

# Dreidimensionale Sicht in der laparoskopischen Chirurgie

3D-Systeme verheissen neuartige Perspektiven für das minimal-invasive Operieren.

Stephan A. Vorburger, [stephan.vorburger@insel.ch](mailto:stephan.vorburger@insel.ch)

**Im Gegensatz zu High-Definition-Systemen, die mit erhöhter Kontrastierung und digitalen Effekten eine virtuelle Tiefe des Bildes erreichen, sind schon bald Systeme, die echtes 3D-Sehen in guter Qualität erlauben, im Alltag und in den Operationssälen zu erwarten. Die nachgewiesene Vereinfachung laparoskopischer Aufgaben durch die dreidimensionale Sicht könnte dabei in naher Zukunft die Sicherheit konventionell-laparoskopischer Eingriffe (2D) verbessern.**

Vielleicht erinnern Sie sich noch an das mässig euphorisierende Erlebnis des 3D-Kinos der 80er und 90er Jahre? Am Ende des Films wusste man nicht, ob man sich ob des „besonderen Erlebnisses“ ärgern oder dankbar sein sollte, die tränenden Augen endlich von der Brille befreien zu können. Der von leichtem occipitalem Kopfweh getrübt Blick zu den anderen Rot-Grün-Brillenträgern widerspiegelte den eigenen Entschluss: „Nicht nochmals, lieber gutes 2D-Kino“. Letztes Jahr scheint die Filmindustrie nun aber doch den Durchbruch im 3D-Kino geschafft zu haben. Glaubt man den Aussagen von Jeffrey Katzenberg, CEO von DreamWorks Animation, dann werden wir in den nächsten Jahren das schnelle Fortschreiten von 3D-Geräten in Heimcomputern und Fernsehsystemen erleben. Dreidimensionales Sehen bei endoskopischen Interventionen wurde noch vor dem Ende der Stummfilmzeit versucht: Loewenstein patentierte schon 1904 ein Stereocystoskop. Jedoch erst mit der vermehrten Anwendung der Endoskopie in weiteren Gebieten der Chirurgie regte sich das Interesse an besserer Sicht erneut.

Bei einfachen und mittelschweren Eingriffen zeigt mittlerweile die minimal-invasive Chirurgie Vorteile gegenüber „offenen“ Methoden (Dagher, 2009 222/id; Keus, 2006 52/id; Laine, 1997 955/id; Medeiros, 2008 953/id; Sauerland, 2004 954/id). Diese Vorteile und die zunehmende Erfahrung führten zu einer erhöhten Bereitschaft, auch schwierige Operationen laparoskopisch auszu-

führen (Avital, 2005 221/id; Dagher, 2009 222/id; Sinha, 2009 220/id). Neben der Komplexität des Eingriffs sind auch die technischen Limitierungen schuld an der dabei sehr flach ansteigenden Lernkurve, die ein extensives Training des Chirurgen bedingen, damit komplexe minimal-invasive Eingriffe mit der nötigen Sicherheit und Qualität ausgeführt werden können. Technische Verbesserungen müssen dabei mit der Bereitschaft der Operateure, auch anforderungsreiche Gebiete der Chirurgie minimal-invasiv anzugehen, mithalten.

## Limitierungen der zweidimensionalen Sicht

Neben generellen Limitierungen der laparoskopischen Chirurgie, wie die Hebelwirkung der Bauchdecke und die verminderte Haptik, wurde die Reduktion des Sehens auf zwei Dimensionen als Hauptnachteil gegenüber der „offenen“ Chirurgie identifiziert (Gallagher, 2005 17/id; Hubber, 2003 186/id; Risucci, 2001 210/id). Die bisherigen methodologisch-technischen Fortschritte fanden sich vor allem im Bereich der Instrumente, der Optik und der Bildqualität. Neuere Systeme mit hochauflösenden Kameras und Monitoren liefern helle, kontrastreiche Bilder, die den Verlust der Stereo-Vision zum Teil kompensieren können. Die digitale Anhebung des Kontrasts oder das Einbringen einer zweiten, indirekten Lichtquelle helfen, den Schattenwurf zu akzentuieren und so das Räumliche besser wiederzugeben. Dies ist auch ein Grund, wieso High-Definition-Systeme, die ein „schärferes“, kontrastreiches Bild wiedergeben, dem Operateur das Gefühl der Bild-„tiefe“ vermitteln.

