



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2005 028 893 B4 2007.12.06**

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2005 028 893.6**

(22) Anmeldetag: **19.06.2005**

(43) Offenlegungstag: **28.12.2006**

(45) Veröffentlichungstag
 der Patenterteilung: **06.12.2007**

(51) Int Cl.⁸: **G01N 15/14 (2006.01)**

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 2 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:

Stiftung Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung Stiftung des öffentlichen Rechts, 27570 Bremerhaven, DE

(72) Erfinder:

Schulz, Jan, 27568 Bremerhaven, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht gezogene Druckschriften:

DE 197 36 172 B4

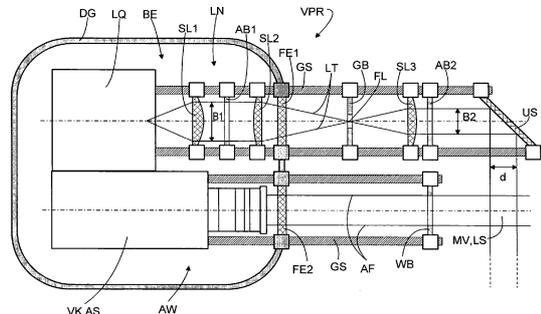
US 48 54 705

WO 01/40 764 A2

Bernd Sachweh et al.: "Particle shape and structure analysis from the spatial intensity pattern of scattered light using different measuring devices." In: Journal of Aerosol Science, Vol. 30, Issue 10, Dez. 1999, S. 1257-1270;

(54) Bezeichnung: **Vorrichtung zur Partikeldetektion in einer tiefenbegrenzten Lichtscheibe**

(57) Hauptanspruch: Vorrichtung zur Partikeldetektion in einem strömenden Fluid in einem optisch begrenzten Messvolumen mit einer Beleuchtungseinrichtung aus einer Lichtquelle, einem Blendsystem und einem fokussierenden Linsensystem sowie mit einer optischen Auswerteinheit mit weiteren Blenden und Linsen und einem auf das Messvolumen ausgerichteten Aufnahmesystem, dadurch gekennzeichnet, dass eine lineare Lichtquelle (LQ) verwendet wird und das optisch begrenzte Messvolumen (MV) als dreidimensionale Lichtscheibe (LS) ausgebildet ist, deren Dicke (d) durch rechteckige Aperturblenden (AB1, AB2) im Blendsystem und Stablinzen (SL1, SL2, SL3) im fokussierenden Linsensystem (LN) festgelegt ist, wobei die rechteckigen Aperturblenden (AB1, AB2) und Stablinzen (SL1, SL2, SL3) achsenkongruent zu der linearen Lichtquelle (LQ) angeordnet sind und die Fokuslinie (FL) der Stablinzen (SL1, SL2, SL3) vor dem Messvolumen (MV) liegt, und dass das Aufnahmesystem (AS) eine orthogonal zur Lichtscheibe (LS) angeordnete Videokamera (VK) ist.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung bezieht sich auf eine Vorrichtung zur Partikeldetektion in einem strömenden Fluid in einem optisch begrenzten Messvolumen mit einer Beleuchtungseinrichtung aus einer Lichtquelle, einem Blendensystem und einem fokussierenden Linsensystem sowie mit einer optischen Auswerteinheit mit weiteren Blenden und Linsen und einem auf das Messvolumen ausgerichteten Aufnahmesystem.

[0002] Ein zentrales Ziel der Meeresökologie ist das Verständnis der Verteilung von planktischen Organismen im Meer und deren regulierende Prozesse. Besonders von Interesse sind hierbei Abundanz und Diversität kleiner Plankter, die auf Grund ihrer Individuenanzahlen eine der größten Quellen tierischen Eiweißes im Meer darstellen. Ihnen kommt dadurch eine wichtige Bedeutung im biologischen Stoffkreislaufsystem zu. Der ungeklärte Einfluss von anthropogenen und klimatischen Veränderungen auf marine Ökosysteme ist dabei in den letzten Jahren und Jahrzehnten in den Blickpunkt der Wissenschaft geraten. Es wird heute allgemein anerkannt, dass Abundanz und Diversität verschiedener planktischer Organismen unter anderem mit den physikalischen Parametern der Umgebung korreliert sind. Die hydrodynamischen Prozesse im Wasserkörper können dabei sowohl zu einer Dispersion der Plankter als auch zu gehäuftem Auftreten führen. Diese regulierenden Prozesse der Verteilung von Zooplankton in Zeit und Raum sind von zentraler Bedeutung, um auf Zusammenhänge mit biotischen und abiotischen Veränderungen zu schließen und Aussagen über das Ökosystem zu treffen. Dazu werden Methoden benötigt, um diese Verteilungen großflächig auf räumlich und zeitlich kleinen Skalen aufzulösen. Die traditionelle Methode der Beprobung mit Netzen ist sehr zeitintensiv und ermöglicht nur eine begrenzte Auflösung im kleinskaligen Bereich. Aus diesem Grund sind in der Vergangenheit eine Reihe neuer Methoden und Ansätze entwickelt worden, um das Verständnis der systemischen Ökologie zu erweitern. Neben den akustischen ist besonders der Bereich der bildgebenden Verfahren von Interesse. Die hier eingesetzten Geräte werden als „Video-Plankton-Rekorder“ VPR bezeichnet. Sie bieten zudem den Vorteil, dass fragile Arten, wie z.B. gelatinöses Plankton, in situ untersucht werden können und Informationen über die Biologie dieser Vertreter erhalten werden, die mit klassischen Methoden während der Beprobung zerstört würden. Bilder dieser Arten im natürlichen Habitat lassen Rückschlüsse auf Verhalten, Verbreitung und Interaktionen zu.

Stand der Technik

[0003] Aus dem Stand der Technik sind verschiedene VPR für einen mobilen Schleppbetrieb bekannt. Der VPR von der Firma SEASCAN, Inc. Falmouth,

MA, USA ist beispielsweise aus der Veröffentlichung I „Autonomous Vertically Profiling Plankton Observatory“ (Coastal Ocean Institute WHOI, abrufbar aus dem Internet unter der Webadresse http://4dgeo.whoi.edu/vpr/vpr_overview.html, Stand 08.06.2005), der Veröffentlichung II „Video Plankton Recorder on CTD“ (NOAA Arctic Research Office, abrufbar im Internet unter der Webadresse <http://www.arctic.noaa.gov/aro/russianamerican/cruise10-ctd-rosette.htm>, Stand 08.06.2005) oder aus dem Globec-Newsletter Vol.8, No. 2, October 2002, pp 20–21 unter der Veröffentlichung III „Video Plankton Recorder reveals environmental problems of marine copepod“ von C. Möllmann et al. bekannt. Dieses Gerät wird hinter einem Schiff geschleppt und dient der profilierenden Planktondetektion mit einem Videokamerasystem. Einzelheiten zum eingesetzten Blenden- und Linsensystem sowie zur Ausgestaltung der Lichtquelle sind nicht bekannt. Der relativ aufwändige und Platz einnehmende Aufbau fördert jedoch Störungen im Betrieb und bei der Handhabung sowie Probleme bei der Auswertung. Außerdem kann das Gerät nicht ohne größeren Aufwand oder Modifikationen stationär autark arbeiten. Bei einem ähnlichen Gerät aus Kanada handelt es sich um einen Optical-Plankton-Counter. Dieses Gerät liefert jedoch keine Bilder, sondern misst nur Partikelgrößenverteilungen, welche nur mit einer gewissen Unsicherheit einzelnen Arten zugewiesen werden können. Neuere Modelle nutzen eine Laserlichtquelle zur verbesserten Größenauflösung.

