

Anwendung von OLED-Mikrodisplays in visuellen Stimulationssystemen und in der Messtechnik



Uwe Lippmann



Martin Palme



Stefan Riehemann



Gunther Notni



Vegard Vangdal¹



Tormod Thomsen¹

¹ NordicNeuroLab AS, Bergen, Norwegen

Einleitung

In visuellen Stimulationssystemen sowie in Projektionssystemen finden vielfach Mikrodisplays Verwendung um Informationen darzustellen. Bei Projektionssystemen im Multimediabereich wird das projizierte Bild meist von den Zuschauern selbst betrachtet, während in der Messtechnik häufig Maßverkörperungen auf die zu vermessenden Objekte projiziert werden, die von Kameras aufgenommen und ausgewertet werden. In Stimulationssystemen, z. B. für die Funktionsdiagnostik in der Medizin, wird das Mikrodisplay selbst häufig direkt vom Patienten betrachtet. Zum Einsatz kommen vorwiegend transparente (LCD) oder reflektierende (LCOS) Flüssigkristalldisplays oder Mikrospiegelarrays (DMD) /1/. All diesen Displaytypen ist gemein, dass sie nicht selbst Licht abstrahlen, sondern auftretendes Licht modulieren. Es ist daher bei der Verwendung dieser Displays immer eine Beleuchtungseinrichtung erforderlich, um die auf ihnen dargestellten Informationen sichtbar zu machen. Der Platzbedarf der Beleuchtungseinrichtung kann erheblich sein und übersteigt gerade bei Projektionssystemen oft die Größe des eigentlichen Projektionsobjektivs. Generell wird eine Miniaturisierung derartiger Systeme angestrebt, der allerdings die Beleuchtungsbaugruppe im Wege steht.

Visuelle Stimulationssysteme werden meist direkt vor dem Auge angeordnet, so dass auch hier möglichst kompakte Systeme angestrebt werden. Selbstleuchtende OLED-Mikrodisplays können in beiden Fällen neue Möglichkeiten eröffnen. Da diese Displays selbst die Lichtquelle darstellen, können zusätzliche Beleuchtungseinrichtungen eingespart werden.

Es lassen sich so kompaktere Systeme mit einem deutlich niedrigeren Energieverbrauch realisieren. Darüber hinaus sind OLED-Displays in großen Stückzahlen kostengünstig herzustellen und liefern kontrastreichere Bilder als Flüssigkristalldisplays.

OLED-Mikrodisplays

Die Basis der OLED-Displays bildet eine Licht emittierende Diode (LED) aus organischen Verbindungen (OLED = Organic Light Emitting Diode). Der Mechanismus der Lichtentstehung in einer OLED ist analog der Lichterzeugung in einer Halbleiter-LED. In einer organischen Schicht rekombinieren angeregte Elektron-Loch-Paare unter Aussendung von Photonen /2/. Die Wellenlänge des ausgesendeten Lichtes hängt dabei von der Bandlücke des jeweiligen Materials ab. OLED-Displays setzen sich aus einer Matrix von integrierten organischen Leuchtdioden zusammen. Jedes Pixel stellt eine Lichtquelle dar, die je nach Schaltzustand verschiedene Helligkeitsstufen annehmen kann. Durch Kombination von OLEDs verschiedener Farben sind auch Farbdisplays realisierbar. Im Unterschied zu Flüssigkristalltechnologien sind dunkle Pixel auf einem OLED-Display absolut dunkel und werden nicht dadurch erreicht, dass Licht einer Hintergrundbeleuchtung durch polarisierende Elemente blockiert wird. Damit sind deutlich höhere Kontrastverhältnisse als bei LCD- und LCOS-Displays erreichbar.

