

# Bestimmung günstiger Sichtpunkte zur Betrachtung von Vermessungsergebnissen in 3D-Szenen für die chirurgische Interventionsplanung

I. Rössling<sup>1</sup>, L. Dornheim<sup>1</sup>, B. Preim<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Dornheim Medical Images GmbH, Magdeburg, Deutschland

<sup>2</sup> Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg, Deutschland

Kontakt: ivo.roessling@dornheim-medical-images.de

## Abstract:

Bei der chirurgischen Interventionsplanung auf Basis dreidimensionaler Szenen entfällt regelmäßig ein beträchtlicher Anteil der Interaktionszeit auf das Finden geeigneter Perspektiven und das Einstellen von visuellen Darstellungsparametern. Automatisierte Ansichten können diesen Aufwand durch geeignete Anpassung der Visualisierung und/oder Bestimmung geeigneter Sichtpunkte entsprechend reduzieren. Zudem stellen sie ein Mittel zur Standardisierung der Demonstrationen von postprozessierten Daten dar.

Vereinzelt existieren bereits Verfahren zur Sichtpunktbestimmung für (chirurgische) 3D-Szenen, welche sich jedoch bislang auf die á priori bekannten Strukturen beschränkten und somit eine umfangreiche Vorverarbeitung ermöglichten. Bei der Klärung zentraler Planungsfragen spielen häufig aber auch spezifische räumliche Maße eine entscheidende Rolle, welche jedoch nicht bereits á priori bekannt sind. Für deren Beurteilung wären automatisch ermittelte günstige Sichtpunkte ebenfalls wünschenswert. Davon ausgehend stellen wir für ein bereits publiziertes Verfahren eine konzeptuelle Erweiterung vor, die eine Anwendung des ihm zugrundeliegenden Prinzips auch auf allgemeine Vermessungsergebnisse ermöglicht, welche ihrerseits erst zur Laufzeit erhoben werden.

Schlüsselworte: Chirurgie, Interventionsplanung, Visualisierung, Vermessung, Sichtpunkte

## 1 Problemstellung

Bei der chirurgischen Interventionsplanung auf Basis dreidimensionaler Szenen entfällt regelmäßig ein beträchtlicher Anteil der Interaktionszeit auf das Finden geeigneter Perspektiven und das Einstellen von visuellen Abbildungsparametern. Automatisierte Ansichten können helfen, diesen Aufwand zu minimieren, aber auch Darstellungen zu standardisieren. Zwei verschiedene Strategien können hierbei grundsätzlich verfolgt werden.

*Smart-Visibility*-Techniken [1, 2] versuchen die Visualisierung der Szenenobjekte in geeigneter Weise anzupassen, sodass die gewünschten Informationen aus der vom Nutzer gewählten Perspektive gut sichtbar sind. Um störende Verdeckungen aufzulösen und die Sicht auf hinterliegende Objekte freizugeben, finden neben einer automatischen Anpassung individueller Sichtbarkeiten und Transparenzen hinausgehend hierbei auch erweiterte Techniken wie *Silhouetten*, *Ghostviews*, *Cut-Away*- oder *Section-Views* Einsatz.

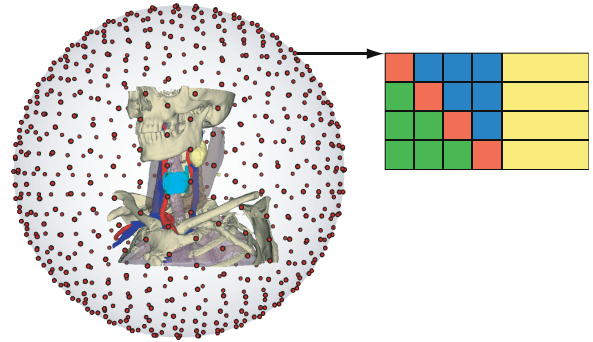
Ziel der *Viewpoint Optimization* ist es dagegen, unter Berücksichtigung der aktuell eingestellten Darstellungsparameter umgekehrt eine besonders günstige Perspektive zu ermitteln. Mit dieser Fragestellung haben sich bereits einzelne Autoren auseinandergesetzt und Gütemaße wie die *Viewpoint Entropy* [3] oder die *Viewpoint Kullback-Leibler Distance* [4] zur Bewertung von Sichtpunkten definiert. Ein sehr ausgefeiltes Verfahren präsentieren Mühler u. a. [5], welches für die Suche nach optimalen Sichtpunkten für Strukturen und Strukturgruppen in chirurgischen 3D-Szenen eine Vielzahl von Wahrnehmungsaspekten in Echtzeit berücksichtigt. Auf Grundlage einer differenzierten Bewertung selbiger mit jeweils gewünschter Gewichtung werden visuelle Ergebnisse erzielt, welche die der vorgenannten Verfahren wohl deutlich übertreffen. Ermöglicht wird die Echtzeit-Optimierung des Sichtpunktes durch eine sehr aufwendige Vorverarbeitung, welches jedoch eine Vorkenntnis der entsprechenden segmentierten Oberflächenmodelle voraussetzt und das Verfahren damit auf selbige beschränkt.

