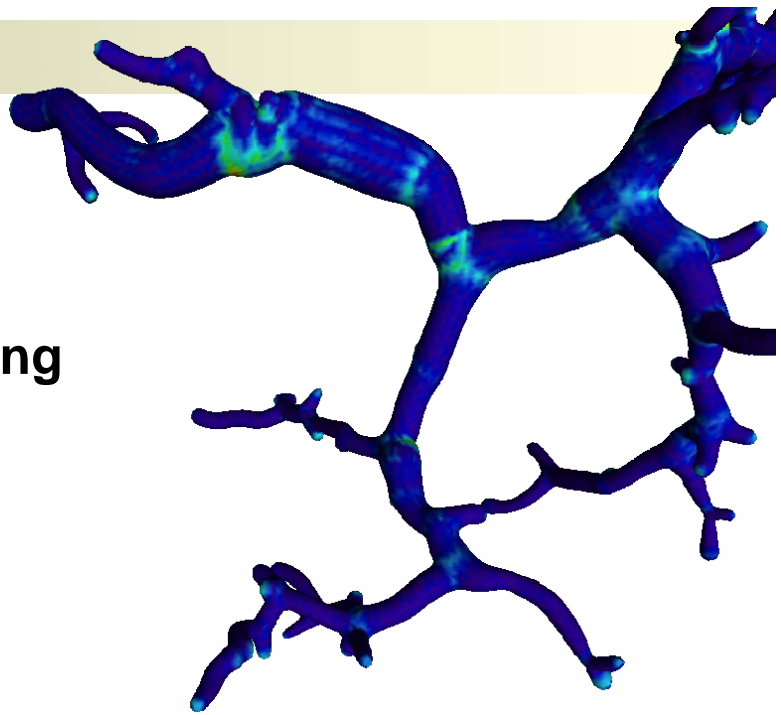


Modellbasierte Gefäßvisualisierung

Steffen Oeltze



Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg,
FIN/ISG



Inhalt:

2D- und 3D-Visualisierung zur Exploration medizinischer Schichtdaten	(B. Preim, 15 Min.)
Oberflächenvisualisierung - Marching Cubes und seine Verbesserungen - Glättung von Oberflächenvisualisierungen	(B. Preim, 30 Min.)
Direkte Volumenvisualisierung - Raycasting und texturbasierte Ansätze - Projektionsmethoden	(B. Preim, 45 Min.)
Visualisierung in VTK und MeVisLab	(S. Oeltze, C. Tietjen, 30 Min.)
Modellbasierte Gefäßvisualisierung	(S. Oeltze, 20 Min.)
Illustrative Visualisierung	(C. Tietjen, 20 Min.)



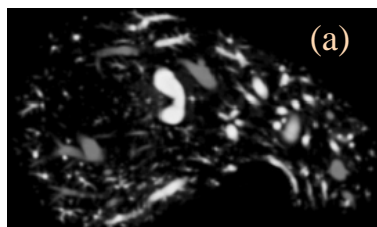
Gliederung

- Einleitung
- Bilddaten und Gefäßanalyse
- Eine Ideale Visualisierungsmethode
- Modellbasierte Gefäßvisualisierungstechniken
- Anwendungsbeispiele
- Validierung
- Zusammenfassung
- Literatur

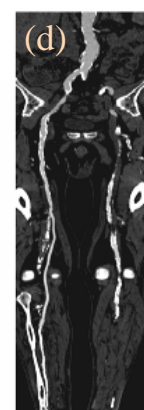
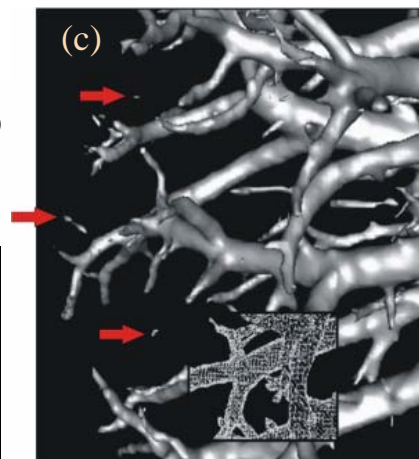
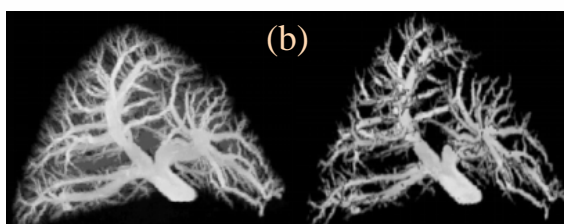