[0004] Alle bekannten VPR nutzen punktförmige Lichtquellen und einzelne sphärische Linsen zur Kollimation. Im großskaligen Bereich kommen auch starke Halogensysteme und Fresnellinsen zum Einsatz. Die bekannten Vorrichtungen haben aber zum Problem, dass keine scharfe optische Begrenzung des Messvolumens erzeugt werden kann und die Tiefenschärfe im Messvolumen softwaretechnisch justiert wird, was im kleinskaligen Bereich der Planktonbeobachtung zu hohen Ungenauigkeiten der Volumeneinschätzung führt.

[0005] Auf dem allgemeinen Gebiet der Partikeldetektion sind weitere verschiedene Vorrichtungen bekannt. Aus der DD 232 552 A1 ist eine Einrichtung zur Zählung und Klassifizierung von dispergierten Teilchen in Flüssigkeiten, z.B. Farben, mit einem von einer Messzelle räumlich begrenzten Messvolumen bekannt. Zur Ausleuchtung des Messvolumens dient ein Laserstrahl, wobei der Strahlfokus in der Mitte des Messvolumens liegt, sodass das detektierte Messvolumen auf einen Punkt reduziert wird. Zur Detektion wird die Streulichtintensität jedes Teilchens gemessen. Dabei wird angenommen, dass die Intensität des Streulichts unter kleinen Winkeln eine Funktion des Partikelvolumens ist. Das Messvolumen ist durch die Ausbildung der Messzelle so eingegrenzt, dass sich immer nur ein Teilchen im Lichtfokus befin-

det, dessen Streuung im Laserlicht gemessen wird. Die Flüssigkeiten werden mit einer Injektionsspritze in die Messkammer eingespritzt, eine Erfassung und Bestimmung von Partikeln in einem frei strömenden Fluid ist mit der bekannten Einrichtung nicht möglich. Weiterhin können nur relativ große Partikel detektiert werden, die sich in der Messzelle vereinzeln lassen. Die DD 221 861 A1 beschreibt eine Beleuchtungseinrichtung zur Erzeugung eines zweidimensionalen Lichtstreifens zur Mustererkennung und Identifizierung von Werkstücken in industrieller Umgebung. Dazu wird eine lineare Lichtquelle verwendet, deren Strahlen durch eine Lamellenblende gerichtet und durch eine Zylinderlinse auf das zu erkennende Objekt gebündelt werden. In dem Aufnahmesystem wird durch Kontrasteinstellung ein scharfes Schwarzweißbild des jeweils beleuchteten Streifens erzeugt und analysiert. Ein Reflektor kann für eine höhere Lichtausbeute hinter der Lichtquelle angebracht werden. Die Objekte werden unter spitzem Winkel beleuchtet und die Kamera befindet sich senkrecht darüber. Menge und Art von Teilen können je nach Auflösungsvermögen der Kamera bestimmt werden. Zur Begrenzung des Betrachtungsraums ist ein fester Hintergrund erforderlich. Weiterhin ist aus der DE 298 13 109 U1 eine Beleuchtungsvorrichtung zur Erzeugung eines langen, schmalen Lichtbandes mit zweidimensionaler Ausprägung bekannt, bei der das Licht einer Anzahl von Lampen in einem engen Gehäuse mit einer ersten jeweils eigenen und einer zweiten gemeinsamen Linse zu einem schmalen Strahl mit Fokus auf einer Linie wählbarer Entfernung erzeugt wird. Die Lichtausbeute entspricht etwa dem Abstrahlwinkel und ist damit sehr gering. In der DE 197 36 172 B4 wird eine Vorrichtung zur Analyse von in einem strömenden Fluid dispergierten Teilchen beschrieben, die mit Blenden arbeitet, deren Kanten hyperbelartig gekrümmt sind und damit ein dreidimensionales Messvolumen mit einem bekannten Schärfentiefebereich definieren, das kegelstumpfförmig mit gebogenen Kanten ausgebildet ist. Im zugehörigen Verfahren werden Teilchen mit definierter Laufzeit im Messvolumen ausgewertet. Die Form des optisch abgegrenzten Messvolumens erlaubt es, Teilchen unterschiedlicher Geschwindigkeit bei konstant vorgegebener Laufzeit im Messvolumen zu berücksichtigen, wobei durch die definierte Tiefenschärfe ein dreidimensionales Messvolumen vom Detektor erfasst wird. Es werden bevorzugt Teilchen mit Größen im Bereich von Mikrometern betrachtet. Die Beleuchtungseinrichtung ist parallel zum Detektor angeordnet, das Detektionssignal wird über ein Prisma aus dem Messvolumen umgelenkt.

[0006] Die Veröffentlichung IV „Particle size distribution analysis by scattered light measurements using an optically defined measuring volume“ (H. Umhauer, J.AerosolSci. Vol. 14, No.6, 1983, pp 765–770), von der die vorliegende Erfindung als nächstliegendem Stand der Technik ausgeht, beschreibt einen

Partikelzähler für strömende Fluide nach dem Prinzip der Streulichtmessung an den Partikeln, wobei insbesondere das Randzonenproblem gelöst werden soll, das durch Teilchen entsteht, die nur teilweise am Rand des Messvolumens erfasst und demzufolge durch das reduzierte Streulicht als zu klein gemessen werden. Es sollen Teilchenverteilungen von Feststoffen in Gasen oder Flüssigkeiten, aber auch von Flüssigkeitströpfchen in Gasen und anderen Flüssigkeiten bei sehr kleinen Abmessungen im Mikrometerbereich durch Partikelvereinzelung und deren serielle Erfassung festgestellt werden. Dazu weist der Partikelzähler eine Beleuchtungseinrichtung aus einer punktförmigen Lichtquelle, ein Blenden- und Linsensystem mit kreisrunden Abmessungen zur optischen Definition eines dreidimensionalen Messvolumens mit würfelförmigen Abmessungen in einem Strömungskanal auf. Dabei liegt der Fokus der Lichtquelle in der Mitte des Messvolumens, Ziel dieser Fokussierung ist die erforderliche Vereinzelung der Partikel zur besseren Streulichtdetektion, was aber insbesondere bei kleinsten Partikeln nicht sicher gewährleistet ist. Die Detektion erfolgt in einer optischen Auswerteeinheit mit weiteren Blenden und Linsen und einem Aufnahmesystem, wobei die Auswerteeinheit in Form eines Photomultikanalverstärkers parallel zur Beleuchtungseinrichtung ausgerichtet ist, sodass sich eine räumlich kompakte Bauform ergibt, und das optische strömende Fluid in Echtzeit alle in einem vorgegebenen Messvolumen auftretenden Partikel zuverlässig und genau detektiert. Dabei soll die Vorrichtung einfach und robust im Aufbau und in der Handhabung auch unter widrigen Umweltbedingungen gestaltet sein und einen flexiblen Einsatz ermöglichen. Die erfindungsgemäße Lösung für diese Aufgabe ist dem Hauptanspruch zu entnehmen. Vorteilhaftere Weiterbildungen der erfindungsgemäßen Vorrichtung sind in den Unteransprüchen aufgezeigt und werden im Folgenden im Zusammenhang mit der Erfindung näher erläutert.

