

# virtX - Ein rechnergestütztes System zum Training des intraoperativen Einsatzes eines mobilen Bildverstärkers

## virtX - a computer based system for training the intrasurgical use of mobile image intensifier systems

- Oliver Johannes Bott<sup>1</sup> • Markus Wagner<sup>1</sup> • Michael Teistler<sup>2</sup>
- Christopher Duwenkamp<sup>1</sup> • Christoph Alexander Ahrens<sup>1</sup> • Jan-Henrik Grobe<sup>1</sup>
- Robert Kimmel<sup>1</sup> • Andre Lörchner<sup>1</sup> • Björn Raab<sup>3</sup> • Klaus Michael Stürmer<sup>4</sup> • Dietrich Peter Pretschner<sup>1</sup> • Klaus Dresing<sup>4</sup>

**Hintergrund und Fragestellung:** Die korrekte intraoperative Positionierung und Einstellung eines mobilen Bildverstärkers (auch C-Bogen) kann zurzeit theoretisch mit Hilfe von Lehrbüchern erlernt, am Gerät selbst aber nur ohne visuelle Rückmeldung, d.h. ohne ein zur Ausrichtung korrespondierendes Röntgenbild, trainiert werden. Hieraus ergibt sich die Fragestellung, inwiefern das Training der Handhabung und richtigen Einstellung des C-Bogens in verschiedenen Operationsszenarien durch ein C-Bogen Simulationssystem als Teil eines CBT-Systems (Computer Based Training) unterstützt werden kann.

**Methoden:** In Kooperation mit Ärzten aus Unfallchirurgie und Radiologie wurde das computer-basierte Trainingssystem virtX entwickelt. virtX kann dem Nutzer verschiedene Aufgaben zur Einstellung eines C-Bogens stellen und die Ausführung und das Ergebnis bewerten. Die Aufgaben können mit Hilfe eines Autorensystems erstellt und vom Trainierenden in verschiedenen Modi erfüllt werden: im rein virtuellen Modus oder im kombinierten virtuell-realen Modus. Im rein virtuellen Modus steuert der Nutzer den virtuellen C-Bogen in einem virtuellen OP-Saal mittels einer grafisch-interaktiven Benutzungsoberfläche. Im virtuell-realen Modus hingegen wird die Ausrichtung eines realen C-Bogens erfasst und auf den virtuellen C-Bogen übertragen. Während der Aufgabenerfüllung kann der Benutzer zu jeder Zeit ein realitätsnahes, virtuelles Röntgenbild erzeugen und dabei alle Parameter wie Blendenstellung, Röntgenintensität, etc. wie bei einem realen C-Bogen steuern. virtX wurde auf einem

<sup>1</sup> Institut für Medizinische Informatik, Technische Universität Braunschweig, Braunschweig, Deutschland

<sup>2</sup> Biomedical Imaging Lab, Agency for Science, Technology and Research (A\*STAR), Singapore

<sup>3</sup> Diagnostische Radiologie 1, Klinikum der Georg-August-Universität Göttingen, Deutschland

<sup>4</sup> Klinik für Unfallchirurgie, Plastische und Wiederherstellungschirurgie, Klinikum der Georg-August-Universität Göttingen, Deutschland

dreitägigen Kurs für OP-Personal mit 120 Teilnehmern eingesetzt und auf der Basis von Fragebögen evaluiert.

**Ergebnisse:** Von den Teilnehmern gaben 79 einen ausgefüllten Evaluations-Fragebogen ab. Das Durchschnittsalter der 62 weiblichen und 15 männlichen Teilnehmer (zwei o.A.) lag bei  $34 \pm 9$  Jahren, die Berufserfahrung bei  $8,3 \pm 7,6$  Jahren. 18 Personen (23%) gaben an, gelegentlich mit einem C-Bogen zu arbeiten, 61 (77%) arbeiteten regelmäßig damit. Über 83% der befragten Teilnehmer empfanden virtX als eine sinnvolle Ergänzung zur herkömmlichen Ausbildung am C-Bogen. Das virtuelle Röntgen wurde mit einer Zustimmung von 91% der befragten Teilnehmer als besonders wichtig für das Verständnis der Arbeitsweise eines C-Bogens beurteilt. Ebenso erhielt der kombinierte virtuell-reale Modus mit 84% Zustimmung einen vergleichsweise hohen Stellenwert.