Application of OLED microdisplays in visual stimulation systems and in metrology

Introduction

In visual stimulation systems and in projection systems, microdisplays are widely used for displaying information. In the case of multimedia projection systems the projected image is usually viewed by the audience, while in metrology cameras capture patterns projected onto the objects to be measured. In medical stimulation systems, e.g. for functional brain diagnostics, the microdisplay is mostly viewed by the patient directly. The predominantly used technologies include transmissive (LCD) or reflective (LCOS) liquid crystal displays or micro mirror-arrays (DMD) /1/. The feature which all these display types have in common is that they do not emit light themselves, but modulate the incident light. When using such displays, an illumination unit is always necessary for making the information on the display visible. The illumination unit can be very space-consuming and can be even larger than the projection lens. In general, an overall miniaturization of such systems is aimed at, however the extent to which the size can be reduced is primarily constrained by the size of the illumination unit.

Visual stimulation systems are, usually, placed near to the eye, therefore compact systems are also preferred in this case. Luminous OLED microdisplays can provide new options in both cases. Since these displays actually are light sources themselves, additional illumination set-ups are redundant and can be omitted. This way more compact systems with less power consumption can be realized. Above all, OLED displays can be produced very cost-efficiently in large quantities and provide a better contrast than liquid crystal displays.

OLED microdisplays

Light emitting diodes made of organic materials provide the basis for OLED displays (OLED = organic light emitting diode). The principle of OLED light generation is analogous to that of anorganic semiconductor LEDs. In an organic layer, pairs of electrons and holes recombine emitting photons /2/. The wavelength of the emitted light is thereby dependent on the band gap of the respective material. OLED displays are composed of an array of integrated organic light emitting diodes. Each

pixel is a light source of its own, able to adopt a different level of brightness. By combining OLEDs of different colors, color displays can also be realized. In contrast to liquid crystal technologies, dark pixels on an OLED display are truly dark and are not achieved by polarizing elements suppressing light from a background source. Therefore with OLEDs significantly higher contrast ratios are possible than with LCD or LCOS displays.

