

# **Head Up display surgery - die Zukunft im Augen-OP**

Operationskurs 5  
DOC Nürnberg 2022

Handout Teil 1:

## **Heads Up Surgery: 3D-Visualisierung im Augen-OP**

Dr. med. Tillmann Eckert, FEBO  
Augenklinik  
Bürgerhospital  
Nibelungenallee 37 – 41  
60318 Frankfurt  
t.eckert@buergerhospital-ffm.de

Es bestehen keine Interessenkonflikte (K).

### **Einleitung:**

Head Up Displays im ursprünglichen Sinn zeigen Piloten und Autofahrern projizierte Daten auf der Frontscheibe, ohne dass dafür der Blick auf Bordinstrumente abgesenkt werden muss.

Der in diesem Kurs behandelte Begriff „Heads Up“ Chirurgie bezieht sich auf die Kopfhaltung des Operators, der im Gegensatz zur üblichen OP-Technik nicht mit abgesenktem Kopf durch die Okulare eines OP-Mikroskops, sondern „erhobenen Hauptes“ mit einer Polarisationsbrille auf ein 3D-Display blickt. Auf diesem wird mit einer geringen Latenz das dreidimensionale digitale Videosignal einer 3D-Kamera wiedergegeben, das für die Wiedergabe auf dem 3D-Display von einem leistungsfähigen Computer (Workstation) verarbeitet worden ist.

Aktuell für die Ophthalmochirurgie erhältlich sind 2 Systeme von Alcon bzw. ZEISS.

### **Entwicklung der Technologie:**

Das OP-Mikroskop hat sich vor ca. 70 Jahren in der Ophthalmochirurgie etabliert und wurde bis heute ständig verbessert. Okulare sind ein bis vor kurzem unverzichtbarer Bestandteil gewesen.

Neue Konzepte der okularfreien Visualisierung des ophthalmologischen OP-Gebietes wurden u.a. von Miyake et al. (1999)<sup>1</sup> und Badhri et al. (2007)<sup>2</sup> publiziert.

In der experimentellen Studie von Miyake et al.<sup>1</sup> wurde eine hocheinsensitive Kamera und ein stereoskopischer Betrachter statt der Okulare eingesetzt. Bemerkenswert war der deutlich geringere Lichtbedarf des so modifizierten Mikroskops.

Badhri und Koautoren<sup>2</sup> stellten 2007 einen Prototyp eines digitalen okularfreien Mikroskops vor, bei dem das in einem Computer bearbeitete Bild einer stereoskopischen Kamera mit einer Polarisationsbrille auf einem 3D-Monitor betrachtet werden konnte.

Ab 2007 vertrieb die kalifornische Firma TrueVision® 3D Surgical ein praxistaugliches 3D Visualisierungssystem, das seitdem u.a. von einigen US-amerikanischen Kataraktchirurgen<sup>3,4</sup> eingesetzt und von ihnen als „Heads up cataract surgery“ bezeichnet worden ist.

2010 berichtete Christopher Riemann<sup>5</sup> über seine ersten Erfahrungen mit einem modifizierten TrueVision® System bei 8 Vitrektomien.

Anfang 2014 begann Claus Eckardt in der Augenklinik des Klinikum Frankfurt Höchst das Visualisierungssystem von TrueVision® 3D Surgical mit einem Leica-OP-Mikroskop ohne Okulare einzusetzen und stellte die Technik auf dem Frankfurt Retina Meeting 2014 vor. Seitdem findet die Heads up Chirurgie im Bereich der Ophthalmochirurgie weltweit zunehmend Verbreitung, v.a. unter vitreoretinalen Chirurgen.

Das 46-Zoll Full HD 3D Display wurde von Eckardt früh durch ein 55 Zoll 4K Display ersetzt. 2016 publizierten Claus Eckardt und Erica Paulo<sup>6</sup> eine viel zitierte experimentelle und klinische Studie<sup>6</sup> mit dem Titel „Heads-up surgery for vitreoretinal procedures“.

Ab 2016 wurde das 3D-Visualisierungssystem von TrueVision® mit modifizierter Software und einem 55 Zoll OLED Display als NGENUITY® von der Firma Alcon vertrieben und kann an verschiedenen Mikroskopen eingesetzt werden. 2018 wurde TrueVision® Systems von Alcon erworben.

Nach 2014 wurden in Frankfurt Höchst alle OP-Säle mit einem 3D-Visualisierungssystem ausgerüstet, so dass auch der Autor dieses Kursbeitrags seit 2015 ausschließlich die Systeme von TrueVision® bzw. Alcon für alle Arten extra- und intraokularer Chirurgie genutzt hat und seine Erfahrungen mit diesen Systemen im Kurs darstellen wird.

