

Techniken zur interaktiven Hervorhebung von Objekten in medizinischen 3d-Visualisierungen

Bernhard Preim¹, Felix Ritter²

¹MeVis – Center for Medical Diagnostic Systems and Visualization,
Universitätsallee 29, 28359 Bremen, Email: preim@mevis.de

²Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, FIN-ISG,
Universitätsplatz 2, 39106 Magdeburg, Email: ritter@cs.uni-magdeburg.de

Zusammenfassung. Wir präsentieren und vergleichen Methoden zur Hervorhebung von Objekten in medizinischen 3d-Visualisierungen. Diese Methoden werden angewendet, um Objekte in einem Gesamtzusammenhang zu lokalisieren bzw. die Objektform kenntlich zu machen. Abhängig vom Grad der Veränderung einer Visualisierung werden lokale, regionale und globale Hervorhebungstechniken unterschieden. Die in diesem Beitrag beschriebenen neuen Hervorhebungstechniken nutzen Konturlinien, Transparenz und Schattenprojektionen und zielen darauf, die Sichtbarkeit der hervorgehobenen Objekte und die Erkennbarkeit der Objektform zu verbessern.

Schlüsselwörter: Hervorhebung, Exploration medizinischer 3d-Daten

1 Einleitung

In Visualisierungssystemen ist es oft wesentlich, Objekte hervorzuheben. Dies ist schwierig, wenn es sich um 3d-Visualisierungen handelt, da sichergestellt werden muss, dass das entsprechende Objekt *sichtbar* und *erkennbar* ist [12]. Ein sichtbares Objekt kann hervorgehoben werden, indem es so verändert wird, dass es sich von seiner Umgebung abhebt und ausreichend groß ist (Erkennbarkeit gewährleisten). Eine Hervorhebung verdeckter Objekte kann nicht allein durch eine Veränderung der Eigenschaften des hervorzuhebenden Objektes erreicht werden, sondern betrifft auch andere Objekte bzw. globale Parameter einer Visualisierung (z.B. Kameraposition). Wünschenswert ist, dass die Auswirkungen der Hervorhebung eines Objektes auf andere Objekte (die „Nebenwirkungen“) minimal sind.

In medizinischen Visualisierungen, wie z.B. in der computergestützten Anatomieausbildung und in der Therapieplanung, ist die Form der Objekte oft sehr kompliziert (konkave und verzweigende Objekte). Daher sind medizinische Visualisierungen ein interessantes Gebiet für die Analyse von Hervorhebungstechniken. Voraussetzung für den Einsatz dieser Techniken ist die Identifikation und Abgrenzung der wesentlichen anatomischen und pathologischen Strukturen (in der Bildanalyse wird dieser Vorgang Segmentierung genannt), so dass diese als separate 3d-Objekte parametrisiert werden können. In diesem Beitrag werden 3d-Hervorhebungstechniken analysiert und klassifiziert und ihre Eignung in Abhängigkeit von Objektform, -größe und Sichtbarkeit diskutiert. Dabei werden neue Hervorhebungstechniken vorgestellt, die auf dem Einsatz von Schatten, Tran-

sparenz und Konturlinien beruhen. Diese Techniken kommen in mehreren relativ umfangreichen Prototypen zum Einsatz. Dabei handelt es sich um folgende Systeme:

- den ZOOMILLUSTRATOR, ein Anatomielehrsystem, bei dem der Bild-Text-Zusammenhang im Vordergrund steht [6],
- das 3d-Puzzle, ein weiteres System, das durch die Anforderungen der Anatomieausbildung inspiriert ist, [10] sowie
- den SURGERYPLANNER, ein Therapieplanungssystem, welches vorrangig für die Planung von Leberoperationen genutzt wird [8].

Diese Systeme basieren auf strukturierten Oberflächenmodellen, teilweise (zusätzlich) auf medizinischen Volumendaten, z.B. Computertomographien, die für eine Diagnostik und Therapieplanung akquiriert werden. In diesen Fällen repräsentieren die Oberflächenmodelle die Segmentierungsergebnisse der Volumendaten.

2 Verwandte Arbeiten

Eine intensive Beschäftigung mit Hervorhebungstechniken ist im Bereich der wissensbasierten Graphikgenerierung erfolgt. Ein Objekt graphisch hervorzuheben, dass z.B. an anderer Stelle textuell erwähnt wird, ist dabei eines von mehreren betrachteten kommunikativen Zielen [12]. SELIGMAN und FEINER verdeutlichen, dass Sichtbarkeit und Erkennbarkeit relevanter Objekte wesentlich für die Aussage einer Visualisierung sind und diskutieren, wovon diese Eigenschaften abhängig sind. Dabei wurde vor allem das Szenario untersucht, dass eine Präsentation als Ergebnis eines Illustrationsprozesses erzeugt wird, die z.B. in einer technischen Dokumentation oder einer Instandhaltungsbeschreibung verwendet werden kann. Dementsprechend werden aufwändige Verfahren verwendet, die die generierten Visualisierungen dahingehend evaluieren, ob die gewünschten Effekte erreicht sind und – falls dies nicht der Fall ist – andere Verfahren einsetzen bzw. Parameter modifizieren. Graphikgenerierung ist dabei ein Teil eines umfassenderen Planungsprozesses, der andere Medien und die Querbezüge zwischen mehreren Medien einschließt (ANDRE *et al.* [1], FEINER und MCKEOWN [3]). Aufbauend auf diesen Arbeiten wurden in [5] graphische Abstraktionstechniken eingesetzt, die zum Ziel haben, nur hervorgehobene Objekte in größtmöglicher Detailliertheit darzustellen; andere Objekte werden in ihrer Form vereinfacht oder zu einem Objekt verschmolzen (merging).

Die Anwendungsbeispiele sind fast ausschließlich aus dem technischen Bereich (z.B. Radios, Kaffeemaschinen und Modemplatinen). Die Modelle sind von moderater Komplexität (Größenordnung 1000 - 10000 Polygone), wobei die einzelnen Objekte relativ einfache Formen aufweisen. Über die verwendeten Modelle sind teilweise vielfältige Informationen in Wissensbasen abgelegt, die nur bedingt durch eine automatische Szenenanalyse gewonnen werden können und daher einer manuellen Vorarbeit bedürfen.

