ist um den Teil des Absehens 41 in Richtung der Feldlinse 50 von der objektivseitigen Bildebene BE1 beabstandet, um den das Absehen 41 auf Seiten der Feldlinse 50 über die objektivseitige Bildebene BE1 hinausragt.

**[0040]** Durch das Verschieben der optischen Elemente 31, 32 ist ein von dem Objektiv 10 in der objektivseitigen Bildebene BE1 entworfenes Zwischenbild mit einer veränderbaren Vergrößerung aufgerichtet in der okularseitigen Bildebene BE2 abgebildet.

**[0041]** Wie am Verlauf des Strahlengangs SG weiterhin erkennbar, dient die Feldlinse 50 der Bündelung des Strahlengangs SG auf einen Durchmesser des ersten verschiebbaren optischen Elements 31.

**[0042]** Fig. 2 zeigt einen Querschnitt durch ein Zielfernrohr 1, in welchem die Merkmale der optischen Anordnung aus Fig. 1 integriert sind. In einem Gehäuse 101 ist zwischen einem Objektiv 10 und einem Okular 20 ein Umkehrsystem 30 innerhalb eines Tubus 102 angeordnet. Der Tubus 102 ist mittels eines Verstellrads 103 verstellbar innerhalb des Gehäuses 101 positionierbar. Hierdurch lässt sich die Lage eines Absehens einstellen, um die optische Zielerfassung und die Treffpunktlage eines Projektils angleichen zu können. Ohne eine solche Verstellmöglichkeit könnte die Treffpunktlage von der Zielerfassung aufgrund der Flugbahn des Projektils abweichen, die unter anderem durch die Erdanziehungskraft und Windkraft beeinflusst wird.

**[0043]** Das Umkehrsystem 30 weist eine objektivseitige Feldlinse 50 und okularseitig zwei relativ zueinander verschiebbare optische Elemente 31, 32 auf, wobei das zweite optische Element 32 näher am Okular 20 angeordnet ist als das erste optische Element 31. Zwischen dem Objektiv 10 und der Feldlinse 50 liegt eine zur Feldlinse 50 beabstandete objektivseitige Bildebene BE1. Außerdem liegt zwischen dem Okular 20 und dem Umkehrsystem 30 eine okularseitige Bildebene BE2.

**[0044]** Im Detail besteht das Objektiv 10 aus einer Objektivlinse 11 und zwei zwischen der Objektivlinse 11 und der objektivseitigen Bildebene BE1 angeordneten Objektiv-Achromaten 12, 13. Das Okular 20 besteht aus einer Okularlinse 21 und einem zwischen der Okularlinse 21 und der okularseitigen Bildebene BE2 angeordneten Okular-Achromat 22.

Das Okular 20 besteht aus einer Okularlinse 21 und einem zwischen der Okularlinse 21 und der okularseitigen Bildebene BE2 angeordneten Okular-Achromat 22.

**[0045]** Erfindungsgemäß ist weiterhin zwischen der objektivseitigen Bildebene BE1 und der Feldlinse 50 eine Korrekturfeldlinse 40 im Tubus 102 angeordnet. Diese ist mit einem Absehen 41 verkittet, das in der objektivseitigen Bildebene BE1 positioniert ist.

**[0046]** Zusätzlich weist das Zielfernrohr 1 einen Strahlteiler 60 und eine Strahlumlenkeinrichtung 70 auf. Der Strahlteiler 60 ist zwischen der okularseitigen Bildebene BE2 und dem Okular 20 im Gehäuse 101 fixiert. Die Strahlumlenkeinrichtung 70 hat eine negative Brechkraft und befindet sich im Umkehrsystem 30 zwischen dem zweiten optischen Element 32 und der okularseitigen Bildebene BE2. Sie ist wie der Rest des Umkehrsystems 30 im Tubus 102 angeordnet.

**[0047]** Durch das Verschieben der optischen Elemente 31, 32 ist ein von dem Objektiv 10 in der objektivseitigen Bildebene BE1 entworfenes Zwischenbild mit einer veränderbaren Vergrößerung aufgerichtet in der okularseitigen Bildebene BE2 abgebildet.

**[0048]** Fig. 3a und Fig. 3b zeigen jeweils eine optische Anordnung. Zwischen einem Objektiv, bestehend aus einer Objektivlinse 11 und zwei Objektiv-Achromaten 12, 13 und einer okularseitigen Bildebene BE2 ist ein Umkehrsystem angeordnet. Das Umkehrsystem weist eine objektivseitige Feldlinse 50 und okularseitig zwei relativ zueinander verschiebbare optische Elemente 31, 32 auf, wobei das zweite optische Element 32 näher an der okularseitigen Bildebene BE2 angeordnet ist als das erste optische Element 31. Zwischen dem Objektiv-Achromat 12 und der Feldlinse 50 liegt eine zur Feldlinse 50 beabstandete objektivseitige Bildebene BE1. In dieser Bildebene BE1 ist ein Absehen 41 angeordnet.

**[0049]** Die optische Anordnung Fig. 3b weist abweichend von Fig. 3a eine erfindungsgemäße Korrekturfeldlinse 40 zwischen der objektivseitigen Bildebene BE1 und der Feldlinse 50 auf. Insbesondere ist sie mit dem Absehen 41 verkittet.

**[0050]** Durch diese optischen Anordnungen Fig. 3a und Fig. 3b verläuft jeweils ein Strahlengang SG. Bei einem Vergleich der Strahlengänge SG fällt auf, dass die Korrekturfeldlinse 41 der Fig. 3b nur geringfügig Einfluss auf den Strahlengang SG nimmt. Die Strahlengänge ähneln sich im Gesamtverlauf relativ stark. Dennoch hat die Korrekturfeldlinse 41 erheblichen Einfluss auf Bildfehler in der objektivseitigen Bildebene BE2, insbesondere reduziert sie diese.