Einleitung

- Gefäßvisualisierung in der Gefäßdiagnostik, der präoperativen Eingriffsplanung und der medizinischen Ausbildung
- Herkömmliche Verfahren: Schichtbasierte Auswertung (a), *Maximum Intensity Projection* (b), *Isosurface Rendering* (c) und *Curved Planar Reformation* (d)



© Hahn, 2000



© Kanitsar, 2001



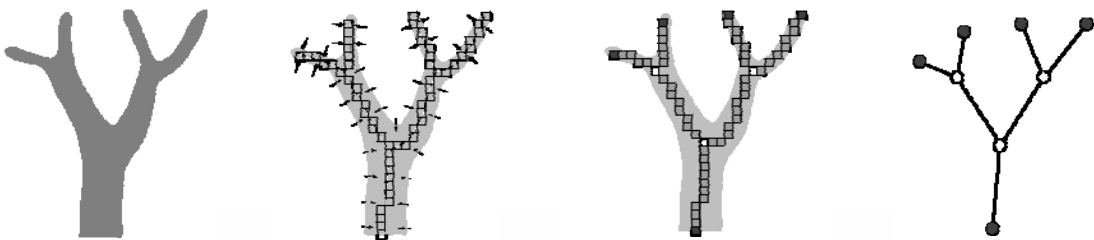
Einleitung

- Gefäßdiagnose erfordert:
 - Exakte Repräsentation der Originaldaten (Gefäßquerschnitt)
 - Zumeist schichtbasierte Auswertung
- Präoperative Eingriffsplanung und medizinische Ausbildung erfordern:
 - Klare Kommunikation der Topologie und Morphologie
 - Verständnis der relativen Lage zu krankhaften Veränderungen
- ➔ Herkömmliche Verfahren hier nicht geeignet aufgrund von Bildrauschen, Partialvolumeneffekt und der beschränkten Auflösung von CT und MRT
- ➔ Rekonstruktion der Gefäßstruktur basierend auf einem Modell



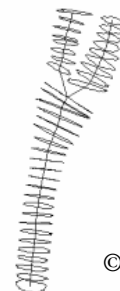
Bilddaten und Gefäßanalyse

- Hochaufgelöste CT- oder MR-Daten, Segmentierungsergebnis, Analyse der Form, der Radien und der Verzweigungen



© Selle, 2000

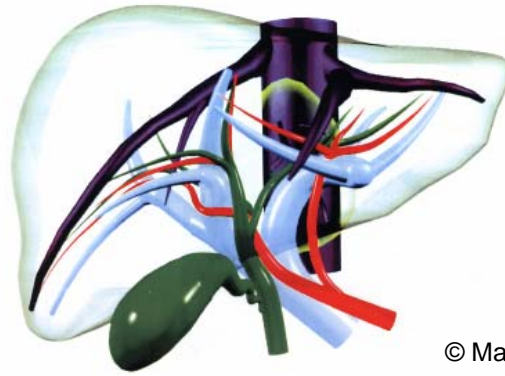
- Resultat der Gefäßanalyse:
 - Graph repräsentiert die Gefäßtopologie
 - Eine Voxelliste pro Gefäßast (Kante)
 - Radiusinformation pro Voxel



© Ehricke, 1994



Eine Ideale Visualisierungsmethode



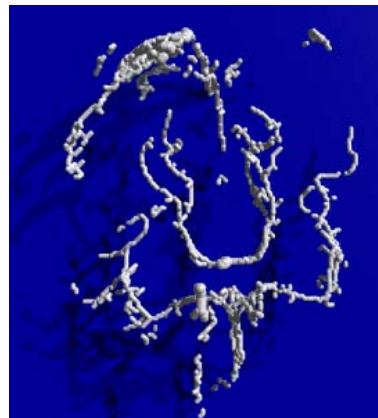
© Mazziotti, 1997

- Vereinfachende Modellannahme:
 - Kreisrunde Gefäßquerschnitte nicht-pathologischer Gefäße
- Anforderungen:
 - Korrekte Repräsentation des Gefäßdurchmessers
 - Glatte, organisch wirkende Gefäßoberfläche
 - Einheitliche Behandlung aller Verzweigungstypen
 - Geschlossene Gefäßenden
 - Vermeidung von Strukturen im Gefäßinneren



