

Der LiverAnatomyExplorer: Ein web- und fallbasiertes Trainingssystem für die Anatomieausbildung

Steven Birr¹, Jeanette Mönch¹, Karl-Jürgen Oldhafer², Uta Preim³, Bernhard Preim¹

¹ Otto-von-Guericke-Universität, Institut für Simulation und Graphik, Magdeburg, Germany

² Asklepios Klinik Barmbek, Institut für Allgemein- und Viszeralchirurgie, Hamburg, Germany

³ Klinikum Magdeburg, Institut für Radiologie, Magdeburg, Germany

Kontakt: steven.birr@ovgu.de

Abstract:

Wir präsentieren in diesem Beitrag den LiverAnatomyExplorer – ein plattformunabhängiges, web- und fallbasiertes Trainingssystem für die medizinische Anatomieausbildung. Mehrere onkologische Abdomen-CT-Datensätze wurden in enger Zusammenarbeit mit klinischen Experten 3D-rekonstruiert und zusammen mit Fallhintergrundinformationen, OP-Lehrvideos und Selbstlerntests in ein nutzergeführtes, didaktisches Konzept integriert und online verfügbar gemacht. Aktuelle Webbrowser unterstützen, basierend auf HTML 5/WebGL, die Darstellung interaktiver 3D-Modelle ohne Verwendung zusätzlicher kostenpflichtiger Plugins. Eine erste informelle Evaluierung zeigt, dass die Kombination aus realen patientenindividuellen Falldaten mit interaktiven 3D-Szenen und einem didaktisch aufbereitetem Konzept eine wesentliche Bereicherung in der chirurgischen Aus- und Weiterbildung gegenüber bisherigen E-Learning-Angeboten darstellen kann.

Schlüsselworte: Ausbildung, Weiterbildung, Web3D, E-Learning, HTML 5

1 Problem

Die Anatomieausbildung von Medizinstudenten erfolgt klassischerweise durch Frontalunterricht in Vorlesungen oder Seminaren, in Präparationskursen an Leichen und durch Illustrationen in medizinischen Lehrbüchern. CD/DVD-basierte multimediale Lernprogramme und elektronische Atlanten werden oft unterstützend zur Wissensgenerierung eingesetzt, erfordern jedoch die Installation auf dem lokalen Rechner, haben meist nur einen begrenzten Funktions- und Interaktionsumfang und ermöglichen keine umfassende Lernerfolgskontrolle. Fallorientierte Systeme wie CASUS [1] und CAMPUS [2] legen den Fokus auf das Stellen einer Diagnose und die Auswahl einer (medikamentösen) Therapie – im Wesentlichen basieren aber beide Systeme auf der Darstellung von Texten und Bildern. Der VOXELMAN [3] ermöglicht durch die Exploration des 3D-Modells eines virtuellen, gesunden Mannes das Lernen der menschlichen Anatomie. Es steht jedoch nur ein einziger Datensatz ohne pathologische Veränderungen zur Verfügung. Die MIRC MEDMA-Falldatenbank (<http://mirc.medma.uni-heidelberg.de>) bietet dem Lernenden eine Vielzahl radiologischer Befunde und Bilddatensätze realer Fälle, enthält jedoch nur schematische Zeichnungen der dreidimensionalen Patientenanatomie oder Screenshots von 3D-Visualisierungen, sodass kein direkter Bezug zu den 2D-Bilddatensätzen herstellbar ist.