Zur Klärung zentraler Planungsfragen spielen häufig aber auch spezifische räumliche Maße eine entscheidende Rolle, welche jedoch nicht bereits á priori bekannt sind. Für deren Beurteilung wie reproduzierbare Präsentation wären automatisch ermittelte günstige Sichtpunkte mindestens ebenso wünschenswert. Vor diesem Hintergrund stellen wir eine konzeptuelle Erweiterung des Verfahrens vor, die eine Anwendung des ihm zugrundeliegenden Prinzips auch auf allgemeine Vermessungsergebnisse ermöglicht, welche erst zur Laufzeit erhoben werden.

## 2 Material und Methoden

Ausgangspunkt der nachfolgenden Betrachtungen bildet die aktuellste publizierte Version [6] des Basisverfahrens von Mühler u. a. zur automatischen Sichtpunktbestimmung. Zunächst soll der zugrundeliegende Ansatz mit seinen bisherigen Beschränkungen auf Strukturen sowie der vorgeschlagenen Speziallösung für kürzeste Abstände beschrieben werden, bevor das Verfahren auf allgemeine räumliche Maße erweitert wird.

Abbildung 1: Die Eckpunkte des Polytops einer gleichmäßigen Tesselierung der Einheitskugel dienen dem Verfahren von [6] als Kandidaten für mögliche Sichtpunkte. Für jeden einzelnen werden sämtliche Strukturen einmal singular gerendert. Durch pixelweise Sortierung ihrer sich ergebenden z-Buffer wird eine Matrix von Kennwerten zu Sichtbarkeiten und paarweisen Verdeckungen ermittelt und mit dem Sichtpunkt assoziiert.



## 2.1 Basisverfahren zur automatischen Sichtpunktbestimmung

Ziel des Basisverfahrens [6] ist, gute Sichtpunkte auf gewählte Zielstrukturen bzw. Strukturgruppen einer gegebenen 3D-Szene von Oberflächenmodellen segmentierter Strukturen zu identifizieren. Die Optimierung erfolgt dabei nicht analytisch, sondern durch Auswahl aus einer endlichen Menge an vorberechneten Positionen auf der Einheitskugel (Abbildung 1), welche durch eine verschiedene Kriterien kombinierende Zielfunktion bewertet werden. Um neben dem Sichtwinkel nicht auch den Fokuspunkt und die radiale Entfernung zu diesem als weitere Freiheitsgrade berücksichtigen zu müssen, legen die Autoren eine orthographische Projektion zugrunde.

Da für die Wahl einer guten Perspektive die individuellen (Sichtbarkeits-)Einstellungen maßgeblich sind, welche der Chirurg aber erst im Zuge der computergestützten Planung vornimmt, ist eine vergleichende Bewertung möglicher Sichtpunkte auch erst zu diesem Zeitpunkt möglich. Eine geeignete Modellierung erlaubt es Mühler u. a. [5] jedoch, auch ohne vorherige Kenntnis der späteren individuellen Sichtbarkeiten dem beiweitem größten Anteil der komplexen Berechnungsarbeit bereits im Rahmen einer einmaligen Vorverarbeitung zu realisieren.

Dabei rendern sie von jeder der virtuellen Kamerapositionen aus sämtliche Strukturen nacheinander jeweils einmal separat in den z-Buffer. Durch Sortierung aller Tiefenwerte an sämtlichen Pixeln des Viewports bestimmen sich die Autoren zur jeweils aktuellen Perspektive verschiedene qualitative Maße für die Darstellung der Objekte in Relation zueinander. Für jede Struktur  $S_i$  erheben Sie dabei jeweils die folgenden Kennwerte [6]:

- Gesamtanzahl der Pixel von  $S_i$ , sowie Anzahl der Silhouetten-Pixel von  $S_i$
- für jede andere Struktur  $S_{k \neq i}$ : Anzahl Pixel, an denen  $S_k$  von  $S_i$ , respektive  $S_i$  von  $S_k$  verdeckt wird
- Anzahl absolut sichtbarer (=unverdeckter) Pixel von  $S_i$
- kleinster & größter z-Wert (als Maß für kürzeste & weiteste Entfernung eines Punktes von  $S_i$  zur Kamera)
- gewichtete Summe der Abstände aller Pixel von  $S_i$  zur Viewport-Mitte (als Maß für Dezentralität von  $S_i$ )

All diese skalaren Kennwerte werden in einer mit dem jeweiligen Sichtpunkt assoziierten Matrix gespeichert. Diese Datenstruktur stellt in kondensierter Weise alle relevanten Angaben bereit, die zur Bewertung des jeweiligen Sichtpunktes für beliebige Szenenkonfigurationen benötigt werden. Sie ermöglicht eine effiziente Auswertung zu einem späteren Zeitpunkt, wenn die Wahl von Zielstruktur und Sichtparameter konkretisiert wurde.