[0007] Die erfindungsgemäße Vorrichtung ist dadurch gekennzeichnet, dass eine lineare Lichtquelle verwendet wird und das optisch festgelegte Messvolumen auch in der Tiefe eng begrenzt ist und als dreidimensionale Lichtscheibe ausgebildet ist, deren Dicke durch rechteckige Aperturblenden und Stablin sen festgelegt ist. Diese sind achsenkongruent zu der linearen Reflektorleuchte angeordnet, sodass ihre Längsachsen parallel verlaufen. Die Fokussierung erfolgt gezielt außerhalb des Messvolumens, wodurch eine gleichmäßige Ausleuchtung des Messvolumens ohne Lichtkonvergenz oder -divergenz erreicht wird. Wenn die Fokussierung beispielsweise ca. 30 cm vom Objektiv einer Videokamera als Aufnahmesystem eingestellt ist, sollte ein Streifen von ca. 0,5 cm vor und hinter der vom Aufnahmesystem am schärfsten erfassten Ebene der Lichtscheibe ausgeleuchtet sein, sodass die Lichtscheibe insgesamt

eine Dicke von ca. 1 cm aufweisen. Scheibendicken zwischen 0,5 cm und 3 cm sind denkbar. die Dickenwahl hängt dabei auch von der Art der zu detektierenden Partikel ab. Die Aufweitung des Strahlengangs nach vorne ist dabei nahezu vernachlässigbar bzw. kann rechnerisch gut erfasst werden. Die Bestimmung des aufgenommenen Messvolumens ist von essenzieller Bedeutung, um eine Konzentrationsangabe auf den gemessenen Wasserkörper bezüglich der Abundanz und Diversität der Plankter im entsprechenden Gebiet zu liefern. Die Stablinen können bevorzugt als plankonvexe oder als konkav-konvexe Stablinen (oder auch Zylinderlinsen), insbesondere mit einer asphärischen Ausbildung der Linsenkrümmung, ausgeführt sein, um eine optimale lineare Fokussierung ausgeleuchtet sein, sodass die Lichtscheibe insgesamt eine Dicke von ca. 1 cm aufweisen. Scheibendicken zwischen 0,5 cm und 3 cm sind denkbar. die Dickenwahl hängt dabei auch von der Art der zu detektierenden Partikel ab. Die Aufweitung des Strahlengangs nach vorne ist dabei nahezu vernachlässigbar bzw. kann rechnerisch gut erfasst werden. Die Bestimmung des aufgenommenen Messvolumens ist von essenzieller Bedeutung, um eine Konzentrationsangabe auf den gemessenen Wasserkörper bezüglich der Abundanz und Diversität der Plankter im entsprechenden Gebiet zu liefern. Die Stablinen können bevorzugt als plankonvexe oder als konkav-konvexe Stablinen (oder auch Zylinderlinsen), insbesondere mit einer asphärischen Ausbildung der Linsenkrümmung, ausgeführt sein, um eine optimale lineare Fokussierung der von der linearen Lichtquelle ausgesendeten Lichtstrahlen, die sich in der einen Ebene zwar linear, in der dazu orthogonalen Ebene jedoch kreisförmig ausbreiten, zu erreichen.

[0008] Bei dem Aufnahmesystem der Vorrichtung nach der Erfindung handelt es sich um eine orthogonal zur Lichtscheibe angeordnete Videokamera, der ein Mustererkennungssystem nachgeschaltet sein kann. Die Vorrichtung arbeitet also mit einem bildgebenden Aufnahmesystem und verwendet nicht das Prinzip der Streulichtmessung zur Partikeldetektion. Bei der Verwendung einer Videokamera als Aufnahmesystem können über deren Auflösung nur die zwei Dimensionen der orthogonal zur Videokamera ausgerichteten Fläche des Messvolumens beschrieben werden. Das Bild besitzt bei einer gleichmäßigen Ausleuchtung und entsprechenden Lichtverhältnissen somit eine theoretisch unendliche Tiefendimension. Durch die Vorgabe der Lichtscheibe mit einer definierten Tiefenbegrenzung bei der erfindungsgemäßen Vorrichtung wird nunmehr auch die Tiefendimension genau festgelegt. Die Tiefe des Fokusbereichs für das Aufnahmesystem wird damit durch eine direkte Beleuchtung aufgelöst. Dabei sind nur Partikel im beleuchteten Messvolumen zu sehen. Störungen von außerhalb des Messvolumens sind minimal und können toleriert werden. Dies stellt ein Verfahren in der Unterwassermessung dar, das in dieser Form bislang

von keinem optischen Plankton-Recorder verwendet wird.

[0009] Somit wird mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung ein Gerät zur Verfügung gestellt, das beispielsweise als Video-Plankton-Recorder (VPR) Video- und Stillbilder von Planktern in natürlicher Umgebung in einem optisch eng begrenzten und genau definierten Messvolumen, beispielsweise von etwa 4 cm³ Größe, in relativ zum Gerät vorbeiströmendem Wasser aufnehmen kann, die dann von der Auswerteeinheit zuverlässig ausgewertet werden können. Es sind aber auch andere Einsatzfälle mit dem Erfordernis einer Partikeldetektion, beispielsweise in Klärbecken oder in chemischen Kolonnen, möglich. Die Einsatzpalette ist sehr breit gefasst. Dabei ist durch die schnelle, hochauflösende Bildfassung und -speicherung mit Hilfe einer Auswertungssoftware sowohl eine Partikelzählung als auch eine Partikelidentifizierung, beispielsweise zum Erkennen wichtiger Planktonarten möglich. In Kombination mit relevanten Schiffsdaten wie Position, Geschwindigkeit und Zeit sowie weiteren vor Ort gemessenen, insbesondere hydrographischen Umweltparametern kann somit relativ schnell ein dreidimensionales Bild der Planktonverteilung ermittelt werden. Somit entsteht mit der erfindungsgemäßen Vorrichtung ein intelligentes wissenschaftliches System, das weltweit bei Forschungsinstituten, Umweltorganisationen und Umweltbehörden eingesetzt werden kann. Durch den kompakten Aufbau der Vorrichtung als VPR kann dieser sowohl als geschlepptes Gerät bei Schiffseinsätzen, aber auch als verankerbare bzw. fest montierbare Einheit für einen stationären Betrieb eingesetzt werden und von einem definierten Volumen der Wassersäule kontinuierlich Aufnahmen machen. Dabei ist der durch die verwendeten Komponenten bedingte geringe Stromverbrauch günstig, da dadurch ein autarker Einsatz des VPR bei stationärem Betrieb möglich ist. Die in der Wassersäule enthaltenen Plankter werden als interessierende Gebiete (Region of Interest, ROI) aus den Gesamtaufnahmen herausgeschnitten, mit den lokalen physikalischen Parametern verbunden und durch das Mustererkennungssystem als Teil der Auswerteeinheit klassifiziert. Entgegen der traditionellen Planktonbeprobung zeichnet sich die erfindungsgemäße Vorrichtung durch einen deutlich niedrigeren Bearbeitungsaufwand der gewonnenen Daten aus und ermöglicht einfach zu gewinnende, hochauflösende und großräumige Zeitserienstudien. Durch die Möglichkeit, Umweltsensoren wie Salinitäts-, Tiefen-, Temperatur-, Fluoreszenz- oder Sauerstoffsonden an die erfindungsgemäße Vorrichtung anzuschließen, werden mit jedem aufgenommenen Bild Umweltparameter verbunden. Dadurch werden auch jedem planktischen Vertreter die physikalischen Parameter seiner direkten Umgebung zugeordnet. Eine Untersuchung der Korrelation des Auftretens mit hydrographischen Phänomenen wie Fronten, Klinen etc., ist dadurch realisierbar. Die erfin-

dungsgemäße Vorrichtung bietet damit die Möglichkeit, Abundanz und Diversität einzelner planktischer Organismengruppen kleinskalig zu ermitteln. Neben der hohen räumlichen Auflösung der Vertikalverteilung auf der Zentimeterskala, lassen sich auch Variabilitäten des Zooplanktons bei entsprechender Probenahmefrequenz auf kleinen Zeitskalen schnell quantifizieren. Die entstehenden Daten sollen dazu beitragen, das Verständnis von biologisch-physikalischen Zusammenhängen zu vervollständigen, neue in-situ-Einblicke in die Ökologie einzelner Organismen geben und einen wichtigen Beitrag zu anderen Zeitserienstudien liefern.