**Schlussfolgerung:** Die Befragung zeichnet ein positives Bild der Akzeptanz des virtX-System als substanzielle Ergänzung zur herkömmlichen Ausbildung am C-Bogen.

**Background and objectives:** Currently the correct intrasurgical positioning and adjustment of mobile X-ray image intensifiers (C-arm) can be learned theoretically through the use of textbooks, the practical training with the device itself suffers from the lack of visual feedback, i.e. radiographs corresponding to the adjustment of the C-arm. This leads to the question, whether the training of correct operation and adjustment of a C-arm in different operation scenarios can be supported by a C-arm simulation system being part of a CBT system (Computer Based Training).

**Methods:** In co-operation with physicians from accident surgery and radiology the computer-based training system virtX was developed. virtX confronts the user with different exercises of C-arm adjustment and evaluates their execution and the results. These tasks can be created with the help of an authoring tool and can be accomplished by the trainee in different modes: a pure virtual mode and a combined virtual-real mode. In the pure virtual mode the user controls the virtual C-arm in a virtual operating theatre via the graphic-interactive virtX user interface. In the virtual-real mode however the position and orientation of a real C-arm are detected and mapped onto the virtual C-arm. At any time during the completion of an exercise the user can produce a close-to-reality, virtual radiograph and can control all parameters, like the positions of the apertures, X-ray intensity, etc. virtX was used on a three-day course for OR personnel with 120 participants and evaluated using questionnaires.

**Results:** 79 of the participants returned a questionnaire. The average age of the 62 female and 15 male participants (two n.s.) was  $34 \pm 9$  years, their professional experience was  $8.3 \pm 7.6$  years. 18 persons (23%) indicated to work occasionally with a C-arm, 61 (77%) worked regularly with it. Over 83% of the interviewed participants considered virtX a useful addition to the conventional C-arm training. With an acceptance of 91% of the participants the virtual radiography was judged particularly important for understanding C-arm functioning. With 84% acceptance the combined virtual-real mode also got a comparatively high rating.

**Conclusion:** The evaluation results show a high degree of acceptance of the virtX system as a substantial enhancement of conventional C-arm training.

**Keywords:** virtual radiography, C-arm, computer based training, orthopaedic surgery, trauma surgery

## Einleitung und Fragestellung

Der Einsatz mobiler Bildverstärkersysteme (BV) - gelegentlich auch als Bildwandler, hauptsächlich aber aufgrund der wie ein C gestalteten Konstruktion, an der Röntgenquelle und Bildverstärker befestigt sind, als C-Bogen bezeichnet - ist heute aus Unfallchirurgie und Orthopädie nicht mehr wegzudenken. Insbesondere in der Versorgung unfallchirurgischer Patienten ist der C-Bogen essentielles Werkzeug im OP. Der Operateur ist während der Operation darauf angewiesen, dass das Pflegepersonal den mobilen Bildverstärker in die korrekte Position über dem Operationsgebiet bringt. Der Operateur selbst ist steril und kann die Positionierung des C-Bogens nicht vornehmen. Lasersysteme können die Positionierung und Einstellung des C-Bogens erleichtern. Dennoch erfolgt die Einstellung häufig unter Strahlung, z.B. bei der Feinjustierung, und ist aufgrund der vielen Einstellmöglichkeiten (siehe Abbildung 1) des C-Bogens nicht trivial. Zahlreiche Einstellungen sind zudem auch für den Erfahrenen nicht einfach auszuführen, wie z.B. Acetabulum, Becken, Fersenbein (Brodén-Projektion) oder Wirbelsäule.

Durch technische Entwicklungen konnte die vom C-Bogen ausgehende Strahlenbelastung für Patient, OP-Personal und Operateur zwar deutlich gemindert werden, abhängig ist die Strahlungsexposition aber nicht zuletzt vom Geschick des Bedieners des C-Bogens, d.h. von dessen Ausbildung und Erfahrung. Bisher erfolgt die Ausbildung am C-Bogen durch Einweisung am Gerät und theoretische Erörterung der richtigen Einstellung z.B. anhand von Lehrbüchern [1]. Das initiale Trainieren am Patienten ohne Vorkenntnisse verbietet sich aufgrund der Strahlenexposition. Es stellt sich somit die Frage, ob das Training der Handhabung und richtigen Einstellung des C-Bogens in verschiedenen Operationsszenarien durch ein C-Bogen-Simulationssystem als Teil eines CBT-Systems (Computer Based Training) unterstützt werden kann.