Durch die Vorverarbeitung wird das komplexe Optimierungsproblem soweit heruntergebrochen, dass die noch verbleibenden Aspekte in Echtzeit ermittelt werden können. Soll für eine Zielstruktur zur Laufzeit der optimale Sichtpunkt bestimmt werden, muss hierzu für jeden Kandidaten lediglich die zu dieser Struktur gehörende Zeile und Spalte der assoziierten Matrix ausgewertet werden. Mühler u. a. fassen diese Werte zu 10 qualitativen Gütemaßen je Sichtpunkt zusammengefasst, wie z. B. *Sichtbare Fläche*, *Länge der Silhouette*, *kontextuelle Wichtigkeit*, *Anzahl verdeckender Strukturen*, *Vorzugsblickrichtung*, etc. (Details und Berechnung, siehe [6]).

Jedes einzelne Gütemaß stellt ein sphärisches Parameterfeld dar, welches dessen räumliche Verteilung bzgl. der Sichtpunkte beschreibt. Eine gewichtete Summe führt diese in Echtzeit zu einer Gesamtbewertung zusammen, welche als fusioniertes sphärisches Parameterfeld alle Aspekte in differenziertem Maße berücksichtigt, dessen höchstbewerteter Eintrag den entsprechend der Kriterien gesuchten optimalen Sichtpunkt identifiziert.

## 2.2 Optimale Sichtpunkte für räumliche Maße

Für die naheliegende Idee, dieses Verfahren zur Sichtpunktbestimmung auf räumliche Maße auszuweiten, ergibt sich das grundlegende Problem, dass diese zunächst nur eine Metainformation darstellen. Der Ansatz basiert aber auf der Ermittlung qualitativer Kennwerte für die sichtpunktabhängige Darstellung von manifesten Objekten. Mühler [6] pauschalisiert, ein guter Sichtpunkt auf ein räumliches Maß sei „*nicht ohne Weiteres mit dem Basisalgorithmus [...] zu bestimmen*“. Für den *minimalen Abstand* schlägt er eine speziell zugeschnittene Lösung vor,

welche das Maß über seine impliziten Eigenschaften modelliert: Eine optimale Sicht sollte möglichst senkrecht auf die beide Endpunkte verbindende Gerade blicken, zugleich sollten aber auch die beiden vermessenen Strukturen als Referenz möglichst gut sichtbar sein. Hierzu multipliziert Mühler ein Parameterfeld, welches Sichtrichtungen mit steigender Orthogonalität positiver bewertet, mit den summierten Ergebnisfeldern dieser beiden Strukturen. Diese vorgeschlagene Vorgehensweise weist insgesamt folgende Nachteile auf:

1. Das Optimierungsproblem wurde konkret über die impliziten Eigenschaften des kürzesten Abstandes modelliert. Andere räumliche Maße würden jeweils ihre entsprechend eigene Modellierung erfordern.
2. In gleicher Weise kann auch ein einzelnes Maß auf unterschiedliche Weise dargestellt werden. Diese Freiheit der Wahl der späteren Visualisierung ist ebenfalls nicht berücksichtigt.
3. Mit diesem individuell zugeschnittenen Kriterium kommt die große Stärke des Verfahrens, welche in der Fusion mehrerer zusammenwirkender *allgemeingültiger* Kriterien liegt, nicht mehr zur Entfaltung.
4. Durch die lediglich implizite Modellierung ist nicht garantiert, dass die Sicht auf die spätere Maßdarstellung auch wirklich frei ist. Die Auflösung etwaiger Verdeckungen erfordert eine zusätzliche Nachverarbeitung.<sup>1</sup>

Anstelle einer individuellen Speziallösung möchten wir das ursprünglich für segmentierte Strukturen entwickelte Basisverfahren in nativer Weise auf allgemeine räumliche Maße übertragen. Unserer Idee liegt dabei die intuitive Annahme zugrunde, dass nicht das abstrakte Maß selbst, sondern vielmehr seine Visualisierung die relevante Informationseinheit bildet. Für den Anwender wird also ein möglichst guter Sichtpunkt auf die *visuelle Darstellung des Messergebnisses* gesucht. Eine andere Präsentationsform kann also durchaus mit einem anderen Sichtpunkt für die optimale Betrachtung einunddesselben Messergebnisses einhergehen (Abbildung 3).