Der vorliegende Beitrag unterscheidet sich von den beschriebenen Arbeiten durch die Fokussierung auf relativ allgemein anwendbare Hervorhebungstechniken, durch den Verzicht auf Wissensbasen und durch die Betrachtung der komplexen räumlichen Verhältnisse in medizinischen Visualisierungen (z.B. konkave und verzweigende Objekte).

3 Anwendungsszenarien und Visualisierungsziele

Zur Illustration wichtiger Aspekte bei der Analyse von Hervorhebungstechniken werden zwei typische Szenarien aus dem Bereich der medizinischen Visualisierung vorgestellt.

Szenario 1. In einem Anatomielehrsystem selektiert der Benutzer ein Objekt (eine anatomische Struktur) aus einer Liste der Objektnamen. Er interessiert sich dafür, wie das Objekt aussieht (Identifikation des Objektes) und wo das Objekt sich in einem geometrischen Modell befindet (Frage nach der Lokalisation).

Szenario 2. In einem Therapieplanungssystem soll eine Visualisierung gestaltet werden, um eine Diskussion von Ärzten zu unterstützen. Objekte können wiederum über Namen selektiert werden, wobei anschließend das Aussehen des selektierten Objektes (Farbe, Transparenz, Auflösung, Glättung, ...) verändert werden kann. Bevor ein entsprechender Dialog aktiviert wird, möchte der Benutzer das entsprechende Objekt in der Visualisierung erkennen. Es handelt sich dabei z.B. um eine krankhafte Veränderung. Wichtig sind die Lage der krankhaften Veränderung und die ungefähre Größe.

Welche Hervorhebungstechnik angemessen ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab:

- vom konkreten Visualisierungsziel,
- von der Form und relativen Größe des hervorzuhebenden Objektes und
- von der Umgebung des hervorzuhebenden Objektes.

Die folgende Diskussion von Hervorhebungstechniken ist so strukturiert, dass zunächst diejenigen mit geringen Auswirkungen auf andere Objekte betrachtet werden (lokale Hervorhebungstechniken) und anschließend regionale und globale Hervorhebungstechniken, die in der Regel besser die Sichtbarkeit eines Objektes gewährleisten können.

4 Lokale Hervorhebungstechniken

Als *lokale* Hervorhebungstechniken werden hier diejenigen bezeichnet, die nur die Eigenschaften des hervorzuhebenden Objektes verändern. Diese Techniken können ggf. ein sichtbares Objekt von der Umgebung abgrenzen.

4.1 Hervorhebung durch Verändern des Aussehens eines Objektes

Eine einfache lokale Technik ist die Modifikation der Farbe des hervorzuhebenden Objektes. Für die Hervorhebung eignet sich eine stark gesättigte Farbe, z.B. ein reines Rot. Zwei Varianten der Hervorhebung durch Farbe sind zu unterscheiden:

- Einsatz einer Farbe, die global zur Hervorhebung aller Objekte angewendet wird,
- Berücksichtigung der aktuellen Objektfarbe. Hervorhebung durch eine Modifikation der bisherigen Objektfarbe (z.B. indem eine wenig gesättigte Farbe durch eine gesättigte Farbe mit gleichem Farbton ersetzt wird).

In beiden Varianten ist die Hervorhebung wirkungslos, wenn die gewählte Farbe auch bei umgebenden Objekten auftritt. Insofern ist es sinnvoll, eine Farbe bzw. generell stark

gesättigte Farben für Hervorhebungszwecke zu reservieren. Die zweite Variante ist vorteilhaft, wenn die Objektfarben das natürliche Aussehen widerspiegeln. In dem Fall wird das hervorgehobene Objekt nicht in einer gänzlich ungewohnten Farbe dargestellt. Für die Realisierung einer farbbasierten Hervorhebung ist die Nutzung einer perzeptionsorientierten Farbskala (z.B. HSV-Modell, Hue, Saturation, Value) vorteilhaft gegenüber dem RGB-Modell, da die Farbsättigung direkt im S-Parameter spezifiziert werden kann.

Andere lokale Techniken nutzen einen Visualisierungsparameter ausschließlich zur Hervorhebung (z.B. eine Textur oder die Überlagerung der Oberflächendarstellung mit einer Konturlinie). Die Darstellung der Kontur betont zudem die Form des Objektes. Das Blinken ist eine weitere lokale Hervorhebungstechnik, die bei sichtbaren Objekten die Aufmerksamkeit des Benutzers stark lenkt, allerdings auch unangenehm wirken kann.

4.2 Hervorhebung durch Schattenprojektionen

Eine lokale Hervorhebungstechnik, die auch die Sichtbarkeit eines Objektes berücksichtigt, ist das Einblenden eines Schattens für das selektierte Objekt. Wenn eine Schattenprojektion nur für das selektierte Objekt erfolgt, wird die Erkennbarkeit der Objektform unterstützt; zugleich ist die Sichtbarkeit der Schattenprojektion gesichert. Die Lokalisation eines Objektes in der Szene kann vermittelt werden, wenn die gesamte Szene Schatten wirft; das hervorzuhebende Objekt aber in der Schattenprojektion abgegrenzt wird (z.B. farblich, wie in Abb. 1 oder durch Konturlinien) und „über“ die anderen Objekte gerendert wird.