**[0051]** Die verschiebbaren optischen Elemente 31, 32 befinden sich in einer Position, bei der eine sehr kleine Vergrößerung bzw. ein nicht vergrößernde Einstellung vorliegt. Dies ist derart anhand der Strahlengänge SG erkennbar, dass der Abstand des obersten Strahls und des untersten Strahls des Strahlengangs SG in der objektivseitigen Bildebene BE1 ungefähr dem entspricht, der zwischen dem obersten Strahl und dem untersten Strahl des Strahlengangs SG in der okularseitigen Bildebene BE2 vorliegt.

**[0052]** In den Fig. 4a1, Fig. 4a2, Fig. 4b1 und Fig. 4b2 sind Aberrationsdiagramme von Queraberrationen an der okularseitigen Bildebene bei kleiner Vergrößerung mit und ohne Korrekturfeldlinse dargestellt. Die zugrunde liegenden optischen Anordnungen entsprechen dabei denen in Fig. 3a und Fig. 3b gezeigten.

**[0053]** Das Aberrationsdiagramm Fig. 4a1 zeigt die Queraberration in der tangentialen Ebene ohne Korrekturfeldlinse (vgl. Fig. 3a) und das Aberrationsdiagramm Fig. 4a2 die Queraberration in der tangentialen Ebene mit Korrekturfeldlinse (vgl. Fig. 3b). Auf der Abszisse eines jeden Graphen ist eine Abweichungsspanne vom Idealzustand von -0,1 mm bis + 0,1 mm gezeigt. Die Graphenlinie zeigt die Queraberration in tangentialen Ebene für die Wellenlänge 546 nm. Weiterhin sind die drei Graphen so angeordnet, dass der Abstand des Messpunktes von der optischen Achse von unten nach oben zunimmt. Insbesondere entspricht der unterste Graph jeweils der Bildfeldmitte der okularseitigen Bildebene (FIELD HIGHT = 0.00) und der oberste dem Bildfeldrand (FIELD HIGHT = 3.70).

**[0054]** Wie durch einen Vergleich des Aberrationsdiagramms Fig. 4a1 mit Aberrationsdiagramm Fig. 4a2 zu erkennen, ist die tangentiale Bildoberfläche bei jedem Abstand zur Bildfeldmitte durch die Korrekturfeldlinse beeinflusst. Insbesondere sind die einzelnen Graphen im Aberrationsdiagramm Fig. 4a2 jeweils flacher und dichter an der Horizontalen angeordnet, die einen fehlerfreien Idealzustand beschreibt, als im Aberrationsdiagramm Fig. 4a1. Dementsprechend ist die Queraberration in der tangentialen Ebene von Aberrationsdiagramm Fig. 4a2, d.h. mit Korrekturfeldlinse, deutlich geringer als bei Aberrationsdiagramm Fig. 4a1.

**[0055]** Aberrationsdiagramm Fig. 4b1 zeigt die Queraberration in der sagittalen Ebene ohne Korrekturfeldlinse (vgl. Fig. 3a) und das Aberrationsdiagramm Fig. 4b2 die Queraberration in der sagittalen Ebene mit Korrekturfeldlinse (vgl. Fig. 3b). Auf der Abszisse eines jeden Graphen ist eine Abweichungsspanne vom Idealzustand von -0,1 mm bis + 0,1 mm gezeigt. Die Graphenlinie zeigt die Queraberration in der sagittalen Ebene für die Wellenlänge 546 nm. Weiterhin sind die drei Graphen so angeordnet, dass der Abstand des Messpunktes von der optischen Achse von unten nach oben zunimmt. Insbesondere entspricht der unterste Graph jeweils der Bildfeldmitte der okularseitigen Bildebene (FIELD HIGHT = 0.00) und der oberste dem Bildfeldrand (FIELD HIGHT = 3.70).

**[0056]** Wie durch einen Vergleich des Aberrationsdiagramms Fig. 4b1 mit Aberrationsdiagramm Fig. 4b2 zu erkennen, ist die sagittale Bildoberfläche bei jedem Abstand zur Bildfeldmitte durch die Korrekturfeldlinse beeinflusst. Insbesondere sind die einzelnen Graphen im Aberrationsdiagramm Fig. 4b2 jeweils flacher und dichter an der Horizontalen angeordnet, die einen fehlerfreien Idealzustand beschreibt, als im Aberrationsdiagramm Fig. 4b1. Dementsprechend ist die Queraberration in der sagittalen Ebene von Aberrationsdiagramm Fig. 4b2, d.h. mit Korrekturfeldlinse, deutlich geringer als

bei Aberrationsdiagramm Fig. 4b1.

**[0057]** Fig. 5a und Fig. 5b beschreiben jeweils eine optische Anordnung. Zwischen einem Objektiv, bestehend aus einer Objektivlinse 11 und zwei Objektiv-Achromaten 12, 13 und einer okularseitigen Bildebene BE2 ist ein Umkehrsystem angeordnet. Das Umkehrsystem weist eine objektivseitige Feldlinse 50 und okularseitig zwei relativ zueinander verschiebbare optische Elemente 31, 32 auf, wobei das zweite optische Element 32 näher an der okularseitigen Bildebene BE2 angeordnet ist als das erste optische Element 31. Zwischen dem Objektiv-Achromat 12 und der Feldlinse 50 liegt eine zur Feldlinse 50 beabstandete objektivseitige Bildebene BE1. In dieser Bildebene BE1 ist ein Absehen 41 angeordnet.

