

# Virtuelle Nasennebenhöhlen-Endoskopie

Autoren

---

## Zusammenfassung

*In diesem Paper soll ein Einblick in die computergestützte Therapie von Nasennebenhöhlen-Leiden und Hypophysentumoren, die über die Sinus erreicht werden können, gegeben werden. Dabei werden Anatomie, Krankheiten und Behandlungsmöglichkeiten vorgestellt. Visualisierungstechniken zur virtuellen Nasennebenhöhlen-Endoskopie werden beleuchtet und zwei Systeme zur Computerunterstützung werden konkreter vorgestellt.*

---

## 1. Einleitung

Die Nase spielt nicht nur eine Rolle bei der Geruchswahrnehmung, sondern ist auch für die Atemluft die erste Station auf dem Weg zu den Lungenbläschen. In der Nasenhöhle und in den angeschlossenen Nasennebenhöhlen (NNH) wird die eingeatmete Luft erwärmt, gereinigt und befeuchtet. Diese Hohlräume stellen außerdem eine Gewichtsentslastung dar und dienen der Stimmbildung als Resonanzraum. Krankheiten, wie beispielsweise eine Rhinitis, führen zu Schwellungen der Nasenschleimhäute, welche in CT-Daten gut sichtbar sind. In diesem Paper wird außerdem auf Tumorkrankungen der Hypophyse und eine Therapie, die die NNH als Zugangsweg nutzt, eingegangen.

Da Operationen im Nasenbereich mit einer sehr eingeschränkten Sicht auf anatomische Strukturen einhergehen und das Risiko besteht, lebenswichtige Strukturen zu verletzen, ist eine Computerunterstützung sehr hilfreich.

## 2. Anatomie der oberen Atemwege

Zu den oberen Atemwegen gehören die Nasenhöhle, die Nasennebenhöhlen (Sinus paranasales), die Mundhöhle, der Rachen und der Kehlkopf. Sie sind von den unteren Atemwegen (Luftröhre und Lunge) abzugrenzen. Im Weiteren wird nur auf die Nasen- und die Nasennebenhöhlen eingegangen.

### 2.1. Anatomie der Nase

Die Nase besteht aus einem inneren und einem äußeren Teil. Die äußere Nase ist die Regio nasalis des Gesichts und besteht aus der knöchernen Nasenpyrami-

de und dem Nasenknorpel. Dieser Knorpel dient der Beweglichkeit und schützt die Nase vor Brüchen. Die Nasenlöcher werden lateral von den Nasenflügeln und medial vom Nasensteg, einer Wand aus Weichgewebe, begrenzt. Sie bilden den Zugang zur inneren Nase (Nasenhöhle).

### 2.2. Anatomie der Nasenhöhle

Die Nasenhöhle besteht aus dem Nasenvorhof (Vestibulum nasi) und der Nasenhaupthöhle (Cavum nasi). Die sich auf der Haut des Nasenvorhofes befindlichen Härchen filtern die eingeatmete Luft.

Die Nasenhaupthöhle (NHH) ist ein luftgefüllter, mit einer Schleimhaut (Mucosa) ausgekleideter Hohlraum. Diese Schleimhaut besteht aus einem Flimmerepithel, dessen Schleimdrüsen Schleim bilden und so die Luft anfeuchten. Reizungen führen zu Sekretabsonderungen, wie es beim Schnupfen der Fall ist [Gre09].

Die NHH ist durch die Nasenscheidewand (Septum nasi) in zwei Teile geteilt. Drei dünne mit Nasenschleimhaut überzogene Knochenblättchen, die untere, mittlere und obere Nasenmuscheln genannt werden, unterteilen die paarigen NHH jeweils in drei Nasengänge.

Die obere Begrenzung der Nasenhöhle ist das knöcherne Nasenbein. Unterhalb grenzt der Gaumen die NHH von der Mundhöhle ab. Über Öffnungen an der seitlichen Nasenhöhlenwand sind alle vier NNH mit der NHH verbunden [BL05].