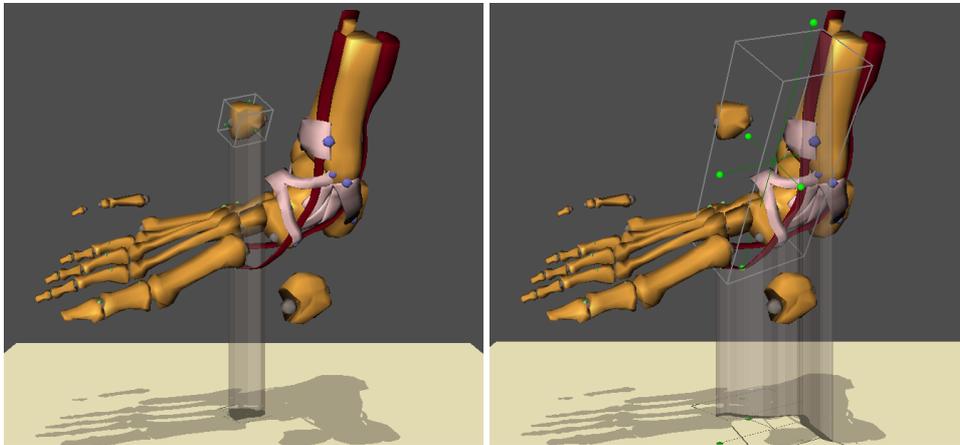


Abbildung 1: Zur Hervorhebung werden semitransparente Schattenvolumen erzeugt. Die Technik ist bei kompakten kleinen Objekten (Knochen links) sehr gut geeignet; bei länglichen Objekten (Muskel rechts) ist die Objektform schwerer erkennbar. Das Schattenvolumen (65% transparent) verbindet ein Objekt mit der hervorgehobenen Schattenprojektion.

Semitransparente Schattenvolumen. Die Lokalisation eines Objektes kann sehr wirkungsvoll durch semitransparente Schattenvolumen vermittelt werden. Dabei wird die

Silhouette des hervorzuhobenden Objektes bestimmt und die Projektion auf eine Grundfläche berechnet und semitransparent dargestellt. Diese Technik wurde für das 3d-Puzzle entwickelt und ist in [10] eingeführt worden (Abb. 1).

4.3 Einsatz metagraphischer Symbole

Neben einer Veränderung des Objektes selbst können zusätzliche Symbole eingeblendet werden, die auf das Objekt in der Szene hinweisen. In Anlehnung an [1] und [12] werden diese als metagraphische Symbole bezeichnet. In einer 3d-Visualisierung muss sichergestellt werden, dass diese metagraphischen Symbole sichtbar sind. Das kann erreicht werden, indem sie der Visualisierung des Modells überlagert werden. Metagraphische Symbole, die auf ein verdecktes Objekt hinweisen, verdeutlichen zumindest die Lokalisation des Objektes und geben einen Hinweis, wie der Benutzer die Sicht verändern muss, um das Objekt zu erkennen. Wichtige Parameter dieser metagraphischen Symbole sind die Größe bzw. der Durchmesser von Linien, sowie die Farbe, die sich idealerweise von allen vorkommenden Farben unterscheidet. Größe und Durchmesser sollten in einem angemessenen Verhältnis zur Gesamtgröße des Modells stehen.

Angelehnt an traditionelle Illustrationen werden zur Hervorhebung auch Pfeile genutzt [1, 3, 12]. Die Generierung (Platzierung, Skalierung) derartiger Pfeile in einer 3d-Visualisierung ist relativ schwierig. Voraussetzung dafür ist, dass der Schwerpunkt eines Objektes oder ein anderer charakteristischer Punkt eines Objektes bestimmt wird, auf den die Pfeilspitze weist.¹ Allerdings ist dieser Punkt im allgemeinen nicht sichtbar. Als Verbesserung kann in der Nähe eines charakteristischen Punktes nach einem sichtbaren Eckpunkt des Objektes gesucht werden, indem Strahlen von der Kameraposition zu ausgewählten Eckpunkten verfolgt und hinsichtlich der getroffenen Eckpunkte analysiert werden. Allerdings verläuft diese Suche auch nur in einigen Fällen erfolgreich. Ohne die Modifikation verdeckender Objekte kann also nicht sichergestellt werden, dass die Pfeile auf sichtbare Objekte verweisen. Bei verzweigenden Objekten, z.B. Blutgefäßen, ist es wünschenswert, durch Pfeile auf mehrere Teile eines solchen Objektes zu verweisen. Insbesondere kann so die Objektform verdeutlicht werden. Für die automatische Generierung solcher Pfeile ist es erforderlich, die Objekt- und Verzweigungsstruktur zu analysieren. Dafür eignet sich die Skelettierung von Objekten, bei der ein Gerüst aus dünnen Linien im Inneren der Objekte bestimmt wird. Dieses Vorgehen ist in [7] genutzt worden, um Linien für die Verbindung anatomischer Objekte mit Beschriftungen am Bildrand zu bestimmen.

Ein weiteres metagraphisches Symbol, das für die Hervorhebung (speziell die Lokalisation) geeignet ist, ist ein Fadenkreuz, das durch einen charakteristischen Punkt des Objektes verläuft (siehe Abb. 2). Solange nur ein Objekt auf diese Weise hervorgehoben wird, können die Linien so weit verlängert werden, dass sie den Bildrand erreichen, so dass die Linienenden mit Sicherheit sichtbar sind.

Weitere metagraphische Symbole sind der an den Koordinatenachsen ausgerichtete umschließende Quader (axis-aligned bounding box, AABB) bzw. der an die Orientierung des Objektes angepasste umschließender Quader (Oriented Bounding Box, OBB). Die

¹ Der Schwerpunkt kann bei konkaven Objekten außerhalb des Objektes liegen.

OBB kann auf der Basis einer Hauptachsentransformation bestimmt werden. Die Hervorhebung durch Einblenden einer AABB ist weitverbreitet, aber als alleinige Hervorhebungstechnik in medizinischen Visualisierungen ungeeignet. Bei länglichen Objekten, wie Nerven und Muskeln, reicht die AABB eines Objektes oft quer durch das gesamte Modell und ist in ihrem Volumen viel größer als das Objekt. Die OBB ist kleiner als die AABB und gibt die Form des Objektes besser wieder – sie ist aber auch eher für annähernd ellipsoide Formen geeignet, z.B. für einige Knochen, als für verzweigende Strukturen. In Abb. 2 ist dargestellt, wie Objekte durch die gleichzeitige Darstellung einer Bounding Box, eines Fadenkreuzes und durch farbliche Veränderung hervorgehoben werden. In Abb. 3 wird eine Farbveränderung und eine Hervorhebung durch die AABB verglichen.