Dem erfahrenen Laparoskopiker helfen zudem die Kenntnis der anatomischen Verhältnisse, die Relation der Grösse zu den Instrumenten, Schattenwurf, Unterschiede der Textur und (in geringem Masse) Bewegung des Endoskops (paralaktische Perspektive), gedanklich ein dreidimensionales Bild aufzubauen (Byrn, 2007 1/id; Goldstein, 2003 223/id). Auf weitere Hilfsmittel wie die Akkommodation (Fokussierung auf verschieden „tiefe“ Punkte) und die Kon-

Stephan A. Vorburger





**Aufgabenlösung mit 3D-Headsets-System**

vergenz („Schielen“ bei nahen Objekten), mit denen unser Hirn im Alltag ein dreidimensionales Bild aufbaut, kann jedoch am flachen Bildschirm nicht zurückgegriffen werden. Somit beruht der Eindruck des Dreidimensionalen bei laparoskopischen Eingriffen auf der Interpretation des 2D-Bildes. Gerade bei den noch nicht ganz ausgereiften neuen laparoskopischen Techniken (single access), bei denen die Instrumente abwinkelbar sind, fällt die Grösse der Instrumente als Orientierungspunkt zur Distanz-Interpretation wieder weg und erschwert den Eingriff zusätzlich. (So erscheint die Länge einer Klemme unter verschiedenen Blickwinkeln in 2D verschieden lang; man kann das nachvollziehen, wenn man einen Strich auf einem Blatt mit einem Auge vom unteren Blattende aus betrachtet; die wirkliche Länge des Strichs ist dann kaum abschätzbar). Bei Arbeiten mit abwinkelbaren Instrumenten und bei komplexen Eingriffen erschwert der Wegfall der Stereo-Vision die Aufgabe also am meisten.

#### **Einfluss dreidimensionaler Sicht**

Der Einfluss der Stereo-Vision auf die Erfüllung chirurgischer Aufgaben wurde bereits mehrfach studiert (Bhayani, 2005 212/id; Buess, 1996 207/id; Chan, 1997 3/id; Dion, 1997 188/id; Hanna, 1998 199/id; Hanna, 2000 30/id; Herron, 1999 200/id; Jones, 1996 9/id; McDougall, 1996 182/id; Peitgen, 1996 190/id; Pietrabissa, 1994 40/id; Taffinder, 1999 193/id; Tevaearai, 2000 191/id; Thomsen, 2004 4/id; van Bergen, 1998 34/id; Votanopoulos, 2008 8/id) (Badani, 2005 10/id; Blavier, 2006 203/id; Blavier, 2007 202/id; Falk, 2001 29/id; Hubens, 2003 183/id; Jourdan, 2004 201/id; LaGrange, 2008 180/id; Moorthy, 2004 192/id; Munz, 2004 6/id). Während bei Roboter-assistierten Aufgaben die Vorteile der 3D- gegenüber 2D-Sicht konsistent beschrieben wurden, widersprechen sich die Resultate bei laparoskopischen Interventionen. Vor allem die frühen Studien konnten keinen Vorteil bei 3D-Sicht erkennen. Die Gründe dafür sind wahrscheinlich sowohl in der minderen