**[0058]** Die Anordnung von Fig. 5b weist abweichend von Fig. 5a eine erfindungsgemäße Korrekturfeldlinse 40 zwischen der objektivseitigen Bildebene BE1 und der Feldlinse 50 auf. Insbesondere ist sie mit dem Absehen 41 verkittet.

**[0059]** Durch diese optischen Anordnungen der Fig. 5a und Fig. 5b verläuft jeweils ein Strahlengang SG. Bei einem Vergleich der Strahlengänge SG fällt auf, dass die Korrekturfeldlinse 41 der Fig. 5b nur geringfügig Einfluss auf den Strahlengang SG nimmt. Der Strahlengang SG ähnelt sich im Gesamtverlauf relativ stark. Dennoch hat die Korrekturfeldlinse 41 erheblichen Einfluss auf Bildfehler in der objektivseitigen Bildebene BE2, insbesondere verringert sie diese.

**[0060]** Die verschiebbaren optischen Elemente 31, 32 befinden sich in einer Position, bei der eine große Vergrößerung vorliegt. Dies ist derart anhand der Strahlengänge SG erkennbar, dass der Abstand des obersten Strahls und des untersten Strahls des Strahlengangs SG in der okularseitigen Bildebene BE2 deutlich größer ist als der zwischen dem obersten Strahl und dem untersten Strahl des Strahlengangs SG in der objektivseitigen Bildebene BE1.

**[0061]** In den Fig. 6a1, Fig. 6a2, Fig. 6b1 und Fig. 6b2 sind Aberrationsdiagramme von Queraberrationen an der okularseitigen Bildebene bei großer Vergrößerung mit und ohne Korrekturfeldlinse dargestellt. Die zugrunde liegenden optischen Anordnungen entsprechen dabei denen in Fig. 5a und Fig. 5b gezeigten.

**[0062]** Das Aberrationsdiagramm Fig. 6a1 zeigt die Queraberration in der tangentialen Ebene ohne Korrekturfeldlinse (vgl. Fig. 5a) und das Aberrationsdiagramm Fig. 6a2 die Queraberration in der tangentialen Ebene mit Korrekturfeldlinse (vgl. Fig. 5b). Auf der Abszisse eines jeden Graphen ist eine Abweichungsspanne vom Idealzustand von -0,2 mm bis + 0,2 mm gezeigt. Die Graphenlinie zeigt die Queraberration in der tangentialen Ebene für die Wellenlänge 546 nm. Weiterhin sind die drei Graphen so angeordnet, dass der Abstand des Messpunktes von der optischen Achse von unten nach oben zunimmt. Insbesondere entspricht der unterste Graph jeweils der Bildfeldmitte der okularseitigen Bildebene (FIELD HIGHT = 0.00) und der oberste dem Bildfeldrand (FIELD HIGHT = 0.411).

**[0063]** Wie durch einen Vergleich des Aberrationsdiagramms Fig. 6a1 mit Aberrationsdiagramm Fig. 6a2 zu erkennen, ist die tangentiale Bildoberfläche bei jedem Abstand zur Bildfeldmitte durch die Korrekturfeldlinse beeinflusst. Insbesondere sind die einzelnen Graphen im Aberrationsdiagramm Fig. 6a2 jeweils flacher und dichter an der Horizontalen angeordnet, die einen fehlerfreien Idealzustand beschreibt, als im Aberrationsdiagramm Fig. 6a1. Dementsprechend ist die Queraberration in der tangentialen Ebene von Aberrationsdiagramm Fig. 6a2, d.h. mit Korrekturfeldlinse, deutlich geringer als bei Aberrationsdiagramm Fig. 6a1. Die Verbesserungen sind jedoch nicht so eklatant wie bei einer kleinen Vergrößerung gemäß Fig. 4a1 und Fig. 4a2, da die optische Anordnung bereits für die mittleren bis hohen Vergrößerungen optimiert ist, und die Korrektur durch die Korrekturfeldlinse bei diesen Vergrößerungen dementsprechend geringer ausfällt.

**[0064]** Aberrationsdiagramm Fig. 6b1 zeigt die Queraberration in der sagittalen Ebene ohne Korrekturfeldlinse (vgl. Fig. 5a) und das Aberrationsdiagramm Fig. 6b2 die Queraberration in der sagittalen Ebene mit Korrekturfeldlinse (vgl. Fig. 5b). Auf der Abszisse eines jeden Graphen ist eine Abweichungsspanne vom Idealzustand von -0,2 mm bis + 0,2 mm gezeigt. Die Graphenlinie zeigt die Queraberration in der sagittalen Ebene für die Wellenlänge 546 nm. Weiterhin sind die drei Graphen so angeordnet, dass der Abstand des Messpunktes von der optischen Achse von unten nach oben zunimmt. Insbesondere entspricht der unterste Graph jeweils der Bildfeldmitte der okularseitigen Bildebene (FIELD HIGHT = 0.00) und der oberste dem Bildfeldrand (FIELD HIGHT = 0.411).

**[0065]** Wie durch einen Vergleich des Aberrationsdiagramms Fig. 6b1 mit Aberrationsdiagramm Fig. 6b2 zu erkennen, ist die sagittale Bildoberfläche bei jedem Abstand zur Bildfeldmitte durch die Korrekturfeldlinse beeinflusst. Insbesondere sind die einzelnen Graphen im Aberrationsdiagramm Fig. 6b2 jeweils flacher und dichter an der Horizontalen angeordnet, die einen fehlerfreien Idealzustand beschreibt, als im Aberrationsdiagramm Fig. 6b1. Dementsprechend ist die Queraberration in der sagittalen Ebene von Aberrationsdiagramm Fig. 6b2, d.h. mit Korrekturfeldlinse, deutlich geringer als bei Aberrationsdiagramm Fig. 6b1. Die Verbesserungen sind jedoch nicht so eklatant wie bei einer kleinen Vergrößerung gemäß Fig. 4b1 und Fig. 4b2, da die optische Anordnung bereits für die mittleren bis hohen Vergrößerungen optimiert ist, und die Korrektur durch die Korrekturfeldlinse bei diesen Vergrößerungen dementsprechend geringer ausfällt.