### 2.3. Anatomie der Nasennebenhöhlen

Die NNH bestehen aus der Stirnhöhle (Sinus frontalis), der Keilbeinhöhle (Sinus sphenoidalis), den Siebbeinzellen (Cellulae ethmoidales) und der Kieferhöhle

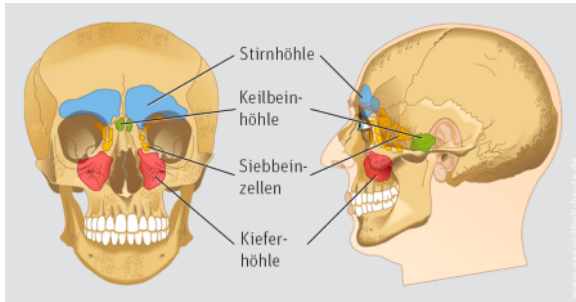


Figure 1: Nasennebenhöhlen beim Menschen.[Gre09]



Figure 2: Schematische Darstellung: Vergleich erkrankter (links) und gesunder NNH(rechts).[Sch10]

(Sinus maxillaris) (siehe Fig. 1). Sie sind ebenfalls wie die NNH mit einer Schleimhaut ausgekleidet. Die Kiefer-, Stirn- und Keilbeinhöhle sind durch ein Septum (Scheidewand) geteilt.

Die im Oberkieferknochen befindliche **Kieferhöhle** ist mit einem Volumen von bis zu 15 ml meist die Größte der NNH. Der Sekretabfluss ist hier erschwert, da sich der Ausgang am Dach befindet. Der seitliche Gaumen und der Zahnbogen stellen den Boden der Kieferhöhle dar. Die **Stirnhöhle** befindet sich im Knochen des Stirnbeins, einem muschelförmigen Schädelknochen. Hinter der **Keilbeinhöhle** befindet sich die Hirnanhangsdrüse (Hypophyse). Die **Sieb-beinzellen** bestehen aus acht bis zehn unvollständig getrennten Kammern. Sie grenzen lateral an die Augenhöhle, vorn oben an die Stirnhöhle und kaudal (unten) an die Kieferhöhle [BL05].

### 3. Erkrankungen der oberen Atemwege

Erkrankungen der oberen Atemwege können sich durch Scherzen, behinderte Nasenatmung, vermehrten Sekretabfluss oder durch eine gestörte Geruchswahrnehmung bemerkbar machen.

#### 3.1. Erkrankungen an der Nase

Das allseits bekannte Nasenbluten ist die Folge der Verletzung feiner Blutgefäße besonders im vorderen Abschnitt der Nase. Ausgetrocknete Schleimhaut, zu kräftiges Naseputzen, oder ein Aufprall können Ursachen sein. Wenn bei einem Aufprall das Nasenbein bricht oder sich ein Nasenknorpel verschiebt, kommen zusätzlich zum Nasenbluten Schmerzen beim Bewegen der Nase hinzu.

Ein Anschwellen der Mucosa hat einen Sekretstau zur Folge. Dies führt zu pH-Wert-Änderungen und begünstigt eine Infektion.

#### 3.2. Polypen

Gutartige Wucherungen der Schleimhäute werden Polypen genannt und verschließen die Atemwege der Nase. Die Folge können neben Einschränkung der Nasenatmung und des Riechvermögens auch Schnarchen, Schlafstörungen und eingeschränkte Leistungsfähigkeit sein. Allergien und chronische Rhinitis, die oft bei Kindern auftritt, können mögliche Ursachen sein. Durch den Verschluss der Nasenatemwege wird vermehrt Mundatmung betrieben, welche auf Dauer zu Infekten des Rachens führen kann. Da sich die Polypen nicht selbstständig zurückbilden, ist ein operativer Eingriff oft unumgänglich. Risikoreich ist der Eingriff durch die starke Durchblutung der Mucosa. Außerdem treten Nachblutungen auf [Gum10].

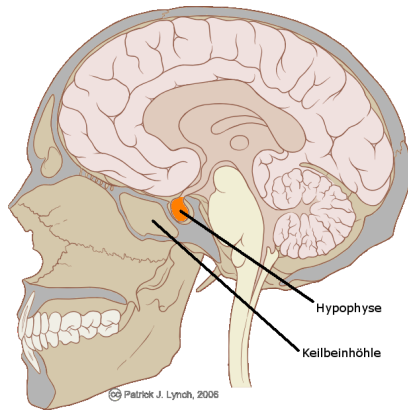
#### 3.3. Nasenschleimhautentzündung

Wenn es sich nicht um eine Allergie handelt, sind Schnupfen oder Niesen die Symptome einer Nasenschleimhautentzündung (Rhinitis). Dabei schwillt durch eingedrungene Krankheitserreger die Nasenschleimhaut der Nasenhaupthöhle an und die Schleimdrüsen sondern verstärkt Sekret ab. Wenn sich die Entzündung auf die NNH ausbreitet, kommt es zu einer Nasennebenhöhlenentzündung.