[0010] Der VPR kann neue Möglichkeiten in der Planktonforschung eröffnen, die auf diese Weise von keinem anderen Plankton-Recordersystem bereitgestellt werden. Besonderer Wert wird auf die Modularität und Skalierbarkeit gelegt, damit einzelne Komponenten einfach zu modifizieren sind und auch nach dem Bau noch Verfeinerungen zulassen. Allgemein kann der VPR überall dort eingesetzt werden, wo die Bestimmung der Abundanz und Diversität von Planktonern von Interesse ist. Dabei besteht keine Beschränkung, ob es sich um Einschätzungen für Nahrungskettenanalysen oder annuell bedingter Aufklärung der Variabilität, der tageszeitlichen Vertikalwanderung, der Besiedlungssukzession oder des Erscheinens von meroplanktischen Larven handelt. In allen Fällen lässt sich das Auftreten mit den physikalischen Parametern festhalten. Eine Erhöhung der Druckstabilität weit jenseits der 100 bar Grenze eröffnet zudem die Möglichkeit neben der neritischen auch weit in die Tiefen der ozeanischen Provinz vorzudringen, die bisher überwiegend durch klassische Methoden beprobt wurde und somit völliges Neuland für VPR-Systeme darstellt. Im Fall des Einsatzes in einer Verankerung lässt sich in nahezu Echtzeit eine kontinuierliche Beprobung durchführen, die ohne weiteren Aufwand möglich ist. Nach der Installation und der Sicherstellung der Energieversorgung, sowie der Datenübertragung ließen sich eine Vielzahl von Fragestellungen mit diesem VPR bearbeiten, ohne dass aufwändige Beprobungen mit Schiffen, Netzen und einer Vielzahl von Personen wetterabhängig durchgeführt werden müssen. Fragestellungen zu meroplanktischen Larven können durch die kleinskalige Planktonbetrachtung im Wasserkörper detaillierter bearbeitet werden.

[0011] Da jeweils auf ein sehr geringes Messvolumen fokussiert wird, ist es von entscheidender Bedeutung, eine hohe Anzahl von Videoaufnahmen in einem kurzen Zeitraum zu machen. Bei einem Messvolumen von z.B. $10 \times 10 \times 10$ mm werden 1000 Bilder benötigt, bis ein Wasservolumen von einem Liter äquivalent beprobt ist. Bei einer hypothetischen Frequenz von 24 Bildern pro Sekunde vergehen dabei etwa 42 s. Zwischen zwei Bildern muss gewährleistet sein, dass das Messvolumen zu 100 % ausgetauscht

wird. Ist dies nicht der Fall, besteht die Möglichkeit, dass ein Plankter auf zwei Bildern erscheint und die Statistik verfälscht. Von höherer Bedeutung als im Schelfbereich kann dies im offenen Ozean sein, wo die durchschnittliche Abundanz einzelner Arten äußerst gering ist. Dementsprechend muss die relative Wegstrecke zwischen zwei Bildern mindestens der Diagonale (Maximalwert bei Anströmung parallel zur Beleuchtung) des aufgenommenen Bildes der Kamera entsprechen. Im genannten Beispiel 14,1 mm. Bei 24 Bildern pro s entsprechend $339,4 \text{ mm/s} = 0,3394 \text{ m/s} = 1,222 \text{ km/h} = 0,65 \text{ Kn}$. Die Geschwindigkeit von 0,65 Knoten lässt sich im Operationsmodus an Bord eines Schiffes relativ sicher bereitstellen. Für ortsfeste Verankerungen (Moorings) muss jedoch darauf geachtet werden, dass diese Anströmgeschwindigkeit auch gewährleistet ist.

[0012] Die einzelnen Plankter, die in die Lichtscheibe und gleichzeitig in das Sichtfeld der Videokamera eintreten, werden von einer CCD-Videokamera in einem normalen Aufnahmezyklus erfasst. Um Bewegungsartefakte klein zu halten, benötigt die Videokamera eine sehr kurze Belichtungszeit sowie eine Triggerung mit einem Shutter bei Stroboskopeinsatz. Vor die Videokamera wird mit Hilfe von Extenderringen ein Tele- bzw. Makroobjektiv gesetzt, welches eine Auflösung von etwa $10 \mu\text{m}$ pro Pixel gewährleistet. Die Qualität der Bilder wird von weiteren Parametern wie Schwebstoffen und ähnlichem beeinflusst. Um die Aussagequalität über den Bezug zur räumlichen Skala hoch zu halten, muss die Videokamera über eine hohe Auflösung (z.B. 2000×2000 Pixel entsprechend 20×20 mm) verfügen. Ein Plankter von $2 \times 1,5$ mm würde bei 8 Bit Farbtiefe entsprechend $200 \times 150 \times 8 \approx 30 \text{ kBit}$ reine Bildinformation unkomprimiert liefern. Die Vergrößerungsstufe soll möglichst konstant sein, um der Auswertung immer die gleichen Parameter zu bieten. Die Genauigkeit der Abundanzberechnungen steigt mit dem beprobten Volumen pro Zeit und damit auch durch eine höhere Auflösung, welche bei gleichem $\mu\text{m}/\text{Pixel}$ -Wert das gescannte Volumen pro Bild erhöht.

[0013] Ein Auswertungsmodul stellt die ROI-Extraktion und die Verknüpfung mit den Parametern sicher und kann auf einem Rechner in der Unterwassereinheit stattfinden. Die Daten können dann z.B. online via Internet oder LAN an einen weiteren Rechner im Netz oder an Bord gesendet werden, der die Auswertung, möglichst in Echtzeit, vornimmt. Es wird erwartet, dass auf ca. jedem zweiten bis achten Bild Organismen und Partikel auftreten. Augenmerk muss auf die Tatsache gelegt werden, dass einzelne Strukturen nicht immer zusammenhängend erscheinen können (siehe unten). In einzelnen Bereichen kann sich die Anzahl der ROI's pro Aufnahme jedoch stark erhöhen. Die ROI's werden zusammen mit den Metadaten, wie Cruisename, Datum, Zeit, Breitengrad, Längengrad und den physikalischen Parametern, wie

CTD Daten und Wasservolumen gespeichert. Für den Fall, dass die Energieversorgung unerwartet unterbrochen wird, muss sichergestellt sein, dass die bisher erhobenen Daten erhalten bleiben. Aus dem gleichen Grund ist in diesem, wie in allen anderen Folgemodulen, eine hohe Systemstabilität zu gewährleisten. Die Bilder müssen unverändert gespeichert werden, damit eine spätere Auswertung von weiteren Faktoren, wie Ausrichtung der Organismen (z.B. von Überwinterungsstadien an Klinen) und ähnlichem möglich ist.