Durch Modellierung des Maßes als *spezielle zusätzliche Struktur* in der Szene können optimale Sichtpunkte mit dem gewohnten Basisverfahren ermittelt werden, wodurch sich gegenüber der von Mühler vorgeschlagenen Variante unmittelbar mehrere Vorteile ergeben (siehe Abschnitt 4). Allem voran handelt es sich hierbei um ein einheitliches Konzept, bei dem die verschiedenen Maße keiner separaten Modellierung bedürfen. Stattdessen genügt es völlig, für jede Vermessungsart eine entsprechend zugehörige Visualisierung zu haben.

Für Abstände und Ausdehnungen könnten die in [7] vorgestellten Visualisierungsformen eingesetzt werden. Für Winkelmaße käme z. B. die von [8] vorgestellte Repräsentation in Frage. Für die Darstellung kritischer Abstände wäre die von [9] vorgeschlagene diskrete Farbkodierung der Oberfläche bzgl. vorgegebener Grenzwerte naheliegend, wobei in diesem Fall nur der effektiv eingefärbte Bereich die Geometrie der Maßvisualisierung definieren würde (Abbildung 2). Ein Volumen ließe sich durch ein im Objekt-Schwerpunkt platziertes Text-Label kommunizieren, wobei das umgebende Objekt hierzu (ebenso wie im Falle des innenliegenden Durchmessers) semi-transparent darzustellen wäre. Für den Querschnitt z. B. eines Blutgefäßes, Hohlorgans oder auch Knochens erscheint eine 2D-Schnittfläche mit Angabe des Flächenmaßes als visuelle Repräsentation naheliegend.

### 2.3 Live-Berechnung der sichtpunktabhängigen Kennwerte

Mit der Modellierung räumlicher Maße über die zu ihrer Visualisierung verwendete geometrische Repräsentation wäre das Basisverfahren bereits prinzipiell in der Lage, optimale Sichtpunkte für Vermessungsergebnisse zu bestimmen. Einem direkten praktischen Einsatz steht allerdings die Tatsache im Wege, dass im Vorfeld unklar ist, welche konkreten Vermessungen durch den Chirurgen später erhoben werden. Aufgrund ihrer möglichen Vielfalt ist eine Vorberechnung daher nicht möglich. Umgekehrt sind die im Basisverfahren durchgeführten Berechnungen zur Informationsreduktion sehr umfangreich, sodass diese praktisch nicht in summa dynamisch durchführbar sind. Nicht zuletzt wächst deren Laufzeit bei ansonsten festen Parametern (Anzahl Sichtpunkte, Viewport-Auflösung) quadratisch in der Anzahl der zu berücksichtigenden Objekte, was bei mehreren Maßen zusätzlich zu den bereits vorhandenen Segmentierungen einen rapide anwachsenden Aufwand bedeuten würde.

Diese Problematik möchten wir auf zweierlei Weise adressieren. Zum Einen halten wir an der Strategie fest, so viel wie möglich vorzuberechnen. Während die kondensierten sichtpunktabhängigen Informationen für die *à priori* bekannten segmentierten Strukturen weiterhin bereits im Zuge einer Vorverarbeitung ermittelt werden, werden selbige nur für die Vermessungen erst zur Laufzeit bestimmt. Zum Zweiten treffen wir die wesentliche Grundannahme, dass für die Sichtpunktbestimmung zu einem ausgewählten Maß neben den segmentierten Strukturen und dem Maß selbst keine weitere Darstellung eines anderen Maßes von Relevanz ist. Im Regelfall ist es nicht erforderlich, mehr als ein Maß gleichzeitig zu visualisieren. Andernfalls mögen diese etwaigen weiteren Maße für den optimalen Sichtpunkt auf das eine ausgewählte zumindest als nicht wesentlich angesehen werden. Dies bedeutet, dass zunächst der quadratisch-komplexen Vorverarbeitung eine lediglich linear-komplexe ergänzende Berechnung pro durch den Chirurgen individuell erhobenem Maß zur Laufzeit gegenübersteht. Darüber hinaus ist ebendiese Berechnung für jedes neue Maß unabhängig von allen vorangegangenen, sodass sie nicht mit einer wachsenden Anzahl an Maßen in ihrer Laufzeit sukzessive zunimmt.

<sup>1</sup>Mühler [6] führt hierzu für die Sichtpunkte in der Reihenfolge ihrer ermittelten Güte ein komplettes Raycasting der ROI durch.