Das ARTEVO 800 von ZEISS ist laut der Firma „das erste digitale Mikroskop in der chirurgischen Ophthalmologie“. Herr Professor Priglinger wird in seinem Vortrag näher auf das ARTEVO 800 eingehen.

### **Gliederung:**

In diesem Vortrag wird das 3D System von TrueVision® bzw. Alcon (NGENUITY®) und der Einsatz im Augen-OP anhand klinischer Beispiele vorgestellt. Unterschiede zum analogen Mikroskop werden dargestellt, v.a. hinsichtlich der Beleuchtungsstärke und der ergonomischen Aspekte. Außerdem wird auf den Stellenwert für die Ausbildung von Operateuren eingegangen. Schließlich werden mögliche Entwicklungen der okularfreien Technologie diskutiert.

### **Praktische Aspekte:**

Grundlage des dreidimensionalen Visualisierungssystems von TrueVision® / Alcon ist eine stereoskopische Videokamera (ICAM5®), deren beide Full HD-Sensoren Bilder mit großen Helligkeitsunterschieden (high dynamic range) aufnehmen und an die verarbeitende Workstation weitergeben. Die Blende der Kamera lässt sich durch einen mechanischen Schieber verändern und wird je nach Nutzer zwischen einem Drittel bis drei Viertel geöffnet. Die Kamera kann die Okulare vollständig ersetzen. Zwischen Kamera und Objektiv des Mikroskops (in Frankfurt Höchst Leica M822) wird ein zur Weitwinkelbeobachtungssystem nötiger stereoskopischer Diagonal-Inverter und ein Laserfilter eingesetzt. Der Operateur trägt eine Polarisationsbrille.

Der Bildschirm muss so ausgerichtet werden, dass der Operateur möglichst senkrecht auf die Mitte des Bildschirms blicken kann. Größere Abweichungen vor allem in der Höhe können den 3D-Effekt beeinträchtigen. Eine geringe Kopf- und Oberkörperdrehung zum Monitor sind wegen der Position des 3D-Systems neben dem Patienten nötig. Je nach Größe und Ausstattung des OPs sind unterschiedliche Positionen des Systems neben der Patientenliege erforderlich.

Steht der Monitor z.B. auf der rechten Seite des Patienten, lassen sich sowohl rechte wie linke Augen problemlos von oben operieren, lediglich die linke obere Ecke des Bildschirms ist dann etwas durch die Säule des Mikroskops verdeckt. Eine OP eines linken Auges von der temporalen Seite ist bei dieser Anordnung des 3D Systems kein Problem, der Bildschirm muss jedoch etwas nach links zum Operateur gedreht werden. Störend sind dann allerdings die Teile des Mikroskops, die bei dieser Position an beiden Seiten die Ränder des Bildschirms überdecken.

Bei einer Operation eines rechten Auges von temporal muss der Bildschirm auf die andere Seite der Patientenliege geschoben werden, wenn in Heads up-Technik operiert werden soll.

Die Umgewöhnung auf die Heads up-Technik gelingt in kurzer Zeit. Die veränderte Koordination von Augen und Händen erfordert jedoch eine Umstellung. Dabei hilft es, die Hände auf dem Kopf des Patienten abzustützen.

Die kaum merkliche Latenz (für das NGENUITY® ca. 0,07 sec)<sup>7</sup> stellt in der Praxis auch bei Kataraktoperationen kein Problem dar. Sehr schnelle Bewegungen, bei denen auch eine geringe Latenz irritierend sein würde, sind bei Vitrektomien ohnehin nicht sinnvoll.

Das von Okularen gewohnte kreisrunde Bild wird durch die Kamerasensoren und den Bildschirm rechteckig. Bei Nähten und in der Lidchirurgie kann das hierdurch beschnittene Bild praktische Bedeutung haben und muss ggf. durch eine Verringerung des Zoomfaktor oder die Neigung des Objektivs per X/Y kompensiert werden.

Bei intraokularen Operationen ist die rechteckige Form des Bildes unproblematisch. Empfehlenswert ist eine möglichst hohe Vergrößerung, bis das runde Bild von Kornea oder Retina, an die vertikalen Ränder des Monitors reicht.