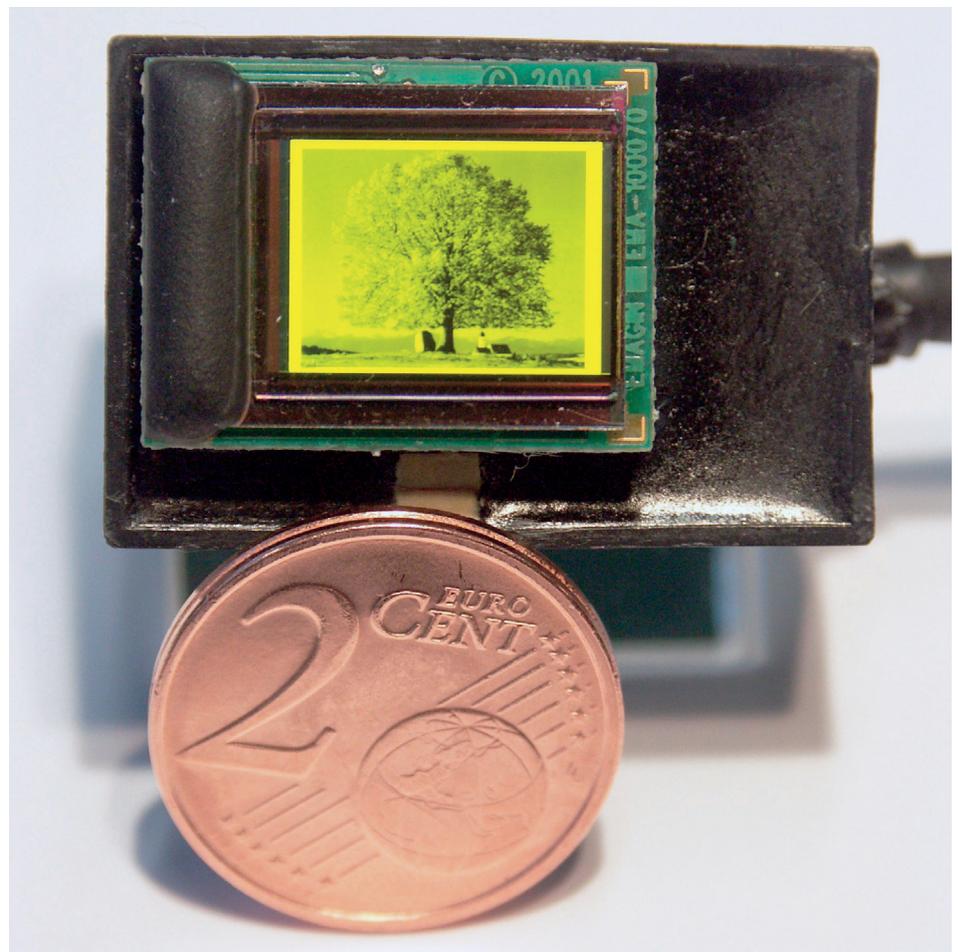


Abb. 1:
OLED-Mikrodisplay.

Fig. 1:
OLED microdisplay.

Anwendung von OLED-Mikrodisplays in visuellen Stimulationssystemen

Ihre häufigste Anwendung finden OLED-Mikrodisplays im Bereich der Head-Mounted-Displays (HMD), also in Systemen, die am Kopf getragen werden. Der Nutzer sieht dabei die Informationen auf dem OLED-Display entweder ausschließlich oder zusätzlich zu den Informationen aus seiner Umgebung (eingespiegelte Inhalte). Betrachtet wird das Display über ein Okular, das dem Auge eine entspannte Betrachtung ermöglicht und das Display vergrößert darstellt.

Besondere Anforderungen an Head-Mounted-Displays stellen Anwendungen in der Medizin, speziell in der Neurologie. HMDs werden hier eingesetzt, um dem Patienten visuelle Reize darzubieten und dadurch ausgelöste Veränderungen der Hirnaktivität zu beobachten. Gemessen werden die Hirnaktivitäten mittels der Magnetresonanztomographie (MRT). Dabei werden sehr starke Magnetfelder erzeugt und sehr geringe Änderungen dieser Felder registriert. Ein HMD, das in einem solchen Tomographen eingesetzt wird, darf daher zum einen nicht durch starke Magnetfelder beeinflusst werden und zum anderen seinerseits nicht das Magnetfeld beeinflussen.

Der Entwurf eines solchen Stimulationssystems muss sicherstellen, dass die elektronischen Komponenten ausreichend abgeschirmt sind und keinerlei ferromagnetische Stoffe zum Einsatz kommen. Andernfalls können die im Tomographen auftretenden starken Magnetfelder die Funktion des Systems stören, und umgekehrt kann das System durch seine magnetischen Eigenschaften die Messung unbrauchbar machen.

Zusätzlich sind die engen Platzverhältnisse innerhalb der Tomographenröhre zu berücksichtigen, die ein sehr kompaktes System erfordern. In Zusammenarbeit mit der norwegischen Firma NordicNeuroLab /3/ wurde am IOF die Optik für ein solches System entwickelt. Das Stimulationssystem besteht aus je einer Einheit für das linke und rechte Auge und ähnelt entfernt einem Fernglas (siehe Abb. 2). Die zu untersuchende Person liegt im Tomographen und betrachtet durch die Okulare die Informationen auf den Mikrodisplays. Zum Einsatz kommen Farbdisplays mit einer Leuchtdichte von etwa 70 cd/m^2 . Die Verwendung von zwei separaten optischen Kanälen erlaubt dabei die Darstellung stereoskopischer Bilder. Neben der Funktion als Okular erlaubt das entwickelte System gleichzeitig die Verfolgung der Augenposition des Betrachters. Über einen Strahlteiler, der zwischen OLED-Mikrodisplay und Okular angeordnet ist, wird das Auge von einer weiteren Optik durch das Okular hindurch beobachtet und auf eine Kamera abgebildet. Damit lässt sich auswerten, auf welchen Teil des Bildes der Proband gerade schaut. Auch eine Nachführung von Bildinhalten, die vom Auge fixiert bleiben sollen, lässt sich auf diese Weise realisieren. Die zur

Beobachtung des Auges notwendige Beleuchtung erfolgt im nahen Infrarotbereich, so dass der Proband nicht geblendet wird.