[0014] In einer Ausführungsform der erfindungsgemäßen Vorrichtung, im Folgenden kurz VPR genannt, können zwei rechteckige Aperturblenden vorgesehen sein, wobei die zweite rechteckige Aperturblende schmaler ausgebildet ist als die erste rechteckige Aperturblende und die Fokushlinie zwischen beiden rechteckigen Aperturblenden liegt. Die rechteckigen Blenden sorgen zusammen mit den Stablinen für die rechteckige Ausprägung der Lichtscheibe. Durch die in Richtung auf das Messvolumen kleiner werdenden rechteckigen Aperturblenden wird eine Erhöhung der Beleuchtungsstärke in Richtung auf das Messvolumen im Sinne einer Aufkonzentrierung erreicht. Eine im Bereich der Fokushlinie achsenkongruent dazu angeordnete rechteckige Gesichtsfeldblende sorgt für eine sichere Ausblendung von Streulicht im außerhalb des beleuchteten Messvolumens liegenden Teil des Wasserkörpers und damit für eine verbesserte Videodetektion der Partikel. Zur Erreichung einer besonderen Kompaktheit der VPR kann weiterhin das Aufnahmesystem parallel zur Beleuchtungseinrichtung ausgerichtet sein, wobei die Lichtscheibe dann über eine 90°-Strahlumlenkung rechtwinklig umgelenkt wird, um zu gewährleisten, dass die Aufnahmerichtung der Videokamera orthogonal auf der Lichtscheibe steht. Für andere Anwendungen können andere Umlenkwinkel, mehrere Umlenkungen oder auch eine Ausführung ohne Umlenkung in Betracht kommen. Wichtig dabei ist lediglich, dass die Aufnahmeachse senkrecht zur Lichtscheibe ausgerichtet ist.

[0015] Zur optimalen Ausleuchtung der Lichtscheibe ist es weiterhin vorteilhaft, wenn die lineare Lichtquelle einen Abstrahlwinkel von unter 70° und eine maximale Lichtleistung aufweist. Dies kann erreicht werden, wenn die lineare Lichtquelle als Reflektorleuchte ausgebildet ist, die einen kombinierten Reflektor aus einem elliptisch ausgedehnten und einem sphärisch ausgedehnten Spiegel mit einer zentralen Apertur und ein in der Brennhlinie des Reflektors angeordnetes, lineares Leuchtmittel aufweist. Hierbei kann es sich beispielsweise um eine starke Blitz-/Halogen-/Xenonlampe oder ein High-Efficiency-LED-Feld, insbesondere in der Ausgestaltung als Reihe aus mehreren benachbarten Leuchtdioden handeln. Hierbei kann der Reflektor den einzelnen Leuchtdioden zugeordnete Reflektorbereiche aufwei-

sen. Durch die Verwendung mehrerer in einer Linie stehender Leuchtdioden in der Fokushlinie der ersten Stablinse wird eine höhere Gesamtlichtausbeute erreicht, weil nicht wie bei sphärischen Linsen aus beiden Raumrichtungen punktförmig auf einen Brennpunkt fokussiert wird, sondern nur aus einer Richtung. Dadurch wird jeder Punkt innerhalb der Lichtscheibe (bis auf die Randbereiche) von mehreren benachbarten Leuchtdioden angestrahlt. Vorteilhaft ist hierbei, dass Partikel, welche in der Lichtscheibe angestrahlt werden, nur einen verminderten Schattenschwurf aufweisen und somit die Detektion nicht verfälschen.

[0016] Die Lichtstrahlen werden über den optischen Apertur- und Blendenaufbau zusammengefasst, gerichtet, umgelenkt und als Lichtband parallel zur Schlepp- bzw. Fierrichtung ins Wasser projiziert. Die erste Blende bestimmt dabei die Breite der Lichtscheibe. Ein Vorteil dieser Beleuchtungsmethode besteht darin, dass nicht der gesamte Wasserkörper angestrahlt und somit Hintergrundrauschen während der Aufnahme vermindert wird. Über die Einstellung der Blenden (0,5–3,0 cm) kann die Breite der Lichtscheibe variiert werden, auf die die Videokamera im rechten Winkel gerichtet ist. Über die Kontrast- und Blendeneinstellungen lassen sich somit Organismen, die vor oder hinter dem beleuchteten Messvolumen liegen, weitestgehend ausblenden. Über den horizontal und vertikal in der Fläche erfassten Ausschnitt der Videokamera und der Dicke der Lichtscheibe als Tiefenbegrenzung kann das dabei aufgenommene Wasservolumen bestimmt werden.

[0017] Eine andere Modifikation des VPR sieht vor, dass zumindest die Lichtquelle und die Videokamera in einem druckfesten und strömungsgünstig geformten Gehäuse angeordnet sind. Weiterhin können auch die rechteckigen Aperturblenden, die rechteckige Gesichtsfeldblende und die Stablinen in dem Gehäuse angeordnet sein, wobei dieses auf seiner Innenseite eine Verspiegelung aufweist. Eine angestrebte flache Bauform des VPR ermöglicht es dabei, das Gehäuse möglichst strömungsgünstig gestalten zu können. Bei dem VPR handelt es sich daher um ein Gerät, welches durch seine Gestaltung einen geringen Staudruck aufbaut. Dadurch wird verhindert, dass kleine Plankter um den Probennahmeort herumgeschwemmt werden und der Auswertung entgegen. Auf der anderen Seite wird die Anzahl wenig abnander Arten durch die Methode der Probennahme teilweise unterschätzt oder sie werden gar nicht erfasst. Um diesem vorzubeugen, muss eine hohe Beprobungsrate erreicht werden wie auch eine exakte Bestimmung des Messvolumens. Es muss im Moment der Aufnahme so ungestört wie möglich vorliegen. Der VPR muss in Schlepp- oder Fierrichtung so ausgerichtet werden, dass Verwirbelungen und Staudruck so niedrig wie möglich gehalten werden. Schließlich müssen die einzelnen Umweltsonden in

der Nähe des Fokusbereichs der Videokamera liegen, bzw. auf der gleichen horizontalen Ebene. Durch die Verspiegelung auf der Gehäuseinnenseite kann auch Licht außerhalb der zentralen Achse durch Mehrfachreflexion eingefangen und auf das Messvolumen gerichtet werden, sodass sich eine Intensitätserhöhung des Lichts ergibt. Schließlich können in einer weiteren Modifikation die lineare Reflektorleuchte, die rechteckigen Aperturblenden, die rechteckige Gesichtsfeldblende und die Stablinen über die vier Seitenkanten eines Quaders bildende Gewindestangen miteinander verbunden und zueinander einstellbar angeordnet sein. Dadurch ergibt sich eine kompakte Bauform mit einer guten Stabilisierung durch die Gewindestangen, die gleichzeitig der parallelen Verstellung und Fixierung der einzelnen Blenden und Stablinen dienen. Weitere konstruktive Einzelheiten der Vorrichtung nach der Erfindung sind dem nachfolgenden speziellen Beschreibungsteil zu entnehmen.

Ausführungsbeispiele

[0018] Ausführungsformen der Vorrichtung nach der Erfindung werden nachfolgend zu deren weiterem Verständnis anhand der schematischen Figuren näher erläutert. Dabei zeigt

[0019] [Fig. 1](#) eine Ausführungsform als VPR in der Seitenansicht im Längsschnitt,

[0020] [Fig. 2](#) eine Ausführungsform als VPR in der Aufsicht mit einer Verspiegelung,

[0021] [Fig. 3](#) eine Ausführungsform als VPR in der perspektivischen Seitenansicht ohne Gehäuse und

[0022] [Fig. 4](#) die Beleuchtungseinrichtung mit einer linearen Reflektorleuchte in der Draufsicht.