### **Auflösung / Schärfentiefe:**

Mit speziellen Targets (z.B. USAF 1951 Resolving Power Test Target bzw. Depth of field 5 – 15 Target) können Auflösung und Tiefenschärfe eines Mikroskopes geschätzt werden. Gonzalez-Saldivar und Chow<sup>8</sup> untersuchten beim NGENUITY® Auflösung und Schärfentiefe in Abhängigkeit von der Vergrößerung, der Blendenapertur und von der Entfernung des Operateurs zum 3D Bildschirm. Die Schärfentiefe nahm in dieser Untersuchung mit zunehmender Apertur der Blende bei allen Vergrößerungen ab. Die höchste Schärfentiefe wurde mit 30% erreicht. Bei hohen Vergrößerungen sank die Schärfentiefe erwartungsgemäß.

Im Vergleich zu Okularen zeigte sich mit dem digitalen System bei einem Abstand von 1,5 m zum Bildschirm nur bei 10-facher Vergrößerung eine niedrigere Auflösung als mit dem analogen Mikroskop. Bei höheren Vergrößerungen war hingegen die Auflösung beider Systeme vergleichbar. In der Studie wurde die Schärfentiefe und tendenziell auch die Auflösung des NGENUITY® von den 5 Probanden im Vergleich zu Okularen als höher eingeschätzt. Die Autoren der Studie<sup>8</sup> empfehlen die Blende nur zu 30% zu öffnen und einen Abstand des Bildschirms zum

Operateur von 1,2 m anzustreben. Der Bildschirm sollte auch nach unserer Erfahrung nicht weiter als 1,5 m vom Operateur entfernt sein.

Die Blendenöffnung der stereoskopischen Kamera spielt hinsichtlich der Beleuchtung eine Rolle. Bei enger Blendenöffnung wird mehr Licht für ein gleich helles Bild benötigt. Außerdem führt eine kleine Blende zu einer Verdunklung der Bildränder (Vignettierung). Eine weite Öffnung der Blende verringert den Lichtbedarf, kann aber zum Verlust von Schärfentiefe und Auflösung führen. Ein Kompromiss mit einer etwa halboffenen Blende hat sich bewährt, der Autor dieses Kursbeitrags nutzt eine etwa halb geöffnete Blende.

### **Farben:**

Im Vergleich zum Bild durch Okulare fallen die etwas künstlichen Farben der digitalen Systeme auf. Für unterschiedliche Lichtquellen (Mikroskopbeleuchtung bzw. Endoillumination) sind unterschiedliche Farbvoreinstellungen nötig. In der Software muss beim Wechsel zwischen Vorderabschnitt und Glaskörperraum die jeweils gültige Voreinstellung ausgewählt werden.

Ein gelegentlich erforderlicher Weißabgleich sollte mit Papier oder Graukarte (notfalls auch mit chirurgischer Kompresse), nicht aber mit einem Handschuh vorgenommen werden<sup>9</sup>.

Mit 4K- (wie beim ZEISS ARTEVO 800) oder künftig gar 8K-Sensoren wird im Vergleich zu Full HD der erweiterte Farbraum von UltraHD genutzt werden können, so dass die Farben in zukünftigen digitalen Systemen noch etwas realistischer werden dürften. In der Praxis spielen die geringen Unterschiede zur natürlichen Farbgebung jedoch keine größere Rolle.

Das NGENUITY® bietet mehrere digitale Farbfilter an: Der blaue Filter soll Glaskörper besser sichtbar machen, reduziertes Rot bei Glaskörperblutungen und Gelb beim Membranpeeling mit Vitalfarbstoffen den Kontrast erhöhen. Nach dem letzten Update des NGENUITY® bestehen weitere Möglichkeiten der Steuerung und Individualisierung der Farbfilter. Der praktische Stellenwert dieser Filter bleibt noch unklar.

### **Reduktion der Beleuchtungsstärke:**

Angeichts der möglichen Phototoxizität sollte die Stärke der Belichtung des OP-Mikroskops zur Vermeidung von Schäden an der Retina so gering wie möglich gewählt werden. Bei den üblichen Lichtintensitäten ist es anstrengend, in das grelle Licht zu sehen (ein Selbstversuch sei empfohlen). Eine niedrige Beleuchtungsstärke verbessert die Kooperation besonders blendungsempfindlicher Patienten (v.a. bei Kataraktchirurgie in Tropfanästhesie). Verringert man die Lichtintensität von zum Beispiel 40 auf 10 %, wird das Mikroskoplicht für einen Patienten erträglicher, für den Operateur kann das Bild aber zu dunkel werden. Beim digitalen Mikroskop kann ein zu dunkles Bild durch Erhöhung der Empfindlichkeit der Sensoren (Gain) wieder ausreichend hell gemacht werden, solange kein störendes Rauschen entsteht. Die Lichtbelastung sollte konsequent durch Nutzung der digitalen Verstärkung reduziert werden, was bei längeren OPs mit komplexer Pathologie und bei vorgeschädigter Retina besonders relevant sein dürfte.