## Material und Methoden

virtX ist ein Programmsystem, das aus einer 3D-Simulation eines OP-Saals mit C-Bogen, OP-Tisch und virtuellem Patienten sowie einer Röntgenbildsimulation besteht. In der 3D-Simulation kann der Benutzer den virtuellen C-Bogen zum OP-Tisch bzw. zum Patienten bewegen, wobei er alle Gelenke und Schienensysteme des C-Bogens sowie die Position des C-Bogens im Raum mittels Maus und Schaltflächen steuert. Weitere Schaltflächen, die denjenigen eines realen C-Bogens entsprechen, aktivieren die üblichen Funktionen des C-Bogens wie Einzelbilderstellung, Starten des

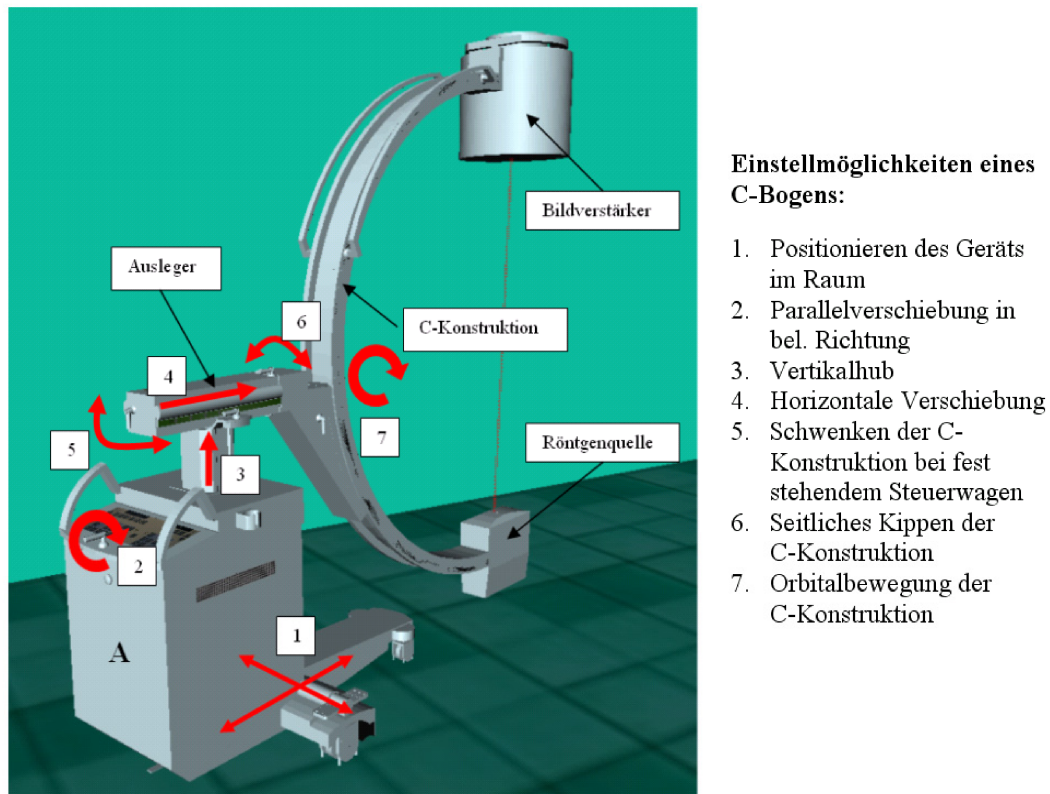
Durchleuchtungsmodus, Einstellung der Blende, Zoom, etc. (siehe Abbildung 2).

virtX wurde mit der Entwicklungsumgebung Visual Studio .NET 2003 der Firma Microsoft [2] in der Programmiersprache C++ entwickelt. Die grundlegende Programmstruktur entspricht dem Document-View Prinzip der Microsoft Foundation Classes (MFC), deren Klassen hauptsächlich in diesem Projekt verwendet wurden. Für die Darstellung der 3D-Szenen und für das Volume-Rendering von virtusMED wurde TGS Open Inventor 4.0 zusammen mit VolumeViz 4.0 [3] eingesetzt. Open Inventor ist eine objektorientierte Programm-Bibliothek für die Entwicklung von 3D-Graphikprogrammen. VolumeViz ist eine Erweiterung für Open Inventor, welche Klassen und Methoden für das Volume Rendering bereitstellt.