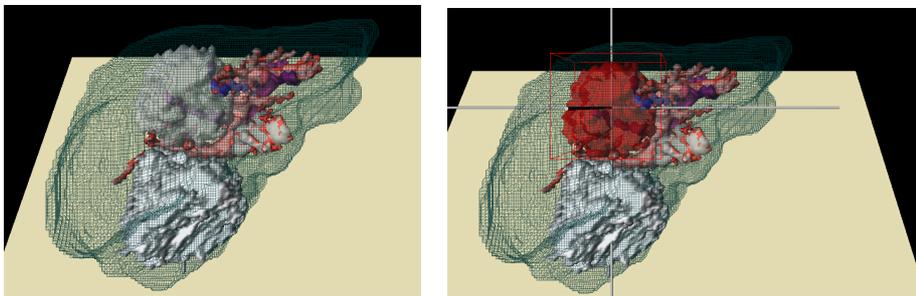


Abbildung 2: Darstellung einer Leber (als Drahtgitter), der Blutgefäße in der Leber und zweier Tumoren. Links die Ausgangssituation. Rechts die Hervorhebung eines Tumors durch Einblenden der Bounding Box sowie eines Fadenkreuzes durch den Schwerpunkt. Zusätzlich wurde der hervorgehobene Tumor eingefärbt.

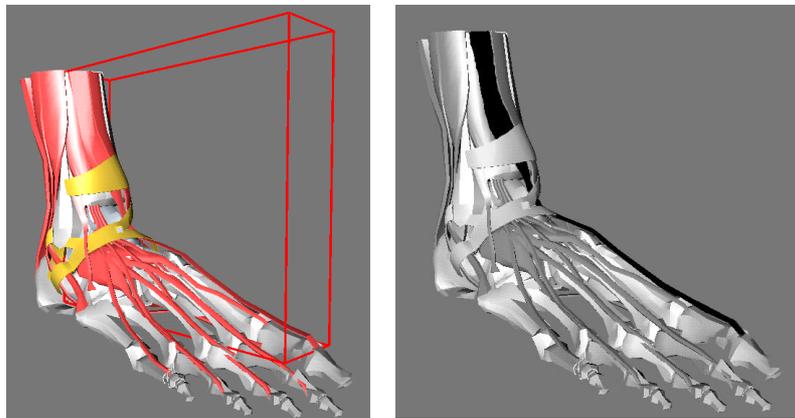


Abbildung 3: Einfache Hervorhebungstechniken: Ein sehr langgestreckter Muskel und die dazugehörige Sehne in einem 3d-Modell sind durch Hervorhebung der Bounding Box nicht erkennbar (links), wohingegen eine direkte Farbveränderung (rechts) Muskel und Sehne deutlich von anderen Objekten abgrenzt.

4.4 Detailansicht

Eine einfache, allgemein anwendbare und wirkungsvolle Hervorhebungstechnik besteht darin, das hervorzuhebende Objekt unverdeckt in einer separaten Detailansicht zu zeigen. Dadurch wird die Form des Objektes deutlich. Für die Veranschaulichung der Lokalisation des Objektes im Modell, kann der (oft quaderförmige) Bereich, der der Detailansicht entspricht, hervorgehoben werden (siehe auch die Anwendung im 3d-Puzzle, [10]). In der Terminologie von FEINER [3, 12] handelt es sich um eine zusammengesetzte Illustration, bei der mehrere Sichten generiert werden, weil das Visualisierungsziel nicht in einer einzigen Ansicht erreichbar ist. Eine Detailansicht kann adaptiv in den Fällen eingesetzt werden, in denen das hervorzuhebende Objekt nicht (oder nur zu einem geringen Teil) sichtbar ist.

4.5 Kombination lokaler Hervorhebungstechniken

Eine Kombination von Hervorhebungstechniken ist oft notwendig, z.B. um mehrere Visualisierungsziele, wie die Vermittlung der Objektform und -lokalisierung zu erreichen. Bei lokalen Hervorhebungstechniken, die die Sichtbarkeit eines Objektes nicht gewährleisten können (z.B. Farbveränderung), kann eine wirkungslose Hervorhebungstechnik durch eine andere (z.B. Schattenprojektion) teilweise kompensiert werden. Wenn die Vermittlung der Objektform im Vordergrund steht, ist eine Kombination aus farblicher Hervorhebung und Konturlinien (Abb. 4) wirkungsvoll. Zusätzlich kann eine Detaildarstellung genutzt werden. Diese Hervorhebungstechniken beeinflussen die Erkennbarkeit anderer Objekte nicht und können daher auch kombiniert werden, um mehrere Objekte hervorzuheben.

Für die Lokalisierung eines Objektes ist die Kombination eines geeignet platzierten Fadenkreuzes mit der Darstellung eines umschließenden Hüllkörpers (z.B. AABB) wirkungsvoll. Die resultierende Visualisierung wird durch die zusätzlichen Symbole allerdings komplexer. Daher führt diese Kombination bei der Hervorhebung mehrerer Objekte, insbesondere bei überlappenden Hüllkörpern, zu unübersichtlichen Visualisierungen.

5 Regionale und globale Hervorhebungstechniken

Um die Sichtbarkeit eines hervorzuhebenden Objektes zu gewährleisten, müssen auch andere Objekte verändert werden. Zwei Vorgehensweisen sind möglich:

- die Sichtrichtung auf das ganze Modell bzw. Darstellungsparameter aller Objekte (z.B. Transparenz) werden so verändert, dass das hervorzuhebende Objekt sichtbar wird,
 - bei konstanter Sichtrichtung werden verdeckende Objekte oder Regionen modifiziert.
- Die erste Variante wird als *globale* Hervorhebungstechnik bezeichnet, da die Darstellung aller Objekte betroffen ist. Bei der zweiten Variante werden die Objekte identifiziert, die ein hervorzuhebendes Objekt verdecken. Diese werden so modifiziert, dass ein „Durchblick“ möglich ist. Die Wirkung der Hervorhebung ist in diesen Fällen nicht nur lokal, aber auch nicht global – sie wird daher als *regional* bezeichnet. Regionale und globale

Hervorhebungstechniken können so ergänzt werden, dass die modifizierten (z.B. semi-transparenten) Objekte zusätzlich farblich verändert werden (Abdunkelung oder Verringerung der Farbsättigung); sie „verblässen“ dadurch.