Mit digitalen Mikroskopen sind bei einer PPV niedrigere Beleuchtungsstärken möglich als mit analogen Mikroskopen. Talcott et al.<sup>10</sup> wiesen dies bei einer etwas größeren Serie von Augen mit Makulaforamen nach. Das ILM Peeling wurde in dieser Studie mit 3D aber subjektiv als

schwieriger bewertet und erforderte im Schnitt etwa 3 Minuten mehr Zeit, was aber auch durch die Lernkurve erklärt werden könnte.

Eine 27 Gauge-Lichtsonde liefert aufgrund ihres geringen Durchmessers eine schwächere Ausleuchtung als 25 oder 23 Gauge-Lichtsonden. Wie hilfreich die digitale Verstärkung für die 27G-PPV sein kann, demonstriert eine kleine Fallserie von Kunikata et al.<sup>11</sup>, die beschrieben, dass sie mit einem 3D Kamerasystem von Ikegami selbst bei einer nur einprozentigen Beleuchtungsstärke des Lichtmoduls durch digitale Verstärkung eine exzellente Visualisierung erzielen konnten.

Einen ersten Hinweis auf einen positiven klinischen Effekt niedriger Beleuchtungsstärken auf den frühen postoperativen Visus nach Kataraktchirurgie könnte ein Fallserie von Rosenberg et al. geben<sup>12</sup>. Diese Autoren verglichen retrospektiv die Beleuchtungsstärke des konventionellen Mikroskopes mit dem NGENUITY® bei Kataraktoperationen. Mit dem digitalen System war die Beleuchtungsstärke signifikant niedriger als mit dem Mikroskop mit Okularen. Mit 3D operierte Augen erreichten in einem höheren Prozentsatz bereits am ersten Tag einen Visus nahe dem Visus nach einem Monat. Ob sich der Visus mit einer lichteinsparenden Vorgehensweise postoperativ tatsächlich schneller erholt, bedarf jedoch kontrollierter Studien.

Plombenoperationen werden zunehmend häufiger auch mit einem Chandelierlicht unter Weitwinkelbeobachtung statt indirekter Ophthalmoskopie durchgeführt. La Spina et al.<sup>13</sup> berichteten retrospektiv über 107 Augen, bei denen diese Technik mit 3D Visualisierung die Plombenoperation vereinfacht habe und zudem bislang unbekannte Defekte lokalisiert werden konnten.

Ganz ohne Beleuchtung durch das Mikroskop führten Hamasaki et al.<sup>14</sup> 2 Schieloperationen aus. Mit Heads up, offener Blende und „Lights out“ habe lediglich das Raumlicht für eine gute Beleuchtung ausgereicht. Die gemessene Beleuchtungsstärke im OP-Gebiet sei 6 mal schwächer als mit der geringsten Illumination durch das Mikroskop gewesen.

### **Ergonomie:**

Hinsichtlich der Ergonomie ist die Heads up-Technik für Operateure von großem Vorteil:

Die Kopf- und Oberkörperhaltung muss nicht mehr streng an der Position der Okulare ausgerichtet werden. Der Operateur kann entspannter sitzen und die Position dabei häufig etwas ändern. Die Belastung gerade der Halswirbelsäule ist mit 3D-Technik um die Hälfte geringer (Yu et al.<sup>15</sup>).

Bei Operationen im Kammerwinkel muss das Mikroskop stark abgewinkelt werden, um den Kammerwinkel durch ein Gonioskop sehen zu können. Der Blick durch die Okulare erfordert dann eine besonders unnatürliche Haltung und kann schnell anstrengend werden. Mit „Heads up“ ist eine unverkrampfte Haltung möglich. Allerdings muss dann das 3D-System auf die gegenüberliegende Seite des Patienten stehen, um den nasalen Kammerwinkel einsehen zu können.

### **Vor- und Nachteile für das OP-Team:**

Als einer der Vorteile der 3D Visualisierung wird von vielen die bessere Integration des ganzen Teams in den OP-Ablauf genannt. Auch Zuschauer schätzen die Möglichkeit, das gleiche Bild wie der Operateur sehen zu können, sehr.