**[0066]** Die Erfindung ist nicht auf eine der vorbeschriebenen Ausführungsformen beschränkt, sondern in vielfältiger Weise abwandbar.

**[0067]** Sämtliche aus den Ansprüchen, der Beschreibung und der Zeichnung hervorgehenden Merkmale und Vorteile, einschließlich konstruktiver Einzelheiten, räumlicher Anordnungen und Verfahrensschritten, können sowohl für sich als auch in den verschiedensten Kombinationen erfindungswesentlich sein.

**Bezugszeichenliste**

[0068]

5	1	Zielfernrohr
	10	Objektiv
	11	Objektivlinse
10	12	erster Objektiv-Achromat
	13	zweiter Objektiv-Achromat
15	20	Okular
	21	Okularlinse
	22	Okular-Achromat
20	30	Umkehrsystem
	31	erstes optisches Element
25	32	zweites optisches Element
	40	Korrekturfeldlinse
	41	Absehen
30	50	Feldlinse
	60	Strahlteiler
35	70	Strahlumlenkeinrichtung
	101	Gehäuse
	102	Tubus
40	103	Verstellrad
	BE1	objektivseitige Bildebene
45	BE2	okularseitige Bildebene
	SG	Strahlengang

50 **Patentansprüche**

1. Zielfernrohr (1) mit einem zwischen einem Objektiv (10) und einem Okular (20) angeordneten Umkehrsystem (30), das eine objektivseitige Feldlinse (50) und okularseitig wenigstens zwei relativ zueinander verschiebbare optische Elemente (31, 32) aufweist, mit einer zwischen dem Objektiv (10) und der Feldlinse (50) liegenden und zur Feldlinse (50) beabstandeten objektivseitigen Bildebene (BE1) sowie einer zwischen dem Okular (20) und dem Umkehrsystem (30) liegenden okularseitigen Bildebene (BE2), wobei durch das Verschieben der optischen Elemente (31, 32) ein von dem Objektiv (10) in der objektivseitigen Bildebene (BE1) entworfenes Zwischenbild mit einer veränderbaren Vergrößerung aufgerichtet in der okularseitigen Bildebene (BE2) abgebildet ist, und mit einer wenigstens vierfachen

## EP 2 487 449 A2

maximalen Vergrößerung, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen der objektivseitigen Bildebene (BE1) und der Feldlinse (50) eine Korrekturfeldlinse (40) angeordnet ist.

- 5
2. Zielfernrohr (1) nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Korrekturfeldlinse (40) an der dem Objektiv (10) abgewandten Seite der objektivseitigen Bildebene (BE1) angeordnet ist.
3. Zielfernrohr (1) nach einem der Ansprüche 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Korrekturfeldlinse (40) sammelnd oder streuend ist.
- 10
4. Zielfernrohr (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** an der Korrekturfeldlinse (40) ein Absehen (41) angeordnet ist, vorzugsweise in der objektivseitigen Bildebene (BE1).
5. Zielfernrohr (1) nach Anspruch 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Korrekturfeldlinse (40) mit dem Absehen (41) verkittet ist.
- 15
6. Zielfernrohr (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** zwischen der okularseitigen Bildebene (BE2) und dem Okular (20) ein Strahlteiler (60) angeordnet ist.
- 20
7. Zielfernrohr (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Objektiv (10) aus einer Objektivlinse (11) und einem zwischen der Objektivlinse (11) und der objektivseitigen Bildebene (BE1) angeordneten Objektiv-Achromat (12,13) besteht.
- 25
8. Zielfernrohr (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Okular (20) aus einer Okularlinse (21) und einem zwischen der Okularlinse (21) und der okularseitigen Bildebene (BE2) angeordneten Okular-Achromat (22) besteht.
- 30
9. Zielfernrohr (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** das zweite optische Element (32) näher am Okular (20) angeordnet ist als das erste optische Element (31), und dass im Umkehrsystem (30) zwischen dem zweiten optischen Element (32) und der okularseitigen Bildebene (BE2) eine Strahlumlenkeinrichtung (70) mit negativer Brechkraft angeordnet ist.
- 35
10. Zielfernrohr (1) nach einem der vorhergehenden Ansprüche, **dadurch gekennzeichnet, dass** die maximale Vergrößerung des Zwischenbilds auf der okularseitigen Bildebene (BE2) wenigstens fünffach, vorzugsweise jedoch wenigstens sechsfach und besonders bevorzugt wenigstens achtfach ist.