#### 3.4. Nasennebenhöhlenentzündung

Eine Sinusitis ist eine Entzündung der NNH und kann aus einer Rhinitis entstehen. Der Schnupfen geht meist zurück, es kommt zu Schmerzen und Druckgefühl neben der Nase und in Stirnhöhe. Das Anschwellen der Nasenschleimhäute und die daraus resultierende Verengung der Kanälchen hindert das vermehrt gebildete Sekret am Abfließen (vgl. Fig. 2). Eine Sinusitis kann auch in Folge einer Entzündung im Kauapparat auftreten. Sinusitis kann eine Ursache von Hirnhautentzündung sein.

Die Endoskopie dient der Diagnose in der Hinsicht, akuter von chronischer Sinusitis zu unterscheiden. Bei



**Figure 3:** Lage der Hypophyse. Nach einem Modell von [609]

Letzterer ist die Mucosa nur leicht geschwollen und das Sekret dünnflüssig. Bei der akuten Sinusitis ist die Schleimhaut deutlich gerötet und geschwollen; das Sekret ist eitrig [1210].

#### 4. Tumoren der Hypophyse

Die Hypophyse (Glandula pituitaria) ist eine erbsengroße Hormondrüse, die in der Sella Turcica, einer knöchernen Vertiefung der Schädelbasis in Nasenhöhe, zentral im Schädel sitzt (siehe Fig. 3).

Sie spielt die zentrale Rolle im Hormonsystem; sie steuert andere Drüsen und reguliert v.a. das Wachstum und die Fortpflanzung. Hypophysentumoren kommen häufig vor, werden oft nur zufällig entdeckt und sind in 99% der Fälle gutartig. Jedoch stellt das krankhafte Wachstum eine Gefahr für umliegende anatomische Strukturen und für die Hormonversorgung dar [609].

##### 4.1. Symptome

Wenn sich im hormonproduzierenden Gewebe der Hypophyse ein Tumor bildet (Hypophysenadenom), kommt es zu einer Hormontüberproduktion. Daraus resultieren Wachstumsstörungen (Vergrößerung von Händen, Füßen, Gesichtsteilen, Organen). Wenn sich dagegen nicht hormonproduzierendes Gewebe krankhaft vermehrt, kann es durch Druck zu einer hormonellen Unterfunktion kommen. Dies kann zu einer Schilddrüsenunterfunktion, zu Potenzverlust oder Unfruchtbarkeit führen. Wenn der Tumor auf den Sehnerv drückt, kann es zu Kopfschmerzen und Sehstörungen kommen [All10, Stu10].

#### 4.2. Therapie

Eine Möglichkeit, zur Hypophyse zu gelangen, ist die transspheoidale Operation. Dabei wählt man den minimalinvasiven Weg durch Nase, Keilbeinhöhle und die knöcherne Struktur des Sella Turcica (Türkensattel).

Bis zur Keilbeinhöhle gelangt der Arzt durch vorliegende Gänge; anschließend muss die Sella Turcica, die die Keilbeinhöhle von der Hypophyse trennt, durchstoßen werden. Dazu wird ein Rongeur verwendet. Tumoren der Hypophyse können so herausgeschnitten und durch die Nase entfernt werden.

Bei einem solchen Eingriff besteht das Risiko, wichtige anatomische Strukturen zu verletzen. Die innere Halsschlagader (Arteria carotis interna), die das Gehirns und die Augen mit Blut versorgt, verläuft neben der Hypophyse direkt hinter der Sella Turcica. Eine Verletzung dieses aus Sicht des Chirurgen verdeckten Blutgefäßes ist für den Patienten lebensbedrohlich. Wenn der Chirurg mit dem Rongeur operiert, muss auch darauf geachtet werden, dass der Sehnerv, der ebenfalls hinter dem Knochen verläuft, und die Hypophyse selbst nicht verletzt werden. Operationen solcher Art werden unter Vollnarkose durchgeführt [Med10, All10].

#### 5. Virtuelle NNH-Endoskopie

Operative Eingriffe in der Nasenregion versucht man minimal-invasiv durchzuführen, um Narben zu begrenzen. Zu der Herausforderung der eingeschränkten Sicht kommt die Tatsache, dass sich im Kopf viele wichtige anatomische Strukturen auf engstem Raum befinden, die es nicht zu verletzen gilt. Rezidivoperationen sind besonders schwierig, da durch frühere Eingriffe anatomische Landmarken fehlen können.