Die Röntgenbildsimulation beruht auf dem virtusMED-System [4], [5], wobei auf einen CT-Datensatz Sum-intensity Volume Rendering, basierend auf 3D-Texturen, durchgeführt wird [6]. Dabei nutzt virtusMED die OpenGL-Unterstützung moderner Grafik-Hardware. Um den Bildverstärker zu simulieren, wird eine virtuelle Kamera in einer 3D-Szene verwendet, in welcher sich der CT-Volumen Datensatz befindet. Auf der Grundlage der Ausrichtung dieser Kamera in Bezug auf den CT-Datensatz wird so eine perspektivische Sicht auf das Volumen rekonstruiert, welche das eigentliche Röntgenbild simuliert.

Die Simulationskomponente des virtX-Systems ist eingebettet in ein aufgabenorientiertes Trainingssystem. Ausgehend von einer an typischen OP-Abläufen orientierten Aufgabe aus einem Aufgabenkatalog hat der Trainierende bestimmte Einstellungen des C-Bogens vorzunehmen. Dazu bekommt er textuelle und bildliche Hinweise, welche Körperregion anzusteuern und wie der C-Bogen einzustellen ist, welchen Qualitätskriterien das resultierende Bild zu genügen hat und, anhand eines allgemeinen Beispiels, wie die angestrebte Aufnahme aussehen sollte. Nach Start der Aufgabe zeichnet virtX die Zeit auf, die der Trainierende benötigt, um die Aufnahme zu erzeugen und gibt ihm auf Wunsch über eine stilisierte Ampel permanent Rückmeldung in wie weit die gewünschte Ausrichtung schon erreicht ist (Rot: weit entfernt, Gelb: schon im Toleranzbereich, Grün: ideale Ausrichtung erreicht). Weiterhin wird die vom Trainierenden virtuell erzeugte Strahlendosis aufgezeichnet (siehe auch Abbildung 2: 8). Der Trainierende erhält unmittelbar nach Beendigung der Aufgabe eine Rückmeldung, in welchem Verhältnis seine persönliche Bearbeitungszeit, die virtuell erzeugte Strahlendosis und die erreichte Einstellung zu von Experten vorgegebenen Zielgrößen stehen.