40

45

50

55

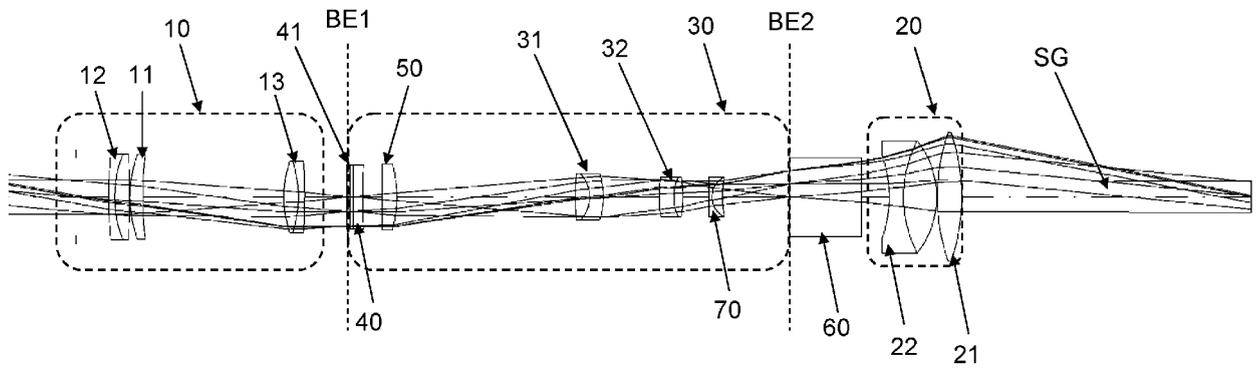


Fig. 1

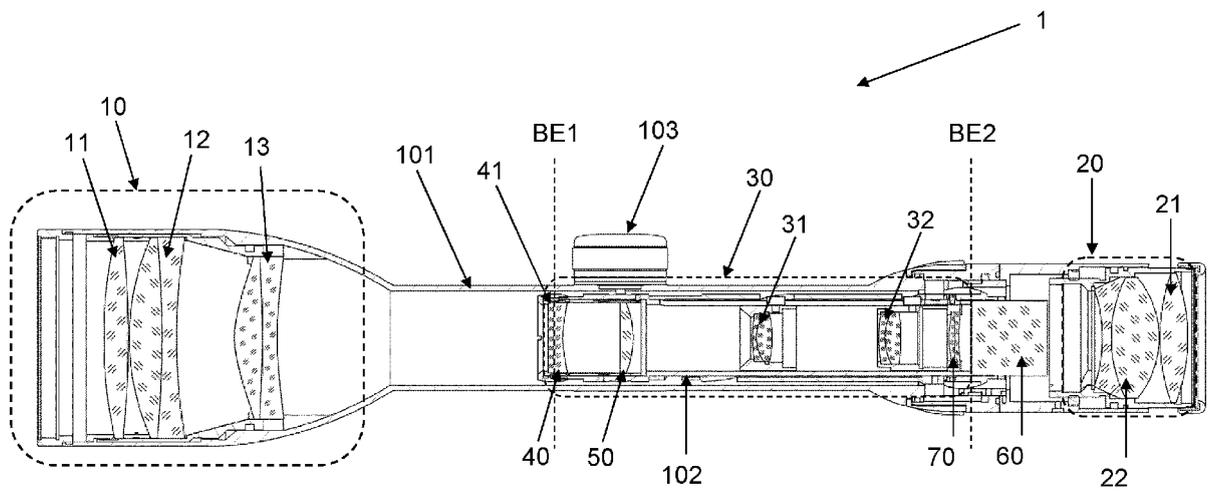


Fig. 2

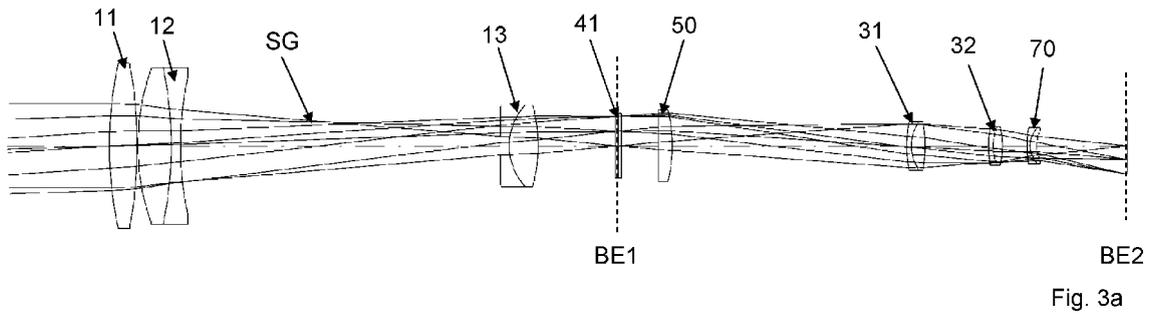


Fig. 3a

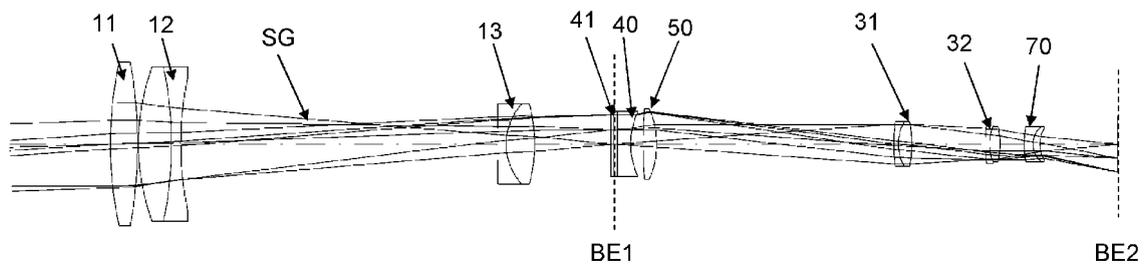


Fig. 3b

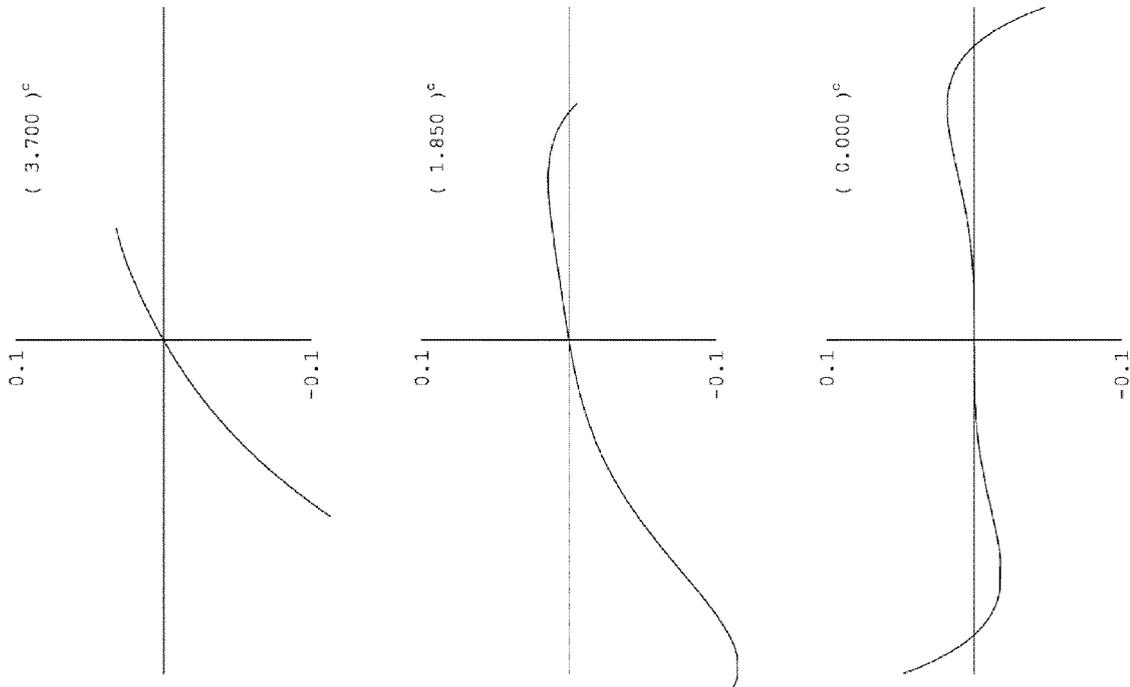


Fig. 4a1

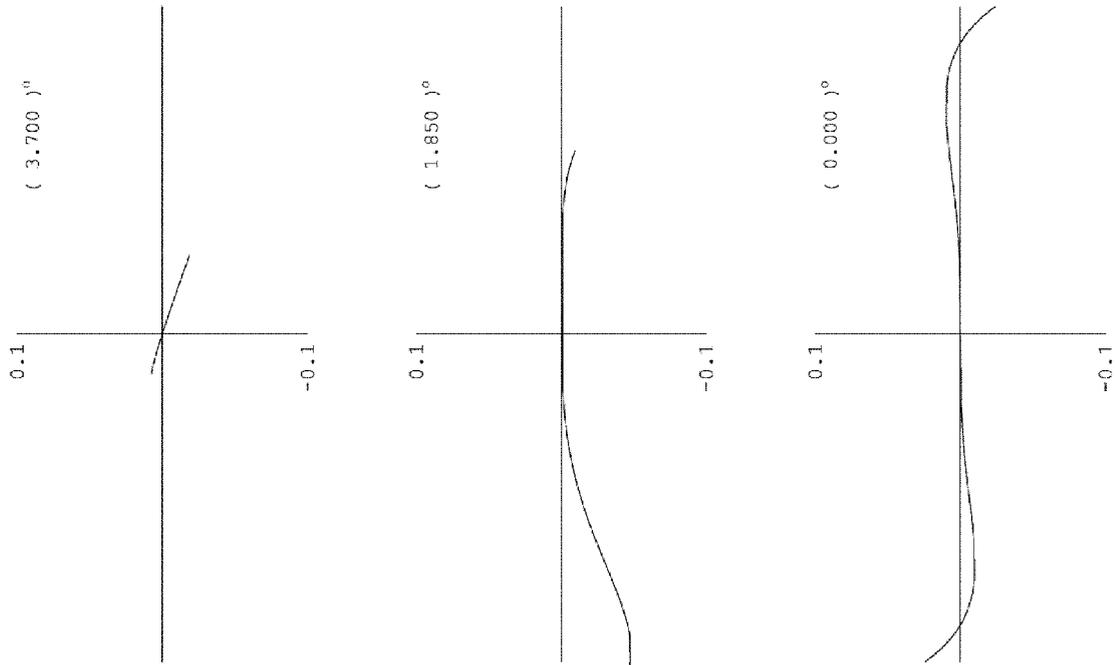