MRT- und CT-Schichtbilder geben zwar eine grobe Vorstellung der Anatomie. Die reale Ansicht, der Blick durch das Endoskop während der Operation, ist jedoch völlig anders. Um den Blick auf die Strukturen möglichst realistisch schon vor der OP bereitzustellen, wird virtuelle NNH-Endoskopie genutzt. Ein weiterer Vorteil ist, dass Operationen simuliert werden können. Virtuelle NNH-Endoskopie erfüllt also auch einen Trainingszweck. Für den Patienten reduzieren sich damit unangenehme Eingriffe.

##### 5.1. Generelles Vorgehen

Die Basis für virtuelle NNH-Endoskopie ist die Erfassung von CT-Daten, die die Anatomie des knöchernen Schädels sehr gut sichtbar machen. Informationen über Weichgewebe wie die Hypophyse, Tumoren, und den optischen Nerv können besser über MRT-Daten eingeholt werden. Die innere Halsschlagader

ist nach Kontrastmittelverabreichung in beiden Datensätzen gut sichtbar.

Bei der Verwendung beider Datensätze ist eine Registrierung notwendig, damit die im MRT-Datensatz segmentierten Weichteile anatomisch korrekt in dem im CT-Datensatz segmentierten Knochengehäuse dargestellt werden.

Ein zentraler Teil der virtuellen Endoskopie ist die Visualisierung der anatomischen Strukturen, die beispielsweise mit Iso-Oberflächen-Rendering oder direktem Volume-Rendering umgesetzt werden kann [NMW\*04].

## 5.2. Visualisierung: Iso-Oberflächen-Rendering

Iso-Oberflächen-Rendering ist eine indirekte Volumenvisualisierungsmethode, wobei die Daten erst auf ein Zwischenobjekt abgebildet werden, bevor sie gerendert werden. Iso-Oberflächen sind polygonale Netze, die beispielsweise durch den Marching-Cubes-Algorithmus erzeugt werden können. Zu jeder Iso-Oberfläche gehört ein Iso-Wert  $t$ . Die Iso-Oberfläche trennt zwei Voxelmengen voneinander: die, deren Grauwerte kleiner sind als  $t$  und die, deren Grauwerte größer sind als  $t$ .

Algorithmen zum Rendern von Iso-Oberflächen sind zum Beispiel polygonales Oberflächenrendering und Ray Casting.

First-hit Ray Casting ist ein vereinfachtes Ray Casting, wobei der Strahl, der vom Augpunkt durch ein Pixel auf dem Raster der zweidimensionalen Bildebene geht, bis zum ersten Schnittpunkt mit der Iso-Oberfläche verfolgt wird. Das getroffene Voxel wird mit Berücksichtigung des Einfallwinkels gerendert. Die Strahlenverfolgung wird an dieser Stelle abgebrochen [NMW\*04].

## 5.3. Visualisierung: Direct Volume Rendering

Für das direkte Volume-Rendering, bei dem die Werte aller Voxel des 2D-Schichtbildes das Ergebnisbild beeinflussen, gibt es verschiedene Methoden, z.B. Texture Mapping oder Ray Casting.

Beim Ray Casting wird für jedes Pixel der Bildebene ein Strahl durch das gesamte Volumen gesandt und analysiert. Die Berechnung der Pixelwerte erfolgt unter Anwendung der Rendering-Gleichung eines globalen Beleuchtungsmodells. Dabei wird mithilfe einer Transferfunktion jeder Voxel-Wert auf einen RGBA-Wert abgebildet. Durch den Parameter der Transparenz können alle, auch verdeckte Voxel, zum Pixel-Wert auf der Bildebene beitragen [See10, KKSP08].

## 5.4. STEPS

In [NMW\*04] wird von Neubauer et al. eine Anwendung zur Simulation von transssphenoidaler endonasaler Hypophysenchirurgie vorgestellt. STEPS ist ein Tool der virtuellen Endoskopie und wurde entwickelt, um Operationsplanung, direkte Operationsunterstützung und Training zu unterstützen.

Bei der Planung, die darin besteht, den besten Zugriffsweg zum Tumor und die beste Durchbruchstelle für das Keilbeinhöhlendach zu finden, kann mit 3D-Bildern erheblich verbessert werden. Hierbei erleichtern Transparenz des Knochens und somit durchscheinende Hypophyse, Sehnerv, und innere Halsschlagader die räumliche Vorstellung.