Anwendung von OLED-Mikrodisplays in der Messtechnik

Neben der Verwendung in Systemen, bei denen das Display direkt betrachtet wird, eröffnet die Entwicklung von OLED-Displays mit hoher Leuchtdichte neue Anwendungsmöglichkeiten. In der optischen Messtechnik – insbesondere bei der Vermessung von Objekten mittels Streifenprojektion – wird auf das zu vermessende Objekt eine Maßverkörperung projiziert und von Kameras aufgenommen. Zum Einsatz kommen dabei meist Projektoren auf LCOS- oder DMD-Basis. Industrielle Anwendungen im Bereich der Oberflächen- und Formvermessung stellen besondere Anforderungen an ein Projektionssystem: Der Abstand vom Messsystem zum Messobjekt soll so klein wie möglich sein und das Objektiv muss nahezu verzeichnungsfrei abbilden. Für kleine Messfelder von wenigen Zentimetern Durchmesser lassen sich DMD- oder LCOS-Projektoren allerdings nicht beliebig verkleinern.



Abb. 2:
Visuelles Stimulationssystem für die Funktionsdiagnostik (Bild: NordicNeuroLab).

Fig. 2:
Visual stimulation system for functional diagnostics (image: NordicNeuroLab).

Application of OLED microdisplays in visual stimulation systems

The most common applications of OLED microdisplays are head-mounted displays (HMD). The user sees the information on the OLED display either exclusively or in addition to the information from the environment. The display is viewed through an eyepiece, which provides convenient viewing and a magnification of the display.

Special requirements for head-mounted displays arise from medical applications, especially in neurology. HMDs are used in this field for presenting visual stimulations to the test person while neural activity is simultaneously monitored. The neural activities are measured using nuclear magnetic resonance tomography (NMR). This method involves very strong magnetic fields while measuring very small changes of these fields. An HMD being used in such a tomograph must not be influenced by the magnetic fields and must not itself influence the magnetic fields. The design of such a stimulation system must ensure, that the electronic components are shielded sufficiently and that no ferro-magnetic materials

are used. Otherwise the strong magnetic fields inside the tomograph can disturb the function of the system and the magnetic properties of the system can render the measurements unusable. Additionally the limited space inside the tube of the tomograph must be taken into consideration, requiring a very compact system.

In co-operation with the Norwegian company NordicNeuroLab /3/ the optics for such a system was developed at the IOF. The stimulation system consists of one unit for each eye and looks similar to binoculars (see Fig. 2). The test person lies in the tomograph and views the information on the microdisplays through the eyepieces. Color displays with a luminance of about 70 cd/m^2 are utilized. The use of two independent optical channels allows the display of stereoscopic images. Besides its function as an eyepiece, the developed system permits a simultaneous tracking of the position of the eye. The eye of the test person is observed through the eyepiece and a beam splitter placed between the display and the eyepiece. The eye tracking optics then images the eye onto a camera. Thus, which part of the image the test person is looking at can be analyzed. In this way it is also

possible to fix the image segments perceived by the eye through adjusting the image position. The illumination needed for observing the eye is done in the near infrared, in order that the test person is not dazzled.

Application of OLED microdisplays in metrology

Besides utilization in systems in which the microdisplay is viewed directly, the development of OLED displays with a high luminance opens new fields of application. In optical metrology – especially in the measurement of objects using fringe projection – a pattern is projected onto the object and captured by cameras. For this purpose mostly LCOS or DMD based projectors are used. Industrial applications in the field of surface and shape measurement impose special demands on a projection system: the distance between the measuring system and the object to be measured should be as short as possible and the projection lens needs to be almost free of distortion. For small fields of a few centimeters in diameter, DMD or LCOS based projection systems can not be arbitrarily scaled down.