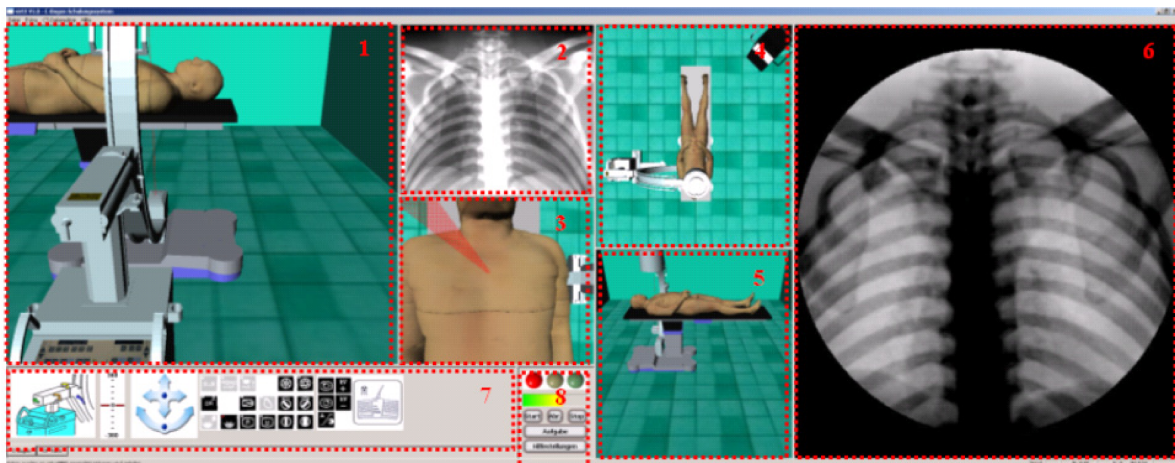




### Einstellmöglichkeiten eines C-Bogens:

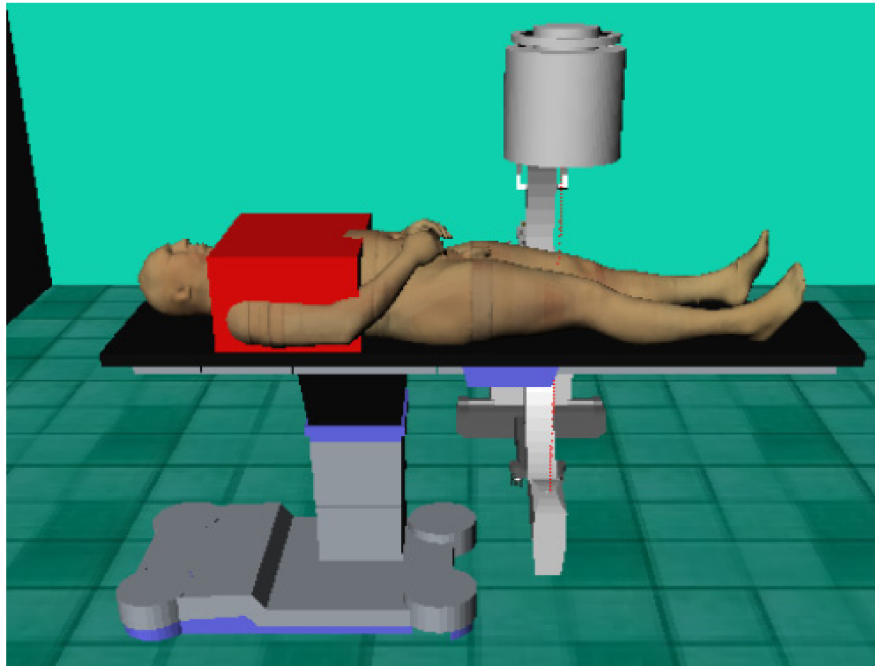
1. Positionieren des Geräts im Raum
2. Parallelverschiebung in bel. Richtung
3. Vertikalhub
4. Horizontale Verschiebung
5. Schwenken der C-Konstruktion bei fest stehendem Steuerwagen
6. Seitliches Kippen der C-Konstruktion
7. Orbitalbewegung der C-Konstruktion

Abbildung 1: Einstellmöglichkeiten eines mobilen Bildverstärkers



1. Virtueller OP-Raum aus Sicht der den C-Bogen steuernden Person
2. Virtuelles Röntgenbild im Durchleuchtungsmodus
3. Virtueller OP-Raum: Sicht vom Bildverstärker auf den Patienten (inkl. Laserstrahl)
4. Virtueller OP-Saal: Blick von der Decke
5. Virtueller OP-Saal aus Sicht des Operators
6. Virtuelles Röntgenbild mit eingeschalteten Blenden
7. Dem Original nachempfundene Steuerelemente für C-Bogen und Bilderzeugung
8. Elemente für Aufgabenbeschreibung, zur Aufgabensteuerung und -bewertung

Abbildung 2: Übersicht über die grafisch-interaktive Benutzeroberfläche



**Abbildung 3: Ein roter Quader beschreibt ein Volumen im Raum, für das ein oder mehrere CT-Datensätze hinterlegt sind.**

Für das Erstellen der Aufgaben steht ein Autorensystem zur Verfügung, welches das Erstellen der erklärenden Texte und Bilder, das Aufzeichnen der Zielgrößen und das Verknüpfen geeigneter, über ein DICOM-Interface importierter CT-Datensätze, mit dem virtuellen Patienten (einem Oberflächenmodell) erlaubt. Diese Verknüpfung erfolgt über das Definieren von Volumina im Raum, denen beliebig viele CT-Datensätze samt Parameter zugewiesen werden können (siehe Abbildung 3, in dem Oberflächenmodell und CT-Datensatz dem Visible Human Project entstammen [7]). Gerät nun eines dieser Volumina während der Ausrichtung des virtuellen C-Bogens in den virtuellen Strahlengang so wird der entsprechende CT-Datensatz in virtusMED geladen. Die Parameter von allen CT-Volumina sowie von allen weiteren aufgabenspezifischen Werten werden vom Autorensystem in einer XML-Datei hinterlegt und können anschließend jederzeit in virtX eingelesen werden.