Mit dem Ziel, Studenten und Ärzten in Aus- und Weiterbildung aktives Wissen zu vermitteln und auf den praktischen Klinikalltag vorzubereiten, entstanden in den letzten Jahren mehrere medizinische Webportale mit sozialen Netzwerkfunktionen, wie SurgyTec (<http://www.surgytec.com>) oder webop (<http://www.webop.de>). Diese Portale enthalten z. B. Expertenvorträge und -interviews, Informationen zu Operationstechniken und Instrumenten oder Videos intraoperativer Eingriffe. Speziell für die Anatomieausbildung existieren auf diesen Plattformen jedoch keine interaktiven 3D-Visualisierungen, die komplexe räumliche Zusammenhänge zwischen Organen, Tumoren und Risikostrukturen, z. B. Blutgefäßen, deutlich machen. Crossingham et al. [4] entwickelten eine flashbasierte Lösung für die Vermittlung der Leberanatomie sowie verschiedener Resektionsvarianten. Hierbei handelt es sich jedoch um eine einzige simulierte, gesunde Leber ohne patientenindividuelle anatomische und pathologische Varianten. Aktuelle Entwicklungen im Bereich WebGL-basierter 3D-Visualisierungen ermöglichen die Darstellung und Interaktion medizinischer 3D-Modelle im Webbrowser ohne die Installation zusätzlicher Software oder Plugins. BioDigital Systems (<https://www.biodigitalhuman.com>) und Zygote Body (<http://www.zygotobody.com>) bieten jedoch nur je zwei virtuelle Modelle ohne krankhafte Veränderungen der Anatomie sowie ohne Bezug zu realen Patientendaten oder aufbereiteten

OP-Videos. Darüber hinaus gibt es keine Nutzerführung für einen Lernenden; Lernziele und Aufgaben müssen selbstständig definiert werden.

Zusammenfassend bieten bisherige webbasierte Lernsysteme oft nur eingeschränkt nutzbare 3D-Visualisierungen mit geringen Interaktions- und Explorationsmöglichkeiten sowie fehlender Nutzerführung. Meist werden speziell modellierte 3D-Objekte verwendet, jedoch keine patientenindividuellen Daten zur Abbildung der realen anatomischen und pathologischen Varianten der Leber. Mit dem Ziel, diese Lücke zu schließen, wird in diesem Beitrag der *LiverAnatomyExplorer* vorgestellt – ein web- und fallbasiertes Lernsystem, speziell ausgerichtet auf die Leberanatomie. Das Trainingssystem basiert auf [5] und enthält interaktive 2D- und 3D-Visualisierungen von realen, onkologischen Datensätzen, chirurgische OP-Videos, Lernerfolgsmechanismen sowie ein Autorensystem für neue Fälle.

2 Methoden

Zunächst erfolgte eine Anforderungsanalyse per Onlineumfrage unter 176 Medizinstudenten (103 w / 73 m, Durchschnittsalter: 23, 7.-10. Semester) und 13 Ärzten (2 Assistenz- und 11 Fachärzte, 5 w / 8 m, Durchschnittsalter: 39), z. T. mit der Subspezialisierung Abdominalchirurgie. Die Antworten der Umfrage ermöglichen es uns, das Trainingssystem auf die Bedürfnisse und Wünsche der Zielgruppen bzgl. einer optimierten Aus- und Weiterbildung zu fokussieren. 49 % (86/176) der Studenten würden gern fallbasierte e-Learning-Materialien und interaktive 3D-Modelle zur Prüfungsvorbereitung nutzen. 84 % (11/13) der befragten Kliniker sind in die Lehre involviert und 76 % (10/13) würden gern mehr reale, klinische Fälle zu Aus- und Weiterbildungszwecken und für die Diskussion mit Kollegen nutzen. Die Umfrage zeigt, dass die bisher von den Ärzten verwendeten „elektronischen Zeitschriftenbibliotheken“ und „Online-Atlanten“ oft nur „begrenzte Multimedialität und Interaktivität“ bieten oder „Kostspflichtigkeit und Nutzungsschwierigkeiten“ von der Verwendung der Tools abhalten. Des Weiteren haben 97 % (171/176) der Studenten und 54 % (7/13) der Ärzte kaum oder gar keine Erfahrungen im Umgang mit interaktiven 3D-Visualisierungen. Daraus folgt, dass den Anwendern einfach zu bedienende User Interfaces und Interaktionstechniken für die freie Exploration (Rotation, Zoom, Translation) der 3D-Szenen zur Verfügung gestellt werden müssen.