5.1 Veränderung der Sichtrichtung

Eine automatische Veränderung der Sichtrichtung ist im ZOOMILLUSTRATOR realisiert worden [6]. Dazu wurde aus einer diskreten Menge von analysierten Sichtrichtungen, diejenige ausgewählt, in der das hervorzuhebende Objekt am besten sichtbar ist (Kriterium ist die Zahl der sichtbaren Eckpunkte). Obwohl dies in vielen Fällen zu guten Ergebnissen führt, ist diese Vorgehensweise problematisch: oft wird das Modell in Folge der automatischen Rotation aus einer Sicht gezeigt, die sehr unnatürlich ist. Zudem entsteht dabei eine völlig neue Visualisierung (starke „Nebenwirkung“). Wenn ein Objekt hervorgehoben werden soll, dass in Bezug auf die gesamte Szene im Inneren liegt, gibt es keine Sichtrichtung, aus der das Objekt sichtbar ist. In solchen Fällen wird eine Sichtrichtung ausgewählt, in der es möglichst wenig verdeckende Objekte gibt und diese werden nach der Rotation modifiziert.

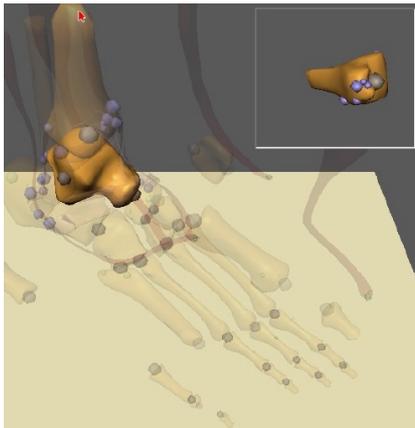


Abbildung 4: Das hervorzuhebende Objekt wird separat in einer Detailansicht dargestellt. Zugleich sind alle anderen Objekte transparent dargestellt worden, um die Sichtbarkeit zu gewährleisten.

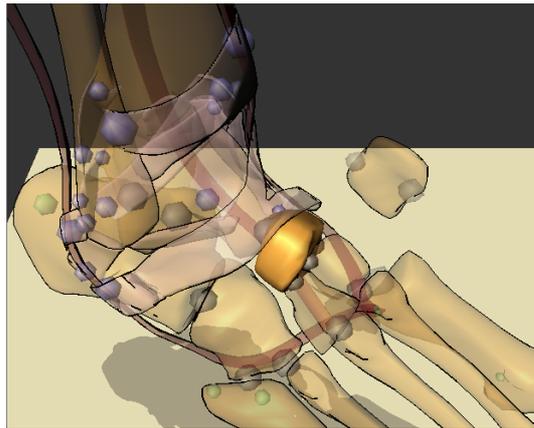


Abbildung 5: Das zu selektierende Objekt ist als Oberfläche dargestellt, wobei verdeckende und andere benachbarte Objekte semitransparent dargestellt werden. Durch die Überlagerung mit Konturlinien ist auch die Form der transparenten Objekte erkennbar.

5.2 Modifikation verdeckender Objekte und Regionen

5.2.1 Modifikation verdeckender Objekte

Verdeckende Objekte werden entweder entfernt oder so dargestellt, dass ein „Durchblick“ möglich ist. Dazu können sie semitransparent, als Wireframe oder mit Konturlinien

dargestellt werden. Ohne eine Sichtbarkeitsanalyse kann die Technik global angewendet werden, indem jeweils alle nicht hervorzuhebenden Objekte in der Darstellung modifiziert werden. Im 3d-Puzzle ist diese Variante realisiert: die Objekte werden als semitransparente Oberflächen dargestellt und die Objektkontur wird als Linie hervorgehoben (Abb. 5). Im Vergleich zu Abb. 4, wo bei gleicher Transparenz die Konturlinien fehlen, ist die Erkennbarkeit deutlich verbessert. Der Vorteil der globalen Technik liegt darin, dass die Hervorhebung auch nach einer Rotation wirksam bleibt, wohingegen die sichtabhängige Entfernung nur der verdeckenden Objekte dann nicht mehr wirksam ist.

5.2.2 Cutaway-Ansichten

Cutaway-Ansichten (deutsch: etwas wegschneiden) ermöglichen ebenfalls eine unverdeckte Sicht auf hervorzuhebende Objekte. Dabei werden aber nicht ganze Objekte sondern verdeckende Regionen modifiziert. Cutaway-Ansichten haben ihren Ursprung in der technischen Illustration und werden z.B. genutzt, um die Position von Bauelementen hinter der Frontplatte eines Gerätes zu zeigen [11]. In medizinischen Visualisierungen sind Cutaway-Ansichten z.B. sinnvoll, um die Lokalisation krankhafter Veränderungen zu illustrieren. Im SURGERYPLANNER ist diese Variante realisiert worden, um einen Sichtkanal zu anatomischen Strukturen zu realisieren. Dabei werden quader- und zylinderförmige Bereiche aus den Volumendaten ausgeschnitten (Abb. 6). Diese Form der Hervorhebung ist besonders geeignet, wenn eine Volumenrepräsentation der Daten vorliegt. Gegenüber dem Entfernen kompletter Objekte (z.B. der ganzen Frontplatte) sind die entfernten Bereiche (und damit die „Nebenwirkungen“ der Hervorhebung) geringer.

