

Ein VR-basiertes rhinochirurgisches Softwaresystem für die Analyse der menschlichen Naseninnenströmung

Jakob T. Valvoda¹, Bernd Hentschel¹, Yavuz Temur², Ingolf Hörschler³,
Adam Jesch⁴, Ralph Mösges⁴, Wolfgang Schröder³, Berthold Wein²,
Torsten Kuhlen¹ und Christian Bischof¹

¹Gruppe für Virtuelle Realität, Rechen- und Kommunikationszentrum
der RWTH Aachen, 52074 Aachen

²Klinik für Radiologische Diagnostik, Universitätsklinikum Aachen, 52057 Aachen

³Aerodynamisches Institut der RWTH Aachen, 52062 Aachen

⁴Institut für Medizinische Statistik, Informatik und Epidemiologie,
Universität zu Köln, 50924 Köln
Email: hentschel@rz.rwth-aachen.de

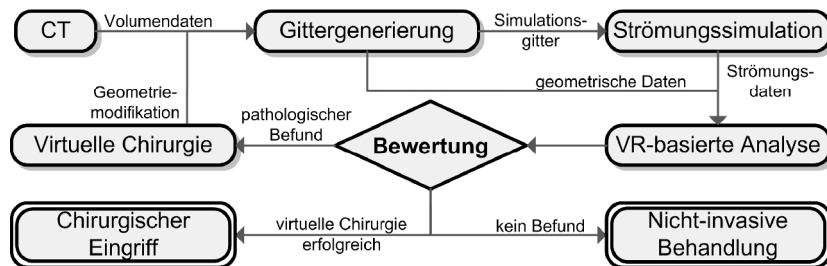
Zusammenfassung. Störungen der Nasenatmung stellen ein häufiges Krankheitsbild in der Rhinologie dar. Um die Behandlung zu optimieren und die Strömungsvorgänge innerhalb der Nase besser zu verstehen, wird ein Softwaresystem entwickelt, welches die interaktive Analyse der Luftströmung in der Nasenhaupthöhle in immersiven virtuellen Umgebungen erlaubt. Das System integriert Navigations-, Visualisierungs- und Annotationswerkzeuge, um die interdisziplinäre Kommunikation zu fördern.

1 Einleitung

Die menschliche Nase ist ein zentrales Sinnesorgan, welches neben olfaktorischen Aufgaben ebenfalls für die Funktionsweise der Atmung maßgeblich ist. Unter anderem wird die eingeatmete Luft klimatisiert und gereinigt. Ein wesentlicher Faktor bei der Erforschung von Erkrankungen der Nase ist die eigentliche Luftströmung innerhalb der Nasenhaupthöhle. Strömungsphänomene in der menschlichen Nase und ihre Auswirkungen auf die Funktionsweise stellen eine noch weitgehend ungelöste Fragestellung dar. Hierbei handelt es sich um ein für die Rhinologie bedeutsames Forschungsfeld, da pathologische Störungen der Nasenatmung häufig vorkommen, doch bisweilen nicht immer zur vollen Zufriedenheit von Patient und Arzt behandelt werden können. Von einer Optimierung der Behandlungsmethoden verspricht man sich ein erhöhtes Wohlbefinden und größere Zufriedenheit der Patienten, aber auch eine Reduktion der anfallenden Behandlungskosten. Die Schwierigkeit in der Untersuchung der Luftströmung in der menschlichen Nase besteht darin, dass weitgehend unbekannt ist, welche Charakteristika eine „gute“ Luftströmung beschreiben.

In den folgenden Abschnitten wird die Architektur des VR-basierten Softwaresystems VRhinoII beschrieben. Das Design des Systems basiert auf einem

Abb. 1. Prozessablauf im VRhinoII-System.



Gesamtablauf, welcher die Erkenntnisse unterschiedlicher interdisziplinärer Forschungsrichtungen integriert, um so die Luftströmung innerhalb der Nase untersuchen und bewerten zu können.

