

Interaktive Visualisierung von Abständen und Ausdehnungen anatomischer Strukturen für die Interventionsplanung

Ivo Rössling^{1,2}, Christian Cyrus¹, Lars Dornheim^{1,2}, Peter Hahn²,
Bernhard Preim¹, Andreas Boehm³

¹Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

²Dornheim Medical Images*

³Universitäts-Klinikum Leipzig

`iroess@isg.cs.uni-magdeburg.de`

Kurzfassung. Im Rahmen der Interventionsplanung muss der Chirurg therapierelevante Entscheidungen auf Basis räumlicher Relationen anatomischer Strukturen treffen. Interaktive 3D-Visualisierungen unterstützen diesen Prozess qualitativ. Quantitative Fragestellungen (Tumorausdehnung, Infiltrationstiefe, etc.) erfordern die Integration einer Bemaßung, deren Nutzen wesentlich von einer geeigneten Darstellung abhängt. In dieser Arbeit haben wir allgemeine Kriterien für die Eignung von Visualisierungen von Bemaßungen in interaktiven 3D-Szenen erarbeitet. Daran orientierend haben wir verschiedene Varianten der Darstellung von Abständen und Ausdehnungen anatomischer Strukturen betrachtet und ihr Erscheinungsbild hierzu zweckmäßig parametrisiert. Die Ausprägungen dieser Darstellungsparameter wurden in einer Studie auf ihre visuellen Wirkung hin an Chirurgen evaluiert. Es zeigte sich, dass die befragten Mediziner höchsten Wert auf Kohärenz und klare Zuordnung der Bemaßung setzten und überraschenderweise dafür sogar Abstriche in der direkten Lesbarkeit in Kauf nahmen.

1 Einleitung

Für die chirurgische Diagnostik und Therapieplanung spielt die Beurteilung anatomischer und pathologischer Strukturen eine tragende Rolle. Bildgebende Verfahren unterstützen den Arzt, sich ein umfassendes Bild des vorliegenden Falles zu verschaffen. Neben dem rein qualitativen visuellen Eindruck ist die quantitative Bewertung von zentraler Relevanz. Kennwerte zur räumlichen Konstitution relevanter Strukturen haben sich hierfür als äußerst wichtig herausgestellt.

Diese Maße müssen aus Gründen klinischer Sicherheit und Effizienz dem Chirurgen in einer Form präsentiert werden, die ihm auf intuitive Weise eine leichte und korrekte Ablesung erlaubt. Trotz der Relevanz dieser Thematik lässt sich kaum Literatur zur Visualisierung spatialer Kennwerte in medizinischen 3D-Szenen finden. Einen Abriss zu den üblichsten Anwendungsfällen gibt [1].

* Gefördert durch EXIST, BMWi und ESF

Veranschaulicht wird jeder Fall dabei anhand einer medizinischen 3D-Szene und einer möglichen Visualisierung. Für räumliche Punktabstände und Längenskalen werden Distance Lines und Interactive Rulers aus [2] beispielhaft angeführt. Auch eine Vermessung von Winkeln und Volumina wird illustriert. In [3] werden Abstände und Abmaße von Strukturen interaktiv bestimmt. Es wird eine etwas simplere Darstellung gewählt, bei der Bemaßung und Maßzahl visuell voneinander getrennt sind. [2] präsentiert abschließend noch ein Beispiel für die Darstellung automatisch berechneter Abmaße anatomischer Strukturen. Ansonsten wird in den genannten Quellen ein klarer Fokus auf die interaktive manuelle Vermessung gesetzt, bei der Anwender direkt mit den Maßen selbst interagiert.

Allen Quellen ist gemein, dass sie zwar jeweils eine konkrete Darstellungsvariante vorstellen, jedoch keine denkbaren Alternativen diskutieren. Vor diesem Hintergrund haben wir für ausgewählte Maße verschiedene Visualisierungsformen entwickelt und in einer Nutzerstudie evaluiert. Drei Anwendungsfälle wurden dabei betrachtet, die sich aus wichtigen medizinischen Fragestellungen für die Interventionsplanung ableiten lassen: Die Visualisierung von kürzesten Abständen, von größten Ausdehnungen und von Abmaßen anatomischer Strukturen.