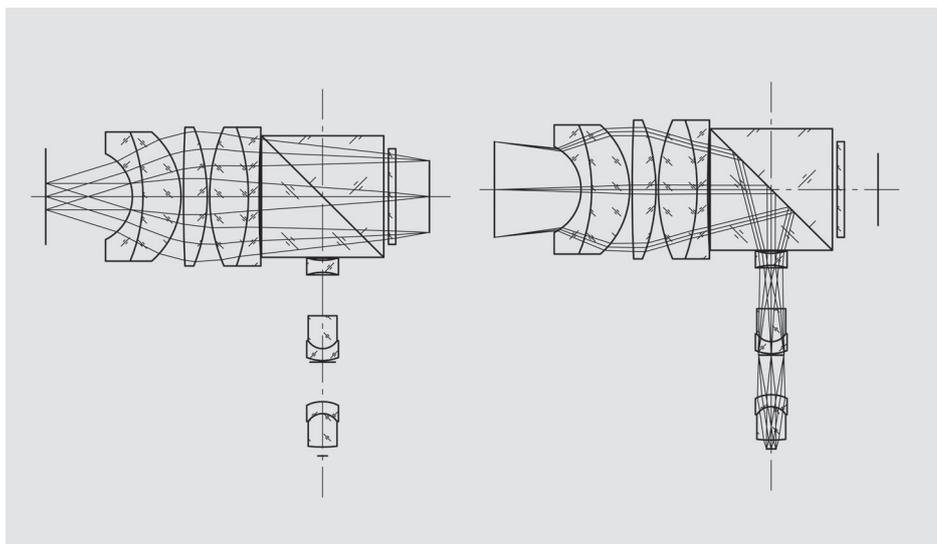


Abb. 3:
Strahlengang im Stimulationssystem –
links: Betrachtung des Displays,
rechts: Erfassung der Augenposition.

Fig. 3:
Beam paths of the visual stimulation system –
left: viewing the display,
right: eye tracking.

Die bei diesen Projektoren notwendige Beleuchtungsbaugruppe steht dabei einer Miniaturisierung im Wege. Einen Ausweg bieten hier OLED-Displays mit hoher Leuchtdichte. Da die Displays selbst die Lichtquelle sind, kann auf eine zusätzliche Beleuchtungsbaugruppe verzichtet werden. Gleichzeitig ist bei der vorhandenen hohen Leuchtdichte des Displays und den kleinen Abmessungen der Messanordnung eine ausreichende Helligkeit im Messfeld gegeben. Verwendet man ein monochromes OLED-Display, ist es darüber hinaus nicht erforderlich, das Projektionsobjektiv chromatisch zu korrigieren.

Im Rahmen eines Forschungsprojektes wurden zwei Messsysteme auf der Basis ultraheller OLED-Mikrodisplays entwickelt /4/, /5/, /6/. Verwendet wurde ein monochrom gelb leuchtendes Display der Firma eMagin /5/. Dieses Display liefert eine Leuchtdichte von bis zu 4000 cd/m² statt der sonst üblichen 50–150 cd/m². Die Auflösung beträgt 852 x 600 Pixel. Eines der realisierten Messsysteme wurde für industrielle Messaufgaben entworfen und kann direkt im Produktionsprozess Anwendung finden. Es besteht aus

einem Projektor auf OLED-Basis und einer hochauflösenden CMOS-Kamera. Für beide Komponenten wurden eigens auf den Anwendungsfall zugeschnittene, weitestgehend zeichnungsfreie Objektive entwickelt und gefertigt. Das 13,5 x 11 x 4,8 cm³ große System ist in Abb. 4 dargestellt. Zu sehen sind die Kamera auf der linken und der OLED-Projektor auf der rechten Seite. Das System erfasst ein Messfeld von 12 x 9 mm² mit einer Genauigkeit von 2 µm und einer Messzeit von etwa zwei Sekunden. Abb. 5 zeigt Beispiele von Objekten, die mit diesem System vermessen wurden.