Allerdings gibt es auch Nachteile<sup>16</sup>. So ist der Platzbedarf des Bildschirms und der Workstation im OP relativ groß, was Anästhesie und OP-Pflege Wege zum oder um den Patienten erschweren kann.

Assistierende sehen zwar das gleiche 3D-Bild wie der Operateur, der 3D Effekt kann aber durch einen schrägeren Blickwinkel abgeschwächt sein. Zusätzlich ist die Koordination zwischen Augen und Händen schwieriger als beim Blick durch einen Mitbeobachter.

### **Technische Probleme:**

Technische Probleme mit Kamera, PC bzw. Display sind möglich. Im Fall eines seltenen Bildausfalls sollte man zunächst die Kabelverbindungen der Kamera prüfen und eventuell einen Neustart des Systems ausführen. Ein Wechsel auf Okulare muss bei Ausfall des 3D-Systems jederzeit möglich sein.

### **Ausbildung:**

Von entscheidendem Wert sind die Möglichkeiten, die sich durch „Heads up“ bei der Ausbildung von Augenärzten und künftigen Operateuren ergeben. Schon als Beobachter werden sie mit 3D stärker in das Geschehen einbezogen und verstehen die räumlichen Verhältnisse besser als durch die Betrachtung eines 2D-Bildschirms.

Soll während einer OP auf eine bestimmte Struktur aufmerksam gemacht werden, könnte dies direkt am Monitor erfolgen, einfacher ist jedoch der Einsatz des Cursors des PC mit einem Keyboard durch einen Assistenten oder durch eine steril verpackte kabellose Maus am OP-Stuhl. Eine steril verpackte gyroskopische Fernbedienung des 3D-Bildschirms ist eine Alternative<sup>17</sup>.

Der erfahrene Operateur kann ebenfalls vom identischen dreidimensionalen Bild profitieren: Während einer OP durch einen weniger erfahrenen Operateur kann er / sie schneller eingreifen, wenn sich drohende Komplikationen abzeichnen.

Um einen wachen Patienten während einer OP nicht zu irritieren, ist die Kommunikation über den OP-Ablauf nur eingeschränkt möglich. Der Einsatz einer Mobilfunkverbindung (mit Headset und Bluetooth-Kopfhörer) zwischen Operateur und Instruktor, der in einigen Metern Abstand vom Patienten auf den gleichen 3D-Monitor blickt, und so vom Patienten unbemerkt die Schritte des Operateurs unmittelbar kommentieren bzw. steuern kann, hat sich bei der Ausbildung junger Operateure bewährt<sup>18</sup>.

Übertragungen von Livechirurgie in 3D sind Höhepunkte bei ophthalmochirurgischen Kongressen gewesen, seit einigen Jahren auch im Rahmen der DOC oder beim Frankfurt Retina Meeting.

### **zusätzliche digitale Tools / simultane Darstellungen anderer Bildgebungsverfahren:**

Der 55Zoll Bildschirm ermöglicht die simultane Darstellung hilfreicher Tools wie z.B. Achsenmarkierungen oder Schablonen für die korrekte Größe einer Kapsulorhexis.

Weitere visuelle Informationen wie das intraoperative OCT können ebenfalls auf dem Bildschirm zeitgleich zum Live-Bild des Mikroskops eingespielt werden. Mehr dazu in Teil 2 des Kurses.

Andere Formen der intraokularen Bildgebung könnten zukünftig in Verbindung mit der 3D-Technologie ebenfalls Einzug in den OP halten:

So haben z.B. Imai et al.<sup>19</sup> ein Mikroskop und eine Lichtquelle mit Filtern so modifiziert, dass eine intraoperative 3D-Fluoreszenzangiographie während der PPV bei PDR möglich geworden ist.

Auch die intravitreale Endoskopie wird einfacher. Ein zweiter Monitor ist nicht mehr nötig, da das endoskopische Bild neben dem Mikroskopbild auf dem gleichen Display simultan gesehen werden kann. Kita et al.<sup>20</sup> bezeichneten die Kombination der intravitrealen Endoskopie mit einer Heads up Vitrektomie als Hybridvitrektomie.

Einige Autoren<sup>21,22</sup> sprechen in diesem Zusammenhang von einem „chirurgischen Cockpit“, auf dem der Operateur ähnlich wie ein Pilot wichtige Informationen einschließlich präoperativer Befunde auf dem Display abrufen kann.