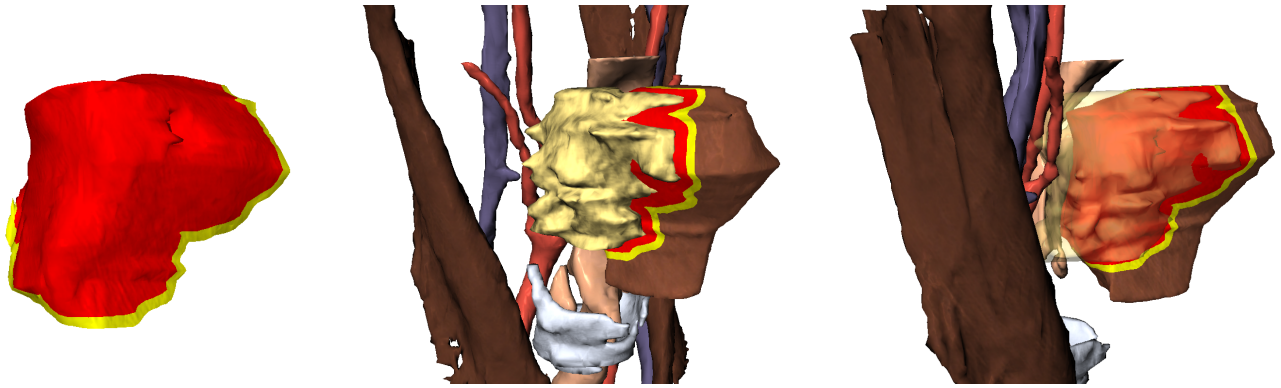


Abbildung 2: Einfluss der Transparenz auf den optimalen Sichtpunkt. Dargestellt sind die Risikoabstände eines den Zungengrund infiltrierenden Tumors. *Links*: Geometrie der Maßvisualisierung. *Mitte*: Bei opaquem Tumor orientiert sich die Sichtpunktbestimmung an der sichtbaren Abstandsfärbung um den äußersten Infiltrationsrand herum. *Rechts*: Wird die Opazität des Tumors reduziert, fließt die komplette Infiltrationsfläche mit zunehmender Gewichtung ein. Der ermittelte optimale Sichtpunkt verschiebt sich dabei von schräg vorn nach schräg hinten.

Für die Sichtpunktberechnung für ein bestimmtes räumliches Maß müssen damit zur Laufzeit lediglich die Kennwerte der Sichtbarkeitsverhältnisse zwischen dessen szenischer Darstellung und den einzelnen Strukturen ermittelt werden. Mit dem Basisverfahren müsste man dazu für jeden Sichtpunkt alle  $n + 1$  Objekte rendern, da ein Vorhalten sämtlicher  $z$ -Buffer aus der Vorverarbeitung nicht praktikabel wäre, und sich all diese  $z$ -Buffer herunterladen und deren  $z$ -Werte pixelweise vergleichen. Dies stellt einen nicht unerheblichen Mehraufwand dar, der sich vermeiden ließe. Modernere Grafikkarten bieten die Möglichkeit, Samples bzw. Pixel nach bestimmten Kriterien zu zählen. Rendern wir die Maßdarstellung  $M$  einmal einzeln, einmal in Kombination mit je einer der Strukturen  $S_i$  sowie einmal mit sämtlichen Strukturen  $S_1 \dots S_n$  zusammen, so können wir in  $n + 2$  Rendering-Passes die in Abschnitt 2.1 aufgeführten relevanten Pixelanzahlen ermitteln, ohne hierfür einen einzigen  $z$ -Buffer von der Grafikkarte herunterladen, geschweige denn CPU-basiert auswerten zu müssen. Auch der kleinste und größte  $z$ -Wert kann bereits GPU-seitig effizient ermittelt werden.

### 3 Ergebnisse

Mangels originären Quellcodes konnte das Basisverfahren nicht direkt von seiner ursprünglichen Implementierung ausgehend um die Behandlung von Messergebnissen ergänzt werden. Die vorgestellte Erweiterung auf räumliche Maße wurde daher bezüglich der in Abschnitt 2.2 und 2.3 ausgeführten Aspekte separat ausgewertet.

Um das grundsätzliche Konzept zu validieren, räumliche Maße über deren zu ihrer Darstellung verwendete geometrische Repräsentation zu modellieren (Abschnitt 2.2), wurden Binaries des Original-Verfahrens benutzt, die von den Autoren bereitgestellt wurden. In einer eigenen Planungssoftware [10] ermittelte Messergebnisse wurden zusammen mit den Segmentierungen in Form kompatibler Oberflächennetze exportiert und der Sichtpunktbestimmung als gleichwertige Strukturen bereitgestellt. Der ermittelte „Sichtpunkt“ wurde anschließend zur Beurteilung wieder in die Planungssoftware übernommen und dazu durch Abtragung auf einer das Maß umschließenden Kugel von der orthographischen in die zentralperspektivische Form überführt. Abbildung 2 und 3 zeigen beispielhaft für *farbkodierte Risikoabstände* [9] den Einfluss der Opazität von Verdeckungen und für den *größten Durchmesser* den Einfluss der gewählten Darstellungsform auf den jeweils ermittelten Sichtpunkt.