In Zusammenarbeit mit klinischen Experten wurden 13 abdominale DICOM CT-Datensätze für das Trainingssystem ausgewählt. Relevante Strukturen, wie die Leberoberfläche und -segmente sowie Gefäßbäume und Tumore wurden mit *MeVisLab* [6] segmentiert und in ein webfähiges Format konvertiert. DICOM-Volumendaten sind für die Nutzung im Web meist zu groß, nicht anonymisiert und erfordern spezielle Plugins. Daher werden die Bilddaten im Vorverarbeitungsschritt mit *MeVisLab* schichtweise in JPG-Bilder umgewandelt und die Segmentierungen als SVG-Dateien (Scalable Vector Graphics) exportiert. Da mit dem Web-Tool keine Diagnosen durchgeführt werden sollen, stellt die Verwendung komprimierter JPG-Bilder kein Problem dar. Um dennoch verschiedene Fensterungseinstellungen zu ermöglichen, werden mehrere vordefinierte Fensterungen bereitgestellt, zwischen denen der Nutzer bei Bedarf wechseln kann. Die segmentierten Strukturen wurden mit *MeVisLab* in 3D-Oberflächen umgewandelt, die Detailgenauigkeit der Szenen für eine effiziente Webnutzung dezimiert und in X3D-Dateien exportiert. X3D [7] ist ein ISO Web3D-Standard, mit dem 3D-Objekte in einem hierarchischen Szenengraph in XML-Codierung repräsentiert werden. JavaScript-APIs und -Frameworks, wie WebGL [8] und X3DOM [9] ermöglichen ein echtzeitfähiges Rendering von X3D-Inhalten im Webbrowser, ohne Verwendung zusätzlicher Plugins. Der Vorteil ist, dass die X3D-Visualisierung der Leber mit den 2D-Daten synchronisierbar ist (Abb. 1). Die interaktive Bewegung einer virtuellen Schicht durch das 3D-Modell und die synchrone Darstellung der betreffenden Strukturen im 2D-Viewer ermöglichen dem Lernenden die Herstellung des direkten Bezugs zwischen 2D- und 3D-Information. Die farbigen Overlays und die Teilstrukturen des 3D-Modells können vom Nutzer interaktiv ein/aus geblendet werden; bei Mouseover werden Labels zur Kennzeichnung der anatomischen Strukturen angezeigt. Die 3D-Szene kann frei im Raum rotiert, translatiert und skaliert werden. Zur Unterstützung des Nutzers bei der Interaktion wird ein 3D-Widget bereitgestellt, mit dem das Modell in 30°-Schritten um eine feste Achse rotiert werden kann. Es ist jederzeit mit einem Klick möglich, zum Ausgangssichtpunkt zurückzukehren. Ein abstraktes Modell eines menschlichen Körpers verdeutlicht zudem den Sichtpunkt auf die Szene (Abb. 1, unten rechts).

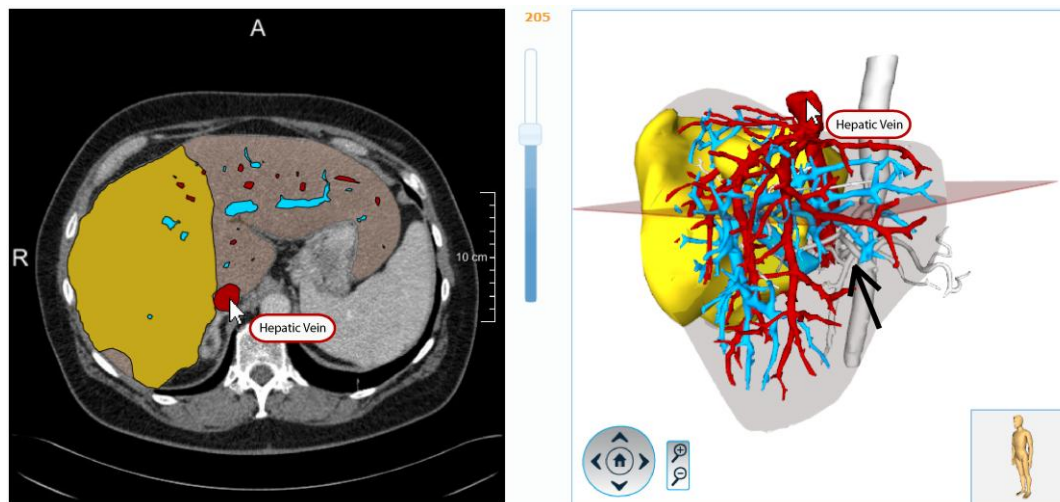


Abb. 1: Webbasierte, synchrone 2D/3D-Darstellung eines Lernfalls. Farbige Overlays kennzeichnen die zuvor segmentierten Strukturen der Leber, z. B. ein großes hepatozelluläres Karzinom (gelb). Interaktive Labels heben den korrekten medizinischen Term des Objektes hervor. Pfeil: Akzessorische rechte Arterie aus der A. mesenterica superior