Modellbasierte Gefäßvisualisierungstechniken

- Gerig, 1993: “*Symbolic Description of 3d structures applied to cerebral vessel tree obtained from MR angiography volume data*”.
- Graphenrepräsentation (Knoten/Kanten) des Gefäßbaums für strukturelle Analyse, z.B.:
 - Identifizierung von Teilbäumen
- Abbildung des lokalen Gefäßdurchmessers durch Zylinder
- Raytracing der Szene

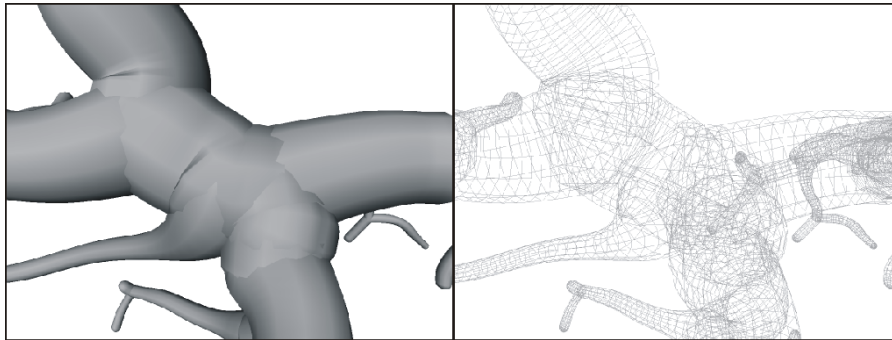


© Gerig, 1993



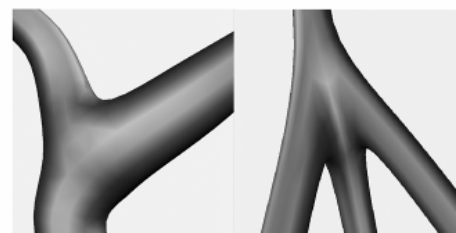
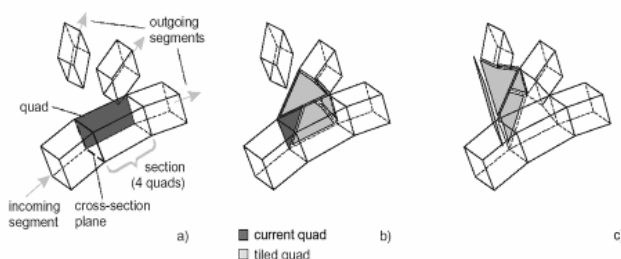
Modellbasierte Gefäßvisualisierungstechniken

- Hahn, 1993: “*Visualization and Interaction Techniques for the Exploration of Vascular Structures*”.
- Gerichteter, azyklischer Graph repräsentiert Gefäßtopologie
- Glättung des Skelettverlaufs und der Radien
- Entfernung kleiner Teiläste
- Abbildung des Gefäßdurchmessers durch Kegelstümpfe
- Abschluss der Gefäßenden durch Halbkugeln



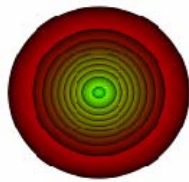
Modellbasierte Gefäßvisualisierungstechniken

- Felkel, 2002: “*Surface Reconstruction of the Branching Vessels for Augmented Reality Aided Surgery*“.
- AR-Anwendung erfordert hohe Bildwiederholrate
- Berechnung von *reference frames* für jeden Skelettvoxel zur Vermeidung von Windungen der Gefäßoberfläche
- Visualisierung in 2 Schritten:
 - Konstruktion eines groben Basisnetzes basierend auf *Quads*
 - Iterative Verfeinerung des Basisnetzes durch *Subdivision Surfaces*



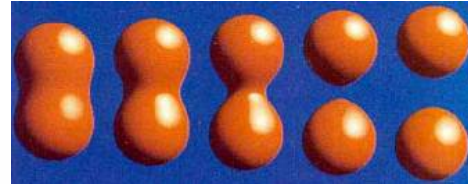
Modellbasierte Gefäßvisualisierungstechniken