[0023] In [Fig. 1](#) ist die Vorrichtung in der Ausführungsform eines Video-Plankton-Rekorders VPR dargestellt, bei dem eine Beleuchtungseinrichtung BE und eine Auswerteeinheit AW in einem druckfesten Gehäuse DG mit zwei druckdicht in die Gehäusewandung eingepassten Fenstern FE1, FE2 angeordnet sind. Ein solcher Video-Plankton Rekorder kann auch englisch als „Lightframe On-Sight Keyspecies Investigation“ mit dem Akronym „LOKI“ treffend bezeichnet werden. Die optische Beleuchtungseinrichtung BE hinter dem Fenster FE1 umfasst eine lineare Lichtquelle LQ und zwei Stablinen SL1, SL2 eines fokussierenden Linsensystems LN. Dabei sind die Stablinen SL1, SL2 im gewählten Ausführungsbeispiel plankonvex mit einer asphärischen Linsenkrümmung ausgebildet. Zu der Auswerteeinheit AW hinter dem Fenster FE2 gehört eine Videokamera VK als Aufnahmesystem AS und weitere Blenden und Linsen sowie Mittel zur Datenverarbeitung, beispielsweise ein Mustererkennungssystem, und -speicherung, die aber in [Fig. 1](#) nicht weiter dargestellt sind. Bei den

eingesetzten Stablinen SL1, SL2 handelt es sich um kommerziell erhältliche Komponenten. Die Brennweiten sind dabei mit 8 cm und 6 cm im Ausführungsbeispiel hoch gewählt, um flache Winkel gegenüber der optischen Achse des Video-Plankton-Rekorders VPR zu gewährleisten, was Abbildungsfehler reduziert. Geeignet sind Stablinen aus Glas mit höherem Brechungsindex (Glassorte SF6). Die Option, die Stablinse SL1 mit mehr als 3 cm Höhe zu verwenden, scheidet aus, da gleichzeitig die Fokusslinie FL weiter von der Stablinse SL1 wegrückt, weil diese mit einer benötigten höheren Rundung der konvexen Seite physikalischen Begrenzungen gemäß der Formel: Zylinderradius = Brennweite × (Brechungsindex – 1) unterliegt. Zudem würde dadurch der Winkel zwischen der Senkrechten auf der planen Linsenseite und der Abweichung des Lichtstrahls LT von der optischen Achse im Randbereich zu groß, wodurch ebenfalls die Lichtintensität verringert werden würde.

[0024] Der Video-Plankton-Rekorder VPR erzeugt zur Partikeldetektion in einem strömenden Fluid ein optisch begrenztes Messvolumen MV, das als dünne, tiefenbegrenzte Lichtscheibe LS ausgebildet ist. Das Messvolumen MV wird vom Wasser frei durchströmt, die Strömungsrichtung verläuft senkrecht zur Zeichenebene, sodass sich das Messvolumen MV kontinuierlich füllt und entleert und immer neue Wasservolumina detektiert werden können. Das druckfeste Gehäuse DG kann in Strömungsrichtung strömungsgünstig geformt vorgesehen sein, sodass bei der Anströmung durch das Wasser keine die Detektionsergebnisse störenden Wirbel entstehen. Die Lichtscheibe LS wird von der Lichtquelle LQ erzeugt, deren Lichtstrahl LT mittels der ersten Stablinse SL1 parallelisiert und mittels der zweiten Stablinse SL2 auf eine Fokusslinie FL fokussiert wird. Dabei liegt die aufgrund der verwendeten linearen Lichtquelle LQ linear ausgeprägte Fokusslinie FL außerhalb des druckfesten Gehäuses DG und vor der Lichtscheibe LS. Die Breite B1 des Lichtstrahls LT wird durch eine erste rechteckige Aperturblende AB1 im druckfesten Gehäuse DG eingestellt, die zwischen den beiden Stablinen SL1, SL2 angeordnet ist. Hinter der Fokusslinie FL wird der fokussierte Lichtstrahl LT durch eine dritte Stablinse SL3, die im gewählten Ausführungsbeispiel ebenfalls plankonvex mit einer asphärischen Linsenkrümmung ausgebildet ist, außerhalb des druckfesten Gehäuses DG wieder parallelisiert. Gleichzeitig erfolgt durch eine zweite rechteckige Aperturblende AB2 hinter der Fokusslinie FL außerhalb des druckfesten Gehäuses DG, die schmaler ist als die erste rechteckige Aperturblende AB1, eine Intensitätskonzentrierung des Lichtstrahls LT durch eine Verschmälerung des Lichtstrahls LT auf eine Breite B2, durch die dann die Dicke d der Lichtscheibe LS als Tiefenbegrenzung des Messvolumens MV festgelegt ist. Im Bereich der Fokusslinie FL ist achsenkongruent eine rechteckige Gesichtsfeldblende GB zur Verminderung von Streulicht angeordnet. Hinter der zweiten

rechteckigen Aperturblende AB2 ist ein Umlenkspiegel US angeordnet, der den aufkonzentrierten Lichtstrahl um rechtwinklig umlenkt. Damit gelangt der Lichtstrahl in den Aufnahmelichtstrahl AF der Videokamera VK, der durch eine weitere Blende WB begrenzt wird und senkrecht auf dem Lichtstrahl LT steht, sodass die Breite B2 des Lichtstrahls LT nunmehr der Dicke d der Lichtscheibe LS entspricht. Alle genannten Komponenten sind auf Gewindestangen GS verschiebbar angeordnet. dadurch können sie in ihrem Abstand zueinander eingestellt und anschließend fixiert werden. Die beschriebene Anordnung und Ausstattung des dargestellten Video-Plankton-Rekorder VPR mit Linsen und Blenden ist nur beispielhaft und kann erforderlichenfalls auch anders aussehen.

[0025] Die [Fig. 2](#) zeigt in der Draufsicht einen Video-Plankton-Rekorder VPR, bei dem alle Komponenten in einem druckfesten Gehäuse DG angeordnet sind (hier nicht erläuterte Bezugszeichen siehe [Fig. 1](#)). Zur Erhöhung der Lichtausbeute ist in dieser Ausführungsvariante auf der Innenseite des druckfesten Gehäuses DG eine Verspiegelung VS vorgesehen. Eingezeichnet ist ein exemplarischer Strahlengang entlang der optischen Achse des Systems.

[0026] In der [Fig. 3](#) ist eine perspektivische Seitenansicht des Video-Plankton-Rekorders VPR ohne druckfestes Gehäuse DG dargestellt. Die lineare Lichtquelle LQ besteht aus einer Reihe von einzelnen Leuchtdioden LED, die von einem gemeinsamen rechteckigen Reflektor RF umgeben sind. Leuchtdioden LED sind kommerziell am Markt einfach erhältlich – auch mit einem Abstrahlwinkel von 70° oder weniger – leuchtstark und langlebig (3 W–5 W, 100.000 Betriebsstunden). Dabei weist der Reflektor RF den einzelnen Leuchtdioden LED zugeordnete Reflektorbereiche RB auf. Diese Reflektorbereiche RB können eine Ausprägung aufweisen, wie sie in [Fig. 4](#) näher erläutert wird. An den vier Ecken des Reflektors RF ist jeweils eine Gewindestange GS vorgesehen. Zwischen den vier Gewindestangen GS werden die optischen Komponenten des Video-Plankton-Rekorders VPR gelagert und fixiert (hier nicht erläuterte Bezugszeichen siehe [Fig. 1](#)). Dabei sind die Tragrahmen TR für die Komponenten mit einer Ausnahme alle gleich ausgeführt. Die Ausnahme bildet der Tragrahmen TR für den Umlenkspiegel US, dem ein Längsrahmenabschnitt fehlt. Der vorhandene Längsrahmenabschnitt LA weist eine 45°-Schräge auf, in die der Umlenkspiegel US, der größer als der Tragrahmen TR ist, einlegbar ist.