2 Material und Methoden

Wie eine Bemaßung letztlich vom Betrachter wahrgenommen wird, hängt von einer Reihe von Präsentationsparametern ab. Für gute visuelle Wirkung haben wir in Anlehnung an [4] die folgenden qualitativen Kriterien postuliert:

- *Klare Zuordnung*: Sowohl die Zuordnung von Bemaßungen zu ihren Objektreferenzen als auch die von Maßzahlen zu ihren Maßlinien muss jeweils eindeutig und klar erkennbar sein [4].
- *Lesbarkeit*: Die Maßzahlen müssen eine leichte und korrekte Ablesung erlauben und dürfen insbesondere nicht verdeckt werden.
- *Kohärenz*: Im Rahmen der Interaktion mit der 3D-Szene sollten weder Maßlinien noch Maßzahlen den Betrachter durch auffällige (z.B. sprunghafte) Änderungen ablenken.

An diesen Kriterien orientierend haben wir verschiedene Darstellungsvarianten entwickelt. Auf eine Betrachtung visueller Details wie Farbe, Font oder Linienstil wurde dabei bewusst verzichtet.

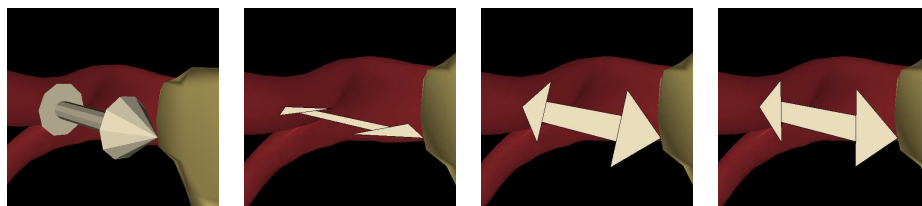
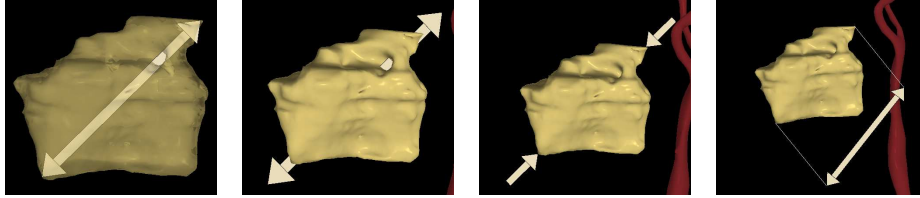


Abb. 1. Dimensionalität und Ausrichtungskorrektur: 3D-Pfeil, sowie 2D-Pfeil in den Varianten statisch, sicht-optimal, und (*smooth-flip*).

Abb. 2. Verdeckung: Behebung des Problems durch Objekttransparenz, Überstand oder Außenansetzung der Maßpfeile sowie durch Hilfslinien.



Für die Visualisierung der Maßlinien wurden zunächst zwei allgemeine Darstellungsparameter herausgearbeitet (Abb. 1):

- *Dimensionalität*: Für den 3D-Pfeil mit zylindrischem Schaft und Kegelspitze aus [4] wurde als schlichtere Alternative ein planares Gegenstück eingeführt.
- *Ausrichtungskorrektur*: Beim 2D-Pfeil ergibt sich aufgrund der Planarität das Problem, dass eine feste Ausrichtung (statisch) zu extrem flachen Blickwinkeln führen kann. Dies kann durch eine Neuausrichtung der Pfeilebene korrigiert werden. Drei Lösungen wurden erarbeitet: Der Pfeil wird beim Winkel von 45° einfach umgeklappt (*flip*), immerfort zum Betrachter hin gedreht (sicht-optimal) oder behält seine feste Ausrichtung zunächst bei und wird in einem Grenzbereich dann kontinuierlich übergeblendet (*smooth-flip*).