Der *LiverAnatomyExplorer* basiert auf einem tutoriellen Konzept, in dem der Lernende Schritt-für-Schritt durch die Bearbeitung der 13 aufbereiteten und nach Komplexität gestaffelten Fälle geführt wird. Jeder der Fälle besteht aus fünf linearen Schritten: Lernziele & -aufgaben, (Anonymisierte) Patienteninformationen, 2D/3D Viewer, Quiz & Feedback, OP-Videos & weiterführende Links. Für die Wissensgenerierung und die Kontrolle der individuellen Lernkurve sind direkte Feedbackmechanismen, das Training von Teilaufgaben und unterstützende Informationen unerlässlich [10]. Im Quizmodus werden dem Nutzer mehrere Fragen in verschiedenen Formen präsentiert (Multiple Choice, Selektion von Strukturen im 3D-Modell, Sortieraufgaben). Das Trainingssystem richtet sich gleichermaßen an Medizinstudenten und Ärzte in der Weiterbildung. Der ersten Zielgruppe werden anatomische Grundlagen der Leber sowie Lage- und Größenverhältnisse von Lebergefäßen und -tumoren anhand von realen Fallbeispielen vermittelt. Multiple-Choice-Fragen und 3D-Selektionsfragen (z. B. „Klicken Sie auf das Gefäß, das Segment 7 versorgt!“) dienen der Abfrage und Reflektion des anatomischen Wissens. Die deutlich gekennzeichneten, komplexeren Fallbeispiele richten sich an Ärzte in der klinischen Ausbildung. Multiple-Choice-Fragen dienen hier z. B. der Abfrage von anatomischen Gefäßvarianten und -anomalien (z. B. „Welche anatomische Variante der Leberarterie ist zu sehen?“; Abb.1 rechts, schwarzer Pfeil). Sortieraufgaben sollen den Lernenden darin trainieren, z. B. die notwendigen Arbeitsabläufe während einer Leberresektion richtig zu ordnen. Außerdem hat der Lernende der erfahreneren Zielgruppe die Aufgabe, sich in die Rolle des Chirurgen hineinzuversetzen und aus mehreren Resektionsmöglichkeiten die richtige Option (z. B. eine Erweiterte Hemihepatektomie rechts) auszuwählen. Ein Resektionsvorschlag besteht aus einer 3D-rekonstruierten Darstellung von Remnant, Resektionsvolumen, Resektionsfläche sowie der Tumore, Gefäße und Segmente (Abb. 2, rechts). Der Lernende hat bei der Beantwortung der Resektionsfrage jederzeit die Möglichkeit, die Daten aus der Patientenanamnese oder die farbkodierten 2D-Visualisierungen abzurufen. Unmittelbar auf die Antwort des Nutzers wird die richtige Lösung als Textantwort mit weiterführenden Links und im 3D-Modell präsentiert. Wurden mehr als 75 % der Quiz-Fragen richtig beantwortet, wird der nächste Fall freigeschaltet; andernfalls können die Lernaufgaben selbstständig beliebig oft wiederholt werden. Im letzten Schritt der Bearbeitung eines Falls werden dem Lernenden kommentierte OP-Videos präsentiert, um die klinische Relevanz des Falls hervorzuheben, den realen Eingriff an der Leber zu dokumentieren und dem angehenden Facharzt potentielle Komplikationen oder spezielle Resektionstechniken zu vermitteln.