Ein weiteres System wurde in ein Stereomikroskop integriert um Oberflächenstrukturen optisch zu vermessen. Dabei tritt das OLED-Display an die Stelle des Zwischenbildes in einem der Kanäle, dessen Lichtrichtung dadurch umgekehrt wird. Das Bild des Displays entsteht auf dem Messobjekt in der Einstellebene des Mikroskops. Eine Kamera im anderen Kanal des Mikroskops nimmt das Bild der Objektebene mit Messobjekt und projizierten Streifen auf. Der Winkel, den beide Kanäle im Objektraum einschließen, entspricht

dem Triangulationswinkel des Messsystems. Das Mikroskop mit montiertem OLED-Mikrodisplay sowie das Funktionsprinzip sind in Abb. 6 dargestellt. Die Baugruppe mit dem OLED-Display ist so ausgeführt, dass sie einfach gegen eines der Okulare des Stereomikroskops ausgetauscht werden kann. Das Mikroskop kann so in kürzester Zeit in ein Oberflächenmesssystem verwandelt werden.

Literatur:

- /1/ Hornbeck, L. J.: "From cathode rays to digital micromirrors, A history of electronic projection display technology", TI Technical Journal Paper 15, pp.7–46, 1998.
- /2/ Vaeth, K. M.: "OLED-display technology", Information display 19 No. 6 (2003) 12–17.
- /3/ www.nordicneurolab.com.
- /4/ Notni, G.; Riehemann, S.; Kuehmstedt, P.; Heidler, L.; Wolf, N.: "OLED microdisplays – a new key element for fringe projection systems", Proc. SPIE 5532, pp. 170–177, 2004.
- /5/ Riehemann, S.; Palme, M.; Kühmstedt, P.; Notni, G.: "Miniaturized Projection Systems with OLED Microdisplays – Approaches for Industrial Measurements", SID 2005 Digest (ISSN/0005-0966X/05/3601-0547), pp. 547–549, 2005.
- /6/ Riehemann, S.; Palme, M.; Lippmann, U.; Wolf, N.; Notni, G.: "System concept and optical design of miniaturized projection and imaging systems with OLED microdisplays", Proc. SPIE 5962, pp. 59620X, 2005.
- /7/ www.emagin.com.

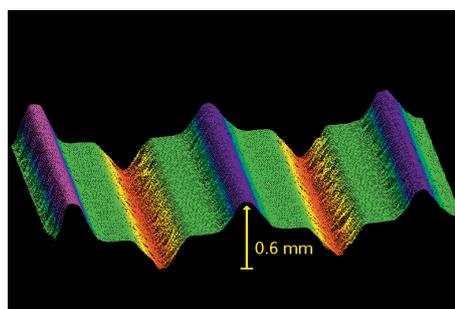


Abb. 4:
OLED-Messsystem.

Fig. 4:
OLED based measuring system.

Abb. 5:
Mit dem OLED-Messsystem gewonnene 3-D-Punktwolke.
links: eines Mikroprüfkörpers der PTB, rechts: eines Uhrwerks.
Gleiche Farben stellen hierbei gleiche Höhen dar.

Fig. 5:
3D point clouds obtained with the measuring system.
left: 3D calibration standard (PTB Braunschweig), right: clockwork.
Equal colors correspond to equal heights.



The illumination unit required for these types of projectors constrains the miniaturization of such systems. A possible solution is the utilization of OLED microdisplays with a high luminance. Since these displays are light sources themselves, there is no need for additional illumination units. The high luminance of the display and the small dimensions of the measurement setup provide sufficient brightness in the measurement field. Moreover, when using a monochrome OLED display, a chromatic correction of the projection lens is not necessary.