### **digitale Mikroskope in anderen Disziplinen:**

Interessant im Hinblick auf die möglichen Weiterentwicklungen der 3D-Technologie sind mehrere digitale Mikroskope, die in anderen operativen Disziplinen eingesetzt werden:

Beim ARRISCOPE® der Firma Munich Surgical Imaging sind die optischen Okulare durch ein digitales Binokular ersetzt worden. Eine Heads up Option besteht auch. Es werden 2 hochwertige Full HD-Sensoren eingesetzt. Seit einigen Jahren wird das ARRISCOPE in HNO-Kliniken genutzt (OP-Videos in 2D oder 3D unter [munichimaging.de](http://munichimaging.de)).

Als mögliche Weiterentwicklung wurde 2018 von der nach dem Kauf durch Alcon nicht mehr eigenständig existierenden Firma TrueVision® das TrueScope® angekündigt. Mit einem solchen System würde die Notwendigkeit eines konventionellen Mikroskops wegfallen, was durch den deutlich geringeren Platzbedarf in kleineren OPs vorteilhaft sein könnte. Interessant ist die Ähnlichkeit des TrueScope® zu dem von Badhri et al bereits 2007 vorgestellten Prototyp eines okularfreien Mikroskops.

Die Firma Karl Storz bietet für die Mikrochirurgie (z.B. Hand- und plastisch rekonstruktive Chirurgie) mit dem Vitom® 3D bereits ein ähnliches 3D-Mikroskop an ([karlstorz.com/de](http://karlstorz.com/de)).

Als Nachfolger der nichtophthalmologischen Sparte von TrueVision® hat die kalifornische Firma True Digital Surgery® ([truedigitalsurgery.com](http://truedigitalsurgery.com)) das Modell Occipta® für die plastisch-rekonstruktive Chirurgie entwickelt, während ihr sehr ähnliches Modell Aesculap AEOS in den USA über Aesculap, in der EU über B Braun bereits für Neurochirurgie und HNO angeboten wird. Beide Modelle ähneln dem Konzept des TrueScope®. Die im Vergleich zu konventionellen Mikroskopen kleine 3D-Kamera wird über einen Roboterarm in das OP-Gebiet eingeschwenkt und gesteuert. Ob ein ähnliches Modell von Alcon auch für die Ophthalmochirurgie entwickelt wird, ist nicht bekannt.

### **kopfgetragene Displays:**

Zwei Arbeitsgruppen von der iberischen Halbinsel<sup>23,24</sup> stellten 2017 ihre ersten Erfahrungen mit einem Head Mounted Display von Sony vor. Allerdings ist dieses Display von SONY nicht mehr erhältlich.

Head Mounted Displays werden bereits von Kampfpiloten schon seit längerem genutzt. Seit einigen Jahren wird von der israelischen Firma Beyeonics ein aus dieser militärischen Technologie weiterentwickeltes Visualisierungssystem für die Ophthalmochirurgie angekündigt (Beyeonics One™), das sich durch Augmented Reality-Funktionen auszeichnen soll.

2 ultrahochauflösende Kameras und ein entsprechend leistungsfähiger Computer generieren das 3D-Bild, das eine im Vergleich zu den aktuellen Systemen deutlich höhere Auflösung haben soll.



Wird das durchsichtige Display aktiviert, sieht der Operateur das OP-Gebiet vor seinen Augen in UltraHD Qualität. Das Beyeonics One™ soll u.a. auch eine digitale Zoomfunktion namens Panning ermöglichen, mit der periphere Netzhautareale ohne Rotation des Bulbus auch mit starker Vergrößerung betrachtet werden können. Die Latenz des Systems soll kleiner als 20 Millisekunden betragen<sup>26</sup>. Die Steuerung der umfangreichen Funktionen kann durch Augen- und Kopfbewegungen erfolgen. Augmented Reality mit Einspielung weiterer Informationen im Display oder mit digitalen Filtern soll den Operateur unterstützen. Es ist unklar, ob das Beyeonics One™ in Europa in absehbarer Zeit getestet werden kann. Besonders günstig wird das System sicher nicht sein. Aktuell sollen Zulassungsstudien in den USA laufen<sup>25</sup>.

### **Fazit / Ausblick:**

Die jetzt schon eingesetzten 3D Systeme bieten eine gute Schärfentiefe, Möglichkeiten der digitalen Verstärkung von Kontrast und Helligkeit, sowie den erleichterten Einsatz höherer Vergrößerungen. Praktisch alle OPs auf dem Gebiet der Augenhelikunde sind in Heads up möglich. Sie eignen sich auf dem Gebiet der Netzhautchirurgie in Kombination mit einer Weitwinkelbeobachtung auch für periphere Pathologien.