Videoqualität der damaligen 3D-Systeme (schlechtere Auflösung, geringere Helligkeit als 2D-Systeme) als auch in der leicht verzögerten Signalübermittlung (nur fast Realtime-Video bei 3D) zu suchen. Andere Studien basierten auf heterogenen Populationen und geringen Fallzahlen, sodass signifikante Unterschiede nicht gesehen werden konnten. Intuitiv würde man annehmen, dass der Vorteil der 3D-Sicht kompensiert wird durch Zunahme der laparoskopischen Erfahrung. Entsprechend erfüllen geübte Laparoskopiker gestellte chirurgische Aufgaben in 2D schneller als laparoskopisch weniger exponierte Kollegen mit einem 3D-System. Neben dem schnelleren manuellen Umgang mit den Instrumenten kann also die Interpretation des gesehenen 2D-Bildes durch die obengenannten Mechanismen den Verlust einer Dimension mehr als kompensieren.

Dass dies nur ein Teil der Wahrheit ist, zeigten Untersuchungen am Inselspital Bern mit einer hochauflösenden 3D-Kamera und 3D-Headsets (3Di von Vikings®): Dabei mussten Probanden drei verschiedene Aufgaben entweder „offen“ (mit nacktem Auge), laparoskopisch oder Roboter-unterstützt lösen. Geschwindigkeit und Präzision der Aufgabenerfüllung unter 2D- und 3D-Sicht wurden gemessen (bei der „offenen Operation“ in 2D wurde eine Augenbinde über das nicht dominante Auge gezogen). Wie erwartet waren erfahrene Laparoskopiker schneller als ihre unerfahrenen Pendanten. Jedoch zeigte der Vergleich von 2D zu 3D bei der gleichen Person, dass die Aufgaben mit 3D schneller gelöst werden konnten. Der relative Zeitgewinn war dabei unabhängig von der chirurgischen Methode und dem Erfahrungsstand: Für einfache Aufgaben wurden in 2D durchschnittlich 20%-25% mehr Zeit benötigt als in 3D. Für schwierige Aufgaben stieg dieser Zeitverlust auf 70-80% an.

Die laparoskopische Erfahrung kompensiert den Verlust des Stereo-Sehens also nicht, sonst wären die Geschwindigkeiten der Aufgabenlösung in 2D

und 3D für einen erfahrenen Probanden gleich. Vielmehr wird man mit zunehmender Übung schneller und die absoluten zeitlichen Unterschiede zwischen 2D und 3D fallen weniger ins Gewicht.

Die Messung der Geschwindigkeit, mit der man eine Aufgabe erfüllt, lässt nicht unbedingt auf die Qualität/Sicherheit einer Operation schliessen, doch die Beurteilung der gestellten Aufgaben durch die Probanden konstatierte zudem, dass Aufgaben unter 3D-Sicht durchgehend als leichter eingestuft wurden als unter 2D-Sicht. Ein interessanter Artikel von Blavier et al, könnte einen zusätzlichen Grund liefern, wieso 3D-Aufgaben leichter erscheinen: 2D-Bilder und 3D-Bilder werden in unserem Hirn verschiedenartig verrechnet und memorisiert (Blavier A. Ergonomics Nov. 2009).

### Technik der echten 3D-Wiedergabe

Heutige echte 3D-Systeme basieren alle auf zwei Optiken und Kameras, die in einem Instrument integriert sind (Stereo-Endoscope). Wegen der engen Nachbarschaft der Linsen in einem 10-mm-Instrument kann nur bis 10 cm ab Linse ein wirklicher 3D-Effekt erzielt werden. Die Vergrößerung des „Augen“-Abstandes könnte mit einer Verkleinerung der Linsen auf Kosten der Helligkeit (und somit Kontrastverlust) erkauft werden. Dies ist bei Arbeiten im räumlich doch sehr begrenzten Abdomen aber wenig sinnvoll.