Im Anwendungsfall der größten Ausdehnung verläuft das Referenzmaß meist innerhalb des Objektes. Vier Parameter werden dann zusätzlich relevant: Objekttransparenz, Pfeilüberstand, Außenansetzung und Hilfslinien (Abb. 2). Im Anwendungsfall der Abmaße treffen drei Maße orthogonal aufeinander. Dies führt zu zwei letzten Parametern für die Darstellung von Maßlinien (Abb. 3):

- *Anordnung*: Im einfachsten Falle schneiden sich die Pfeile im Schwerpunkt des Objektes oder im Mittelpunkt der Bounding-Box. Alternativ können sie sich in einem gut sichtbaren Eckpunkt selbiger treffen. Ferner ließen sich ähnlich einer technischen Zeichnung Silhouettenkanten der Bounding-Box dynamisch bestimmen, die eine Überlagerung des Objektes vermeiden.
- *Bounding-Box*: Als potentielle visuelle Unterstützung kann zusätzlich die zugehörige Bounding-Box der Struktur angezeigt werden.

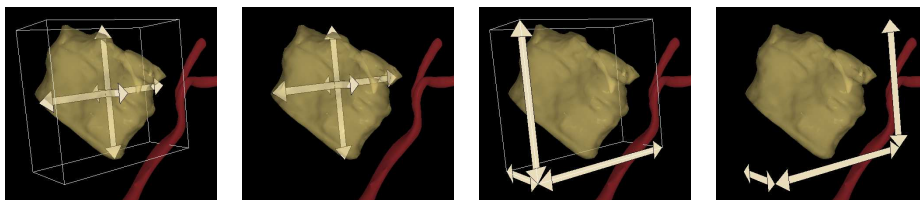
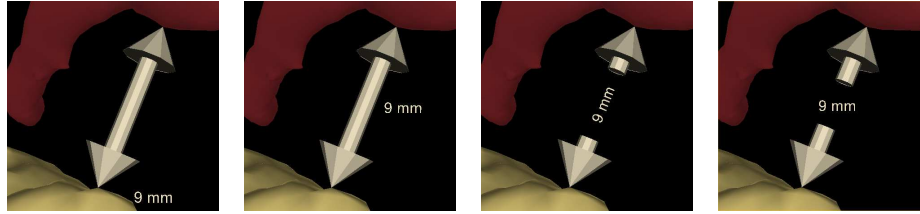


Abb. 3. Anordnung orthogonaler Maße: Mittelpunkt*, Schwerpunkt, Eckpunkt* und Silhouettenkanten (* = mit zusätzlicher Bounding-Box).

Abb. 4. Anordnung der Beschriftungen: An der Spitze, neben, auf oder als Unterbrechung zum Pfeil, davon zweimal in Pfeilrichtung ausgerichtet.



Neben der Maßlinie selbst lässt sich auch ihre Beschriftung visuell parametrisieren. Für diesen Aspekt haben wir folgende Varianten berücksichtigt (Abb. 4):

- *Ausrichtung*: Die Maßzahlen können waagrecht in der Kameraebene oder perspektivisch in Pfeilrichtung ausgerichtet sein.
- *Positionierung*: Die Maßzahlen können an der Pfeilspitze, neben, auf oder als Unterbrechung zum Pfeilschaft positioniert werden.

Zur Evaluierung der beschriebenen Aspekte wurde eine Test-Suite entwickelt. In Form einer Simultan-Ansicht wurden dabei in jedem Schritt die verschiedenen Ausprägungen des jeweiligen Parameters einander gegenübergestellt, wobei jede Nutzerinteraktion stets synchron auf alle Viewports angewandt wurde.

Um der Nutzerbefragung ein möglichst realistisches Test-Szenario zugrunde zu legen, wurde eine 3D-Szene segmentierter anatomischer Strukturen des Halses gewählt. Die Darstellungsparameter wurden unabhängig evaluiert. Tabelle 1 zeigt die in den drei Anwendungsfällen jeweils getesteten Parameter.

Die Nutzergruppe bestand aus Angehörigen unserer Forschungseinrichtung sowie Mitarbeitern des klinischen Partners (Chirurgen), darunter ein Oberarzt.