- Oeltze, 2004: "Visualization of Anatomic Tree Structures with Convolution Surfaces".
- Nutzung impliziter Funktionen (Nullstellen $F(p)$ -Iso=0)
- Punktbasierte Modellierung:



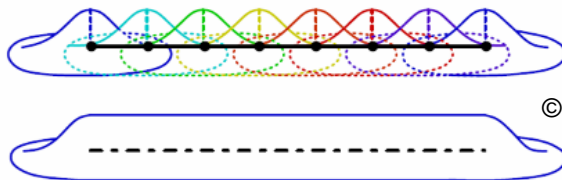
$$F(p) = e^{-\omega x^2}$$

$\omega = \text{width coefficient}$



© Blinn, 1982

- Skelettbasierte Modellierung:
(Convolution Surfaces)



$$F(p) = \int_S h(s - p) ds = (h \otimes S)(p)$$

© Bloomenthal, 1995



Modellbasierte Gefäßvisualisierungstechniken

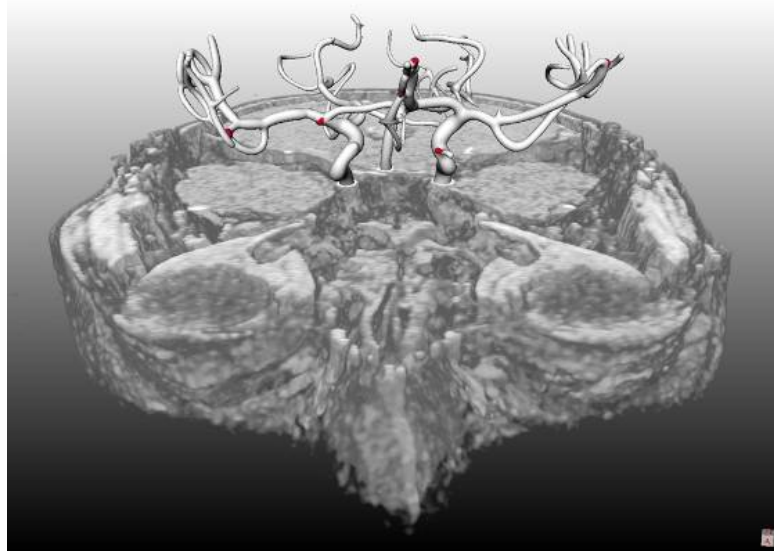
Methode	Primitiv					
Gerig, 1993	Zylinder	bedingt	nein	ja*	nein	nein
Hahn, 1993	Kegelstumpf	ja	nein	ja	ja	nein
Felkel, 2002	Subdivision Surface	ja*	ja	ja	nein	ja
Oeltze, 2004	Convolution Surface	ja	ja	ja	ja	ja

* spekulative Aussage



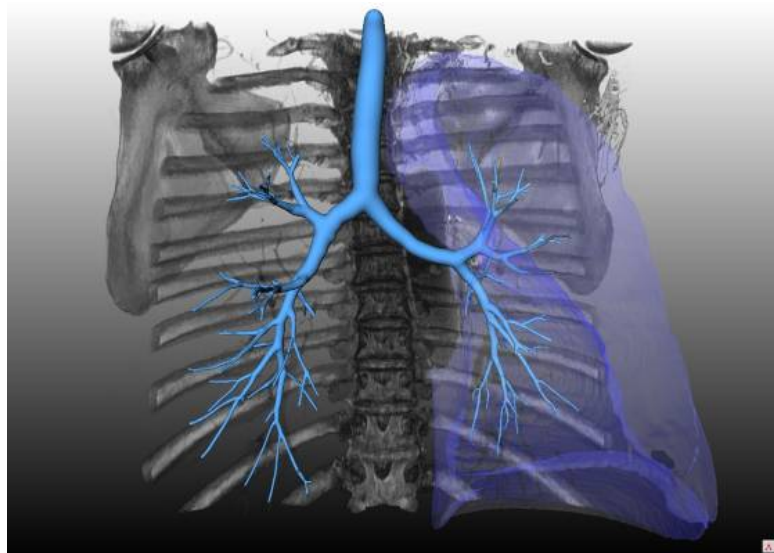
Anwendungsbeispiele

Zerebrales Gefäßsystem eines menschlichen Gehirns. Farbige Hervorhebungen markieren Verdachtsmomente auf Aneurysmen. Ein Volume Rendering des Kontextes erleichtert die Orientierung.