Within the scope of a research project, two measuring systems based on high luminance OLED microdisplays were developed /4/, /5/, /6/. In both cases a monochrome yellow display from the company eMagin /7/ was used. This display provides a luminance of up to 4000 cd/m² instead of the usual 50–150 cd/m² of other displays. The resolution is 852 x 600 pixels. One of the systems was developed for industrial measurement applications and can be directly integrated into the production line. It consists of an OLED based projector and a high resolution CMOS camera. For both components special, nearly distortionfree lenses adapted to the application were designed and manufactured. The dimensions of the whole system are 13.5 x 11 x 4.8 cm³. Figure 4 shows the system with the camera on the left and the OLED projector on the right side. The system captures a field of 12 x 9 mm² with an accuracy of 2 μm in about 2 seconds. Figure 5 shows examples of objects measured with this system.

Another system was integrated into a stereo microscope for measuring surface structures optically. The OLED display takes the place of the intermediate image in one channel of the microscope. The display is imaged onto the object in the focal plane of the microscope. A camera in the other channel captures the image of the object with the projected fringes. The angle between the two channels of the stereo microscope in object space is identical to the triangulation angle of the system. The microscope with the installed OLED microdisplay, as well as the functional principle is shown in Fig. 6. The unit containing the OLED display is implemented in such way that it can easily be swapped with one of the eyepieces of the stereo microscope. Thus the microscope can quickly be converted to a surface measuring system.

References:

- /1/ Hornbeck, L. J.: "From cathode rays to digital micromirrors, A history of electronic projection display technology", TI Technical Journal Paper 15, pp.7–46, 1998.
- /2/ Vaeth, K. M.: "OLED-display technology", Information display 19 No. 6 (2003) 12–17.
- /3/ www.nordicneurolab.com.
- /4/ Notni, G.; Riehemann, S.; Kuehmstedt, P.; Heidler, L.; Wolf, N.: "OLED microdisplays – a new key element for fringe projection systems", Proc. SPIE 5532, pp. 170–177, 2004.
- /5/ Riehemann, S.; Palme, M.; Kuehmstedt, P.; Notni, G.: "Miniaturized Projection Systems with OLED Microdisplays – Approaches for Industrial Measurements", SID 2005 Digest (ISSN/0005-0966X/05/3601-0547), pp. 547–549, 2005.
- /6/ Riehemann, S.; Palme, M.; Lippmann, U.; Wolf, N.; Notni, G.: "System concept and optical design of miniaturized projection and imaging systems with OLED microdisplays", Proc. SPIE 5962, pp. 59620X, 2005.
- /7/ www.emagin.com.



Abb. 6a:
Stereomikroskop mit OLED-Projektionseinheit.

Fig. 6a:
Stereo microscope with OLED projection unit.

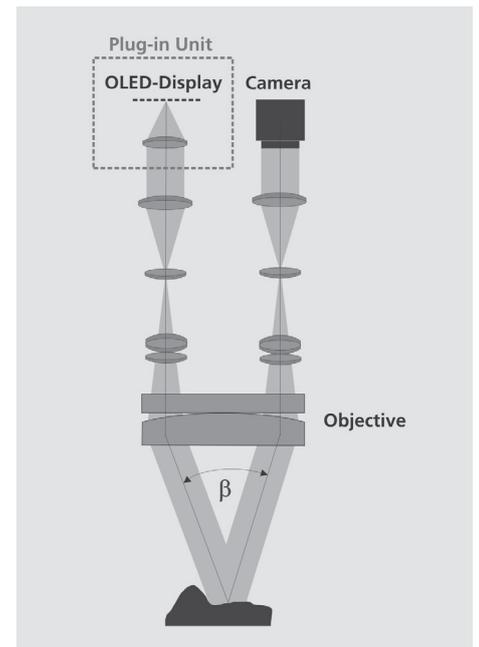


Abb. 6b:
Strahlengang im Stereomikroskop mit OLED-Projektionseinheit.

Fig. 6b:
Beam path in the stereo microscope with OLED projection unit.