An 8 verschiedenen Hals-Datensätzen wurden auf die beschriebene Weise für diese und weitere ausgewählte Maße (*kürzester Abstand*, *Winkel*) visuelle Ergebnisse ermittelt. Dabei bestätigte sich die grundsätzliche Anwendbarkeit der beschriebenen Erweiterung. Für einen praktischen Einsatz muss allerdings die Berechnung der benötigten sichtpunktabhängigen Kennwerte für Vermessungsergebnisse zur Laufzeit effizient genug durchführbar sein. Hierzu wurden die Ausführungen aus Abschnitt 2.3 prototypisch in Form eines Shaders auf GPU-Basis umgesetzt. Eine erste, noch nicht ausoptimierte, Version hat für oben genannte 8 getestete anatomische Szenen mit jeweils 10 Strukturen, einer Viewport-Auflösung von  $300 \times 300$  und 162 Sichtpunkten auf einer handelsüblichen Consumer-Grafikkarte (nVidia GeForce GTX 670) hierfür im Durchschnitt weniger als 2s benötigt, um die in Abschnitt 2.1 aufgeführten Pixelanzahlen sowie das Tiefenintervall zu bestimmen (verglichen mit den in [5] angegebenen 94s zur Ermittlung der Matrix der Sichtbarkeitsverhältnisse eines vergleichbar dimensionierten Szenarios). Die gewichtete Summe der Pixelabstände vom Viewport-Zentrum bedarf indes noch einer GPU-seitigen Implementierung, um ein Herunterladen des ganzen Buffers zu erübrigen.

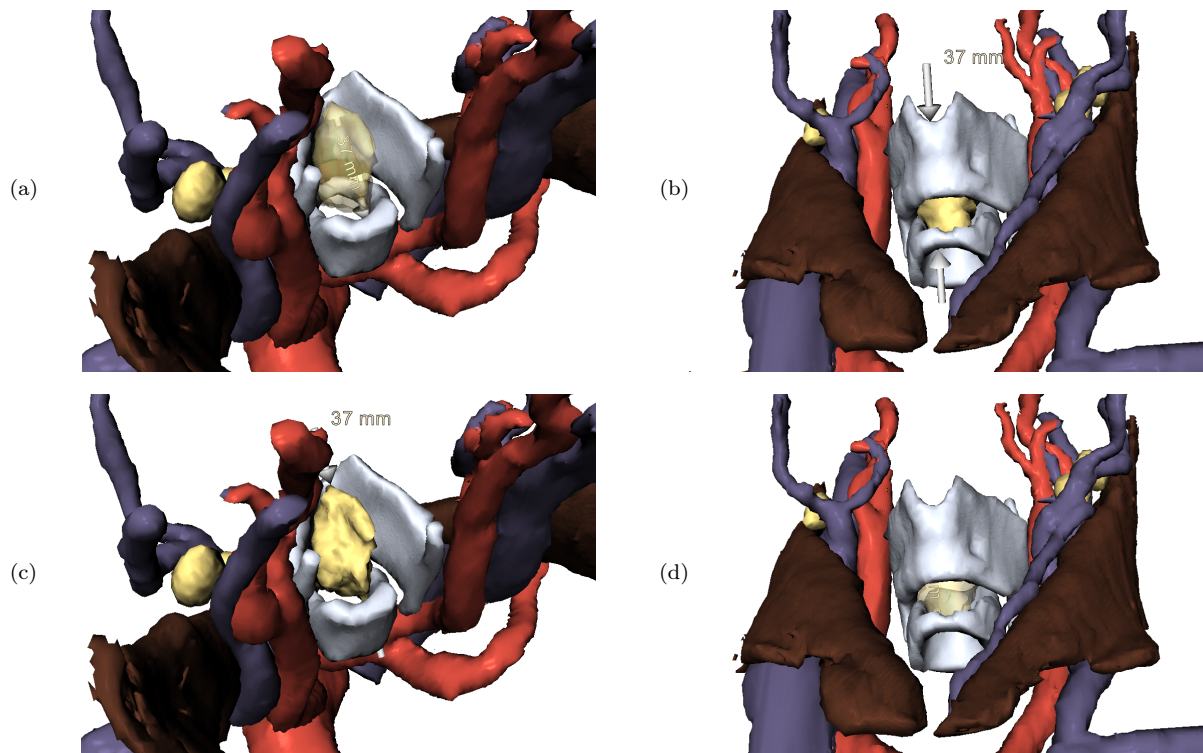


Abbildung 3: Einfluss der Maßdarstellung auf den optimalen Sichtpunkt. Dargestellt ist der Durchmesser eines Larynx-Karzinoms. Von vorn wird der Tumor mittig durch den Schildknorpel verdeckt, von hinten dagegen in der unteren Hälfte durch den Ringknorpel. (a) Für die innenliegende Darstellung liefert die Sichtpunktbestimmung deshalb eine Perspektive von hinten oben. (b) Für die Außenansetzung ermittelt sie indes eine Perspektive von vorne unten. (c)/(d) Betrachtung beider Maßdarstellungen vom optimalen Sichtpunkt des jeweils anderen.