[0027] In der [Fig. 4](#) ist eine lineare Lichtquelle LQ als lineare Reflektorleuchte RL mit einem kombinierten Reflektor KR mit zentraler Apertur ZA dargestellt. Der kombinierten Reflektor KR weist einen elliptischen Spiegel SE in Form eines ausgedehnten Rotationsellipsoids RE und einen sphärischen Spiegel SS

in Form einer ausgedehnten Kugelschale KS auf. Die lineare Lichtquelle LQ ist in der ersten Brennpunktlinie BL1 des elliptischen Spiegels SE angeordnet. Der sphärische Spiegel SS ist mit seiner Mittellinie ebenfalls in der ersten Brennpunktlinie BL1 des elliptischen Spiegels SE angeordnet, seine zentrale Apertur ZA befindet sich genau in der zweiten Brennpunktlinie BL2 des elliptischen Spiegels SE. Die Lichtausbeute derartiger kombinierter Reflektoren KR ist besonders hoch, da alle Lichtstrahlen, die nicht direkt durch die zentrale Apertur ZA austreten, von dem sphärischen Spiegel S2 auf den elliptischen Spiegel SE zurückgeworfen und von da aus zur zentralen Apertur ZA reflektiert werden. Lediglich in den Randbereichen eines linear ausgedehnten kombinierten Reflektors KR treten Verluste auf.

Bezugszeichenliste

AB	rechteckige Aperturblende
AF	Aufnahmelichtstrahl
AS	Aufnahmesystem
AW	Auswerteeinheit
B	Breite des Lichtstrahls
BE	Beleuchtungseinrichtung
BL	Brennpunktlinie
d	Dicke der Lichtscheibe
DG	druckfestes Gehäuse
FE	Fenster
FL	Fokuslinie
GB	rechteckige Gesichtsfeldblende
GS	Gewindestange
KR	kombinierter Reflektor
KS	Kugelschale
LA	Längsrahmenabschnitt
LED	Leuchtdiode
LN	Linsensystem
LQ	lineare Lichtquelle
LS	Lichtscheibe
LT	Lichtstrahl
MV	optisch begrenztes Messvolumen
RB	Reflektorbereich
RE	Rotationsellipsoid
RF	rechteckiger Reflektor
RL	Reflektorleuchte
SE	elliptischer Spiegel
SL	Stablinse
SS	sphärischer Spiegel
TR	Tragrahmen
US	Umlenkspiegel
VK	Videokamera
VPR	Video-Plankton-Rekorder
VS	Verspiegelung
WB	weitere Blende
ZA	zentrale Apertur

Patentansprüche

1. Vorrichtung zur Partikeldetektion in einem strömenden Fluid in einem optisch begrenzten Messvo-

lumen mit einer Beleuchtungseinrichtung aus einer Lichtquelle, einem Blendensystem und einem fokussierenden Linsensystem sowie mit einer optischen Auswerteinheit mit weiteren Blenden und Linsen und einem auf das Messvolumen ausgerichteten Aufnahmesystem, **dadurch gekennzeichnet**, dass eine lineare Lichtquelle (LQ) verwendet wird und das optisch begrenzte Messvolumen (MV) als dreidimensionale Lichtscheibe (LS) ausgebildet ist, deren Dicke (d) durch rechteckige Aperturblenden (AB1, AB2) im Blendensystem und Stablinsen (SL1, SL2, SL3) im fokussierenden Linsensystem (LN) festgelegt ist, wobei die rechteckigen Aperturblenden (AB1, AB2) und Stablinsen (SL1, SL2, SL3) achsenkongruent zu der linearen Lichtquelle (LQ) angeordnet sind und die Fokuslinie (FL) der Stablinsen (SL1, SL2, SL3) vor dem Messvolumen (MV) liegt, und dass das Aufnahmesystem (AS) eine orthogonal zur Lichtscheibe (LS) angeordnete Videokamera (VK) ist.

2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Stablinsen (SL1, SL2, SL3) plankonvex oder konkav-konvex ausgebildet sind.

3. Vorrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Linsenkrümmung asphärisch ausgebildet ist.

4. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufnahmesystem (AS) ein Mustererkennungssystem aufweist.

5. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass zwei rechteckige Aperturblenden (AB1, AB2) vorgesehen sind, wobei die zweite rechteckige Aperturblende (AB2) schmaler ausgebildet ist als die erste rechteckige Aperturblende (AB1) und die Fokuslinie (FL) zwischen beiden rechteckigen Aperturblenden (AB1, AB2) liegt.

6. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass im Bereich der Fokuslinie (FL) achsenkongruent dazu eine rechteckige Gesichtsfeldblende (GB) angeordnet ist.

7. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass das Aufnahmesystem (AS) parallel zur Beleuchtungseinrichtung (BE) ausgerichtet und die Lichtscheibe (LS) über eine 90°-Strahlumlenkung (US) rechtwinklig umgelenkt ist.

8. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass die lineare Lichtquelle (LQ) einen Abstrahlwinkel von unter 70° und eine maximale Lichtleistung aufweist.

9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass die lineare Lichtquelle (LQ) als Reflektorleuchte (RL) ausgebildet ist, die einen kom-

binierten Reflektor (KR) aus einem elliptischen Spiegel (SE) und einem sphärischen Spiegel (SS) mit einer zentralen Apertur (ZA) aufweist, wobei die lineare Lichtquelle (LQ) in der Brennpunktlinie (BL1) des elliptischen Spiegels (SE) angeordnet ist.

10. Vorrichtung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass die lineare Lichtquelle (LQ) als Reihe aus mehreren benachbarten Leuchtdioden (LED) ausgebildet ist und der kombinierte Reflektor (KR) den einzelnen Leuchtdioden (LED) zugeordnete Reflektorbereiche (RB) aufweist.

11. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest die lineare Lichtquelle (LQ) und die Videokamera (VK) in einem druckfesten und strömungsgünstig geformten Gehäuse (DG) angeordnet sind.

12. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass auch die rechteckigen Aperturblenden (AB1, AB2), die rechteckige Gesichtsfeldblende (GB) und die Stablinsen (SL1, SL2, SL3) in dem druckfesten Gehäuse (DG) angeordnet sind, wobei dieses auf seiner Innenseite eine Verspiegelung (VS) aufweist.

13. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die lineare Lichtquelle (LQ), die rechteckigen Aperturblenden (AB1, AB2), die rechteckige Gesichtsfeldblende (GB) und die Stablinsen (SL1, SL2, SL3) über die vier Seitenkanten eines Quaders bildende Gewindestangen (GS) miteinander verbunden und zueinander einstellbar angeordnet sind.