3 Ergebnisse

Für das webbasierte Trainingssystem wurden 13 patientenindividuelle CT-Abdomen-Datensätze von klinischen Experten segmentiert und anschließend mit *MeVisLab* aufbereitet. Die Schichtdaten und die rekonstruierten 3D-Modelle wurden in ein webfähiges Format umgewandelt und in dem Online-Lernmodul integriert. Der Exportvorgang dauert dabei nur wenige Minuten. Ein X3D-Modell ist ca. 5-10 MB groß (enthält ca. 63.000 Polygone) und kann bei flüssiger Bildfrequenz (ca. 20-25fps, getestet auf Intel Core i5, 2.3 GHz, 4GB RAM, Nvidia GeForce GT 540M) mit jedem aktuellen Webbrowser geöffnet werden. Ein prototypisch umgesetztes webbasiertes Autorentool bietet Mentoren außerdem die Möglichkeit, die hochgeladenen Fälle online zu verwalten und eigene fallabhängige Testaufgaben und -Lösungen zu integrieren. Der *LiverAnatomyExplorer* wurde bisher mit einer erfahrenen Radiologin und einem Chefarzt für Allgemein- und Viszeralchirurgie informell evaluiert. Die beiden Experten schätzen v. a. die freie Exploration von detaillierten ana-

tomischen und pathologischen 3D-Modellen als nützlich für die Ausbildung junger Ärzte ein. Die Fallauswahl, die Entscheidung über die Komplexität eines Falls sowie die Reihenfolge der Testaufgaben und -lösungen wurden in enger Zusammenarbeit mit den beiden Fachärzten diskutiert. Die Radiologin empfiehlt außerdem, eine Kollaborationsmöglichkeit für Lernende zu integrieren. Auffällige oder unklare Regionen sollten von den Lernenden annotiert werden können, um sich mit anderen Kollegen oder Experten auszutauschen, z. B. um angemessene Therapiekonzepte zu diskutieren. Es ist geplant, diese Idee in der nächsten Entwicklungsstufe des *LiverAnatomyExplorers* zu implementieren. Weitere Evaluierungen mit klinischen Experten, Assistenzärzten und Medizinstudenten bzgl. der Usability und Akzeptanz sowie des Lernerfolgs werden derzeit vorbereitet.

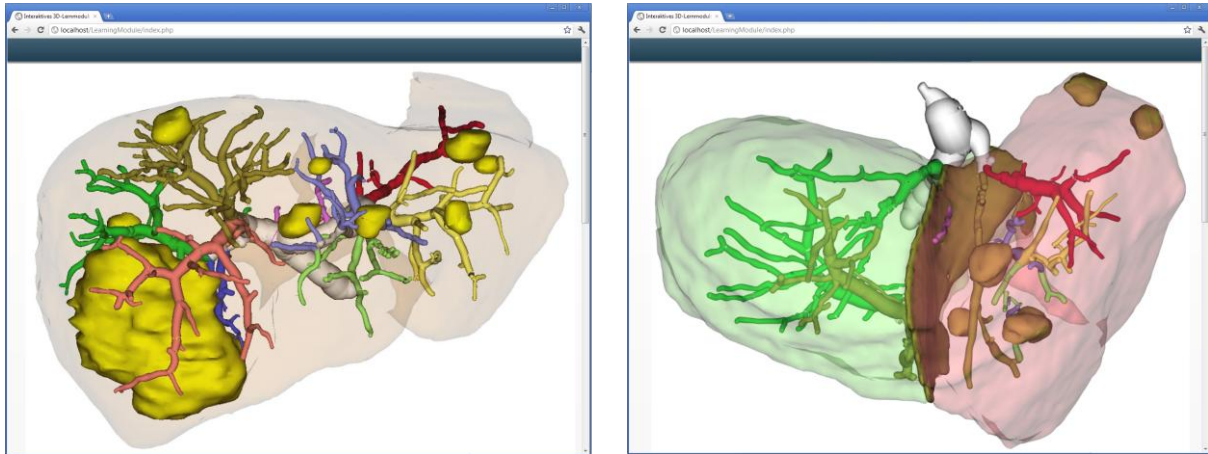


Abb. 2: Links: Detailliertes 3D-Modell eines onkologischen Leberfalls mit mehreren Metastasen. Rechts: 3D-Resektionsvorschlag einer Hemihepatektomie (Grün: Remnant, Rot: Resektionsvolumen, Orange: Resektionsfläche), dargestellt in dem entwickelten 3D-Viewer im Webbrowser Google Chrome 20.