Fig. 4a2

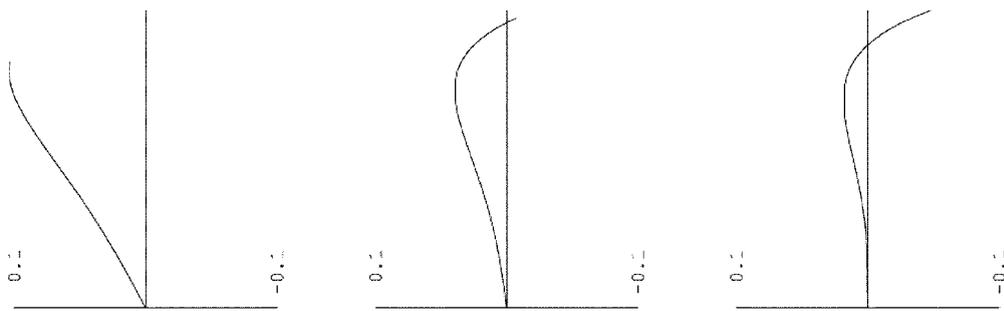


Fig. 4b1

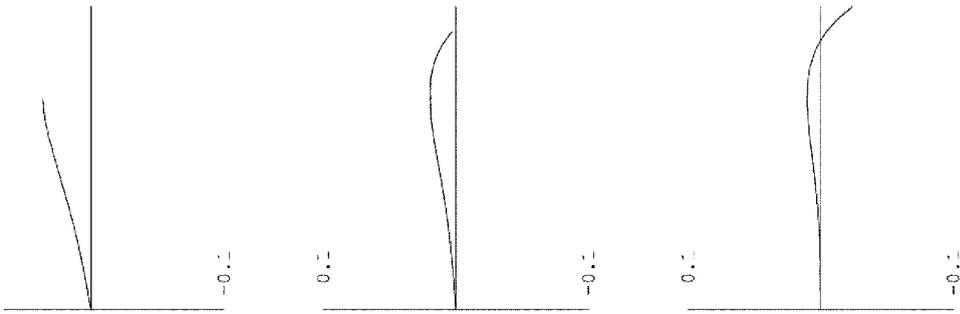


Fig. 4b2

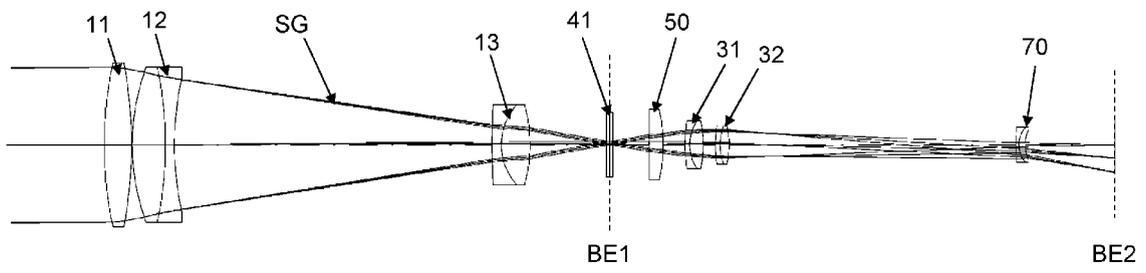


Fig. 5a

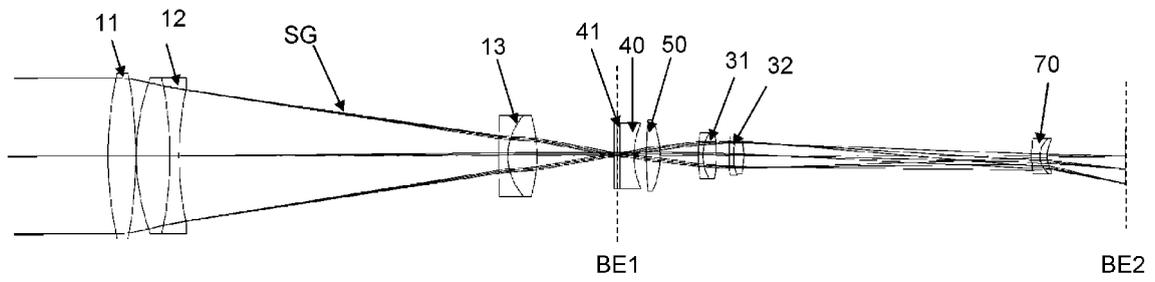


Fig. 5b

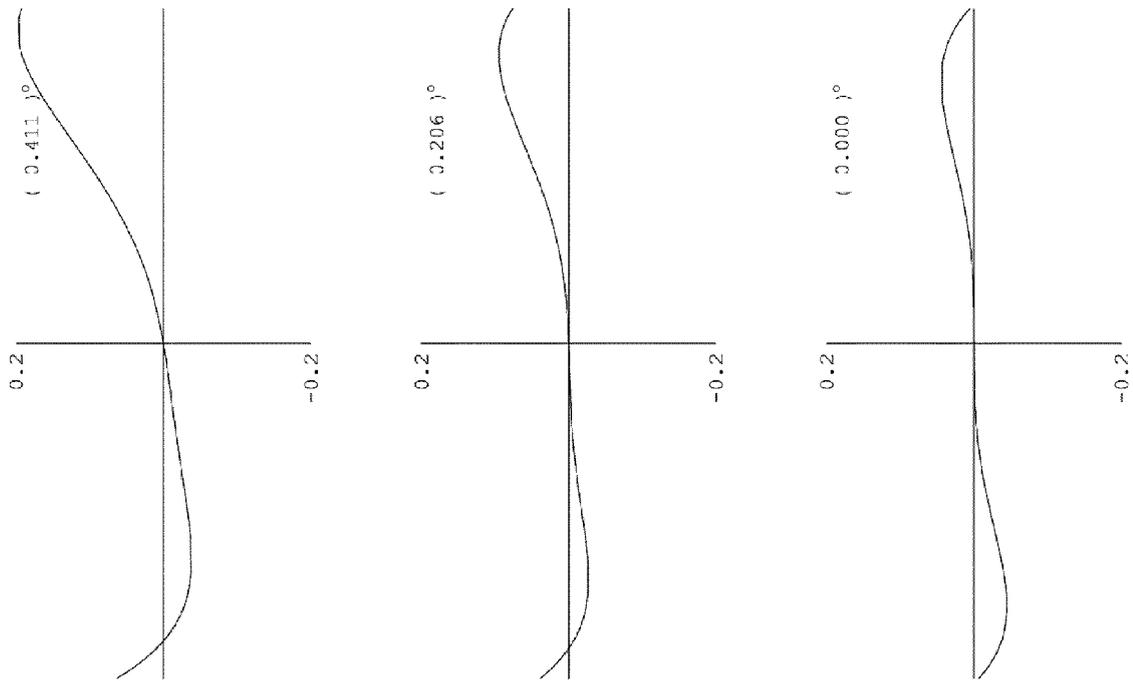


Fig. 6a1