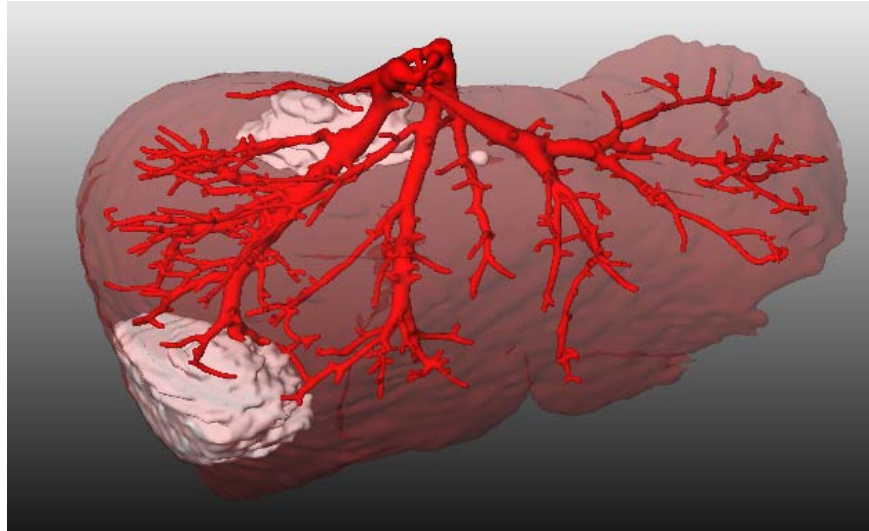
Anwendungsbeispiele

Ausgusspräparat der Bronchialgefäße einer menschlichen Lunge. Der linke Lungenlappen ist transparent dargestellt zusammen mit einem Volume Rendering weiterer Gefäße und umgebender Knochen.



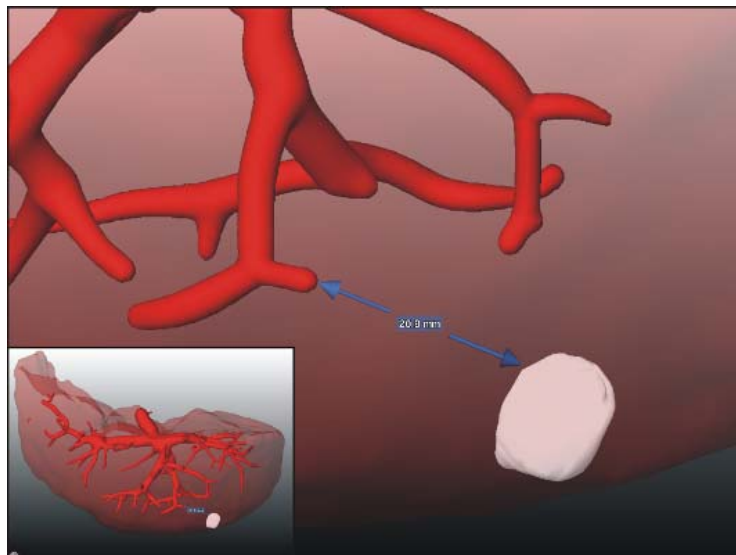
Anwendungsbeispiele

Visualisierung eines Lebergefäßbaums im Kontext der Visualisierung anderer Strukturen (Surface Rendering der Leber und Tumore).



Anwendungsbeispiele

Messung des minimalen Abstandes zwischen einem Lebergefäß und einem Tumor in Vorbereitung einer Tumorresektion.