Bei der Ausgabe der 3D-Bilder gibt es mehrere Möglichkeiten: Am Verschwinden sind Systeme, bei denen zwei Bilder unterschiedlicher Farben projiziert werden und die Zuschauer durch passive Filter-Brillen (z. B. grün-rot) auf je einem Auge nur eine Farbe erkennen können. Diese Methode führt bei vielen (wie die Rot-Grün-Brille) zur raschen Ermüdung der Augen. Eine breite Anwendung und eine an grossen Populationen (Kinogänger) getestete Verträglichkeit findet zurzeit das Prinzip der „Shutter-Brillen“. Hier wird in hoher Frequenz abwechselnd das linke, dann das rechte „Auge“ auf einen Monitor projiziert. Die Mitglieder des Operations-Teams sehen durch aktive Brillen abwechselnd jeweils nur mit dem rechten respektive dem linken Auge den Monitor. Obwohl dadurch keine Farbverfälschung auftritt, treten auch hier Müdigkeitserscheinungen auf, die wahrscheinlich darauf beruhen, dass ein 3D-Bild gesehen wird, ohne dass Akkommodation und Konvergenz benötigt werden (Kritiker der breiten Anwendung von 3D-Systemen warnen daher davor, dass z. B. Kinder, die viel 3D-fernsehen werden, eine gestörte Bild-Verarbeitung im „echten“ dreidimensionalen Raum erleiden könnten).

Ein neuer, als Prototyp bereits funktionierender Ansatz nutzt die Winkel, unter denen das Bild betrachtet wird, aus: Beide Bilder werden gleichzeitig auf dem speziell geschichteten Monitor wiedergegeben und dem jeweiligen

Auge nur das entsprechend gefilterte Bild zugespielt. Nachteile sind neben dem Preis der Monitore auch der begrenzte Bereich, in dem der Betrachter stehen kann, um ein scharfes Bild zu sehen. Dafür müssen aber keine Brillen getragen werden. Hauptproblem ist dabei der Helligkeitsverlust (ca. 50%), der mit verminderter Kontrastierung einhergeht. Dieses Problem umgeht das Tragen von separaten kleinen LCD-Schirmen direkt vor den Augen. Hier können die Bilder der einzelnen Kameras ohne Lichtverlust und mittlerweile hochauflösend direkt dem entsprechenden Auge zugespielt werden. Obwohl das Gewicht der LCD-Schirme durchaus akzeptabel geworden ist, muss trotzdem ein „Geweih“ getragen werden, das die periphere Sicht stark einschränkt. Visuell ist man dadurch weitgehend abgeschottet vom restlichen Operationsteam (das auch „Headsets“ trägt).

Ein absolut neues System, das erst im Jahr 2010 vorgestellt wird, basiert auf der Projektion eines Laser-Hologramms, sodass keine Brillen getragen werden müssen. Laut der Website des Herstellers (Absolute Imaging LLC) sind erste klinische Erfahrungen ausgezeichnet. Man darf annehmen, dass auch hier die Kosten der Projektoren nicht unerheblich sein werden.

### Zukunft: 3D für alle?

Die Erwartungen der Industrie sind, dass, wie bei den HD-Kameras und HD-Monitoren, spätestens 3-4 Jahre nach der Eroberung der Heimelektronik die 3D-Technik auch den Operationsraum im grossen Rahmen erreichen wird. Entsprechend sind Sony und andere Heimunterhaltungs-Hersteller bereits in die Medizin-Technik der 3D-Wiedergabe eingestiegen.

Im Gegensatz zur HD-Technik, die bisher in keinen Studien einen klaren Vorteil zu den konventionellen Monitoren zeigen konnte, darf mit der Integrierung von 3D-Systemen in die Operationssäle eine nachgewiesene Vereinfachung (oder zumindest Beschleunigung) der laparoskopischen Interventionen erwartet werden. Diese Vereinfachung dürfte vor allem bei komplexen laparoskopischen Eingriffen, aber auch bei Eingriffen mit abwinkelbaren Instrumenten, ins Gewicht fallen.

Quintessenz: Vielleicht sollte man auf die Einführung eines HD-Systems in den Operationssaal verzichten und stattdessen auf demnächst erscheinende 3D-Systeme, die laparoskopische Eingriffe vereinfachen, warten.