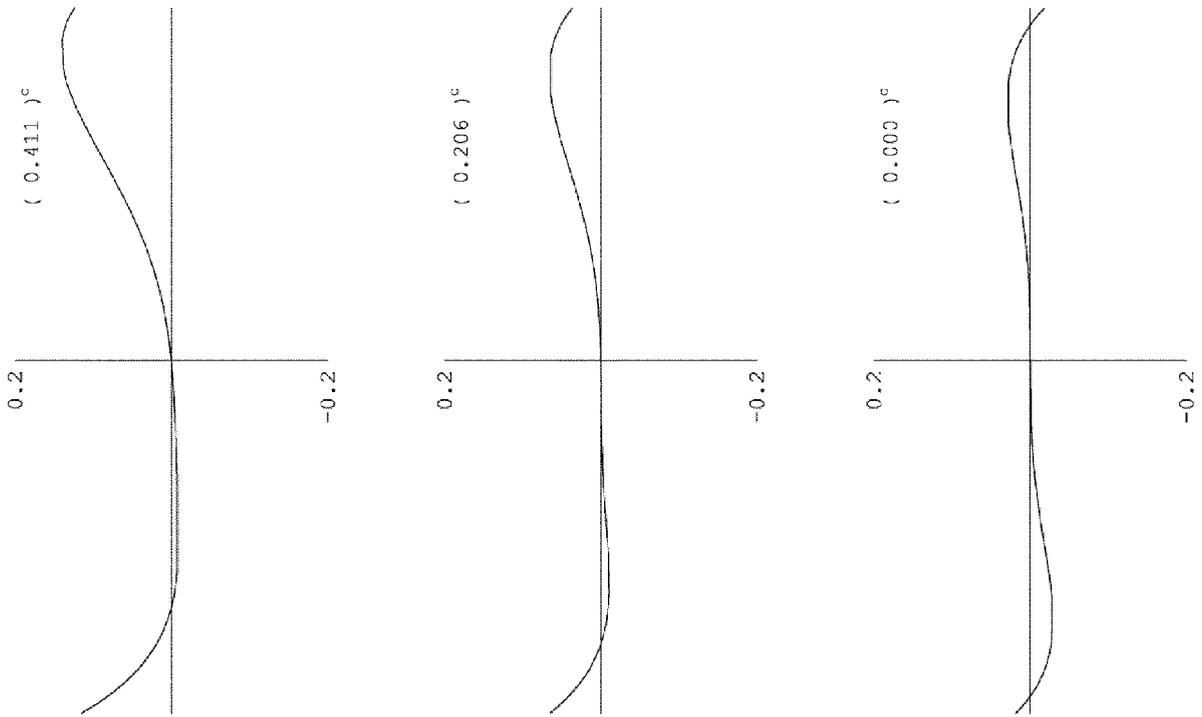


Fig. 6a2

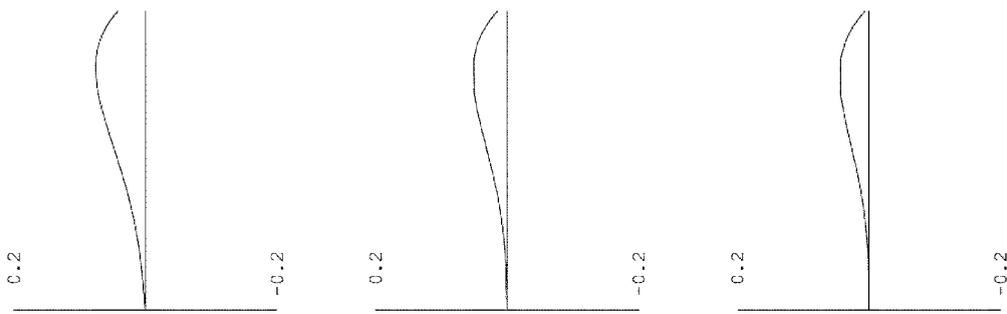


Fig. 6b1

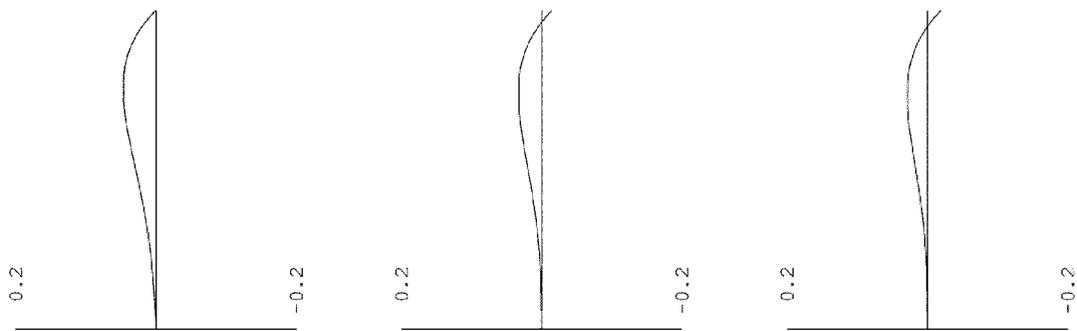


Fig. 6b2

**IN DER BESCHREIBUNG AUFGEFÜHRTE DOKUMENTE**

*Diese Liste der vom Anmelder aufgeführten Dokumente wurde ausschließlich zur Information des Lesers aufgenommen und ist nicht Bestandteil des europäischen Patentdokumentes. Sie wurde mit größter Sorgfalt zusammengestellt; das EPA übernimmt jedoch keinerlei Haftung für etwaige Fehler oder Auslassungen.*

**In der Beschreibung aufgeführte Patentdokumente**

- EP 1746451 B1 [0011]
- US 7684114 B2 [0015]