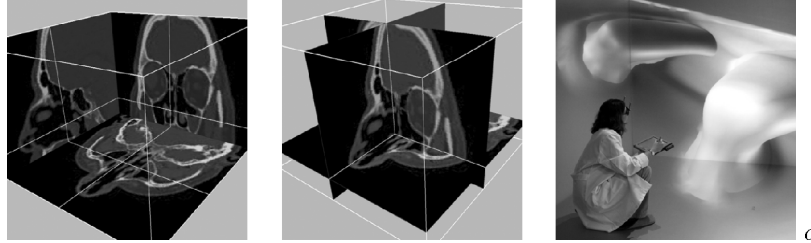
2 Stand der Forschung

Auf dem Gebiet der Visualisierung von Strömungsdaten existieren zahlreiche kommerzielle und nicht-kommerzielle Systeme, die sich prinzipiell zur Untersuchung beliebiger Strömungssimulationsdaten eignen. Unter anderem sind hier Systeme wie COVISE [1], AVS Express oder OpenDX zu nennen. Diese Systeme bieten jedoch nicht die Flexibilität, um integriert die Anforderungen zu erfüllen, die im Rahmen des hier angestrebten Arbeitsablaufs entstehen.

Im Bezug auf die konkrete Problemstellung existieren Grundlagenarbeiten, in denen Strömungssimulationsdaten für die menschliche Nase mit Hilfe herkömmlicher Visualisierungsverfahren aufbereitet wurden [2]. Allerdings stützt sich keine dieser Arbeiten auf Methoden der Virtuellen Realität, insbesondere nicht auf die immersive stereoskopische und multimodale Darstellung mit Hilfe großer Projektionssysteme wie z. B. einer CAVE-artigen Umgebung.

Auf dem Gebiet der Operationssimulatoren existieren zahlreiche Systeme, unter anderem das MIST-VR-System [3], Kismet (VSOOne) oder Weiterentwicklungen des LASSO-Systems [4]. Den Fokus dieser Systeme stellt hauptsächlich die minimalinvasive Chirurgie dar. Zum Funktionsumfang gehören die Simulation des Weichgewebes, realitätsnahe Visualisierungstechniken, sowie an den realen Einsatz angepasste Interaktionsgeräte. Die Visualisierung erfolgt oft auf einem 2D-Display und schränkt somit den immersiven Charakter ein. Für die Rhinochirurgie wird das NES-System entwickelt [5]. Der Fokus des Systems liegt auch hier bei der laparoskopischen Chirurgie der Nebenhöhlen. Die beschriebenen Systeme sind im Hinblick auf ihre Funktionalität zu umfangreich und würden die Extraktion von Visualisierungsprimitiven und deren Darstellung in immersiven Umgebungen aufgrund der benötigten Rechenzeit einschränken. Für die Evaluierung der Eingriffe innerhalb der Nasenhaupthöhle (z. B. die Conchotomie oder die Septumbegradigung) sowie deren Auswirkungen auf die Luftströmung ist hingegen eine ergebnisorientierte Nachstellung einzelner OP-Techniken ausreichend.

Abb. 2. Navigationswerkzeuge und Exploration in VRhinoII. *a* und *b* stellen zwei mögliche Darstellungsformen der triplanaren Navigationsansicht dar. *c* zeigt einen Nutzer in einer CAVE-artigen Umgebung bei der Exploration der Naseninnenhöhle.



Zusammenfassend lässt sich festhalten, daß für spezifische Teilaufgaben Lösungen existieren, deren Integration jedoch einerseits nicht erfolgt oder andererseits nicht möglich ist. Das hier beschriebene VR-basierte System ist für die Analyse der Strömung der Atemluft durch die menschliche Nasenhaupthöhle konzipiert. Es dient vor allem als effizientes Kommunikationsmedium zum interdisziplinären Erfahrungsaustausch zwischen Medizinern und Strömungsmechanikern.