Zusätzlich zur rein virtuellen Simulation ist deren Verknüpfung mit einem realen C-Bogen möglich (siehe Abbildung 4). Durch entsprechende Positionierung des Empfängers eines elektromagnetischen Tracking-Systems auf der Röntgenquelle des C-Bogens und des Senders auf einem OP-Tisch in fester Beziehung zu einem Patienten-Dummy (z.B. einer Styropor-Puppe) sind Position und Orientierung des realen C-Bogens in Bezug auf den Patienten-Dummy festzustellen. Durch Registrierung des virtuellen Patienten mit dem Patienten-Dummy kann so die Bewegung des C-Bogens auf die virtuelle OP-Umgebung umgerechnet

werden. Erzeugt der Trainierende nach Einstellung des realen C-Bogens mit virtX ein Einzelbild oder aktiviert er den Durchleuchtungsmodus simuliert virtX die Röntgenbilderstellung mit dem realen C-Bogen. Auf diese Weise entstehen zwei Trainingsmodi: ein rein virtueller Modus (V-Mode), der ohne einen realen C-Bogen auskommt, und ein kombiniert virtuell-realer Modus (V/R).

Das virtX-System ist auf einem dreitägigen Kurs für OP-Personal evaluiert worden. 120 Teilnehmer hatten Gelegenheit, mit virtX zu trainieren. Dabei wurde sowohl im V-Modus, als auch im V/R-Modus gearbeitet. Zudem konnte in einem dritten, vom V/R-Modus unter Ausblendung der virtuellen OP-Umgebung abgeleiteten „realen“ Modus der Trainingserfolg geprüft werden. Für alle drei Trainingsmodi standen unterschiedliche Aufgaben zur Verfügung. Nach dem Training erhielten die Teilnehmer einen Fragebogen, auf dem neben Angaben zur Person (Alter, Geschlecht, Beruf, Berufserfahrung, Erfahrung mit C-Bögen, Erfahrung PC) Fragen zu den persönlichen Erfahrungen bzw. zur persönlichen Einschätzung des virtX-Systems gestellt wurden. Diese Fragen konnten auf einer Likert-Skala mit „Trifft voll zu“, „Trifft eher zu“, „Neutral“, „Trifft eher nicht zu“, „Trifft nicht zu“ sowie mit „Keine Einschätzung“ beantwortet werden. Zusätzlich waren freitextliche Kommentare möglich, was an virtX gut gefallen und was nicht gefallen hat und was verändert werden sollte, sowie ein abschließender allgemeiner Kommentar.



**Abbildung 4: virtX gekoppelt mit realem C-Bogen und Styropor-Patienten-Dummy bei einer Präsentation**

## Ergebnisse

Insgesamt gaben 79 Teilnehmer einen ausgefüllten Fragebogen ab. Das Alter der 62 weiblichen und 15 männlichen Teilnehmer (2 Fragebögen ohne diesbezügliche Angabe) lag bei durchschnittlich  $34 \pm 9$  Jahren. 77 Teilnehmer gaben als Beruf Pflegekraft, einer zusätzlich Chirurg und zwei „Sonstiges“ an. Die Berufserfahrung lag bei durchschnittlich  $8,3 \pm 7,6$  Jahren. 18 Personen (23%) gaben an, gelegentlich mit einem C-Bogen zu arbeiten, während 61 (77%) regelmäßig mit einem C-Bogen arbeiteten. Zu ihrer PC-Erfahrung befragt gaben 3 Teilnehmer (4%) an, keine Erfahrung zu haben, 33 (43%) gaben an, gelegentlich, 41 (53%) regelmäßig mit einem PC zu arbeiten.

Die Auswertung der Einzelfragen führte zu folgenden Ergebnissen, wobei die Einzelfragen im Schnitt von 99% der Teilnehmer beantwortet worden sind (Min.: 76, Max.: 79):

83,3% der Befragten waren der Meinung, dass der Einsatz von virtX eine sinnvolle Ergänzung zur herkömmlichen Ausbildung am C-Bogen ist. 10,3% der Befragten hatten hierzu eine neutrale Einstellung und 5,1% waren nicht dieser Meinung (bei 1,3% ohne Einschätzung).