3 Ergebnisse

Beim Großteil der Fragen herrschte Einigkeit unter den Testpersonen. So wurde Transparenz bei objektinternen Maßen generell als hilfreich empfunden. Von außen angesetzte Maßlinien wurden dagegen als nur bedingt geeignet bewertet, da der korrekte Eindruck der bemaßten Strecke darunter leidet. Überstehende Pfeilenden wurden als verwirrend abgelehnt. Hilfslinien fanden zwar Akzeptanz, doch eine innenliegende Bemaßung mit Transparenz wurde durchweg bevorzugt.

Unterschiedlicher fielen die Antworten zu Dimensionalität und Ausrichtungskorrektur sowie Anordnung dreier Pfeile aus. Während Nicht-Mediziner sich teils durchaus für den 2D-Pfeil aussprachen und dabei sicht-optimal für Abstände und *smooth-flip* für Abmaße klar bevorzugten, äußerten die Ärzte eine absolute Präferenz für den 3D-Pfeil und lehnten neben *flip* auch *smooth-flip* (nicht aber statisch) als störend ab. Bei der Anordnung dreier Pfeile gab es bei den Nicht-Medizinern unterschiedliche Präferenzen. Seitens der Ärzte wurden äußere Bemaßungslinien als weniger geeignet eingestuft. Sie empfanden die Variante Schwerpunkt am ansprechendsten, eine Bounding-Box dagegen irreführend.

Tabelle 1. Übersicht der in den drei Anwendungsfällen evaluierten Parameter

	Dimens.	Ausrtg.- korrektur	Transpz.	Überstand	Außen- ansetzg.	Hilfslinien	Anordng.	BBox	Richtung	Position
(kürzester) Abstand	×	×							×	×
(größte) Ausdehnung räumliche Abmaße	×		×	×	×	×	×	×	×	×

Bei den Maßzahlen herrschte Einigkeit, dass die Beschriftung mit Unterbrechung des Pfeils präferiert wurde. Im Gegensatz zu den Nicht-Medizinern bevorzugten die Ärzte aber die perspektivische Variante.

4 Diskussion

Die Ergebnisse der Studie waren zum Teil überraschend. Es bestätigte sich die Annahme, dass schlechte Kohärenz in der Interaktion als besonders störend empfunden würde. Erstaunlich war jedoch, dass neben der Variante *flip* auch *smoothflip* von den Ärzten als sehr ablenkend eingestuft wurde.

Der vermutete Zuspruch für 2D-Pfeile blieb aus. Seitens der Mediziner wurde diese Dimensionsreduktion als störende visuelle Hervorhebung empfunden.

Eine positive Bewertung der Transparenz und die konsequente Ablehnung der überstehenden Pfeile entsprach unseren Annahmen. Auch die Präferenz der Platzierung der Maßzahl in Unterbrechung zur Maßlinie hatten wir vermutet.

Unerwartet war jedoch die Reaktion der Mediziner auf Anordnung der Pfeile und Ausrichtung der Beschriftungen. Hinsichtlich der eingangs aufgestellten Kriterien gingen wir von einem hohen Stellenwert der Lesbarkeit aus. Gerade hier waren die Mediziner jedoch bereit, beschränkt Einschnitte in Kauf zu nehmen, wenn dafür ein Maximum an klarer Zuordnung, Kohärenz erreicht würde.

Wir kommen zu dem Schluss, dass für die medizinische Visualisierung 3D-Pfeile, die der transparenten Struktur inne liegen und deren Maßzahl perspektivisch als Unterbrechung in den Pfeil gesetzt ist, eine geeignete Wahl sind.

Literaturverzeichnis

1. Preim B, Bartz D. Chapter 13 - Measurements in Medical Visualization. In: Visualization in Medicine. Morgan Kaufmann Publishers Inc.; 2007. p. 313–339.
2. Preim B, Tietjen C, Spindler W, et al. Integration of measurement tools in medical 3d visualizations. *Procs IEEE Vis.* 2002; p. 21–28.
3. Hastreiter P, Rezk-Salama C, Tomandl B, et al. Fast analysis of intracranial aneurysms based on interactive direct volume rendering and CTA. *Proc MICCAI.* 1998; p. 660–669.
4. Preim B, Sonnet H, Spindler W, et al. Interaktive und automatische Vermessung von 3D-Visualisierungen für die Planung chirurgischer Eingriffe. *Proc BVM.* 2001; p. 19–23.