Der Einstieg ist intuitiv und kurz. Vor allem bei langen Operationen werden Rücken und Nacken entlastet, weil ständige Änderungen von Sitz- und Kopfposition möglich sind.

Bei der Ausbildung junger Operateure bieten sich neue Möglichkeiten, weshalb 3D-Systeme besonders in größeren Augenkliniken Anwendung finden sollten.

Mit digitalen Systemen werden geringere Beleuchtungsstärken benötigt. Dies könnte ein gewichtiges Argument für die okularfreie digitale Ophthalmochirurgie werden, da eine Reduktion phototoxischer Effekte möglich erscheint. Die klinische Relevanz gilt es aber noch zu prüfen.

In Deutschland ist die 3D Visualisierung aktuell noch nicht so verbreitet, wie es vor einigen Jahren erwartet wurde. Sicher spielen die nicht unerheblichen Kosten bei der Anschaffung solcher Systeme eine wichtige Rolle. Gerade medizinische 3D-Displays sind im Vergleich zu Consumermodellen sehr teuer, zumal im Consumerbereich wegen der geringen Nachfrage seit einigen Jahren keine 3D-Bildschirme mehr produziert werden.

In naher Zukunft werden wir weitere Verbesserungen in der Handhabung sehen. Die Leistungsfähigkeit wird mit den zu erwartenden Weiterentwicklungen der Kameras noch zunehmen, genauso werden aber auch die Anforderungen an die Rechner steigen, vor allem wenn Augmented Reality-Funktionen eingesetzt werden können.

Mehrere Hersteller von OP-Mikroskopen arbeiten bereits an neuen digitalen Systemen. Es ist nur eine Frage der Zeit, wann die Auflösung der analogen Optiken von der neuen Technologie übertroffen wird. Ob 8K-Sensoren<sup>27</sup> zum Einsatz kommen werden, bleibt noch unklar.

Ein Trend zu Verkleinerung der digitalen Mikroskope ist erkennbar. Die Rolle kopfgetragener Displays ist aktuell noch unklar, sie scheinen aber ebenfalls großes Potential zu besitzen.

Ob und wann die konventionellen analogen Mikroskope im Augen-OP von den neuen Visualisierungssystemen abgelöst werden, ist ungewiss. Der Anteil digitaler 3D Mikroskope wird aber sicher in den nächsten Jahren zunehmen.



1. Miyake K, Ocha I, Miyake S, et al. Application of a newly developed, highly sensitive camera and a 3-dimensional high-definition television system in experimental ophthalmic surgeries. *Arch ophthalmol* 1999;117(12):1623.
2. Bhadri PR, Rowley AP, Khurana RN, et al. Evaluation of a stereoscopic camera-based three-dimensional viewing workstation for ophthalmic surgery. *American journal of ophthalmology* 2007;143(5):891-892.
3. Weinstock RJ, Donnenfeld ED. 3D visualization in ophthalmology: new technology offers a “heads-up” way to perform surgery. *Cataract & refractive surgery today* 2008;(May):62-65
4. Weinstock RJ, Desai N. Heads up cataract surgery with the TrueVision 3D Display System. In: Garg A, Alio JL, editors. *Surgical techniques in ophthalmology: Cataract Surgery*. New Delhi: Jaypee Brothers Pvt. Ltd, 2010:124-127. *Surgical Techniques in Ophthalmology*.
5. Riemann CD. Machine vision and vitrectomy: three-dimensional high definition (3DHD) video for surgical visualization in vitreoretinal surgery. In: Woods AJ, Holliman NS, Dodgson NA, editors. *Stereoscopic displays and applications XXII*. Vol. 7863, 2011:78630K1 - 78630K8. *SPIE Proceedings*; 7863.
6. Eckardt C, Paulo EB. Heads-up surgery for vitreoretinal procedures: an experimental and clinical study. *Retina (Philadelphia, Pa.)* 2016;36(1):137-147.
7. Ta Kim, D; Chow, D. The effect of latency on surgical performance and usability in a three-dimensional heads-up display visualization system for vitreoretinal surgery. *Graefe's archive for clinical and experimental ophthalmology* 2021;260(2):471-476.
8. González-Saldivar G, Chow DR. Optimizing Visual Performance With Digitally Assisted Vitreoretinal Surgery. *Ophthalmic surgery, lasers & imaging retina* 2020;51(4):S15-S21.
9. Minaker, SA.; Mason, RH.; Chow, DR. Optimizing Color Performance of the Ngenuity 3-Dimensional Visualization System. *Ophthalmology Science* 2021;1(3). DOI: 10.1016/j.xops.2021.100054
10. Talcott KE, Adam MK, Sioufi K, et al. Comparison of a Three-Dimensional Heads-Up Display Surgical Platform with a Standard Operating Microscope for Macular Surgery. *Ophthalmology Retina* 2019;3(3):244-251.
11. Kunikata H, Abe T, Nakazawa T. Heads-up macular surgery with a 27-gauge microincision vitrectomy system and minimal Illumination. *Case reports in ophthalmology* 2016;7(3):265-269.
12. Rosenberg ED, Nuzbrokh Y, Sippel KC. Efficacy of 3D digital visualization in minimizing coaxial illumination and phototoxic potential in cataract surgery: pilot study. *Journal of cataract and refractive surgery* 2021;47(3):291-296.
13. La Spina C, Del Turco C, Bogetto C, Panico E, Giobbio DC, Panico C. Wide-angle 3D viewing system with valved trocar applied to chandelier-assisted scleral buckling. *Eur J Ophthalmol* 2021;31(2):804-806