Es folgen 3 Blatt Zeichnungen

Anhängende Zeichnungen

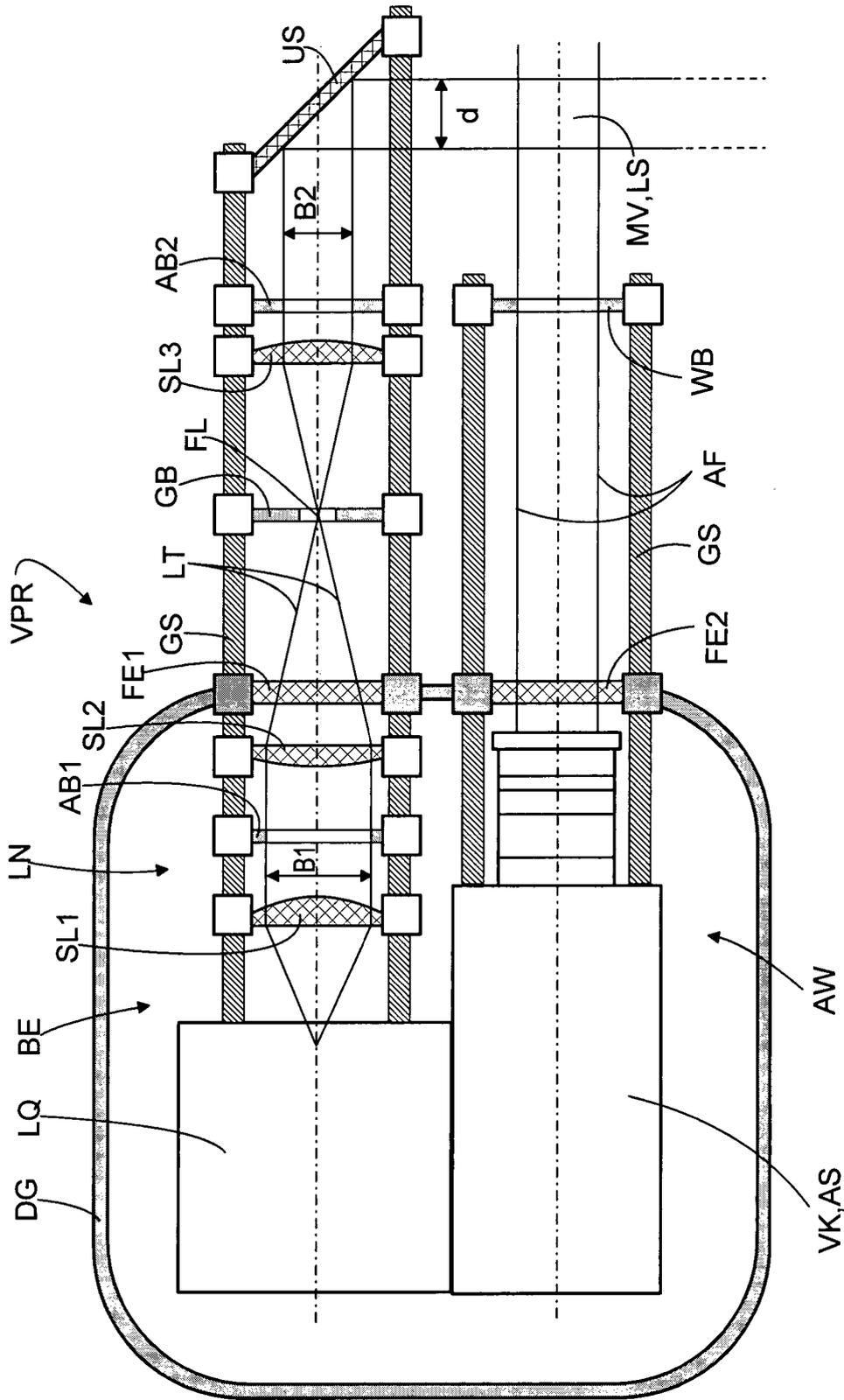


Fig.1

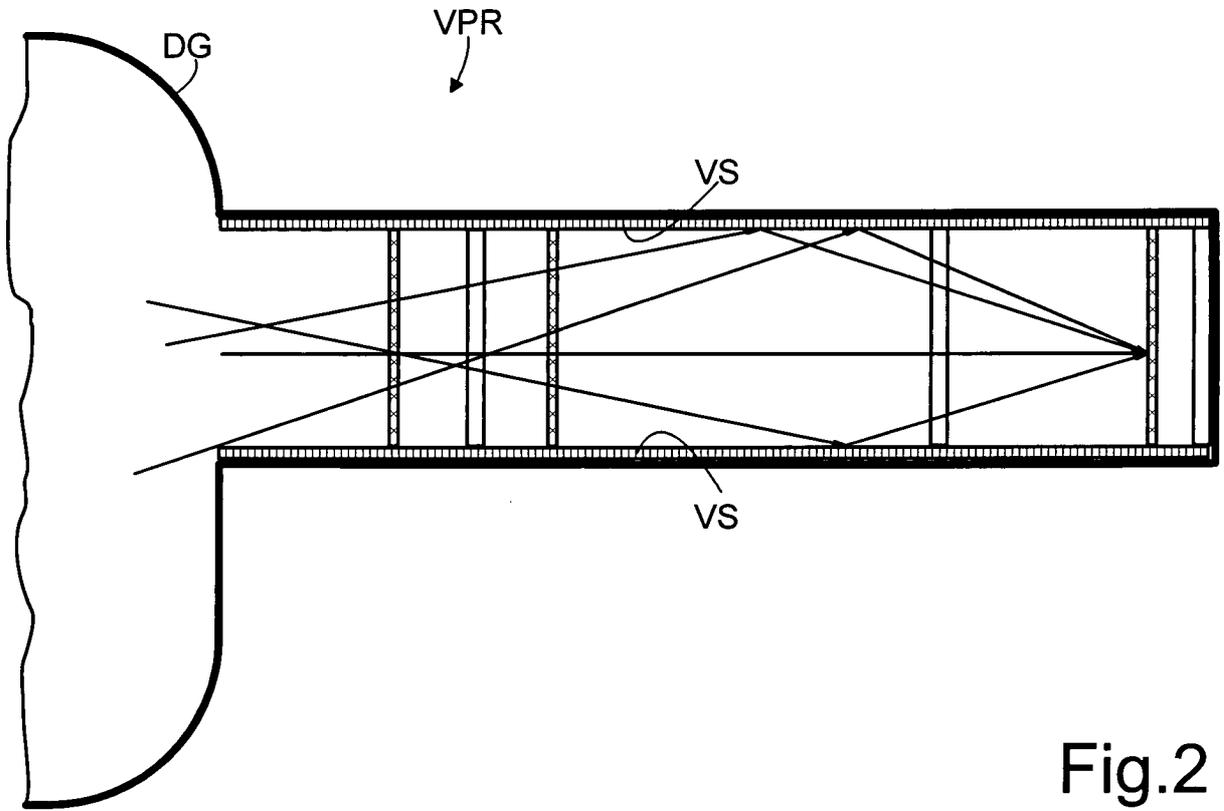


Fig.2

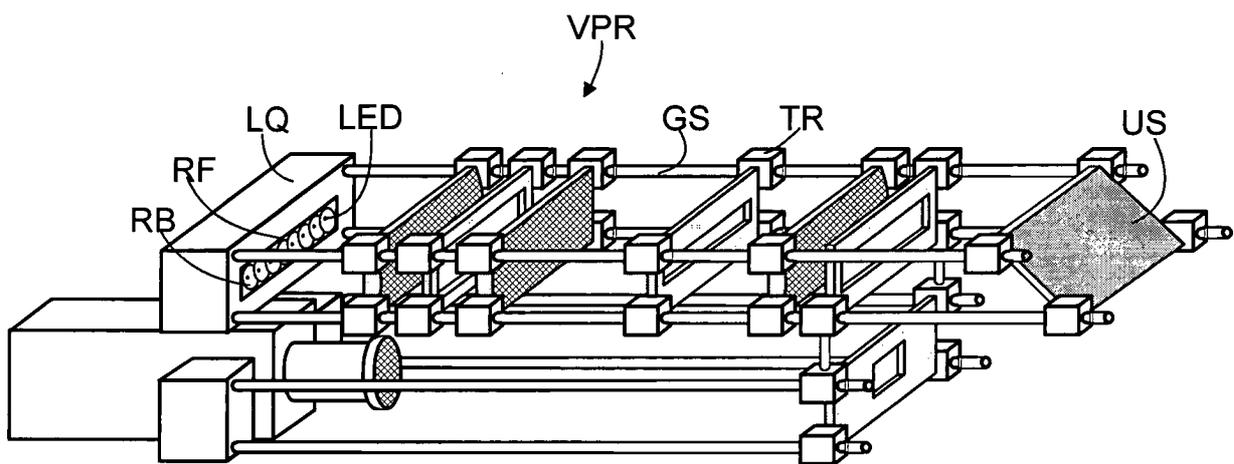


Fig.3