## 4 Diskussion

Durch Modellierung als gleichberechtigte Szenenobjekte auf Basis ihrer jeweiligen 3D-Repräsentation wurde das ursprüngliche Verfahren zur Sichtpunktbestimmung für medizinische Strukturen auch auf beliebige räumliche Maße anwendbar. Die Beispiele aus Abschnitt 2.2 demonstrieren die flexiblen Einsatzmöglichkeiten – ohne notwendige Nachverarbeitung. Insbesondere können sämtliche von [6] postulierten Kriterien für gute Perspektiven in die Optimierung mit einbezogen werden, wodurch das Verfahren wieder seine besondere Stärke entfaltet.

Auch die Anwendbarkeit auf Strukturgruppen ist weiterhin gegeben. Durch gewichtete Summe der objektindividuellen fusionierten Parameterfelder können die vermessenen Strukturen nach Bedarf als Teil des Maßes in der Sichtpunktbestimmung mit berücksichtigt werden. Dies kann nützlich sein, um z. B. beim Volumen-Label oder außen angesetzten Durchmesser (Abbildung 3b) zu verhindern, dass zwar das Maß selbst gut sichtbar ist, der zugehörige vermessene Körper dagegen großteils verdeckt wird. Im Gegensatz zu [5] ist ein Strukturbezug aber nicht zwingend und die Sichtpunktbestimmung somit grundsätzlich auch für frei ermittelte Maße möglich.

Ein weiterer Vorteil des erweiterten Konzeptes besteht darin, dass die Sichtpunktbestimmung auch auf verschiedene Darstellungen des gleichen repräsentierten Maßes jeweils individuell adaptiert. Wie in Abbildung 3 zu sehen, können sich hierbei durchaus verschiedene optimale Sichtpunkte ergeben. Interessant wäre diesbezüglich eine Betrachtung von Repräsentationen, die sich ihrerseits dynamisch der aktuellen Perspektive anpassen [7]. Für diese würde sich insbesondere die zusätzliche Maßgabe ergeben, dass Sichtpunkte vermieden werden sollten, in deren Nähe die visuelle Darstellung sprunghaft wechselt. Dies wäre über ein entsprechendes Parameterfeld zur *Stabilität der Darstellung* relativ intuitiv modellierbar. Aufgrund der Restriktionen durch Verwendung der originalen Binaries konnten derartige aktive Maßdarstellungen jedoch noch nicht getestet werden.

Grundsätzlich sollte das Verfahren noch für weitere Arten von Maßen und zugleich auf einer deutlich breiteren Auswahl an Datensätzen getestet werden. Es scheint jedoch naheliegend, dass die auf den vorliegenden Datensätzen ermittelten Ergebnisse sich in ihrer Grundaussage bestätigen sollten. Mit einer Laufzeit von durchschnittlich  $<2s$  für die Live-Bestimmung der visuellen Kennwerte, scheint das Verfahren für die Bestimmung optimaler Sichtpunkte bereits jetzt für räumliche Maße sinnvoll einsetzbar. Wir gehen jedoch davon aus, diese durch zusätzliche Optimierungen an der lediglich prototypischen Umsetzung noch weiter reduzieren zu können.

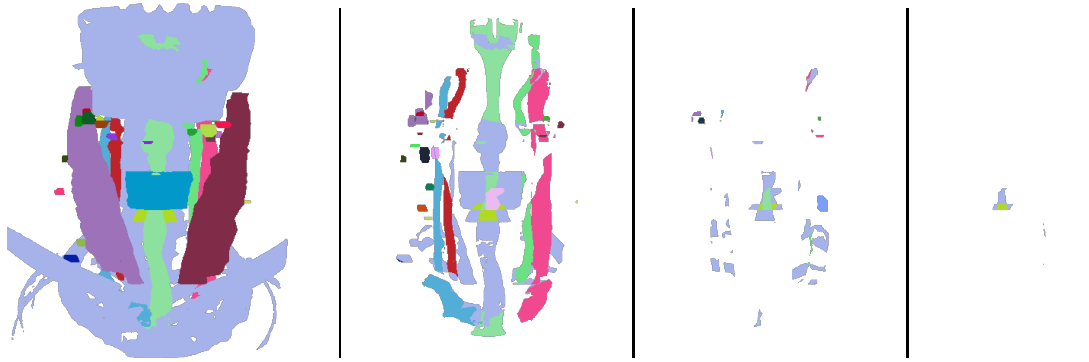


Abbildung 4: Effiziente Tiefensortierung durch Multi-Pass-Rendering. Ein Hals-Datensatz mit 30 Strukturen benötigt lediglich 5 Rendering Passes, wobei die sich ergebenden ID-Frames durch die Grafikkarte sogar bereits tiefensortiert bereitgestellt werden. [6] müsste 30mal rendern und die Buffer anschließend noch sortieren.