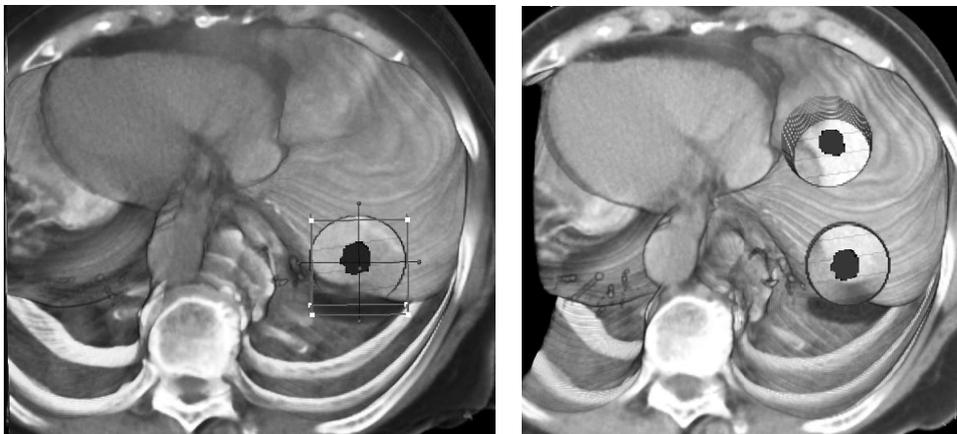


Abbildung 6: Hervorhebung von Tumoren in einer Volumenvisualisierung durch Cutaway-Ansichten. **Links:** Der extrudierte Bereich kann mit einem Manipulator verändert werden. **Rechts:** Zwei Tumoren sind durch Cutaway-Ansichten hervorgehoben.

Algorithmusskizze. Cutaway-Ansichten werden generiert, indem das hervorzuhebende Objekt (gegeben als Liste von Eckpunkten; also 3d-Vektoren) zunächst in die Ebene projiziert wird. Außerdem wird bestimmt, wie tief die Cutaway-Ansicht in das Volumen

eindringen muss, um das Objekt komplett sichtbar zu machen. Daraufhin wird die Silhouette des projizierten Objektes (ein Polygon) bestimmt und davon ausgehend die kleinste umschließende Form des gewählten Typs, z.B. eine Ellipse. Diese 2d-Form wird um einen bestimmten Rand vergrößert, so dass der „ausgestanzte“ Bereich etwas größer ist als unbedingt notwendig, um das Objekt sichtbar darzustellen. Entsprechend der aktuellen Sichtrichtung wird die vergrößerte Form entlang der aktuellen Sichtrichtung extrudiert und dieser Bereich wird aus den Volumendaten herausgeschnitten (oder stark transparent dargestellt).

5.3 3d-Fisheye-Ansichten

Prinzipiell können zu Hervorhebungszwecken auch Größenverhältnisse verändert werden: hervorzuhebende Objekte werden auf Kosten anderer Objekte vergrößert. Diese Klasse von Hervorhebungstechniken hat ihren Ursprung in der Visualisierung und Exploration abstrakter Informationen (Quelltexte, Struktur von Telekommunikationsanlagen), bei denen die Größenverhältnisse keine physische Repräsentation haben. In der medizinischen 3d-Visualisierung spielt die korrekte Wiedergabe von Größenverhältnissen eine große Rolle. Für die Diagnose ist eine Modifikation von Größenverhältnissen unakzeptabel. Die Analyse von medizinischen Lehrbuchillustrationen und Bildunterschriften (“ .. leicht vergrößert ...”) zeigt allerdings, dass zumindest für Lernzwecke Objekte zielgerichtet skaliert werden.

FURNAS [4] hat Fisheye-Ansichten eingeführt, die auf der Basis einer Degree of Interest (doi)-Funktion Objekten eine Wichtigkeit zuordnet und Skalierungsfaktoren berechnet, die der Wichtigkeit entsprechen. Die doi-Werte hängen von der Interaktion des Benutzers ab. Im Unterschied zu einer gewöhnlichen Skalierung kann bei einer Fisheye-Ansicht ein Objekt (der Fokus) vergrößert und im Detail betrachtet werden, ohne dass große Teile der umgebenden Objekte (der Kontext) ausgeblendet werden.

RAAB und RÜGER [9] haben einen 3d-Fisheye-Algorithmus entwickelt, der auf dem Algorithmus von DILL *et al.* [2] aufbaut und diesen auf 3d-Objekte erweitert. Dabei können sich die BoundingBoxen der Objekte überlappen (was bei dem ursprünglichen Ansatz nicht der Fall war) und topologische Zusammenhänge (*Objekt₁* ist mit *Objekt₂* verbunden) können als Constraints berücksichtigt werden, die somit auch nach der Skalierung erhalten bleiben. Der Algorithmus von RAAB und RÜGER ist im ZOOMILLUSTRATOR zur Hervorhebung textuell beschriebener Objekte eingesetzt worden, wobei die Skalierungsfaktoren zwischen 1 und 1.5 liegen, um die resultierende Visualisierung nicht zu stark zu verzerren [6]. Es ist wichtig, dass die Skalierung jeweils mit gleichen Faktoren in alle drei Richtungen erfolgt.

Verzerrende Fisheye-Ansichten verändern Größe und Position von Objekten so, dass die Auswirkungen auf benachbarte Objekte relativ groß sind und mit wachsender Entfernung zum Fokus kleiner werden. Prinzipiell sind zwar alle Objekte betroffen, insofern ist die Technik global; aufgrund der starken Wirkung in einer Region wird sie hier aber als regionale Hervorhebungstechnik eingestuft. Es ist günstig, die Verzerrung mit einer Farbveränderung zu verbinden, um die Hervorhebung zu verstärken.

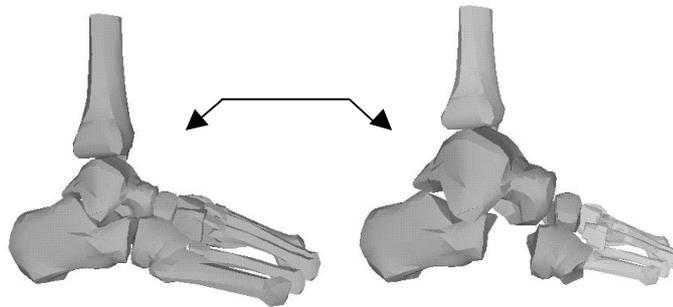


Abbildung 7: Hervorhebung von Objekten durch 3d-Fisheye-Zoom, aus [9]. Der durch Pfeile markierte Fußknoten Talus wächst auf Kosten der umgebenden Knochen. Die verkleinerten Objekte werden zudem in geringerem Kontrast dargestellt.