14. Hamasaki I, Shibata K, Shimizu T, Kono R, Morizane Y, Shiraga F. Lights-out Surgery for Strabismus Using a Heads-Up 3D Vision System. *Acta medica Okayama* 2019;73(3):229-233.
15. Yu D, Sackllah M, Woolley C, Kasten S, Armstrong T. Quantitative posture analysis of 2D, 3D, and optical microscope visualization methods for microsurgery tasks. *Work* (Reading, Mass.) 2012;41 Suppl 1:1944-1947.
16. Rizzo S, Abbruzzese G, Savastano A, et al. 3D surgical viewing system in ophthalmology: perceptions of the surgical team. *Retina* (Philadelphia, Pa.) 2018;38(4):857-861.
17. Bausili MM, Gilhotra JS, Durkin SR, Chan WO. Controlling a Digital Cursor With a Sterile Gyroscopic Mouse in Digitally Assisted Vitreoretinal Surgery. *Retina* (Philadelphia, Pa.) 2020
18. Eckardt C, Ahdab K, Eckert T. Use of Mobile Phones during Heads-up Surgery-A New Way of Teaching Cataract and Vitreoretinal Surgery. *Retina* (Philadelphia, Pa.) 2019.
19. Imai H, Tetsumoto A, Inoue S, et al. Intraoperative Three-Dimensional Fluorescein Angiography-Guided Pars Plana Vitrectomy for the Treatment of Proliferative Diabetic Retinopathy: The Maximized Utility of the Digital Assisted Vitrectomy. *Retina* (Philadelphia, Pa.) 2020
20. Kita M, Mori Y, Hama S. Hybrid wide-angle viewing-endoscopic vitrectomy using a 3D visualization system. *Clinical ophthalmology* (Auckland, N.Z.) 2018;12:313-317.
21. Ehlers JP, Uchida A, Srivastava SK. The integrative surgical theater: combining intraoperative optical coherence tomography and 3D digital visualization for vitreoretinal surgery in the DISCOVER study. *Retina* (Philadelphia, Pa.) 2018;38 Suppl 1:S88-S96.
22. Brooks CC, Kitchens J, Stone TW, Riemann CD. Consolidation of Imaging Modalities Utilizing Digitally Assisted Visualization Systems: The Development of a Surgical Information Handling Cockpit. *Clinical ophthalmology* (Auckland, N.Z.) 2020;14:557-569
23. Dutra-Medeiros M, Nascimento J, Henriques J, et al. Three-dimensional head-mounted display system for ophthalmic surgical procedures. *Retina* (Philadelphia, Pa.) 2017;37(7):1411-1414.
24. Martínez-Toldos JJ, Fernández-Martínez C, Navarro-Navarro A. Experience using a 3D head-mounted display system in ophthalmic surgery. *Retina* (Philadelphia, Pa.) 2017;37(7):1419-1421.
25. Srinivasan S. Three-dimensional (3D) visualization for intraocular surgery: necessity or nicety. *Journal of cataract and refractive surgery* 2021;47(3):287-288.
26. Loewenstein A et al. Digitally Assisted Vitreoretinal Surgery Handout und Videobeitrag am 2020 Subspecialty Day – Retina, virtuelle Tagung der American Academy of Ophthalmology November 2020
27. Yamashita H, Tanioka K, Miyake G, et al. 8K ultra-high-definition microscopic camera for ophthalmic surgery. *Clinical ophthalmology* (Auckland, N.Z.) 2018;12:1823-1828.