Die Einführung in das virtX-System erachteten 77,2% als ausreichend, 15,2% standen dieser Frage neutral gegenüber und 5,1% empfanden die Einführung als eher nicht ausreichend (keine Einschätzung: 2,5%).

91% der Befragten waren der Meinung, dass die simulierte Röntgenbilderstellung hilfreich ist, um die Arbeitsweise des C-Bogens zu verstehen. 5,1% hatten hierzu eine neutrale Einstellung und 2,6% waren nicht dieser Meinung bei 1,3% ohne Einschätzung.

Ähnlich hoch (84,2%) war der Anteil der Befragten, die eine Verknüpfung des virtuellen Trainings mit dem realen C-Bogen als hilfreich beurteilten (V/R-Modus). 10,5% standen dieser Frage neutral gegenüber und 5,3% waren nicht dieser Meinung.

Den verwendeten Patienten-Dummy aus Styropor empfanden 89,7% als ausreichend, um sich orientieren zu können (7,7% neutral, 2,6% stimmten dem eher nicht zu).

71,8% empfanden die vorgegebenen fünf 3D-Sichten auf den OP-Saal bzw. den OP-Tisch und den C-Bogen als ausreichend, um den virtuellen C-Bogen sicher positionieren zu können. 7,7% standen dieser Frage neutral gegenüber, 15,4% waren nicht dieser Meinung (keine Einschätzung: 5,1%).



52,6% der Befragten schätzten bereits das rein virtuelle Üben (V-Modus) als hilfreich ein, das korrekte Einstellen des C-Bogens zu erlernen. 25,6% standen dieser Frage neutral gegenüber und 20,5% waren nicht dieser Meinung (bei 1,3% ohne Einschätzung).

Mit der Steuerung des virtuellen C-Bogens kamen 79,7% gut zurecht, 8,9% standen dieser Frage neutral gegenüber und 6,3% waren nicht dieser Meinung (keine Einschätzung: 5,1%).

Schlussendlich waren 74,7% der Befragten der Meinung, dass die Ausstattung eines C-Bogens mit einem Trainingssystem wie virtX sinnvoll wäre, um dem OP-Personal die Einarbeitung in das Gerät zu erleichtern (neutral antworteten 15,2% und 7,6% waren nicht dieser Meinung, keine Einschätzung gaben 2,5%).

## Diskussion

Die Ergebnisse der Befragung zeichnen ein positives Bild der Akzeptanz des virtX-Systems als Ergänzung zur herkömmlichen Ausbildung am C-Bogen. Viele Teilnehmer hoben hervor, dass diese neue Möglichkeit der Röntgenbildsimulation eine Lücke in der bisherigen, sehr theoretisch ausgerichteten Ausbildung am C-Bogen schließt. Hervorzuheben ist, dass die Beurteilung des Nutzens des virtX-Systems für die Ausbildung im V/R-Modus, d.h. bei Verknüpfung mit einem realen C-Bogen, deutlich höher ausfällt als die Bewertung der rein auf die virtuelle OP-Umgebung abzielenden Variante (V-Modus). Der V/R-Modus erfordert allerdings zusätzlich zum C-Bogen die Investition in ein entsprechendes elektromagnetisches Tracking-System, was die Kosten für das ansonsten auf Standard PC-Komponenten mit geeigneter Grafik-Hardware aufbauenden System erhöht. Zudem ist die Einrichtung des Trainingssystems durch die notwendigen Kalibrierungsmaßnahmen im V/R-Modus aufwändiger.

Die Ergebnisse der Befragung zeigen noch geringfügigen Verbesserungsbedarf in der Zusammenstellung der 3D-Sichten auf die OP-Szenarie an. Vor allem die Sicht vom Bildverstärker auf den Patienten (s. Abbildung 2, Sicht 3), ergänzt um den Laserstrahl zur Unterstützung der Positionierung, wirkte auf die Teilnehmer zum Teil verwirrend. Die Steuerung des virtuellen C-Bogens stellte für die größtenteils PC-erfahrenen Benutzer keine wesentliche Hürde dar. Hierbei ist allerdings anzumerken, dass jeder Benutzer eine persönliche Einweisung erhalten hat und von einem Mitarbeiter während der Aufgabendurchführung betreut wurde.