5.4 Animation von Hervorhebungstechniken

Die Anwendung einer Hervorhebungstechnik, speziell einer regionalen bzw. globalen Technik verändert die Visualisierung teilweise erheblich. Der Betrachter muss versuchen, diese Veränderung nachzuvollziehen und die neue Visualisierung zu interpretieren. Dieser Vorgang kann wesentlich erleichtert werden, wenn die Veränderung animiert wird, d.h. vom Ausgangszustand erfolgt eine als kontinuierlich wahrgenommene Bewegung, in deren Ergebnis ein Objekt hervorgehoben ist. Dies ist bei allen hier beschriebenen Techniken möglich und mit Ausnahme der Cutaway-Ansichten auch realisiert.

Bei Transparenzänderungen ist es ausreichend, in etwa 10 Zwischenstufen und etwa 2 Sekunden die Veränderung vorzunehmen. Die Rotation der gesamten Szene ist diesbezüglich etwas anspruchsvoller. Zunächst muss ermittelt werden, wie auf kürzestem Weg von der aktuellen Sichtrichtung zu der gewünschten rotiert werden kann. Diese Rotation wird dann in zwei orthogonale Rotationen zerlegt.² Tests mit Benutzern haben gezeigt, dass dadurch die Veränderung besser nachvollziehbar ist. Die Dauer der Bewegung wird an die Rotationswinkel angepasst. Bei der Animierung des 3d-Fisheye-Zooms hat es sich als günstig erwiesen, in jedem Schritt eine Skalierung um etwa 3 Prozent vorzunehmen.

6 Klassifikation von Hervorhebungstechniken

Im folgenden werden Hervorhebungstechniken verglichen (Tabelle 1, folgende Seite). Neben den Eigenschaften der entsprechenden Techniken wird auch der Implementierungsaufwand betrachtet, der sich stark unterscheidet.

² Wenn man sich die Veränderung der Sichtrichtung als Kamerafahrt auf einer Kugeloberfläche vorstellt, wird eine Rotation senkrecht zur Äquatorlinie und eine Rotation parallel zum Äquator durchgeführt.

Tabelle 1: Hervorhebungstechniken und ihre Eigenschaften

Hervorhebungstechnik	Eignung für mehrere Objekte	Sichtbarkeit gewährleistet	Grad der Veränderung	Implementierungsaufwand	Bemerkungen
1. Farbveränderung	Ja	Nein	Lokal	Minimal	Hervorhebung durch erhöhte Farbsättigung
2. Schatten Schattenvolumen	Ja Ja	Eher Nein Ja	Lokal Lokal	Moderat Hoch	
3. Konturlinien	Ja	Nein	Lokal	Hoch	Abgrenzung zu anderen Objekten
4. Transparenz - verdeckender Objekte - aller anderen Objekte	Bedingt Nein	Ja Ja	Regional Global	Moderat Minimal	
5. Anpassung der Sichtrichtung	Nein	Ja	Global	Hoch	In vielen Fällen unnatürliche Sicht
6. Cutaway-Ansichten	Ja	Ja	Regional	Hoch	Günstig bei Volumendaten
7. Bounding Box (AABB oder OBB)	Bedingt	Nein	Lokal	Minimal	Generell ungeeignet als einzige Technik
8. Fadenkreuz	Bedingt	Nein	Lokal	Moderat	
9. Pfeile	Ja	Nein	Lokal	Hoch	
10. 3d-Fisheye	Bedingt	Eher Ja	Regional	Hoch	Ungeeignet für med. Diagnose

Schattenprojektionen (2.) stellen ein Objekt aus einer anderen Richtung (aus Richtung der Lichtquelle) dar. Dadurch kann das hervorzuhebende Objekt, das aus Richtung der Kamera verdeckt ist, in der Schattenprojektion sichtbar sein. Dies kann aber nicht generell angenommen werden. 3d-Fisheye-Ansichten (10.) können so realisiert sein, dass mehrere Foki (und damit mehrere hervorgehobene Objekte) möglich sind. Bei dem erwähnten Algorithmus von RAAB und RÜGER ist dies der Fall.

7 Szenen- und Objektanalyse für die adaptive Hervorhebung

Ein interaktives System zur Exploration medizinischer Daten sollte verschiedene Hervorhebungstechniken bereitstellen. Ausgehend von einer Analyse der Lageverhältnisse können Hervorhebungstechniken adaptiv angewendet werden. So ist der Einsatz von metagraphischen Symbolen vor allem bei kompakten Objekten sinnvoll, die relativ klein im Verhältnis zur gesamten Szene sind. Auch Cutaway-Ansichten sind vor allem für solche Objekte anwendbar. In medizinischen Anwendungen sind dies z.B. gut- oder bösartige Tumore. Bei verzweigenden Objekten, bei denen jeweils nur Teile des Objektes sichtbar sind (z.B. Muskeln und Blutgefäße) ist es günstiger, Objekte durch farbliche Veränderungen und Konturlinien hervorzuheben.

Insgesamt sind folgende Informationen pro Objekt wesentlich für den adaptiven Einsatz von Hervorhebungstechniken:

- Schwerpunkt, bzw. ein charakteristischer Punkt, der nahe am Schwerpunkt liegt, aber zum Objekt gehört,
- Größe des Objektes in Relation zur Größe des gesamten Modells und
- die orientierte Bounding Box (OBB).

Es ist daher vorteilhaft, diese Informationen beim erstmaligen Laden des Modells zu berechnen. Der SURGERYPLANNER basiert auf diesem Vorgehen [8]. Zur Hervorhebung werden Objekte eingefärbt und ein Fadenkreuz durch den charakteristischen Punkt gelegt. Die Größe dieses Fadenkreuzes orientiert sich an der Größe des Objektes (Abb. 2). Optional kann auch die OBB eingeblendet werden, wobei diese mit einer Angabe der Objektgröße verbunden ist.

Implementierung von Hervorhebungstechniken

Bei der Implementierung stehen zwei Aspekte im Vordergrund:

- die Nutzung von Graphikbibliotheken, die eine weitreichende Unterstützung bieten und
- die Realisierung der Hervorhebungstechniken in einer Weise, die die Wiederverwendbarkeit in anderen Zusammenhängen ermöglicht.