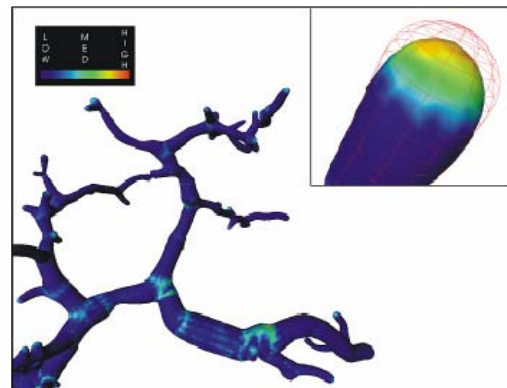
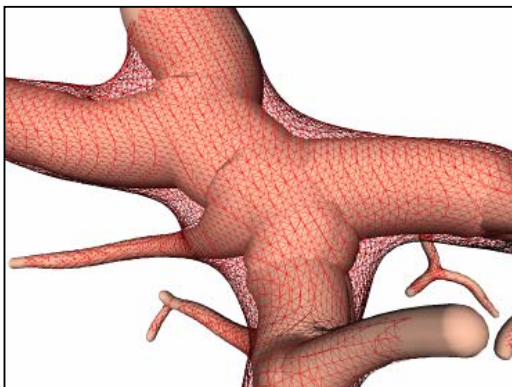
Validierung

- Vorbereitung:
 - Auswahl repräsentativer Datensätze
 - Auswahl aussagekräftiger Validierungsparameter
 - Festlegung einer Referenz (~Phantom)
- Methoden:
 - Qualitative Analyse durch Betrachten der Visualisierung und Vergleich mit Referenz
 - Quantitative Analyse durch Bestimmung des lokalen Ortsfehlers zw. Visualisierung und Referenz mit Hilfe von Distanzmessungen
 - Voxelisierung des rekonstruierten Gefäßbaums und Vergleich mit dem Ergebnis der Segmentierung (Gefäßanalyse)
 - Test auf Volumenerhalt (global)
 - Messen der Abweichung korrespondierender Gefäßäste, Hausdorff-Distanz (lokal)



Validierung - Beispiel

- Oeltze, 2004: ” *Visualization of Vascular Structures: Method, Validation and Evaluation*“.
- Überlagerung von Convolution Surface und Kegelstümpfen
- Distanzmessung:
 - Isosurface → Convolution Surface
 - Kegelstümpfe → Convolution Surface



Zusammenfassung

- Therapieplanung und medizinische Ausbildung erfordern klare Kommunikation der Topologie und Morphologie
- ➔ Rekonstruktion der Gefäßstruktur basierend auf einem Modell
- !!! Nicht geeignet für Gefäßdiagnose (vereinfachter Gefäßquerschnitt)
- Probleme modellbasierter Gefäßvisualisierungstechniken, vor allem an Verzweigungen:
 - Gewährleistung geometrischer Kontinuität der Gefäßoberfläche
 - Vermeidung von Strukturen im Gefäßinneren
- *Subdivision* und *Convolution Surfaces* lösen diese Probleme
- Schnellere Rekonstruktion durch Zylinder oder Kegelstümpfe
- Quantitative Analyse globaler und lokaler Abweichungen zwischen Rekonstruktions- und Segmentierungsergebnis nötig



Literatur

- Barillot: "3d reconstruction of cerebral blood vessels". IEEE Computer Graphics and Applications, 1985.
- Ehrlicke: "Visualization of vasculature from volume data". Computers and Graphics, 1994.
- Gerig: "Symbolic Description of 3d structures applied to cerebral vessel tree obtained from MR angiography volume data". In: Proc. of Information Processing in Medical Imaging, 1993.
- Hahn: "Visualization and Interaction Techniques for the Exploration of Vascular Structures". In: Proc. of IEEE Visualization, 1993.
- Felkel: "Surface Reconstruction of the Branching Vessels for Augmented Reality Aided Surgery". BIOSIGNAL, 2002.
- Masutani: "Region-Growing-Based Feature Extraction Algorithm for Tree-Like Objects". In: Proc. of Visualization in Biomedical Computing, 1996.
- Oeltze: "Visualization of Anatomic Tree Structures with Convolution Surfaces". In: Proc. of IEEE Eurographics Symposium on Visualization, 2004.
- Oeltze: "Visualization of Vascular Structures: Method, Validation and Evaluation". IEEE TMI, 2005.
- Puig: "Cerebral Blood Vessels Modelling". Technischer Bericht LSI-98-21-R, Universitat de Barcelona, 1998.
- Straka: "The VesselGlyph: Focus & Context Visualization in CT-Angiography", In: Proc. of IEEE Visualization, 2004.