An sich wäre das Prinzip GPU-basierter Pixelzählung auch auf die Vorverarbeitung übertragbar, allerdings auf Kosten einer im Gegenzug deutlich erhöhten (quadratischen) Anzahl von Renderings. Alternativ wäre es auch möglich, ein Multi-Pass-Rendering ähnlich dem Depth-Peeling durchzuführen, welches mit einem Bitvektor pro Pixel (für dort bereits gerenderte Strukturen) in Verbindung mit dem Tiefenpuffer in jedem Render-Pass die pro Pixel jeweils vorderste Struktur entfernt. Dies würde eine im Durchschnitt deutlich sublineare Anzahl an Renderpasses ermöglichen (Abbildung 4). Es bietet sich an, diese Ansätze gegeneinander zu evaluieren.

## 5 Zusammenfassung

Für ein existierendes Verfahren zur Bestimmung günstiger Sichtpunkte für medizinische 3D-Szenen, welches jedoch auf á priori bekannte segmentierte Strukturen beschränkt war, wurde eine Erweiterung vorgestellt, die eine Anwendung auch für zur Laufzeit ermittelte Messergebnisse ermöglicht. Durch Modellierung der Maße über ihre zur Darstellung genutzte geometrische Repräsentation konnten plausible visuelle Ergebnisse erzielt werden. Die technische Hürde zur praktischen Einsetzbarkeit lag darin, dass die benötigten Kennwerte erst zur Laufzeit ermitteln werden können. Es wurde eine Lösung vorgestellt, dies durch Ausnutzung vorhandener GPU-Funktionalitäten effizient zu realisieren. Eine erste prototypische Umsetzung weist moderate Latenzzeiten auf, die mit einer weitergehenden Optimierung die Möglichkeit eines künftigen praktischen Einsatzes versprechen.

## 6 Referenzen

- [1] I. Viola and M. E. Gröller. Smart visibility in visualization. In *Proc. of Eurographics Workshop on Computational Aesthetics in Graphics, Visualization and Imaging*, pages 209–216, 2005.
- [2] Christoph Kubisch, Christian Tietjen, and Bernhard Preim. GPU-based smart visibility techniques for tumor surgery planning. *Int. J. Computer Assisted Radiology and Surgery*, 5(6):667–678, 2010.
- [3] P. Vázquez, M. Feixas, M. Sbert, and W. Heidrich. Viewpoint selection using viewpoint entropy. In *Proc. of the Vision Modeling and Visualization Conference (VMV)*, pages 273–280, 2001.
- [4] M. Sbert, D. Plemenos, M. Feixas, and F. González. Viewpoint quality: Measures and applications. In *Computational Aesthetics*, pages 185–192. Eurographics Association, 2005.
- [5] K. Mühler, M. Neugebauer, C. Tietjen, and B. Preim. Viewpoint selection for intervention planning. In *IEEE/Eurographics Symposium on Visualization (EuroVis)*, pages 267–274, 2007.
- [6] K. Mühler. *Animationen und Explorationstechniken zur Unterstützung der chirurgischen Operationsplanung*. Magdeburger Schriften zur Visualisierung. 2010.
- [7] I. Rössling, C. Cyrus, L. Dornheim, P. Hahn, B. Preim, and A. Boehm. Interaktive Visualisierung von Abständen und Ausdehnungen anatomischer Strukturen für die Interventionsplanung. In *Bildverarbeitung für die Medizin (BVM)*, pages 381–385, 2009.
- [8] B. Preim and C. Botha. *Visual Computing for Medicine*. Morgan Kaufmann, 2nd edition, 2013.
- [9] A. Krüger, C. Tietjen, J. Hintze, B. Preim, I. Hertel, and G. Strauß. Interactive Visualization for Neck Dissection Planning. In *IEEE/Eurographics Symposium on Visualization (EuroVis)*, pages 295–302, 2005.
- [10] I. Rössling, J. Dornheim, L. Dornheim, B. Preim, and A. Boehm. The Tumor Therapy Manager – Design, Refinement and Clinical Use of a Software Product for ENT Surgery Planning and Documentation. In *Information Processing in Computer-Assisted Interventions*, volume 6689 of *LNCS*, pages 1–12, 2011.