Aus diesen Gründen bietet sich die Nutzung der Graphikbibliotheken OPENGL und (der darauf aufbauenden Bibliothek) OPENINVENTOR an. OPENINVENTOR bietet eine Szenengrapharchitektur, die die Objektstruktur sehr gut widerspiegelt und die genutzt werden kann, um pro Objekt Materialeigenschaften und andere für die Hervorhebung wichtige Parameter festzulegen. Die Realisierung von Non-Photorealistic-Rendering-Techniken und Schattenprojektionen erfordert die Nutzung von OPENGL. Hervorhebungstechniken sind als OPENINVENTOR-Knoten realisiert und können dadurch (auch plattformunabhängig) in anderen Projekten eingesetzt werden.

8 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Beitrag wurde der Gestaltungsspielraum beim Einsatz bzw. bei der Weiterentwicklung von 3d-Hervorhebungstechniken veranschaulicht. Hervorhebungstechniken unterscheiden sich danach, wie stark sie eine Visualisierung verändern. Insbesondere stärkere Veränderungen, wie sie bei regionalen und globalen Techniken erforderlich sind, werden besser akzeptiert, wenn die Veränderungen animiert werden. Aufgrund der Vielzahl möglicher Hervorhebungstechniken und Parameter ist es wünschenswert, diese adaptiv einzusetzen. Dafür müssen (einmalig) wesentliche Informationen in Bezug auf Form und Größe von Objekten erfasst werden und zusätzlich muss die aktuelle Sichtbarkeit getestet werden. Regionale und globale Hervorhebungstechniken, die die Sichtbarkeit gewährleisten, haben stärkere Auswirkungen auf andere Objekte, so dass es vorteilhaft ist, diese Techniken speziell bei verdeckten Objekten einzusetzen. Umgekehrt ist der Einsatz lokaler Hervorhebungstechniken (mit geringen „Nebenwirkungen“) bei sichtbaren Objekten von Vorteil. Es wurden Kriterien diskutiert, die Eignung von Hervorhebungstechniken beurteilbar machen. Das vorrangige Visualisierungsziel bei der Hervorhebung (Lokalisation eines Objektes mit bekannter Form oder Veranschaulichung einer unvertrauten Form) sowie Form und Größe eines Objektes sind dabei wesentlich.

Eine wünschenswerte Erweiterung und Verbesserung der vorgestellten Hervorhebungstechniken ist die Korrelation mit 2d-Schichtdaten, wie sie speziell Radiologen vertraut sind. Dabei würde eine 2d-Ansicht und eine 3d-Ansicht genutzt werden, wobei in der 2d-Ansicht die Schicht(en) dargestellt werden, die das in der 3d-Ansicht hervorgehobene Objekt enthalten, wobei in diesen Schichten die Bereiche hervorgehoben werden, die dem 3d-Objekt entsprechen (synchronisierte Hervorhebung).

Danksagung. Wir bedanken uns bei WOLF SPINDLER (MeVis), der die Visualisierungskomponente im SURGERYPLANNER implementiert hat und bei Dr. HOLGER BOURQUAIN (MeVis) für eine kritische Durchsicht dieses Beitrages aus medizinischer Sicht.

Literatur

- [1] Elisabeth André und Thomas Rist (1995). „Generating Coherent Presentations Employing Textual and Visual Material“, *Artificial Intelligence Review*, Special Volume on the Integration of Natural Language and Vision Processing, Band 9 (2-3): 147-165
- [2] John Dill, Lyn Bartram, Albert Ho und Frank Henigman (1994). „A Continuously Variable Zoom for Navigating Large Hierarchical Networks“, *Proc. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, S. 386-390
- [3] Steve K. Feiner und Kathy McKeown (1990). „Generating Coordinated Multimedia Explanations“, *IEEE Conference on Artificial Intelligence Applications* (Santa Barbara, CA, März), S. 290-296
- [4] George Furnas (1986). „Generalized Fisheye Views“, *Proc. of the ACM Conference on Human Factors in Computing Systems* (SIGCHI, Boston, MA, April), S. 12-16
- [5] Antonio Krüger (1998). „Automatic Graphical Abstraction in Intent-Based Illustrations“, *Proc. of Advanced Visual Interfaces* (L’Aquila, Mai), ACM Press, S. 47-55
- [6] Bernhard Preim, Andreas Raab und Thomas Strothotte (1997). „Coherent Zooming of Illustrations with 3D-Graphics and Textual Labels“, *Graphics Interface* (Kelowna, BC, Canada, 19.-23. Mai), S. 105-113
- [7] Bernhard Preim und Andreas Raab (1998). „Annotation topographisch komplizierter 3d-Objekte“, *Simulation und Visualisierung* (Magdeburg, 5./6. März), SCS-Verlag, S. 128-140
- [8] Bernhard Preim, Wolf Spindler, Dirk Selle und Heinz-Otto-Peitgen (2000). „Visuelle Simulation und Analyse zur Planung onkologischer Operationen“, *Simulation und Visualisierung* (Magdeburg, 23.-24. März), SCS-Verlag, Erlangen, Ghent, S. 89-103
- [9] Andreas Raab und Michael Rüger (1996). „3D-ZOOM: Interactive Visualization of Structures and Relations in Complex Graphics“, *3D Image Analysis and Synthesis*, infix-Verlag, Sankt Augustin, S. 125-132
- [10] Felix Ritter, Bernhard Preim, Oliver Deussen und Thomas Strothotte (2000). „Using a 3D Puzzle as a Metaphor for Learning Spatial Relations“, *Graphics Interface* (Montréal, Qc, Canada, 15-17 Mai), Morgan und Kaufman, S. 171-178
- [11] Thomas Rist (1995). *Wissensbasierte Verfahren für den automatischen Entwurf von Gebrauchsgraphik in der technischen Dokumentation*, Dissertation, Techn. Fakultät, Universität des Saarlandes, Saarbrücken
- [12] Doree Seligmann und Steve Feiner (1991). „Automated Generation of Intent-Based 3D Illustrations“, *Proc. of ACM SIGGRAPH '91*, S. 123-132