Ein System wie virtX zum Training der Handhabung eines C-Bogens zu nutzen ist in drei Szenarien denkbar. Erstens im persönlichen Umfeld des Trainieren-

den, z.B. installiert auf dem heimischen PC, wobei aus Kostengründen nur eine rein virtuelle Version in Frage kommen dürfte. Zweitens durch Anbieter von Aus- und Weiterbildung in speziellen Ausbildungszentren oder im Rahmen von Kursen vor Ort in Kliniken. Drittens in Kliniken zur hausinternen Weiterbildung. Die beiden letzten Szenarien könnten vom kombinierten virtuellen Modus profitieren. Die direkte Ausstattung eines C-Bogens mit virtX würde insbesondere dem dritten Szenario entgegen kommen. Die Befragung zeigt auf, dass letzteres von den Teilnehmern mehrheitlich als sinnvoll erachtet wird.

Die durchgeführte und auf Fragebögen gestützte Evaluation kann nur ein erster Schritt sein, den potentiellen Nutzen eines CBT-Systems wie virtX zu untersuchen. Sie war vor allem hilfreich, potentielle Verbesserungsmöglichkeiten zu identifizieren. Weitere, hierauf aufbauende Studien sind notwendig und in Arbeit, um den Lerneffekt des virtX-Systems im Vergleich zur herkömmlichen Ausbildung zu untersuchen. Zudem sind weitere Arbeiten in Bezug auf den Einsatz beweglicher Patienten-Dummies mit Rückmeldung zum virtuellen Patienten geplant, um das Training noch realitätsnäher zu gestalten. Auch erscheint das System im V-Modus geeignet für E-Learning via Internet.

Die Ergebnisse der Befragung lassen zusammenfassend die Schlussfolgerung zu, dass virtX durch die Röntgenbildsimulation auf der Grundlage beliebiger CT-Aufnahmen, sein problemorientiertes Aufgabenkonzept und die mögliche Kombination mit einem realen C-Bogen eine sinnvolle Erweiterung der bisherigen Ausbildungskonzepte für den C-Bogen darstellt.

## Danksagung

Wir danken den Firmen Siemens Medical Solutions, Erlangen und Maquet, Rastatt für die Unterstützung des Projekts.

## Korrespondenzadresse:

• Dr. Oliver Johannes Bott, Technische Universität Braunschweig, Institut für Medizinische Informatik, Mühlenpfordstraße 23, 38106 Braunschweig  
o.bott@mi.tu-bs.de

## Literatur:

- [1] Beck H. Intraoperatives Durchleuchten in Unfallchirurgie und Orthopädie. Darmstadt: Steinkopff; 2006.
- [2] Microsoft.com [homepage on the Internet]. Redmond: Softwarehersteller; c2006 [abgerufen: 27. Juni 2006, 19:07 UTC]. Erreichbar unter:  
<http://msdn.microsoft.com/vstudio/Previous/2003/.../default.aspx>

[3] TGS.com [homepage on the Internet]. Mercury Computer Systems, Inc.; c2003 [abgerufen: 27. Juni 2006, 19:19 UTC]. Erreichbar unter: <http://www.tgs.com/>

[4] Teistler M. Zur räumlichen Exploration tomographischer Bilddaten in virtuellen Szenen für medizinische Ausbildung und Diagnostik [Dissertation Fachbereich für Mathematik und Informatik]. Braunschweig: Technische Universität Braunschweig; 2004.

[5] Teistler M, Bott O, Dormeier J, Pretschner DP. Virtual Tomography: A New Approach to Efficient Human-Computer Interaction for Medical Imaging. In: Galloway RL Jr., ed. Proceedings of SPIE Vol. 5029, Medical Imaging 2003:

Visualization, Image-Guided Procedures, and Display. 2003. p. 512-9.

[6] 3D Texture Volume Rendering. In: McReynolds T, Blythe D. Programming with OpenGL: Advanced Rendering. Mountain View, CA, U.S.: Silicon Graphics Inc. (SGI); 1997. Online: <http://www.opengl.org/resources/code/samples/.../advanced/advanced97/notes/node181.html> (letzter Zugriff: 29.3.06)

[7] Spitzer V, Ackerman MJ, Scherzinger AL, Whitlock D: The Visible Human Male: A technical report. In J Am Med Inf Ass. 1996;3(2):118-30.