4 Diskussion

In diesem Beitrag wurde der *LiverAnatomyExplorer*, ein web- und fallbasiertes Trainingssystem, speziell ausgerichtet auf die Leberanatomie vorgestellt. Im Gegensatz zu bisherigen webbasierten Lösungen bietet das Lernsystem mehrere individuelle klinische Fälle mit unterschiedlichen anatomischen und pathologischen Gegebenheiten, z. B. Gefäßanomalien oder komplexen Metastasierungen. Prinzipiell ist das System nicht auf das Organ *Leber* beschränkt – X3D ist ein freies 3D-Austauschformat und eignet sich ebenso für andere Organsysteme. Die größte Herausforderung liegt derzeit in der Vorverarbeitung der Daten und der Performance im Webbrowser. Die Aufbereitung der Daten (Import, Segmentierung, Datenreduzierung, Export) ist sehr zeitaufwändig und nur mit Hilfe klinischen Fachpersonals und Softwareunterstützung möglich. Um die 3D-Modelle im Web schnell abrufbar zu machen, müssen sie zum Teil stark komprimiert werden. Die Vorteile webbasierter Systeme sind jedoch die standort- und zeitunabhängige Nutzung von Lernmaterialien und die Möglichkeit der plattformunabhängigen Anwendung auf mobilen Geräten, z. B. Smartphones oder Tablets. Neben der Anatomieausbildung können WebGL-basierte 3D-Visualisierungen beispielsweise auf einem Tablet zur Unterstützung eines Patientengesprächs eingesetzt werden. Weiterhin eignen sich webbasierte 3D-Modelle für den Einsatz im OP, da keine zusätzlichen Plugins oder Softwarepakete installiert werden müssen. Hauptkritikpunkte bei e-Learning-Anwendungen sind die Gefahr der sozialen Isolation des Lernenden und die meist fehlende curriculare Einbindung der Tools [10]. Um dem vorzubeugen, wird der *LiverAnatomyExplorer* derzeit im Rahmen eines Forschungsprojektes in eine Web 2.0 Kooperations- und Lernplattform integriert. Lernende können sich auf der Plattform über ein soziales Netzwerk mit anderen Usern über interessante Lernfälle austauschen und z. B. Testergebnisse vergleichen. Außerdem ist die Integration in die Lernplattform *moodle* geplant, die von vielen medizinischen Fakultäten bereits erfolgreich genutzt wird.

5 Referenzen

- [1] M. Fischer et al.: Modellversuch CASUS: Ein computergestütztes Autorensystem für die problemorientierte Lehre in der Medizin. *Zeitschrift für ärztliche Fortbildung* 90, S. 385-389, 1996

- [2] M. Haag: Plattformunabhängige, adaptive Lehr-/Lernsysteme für die medizinische Aus- und Weiterbildung, Universität Heidelberg, Dissertation, 1998
- [3] K. Höhne et al.: *Voxel-Man 3D-Navigator: Inner Organs*, Springer Electronic Media, 2003
- [4] J. L. Crossingham et al.: Interpreting three-dimensional structures from two-dimensional images: a web-based interactive 3D teaching model of surgical liver anatomy, *HPB* 11(6), S. 523-528, 2009
- [5] S. Birr et al.: A novel Real-Time Web3D Surgical Teaching Tool based on WebGL, *Bildverarbeitung für die Medizin*, S. 404-409, 2012
- [6] F. Ritter et al.: Medical Image Analysis: A Visual Approach, *IEEE Pulse* 6(2), S. 60-70, 2011
- [7] Web3D Consortium, X3D - Open Standards for Real-Time 3D Communication, <http://www.web3d.org/x3d>
- [8] Khronos Group, WebGL - OpenGL ES 2.0 for the Web, <http://www.khronos.org/webgl>
- [9] J. Behr et al.: A scalable architecture for the HTML5/X3D integration model X3DOM, *Web3D Proceedings*, S. 185-194, 2010
- [10] R. Ellaway & K. Masters, *AMEE Guide 32: e-Learning in medical education Part 1: Learning, teaching and assessment*, *Med Teach.* 30(5), S. 455-73, 2008