3 Systemdesign

Die Grundlage des VRhinoII-Systems bildet der in Abbildung 1 dargestellte *Arbeitsprozess*, der das Vorgehen in einem künftigen CAS-System beschreibt. Im ersten Schritt wird aus einem CT-Scan des Schädels eines Patienten eine polygonale Repräsentation der Nasenhaupthöhle gewonnen. Diese Oberflächenbeschreibung wird für die Generierung eines strukturierten Multiblock-Gitters verwendet, welches wiederum die Basis für eine Strömungssimulation bildet[6]. Die berechneten Strömungsdaten werden nun in einer virtuellen Umgebung dargestellt und können dort exploriert werden. In diesem Medium können der behandelnde Arzt und ggf. ein Strömungsexperte über die Notwendigkeit eines chirurgischen Eingriffs beraten. Zur Evaluierung des Vorgehens kann das Ergebnis des Eingriffs in der virtuellen Umgebung approximiert werden. Die aktuellen Modifikationen der Oberflächengeometrie werden verwendet, um später eine neue Strömungssimulation durchzuführen. Nachdem der Arzt von den Ergebnissen der virtuellen Operation überzeugt ist, werden die vorgenommenen Änderungen dokumentiert und können als Basis für einen realen chirurgischen Eingriff dienen.

VRhinoII basiert auf der VR-Software ViSTA, welche multimodale Darstellung in immersiven, interaktiven virtuellen Umgebungen ermöglicht, und dem ViSTA FlowLib (VFL) Rahmenwerk für die Visualisierung instationärer Strömungsdaten [7, 8, 9]. Diese Kombination ermöglicht die Verwendung zahlreicher VR-Plattformen, angefangen bei Desktop-VR bis zu einer CAVE.

Die Exploration der Daten der Naseninnenhöhle wird durch die triplanare *Navigation* unterstützt. Diese Navigationsform orientiert sich an der gewohnten Interaktion medizinischer Nutzer mit CT-Schnittdaten. Auf der Grundlage der aktuellen Position des Nutzers werden die zugehörigen Schnitte durch das

CT-Volumen extrahiert und als Texturen dargestellt. Der Nutzer kann sich für mehrere Projektionsarten der Schnitte entscheiden (vgl. Abbildung 2a und b). Abbildungen 2c und 3a zeigen die Anwendung von VRhinoII.

Für die *Strömungsvisualisierung* greift VRhinoII auf die Fähigkeiten von VFL zurück. Eines der wesentlichen Merkmale von VFL besteht in der parallel durchgeführten Extraktion von Visualisierungsdaten auf einem entfernten System. Diese Auslagerung des Postprocessings entlastet das Visualisierungssystem erheblich und steigert so dessen Interaktivität. Neben herkömmlichen Verfahren, wie der Berechnung von Schnitt- und Isoflächen oder Partikelbahnen stehen in VFL Methoden zur Extraktion von Strömungsmerkmalen wie kritischen Punkten oder Wirbelregionen bereit. Abgesehen von der schnellen Berechnung der Visualisierungsdaten verfügt VFL über Mittel zu deren interaktiven Darstellung. Ein Beispiel sind die so genannten *Virtual Tubelets* [9], die ein echtzeitfähiges Rendering großer Mengen von Partikelbahnen erlauben. Abbildung 3 stellt exemplarisch zwei Renderings der Naseninnenströmung dar.

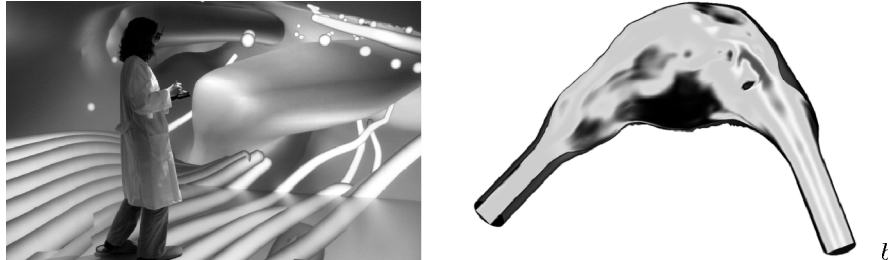
Während der Exploration können *Modifikationen* an der Nasengeometrie vorgenommen werden. Hierzu stehen einfache Verfahren zur Verfügung, welche sich an Standardeingriffen der Rhinochirurgie orientieren. Falls eine Entscheidung für einen operativen Eingriff stattgefunden hat, werden im letzten Schritt des Arbeitsprozesses die Erkenntnisse der virtuellen Arbeitsvorgänge für den realen Eingriff dokumentiert. Hierbei werden einerseits die vorgenommenen Annotationen dem Chirurgen zur Verfügung gestellt, andererseits werden die virtuellen Änderungen in das volumetrische Ausgangsbild übertragen. Dazu werden die manipulierten Bereiche im vorhandenen CT-Bild maskiert.

4 Ergebnisse & Diskussion

In dieser Arbeit ist ein umfassendes Modell eines VR-basierten Systems für die Analyse der menschlichen Naseninnenströmung beschrieben worden. Die vorliegende Implementierung erlaubt die flexible Navigation innerhalb der dargestellten Nasengeometrie und die interaktive Visualisierung diverser Strömungscharakteristika in einer immersiven virtuellen Umgebung. Bereits in diesem Stadium liegt somit ein Werkzeug vor, das Mediziner und Strömungsmechanikern einen schnellen Erkenntnisgewinn ermöglicht. Da das System von Anfang an mit dem Ziel der leichten Erweiterbarkeit konzipiert wurde, stellt es die Basis für weitere Entwicklungen dar.

Die Integration von aktuellen Visualisierungs- und Interaktionmethoden und klassischen Vorgehensweisen der medizinischen Nutzer in einem Softwaresystem führt zu neuen Möglichkeiten bei der Untersuchung und Bewertung von Störungen der Nasenatmung. In weiteren Arbeiten wird gegenwärtig die Funktionalität von VRhinoII erweitert. Hierbei sind die Komponenten der Annotation und des Vergleichs mehrerer Datensätze von zentraler Bedeutung. Des Weiteren wird in Kooperation mit medizinischen Partnern eine praxisnahe Evaluierung des Systems diskutiert. Insgesamt wurde in dieser Arbeit die wichtige Rolle von VR-basierten Systemen für die Medizin deutlich gemacht.

Abb. 3. Visualisierungstechniken für die Naseninnenströmung *a* Stromlinien mit der Virtual Tubelets-Technik in einer CAVE-artigen Umgebung, sowie *b* Schnittfläche durch den Strömungsdatensatz.



5 Danksagung

Die Entwicklung des VRhinoII-Systems wird im Rahmen eines DFG-Projektes gefördert. Wir danken Prof. Dr. G. Schlöndorff für seine Unterstützung bei rhinologischen Fragestellungen.

Literaturverzeichnis

1. Rantau D, Frank K, Lang U, et al. COVISE in the cube: an environment for analysing large and complex simulation data. In: Proc. IPT Workshop 1998; 1998.
2. Bockholt U, Mlynski G, Müller W, et al. STAN - The simulation tool for airflow in the human nose. In: Proc. CARS 2000; 2000. p. 285–289.
3. Wilson MS, Middlebrook A, Sutton C, et al. MIST VR: a virtual reality trainer for laparoscopic surgery assesses performance. Ann R Coll Surg Engl 1997;79(6):403–4.
4. Baur C, Guzzoni D, Georg O. A virtual reality and force feedback based endoscopy surgery simulator. In: Proc. MMVR 1998. IOS Press; 1998. p. 110–6.
5. Voss G, Ecke U, Müller W, Bockholt U, Mann W. How to Become the High Score Cyber Surgeon - Endoscopic Training Using the Nasal Endoscopy Simulator (NES). In: Proc. CARS 2000; 2000. p. 290–293.
6. Schröder W, Hörschler I. Fluid Mechanics Meets Medicine: The Nose Flow. In: Proceedings of the German Aerospace Congress 2004. Dresden; 2004.
7. Assenmacher I, Kuhlen T, Lentz T, Vorländer M. Integrating Real-Time Acoustics into VR-Applications. In: Proc. Eurographics/ACM SIGGRAPH Symposium Virtual Environments; 2004.
8. Gerndt A, Hentschel B, Wolter M, Kuhlen T, Bischof C. VIRACOCOA: An Efficient Parallelization Framework for Large-Scale CFD Post-Processing in Virtual Environments. In: Proc. IEEE Super Computing 2004; 2004.
9. Schirski M, Gerndt A, Kuhlen T, et al. ViSTA FlowLib - A Framework for Interactive Visualization and Exploration of Unsteady Flows in Virtual Environments. In: Proc. IPT Workshop 2003; 2003. p. 77–85.