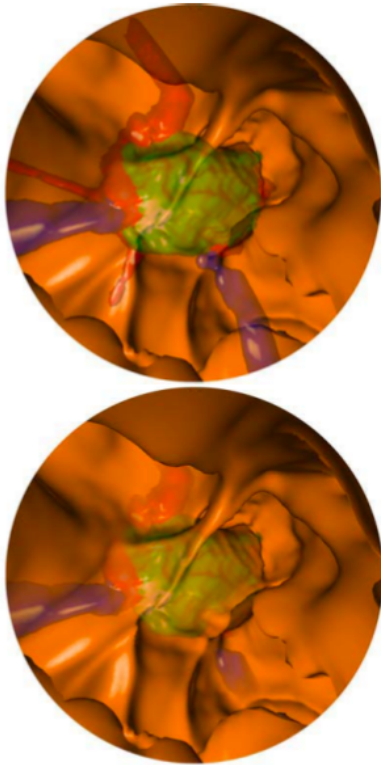
Während der Operation dient die virtuelle Endoskopie als Navigationshilfe und Entscheidungshilfe, wo der Rongeur zum Durchbruch angesetzt wird. Zum Trainieren kann die Operation in ihrer Vollständigkeit von dem Eindringen in das Nasenloch bis zum Durchbruch des Keilbeinhöhlendachs simuliert werden. Im Gegensatz zum Praktizieren an Leichen, können hier simulierte Eingriffe wiederholt werden; Navigationshilfen erleichtern den Lernprozess. In STEPS wird mit CT- und MRT-Daten gleichermaßen gearbeitet.

### 5.4.1. Visualisierung

Die Anwendung STEPS nutzt aus Gründen der Flexibilität die Methode des optimierten First-Hit Ray Castings (FHRC). Damit kann schnell auf Isowertänderungen durch Nutzereingaben reagiert werden. In STEPS werden zwei verschiedene Techniken dieser Methode angewandt; Vordergrund und Hintergrund werden gesondert behandelt. Der Vordergrund sind die inneren Wände der NNH, die durch Iso-Oberflächen im CT-Datensatz repräsentiert werden. Den Hintergrund stellen die versteckten, vorsegmentierten Objekte wie Hypophyse und Tumoren dar.

Für die **Segmentierung** werden zwei Modi unterstützt. Das Hinzufügen und Entfernen der Voxel bei der manuellen Segmentierung erfolgt durch einzeichnen bzw. auslöschen. Das automatische Segmentieren erfolgt mithilfe einer Wasserscheidentransformation, wobei vom Nutzer zuerst pro Objekt ein zugehöriger Marker gesetzt werden muss.

Für jeden Frame der Bildabfolge werden zwei Bilder generiert und überlagert. Dabei wird der Vordergrund semi-transparent dargestellt. Mithilfe eines z-Buffers kann ermittelt werden, wann der Hintergrund nicht vom Vordergrund überlagert wird, wie es beim Durchbruch des Keilbeinhöhlendachs der Fall wäre. Die Tiefeninformation kann auch dazu genutzt werden, durch adaptive Transparenz die Wahrnehmung zu verbessern. Je kleiner der Abstand zwischen Vorder- und Hintergrund desto höher ist die Transparenz des Vordergrundes (siehe Fig. 4).



**Figure 4:** *Oben: konstante Opazität des Vordergrunds; Unten: Opazität des Vordergrunds abhängig vom z-Buffer.[NMW\*04]*

Für die Visualisierung des Vordergrundes wird Image-Order FHRC angewandt; es werden also iterativ für alle Pixel des zu erzeugenden Bildes die Farbwerte ermittelt. Die Visualisierung des Hintergrundes wird durch Object-Order FHRC realisiert. Dabei wird über die zu rendernden Objekte iteriert. Da im Hintergrund die Objekte relativ wenig Platz auf dem Bild einnehmen, ist diese Variante effizienter.

Die Visualisierung des Hintergrundes erfolgt ausgehend von einem synthetischen Volumen, welches durch die Kombination der binären Segmentierungsmasken der einzelnen, ausgewählten Objekte im Voraus generiert wird. Die Objekte des Hintergrundes sind nach der Isooberflächenrepräsentation in zwei Gruppen zu unterteilen. Für Objekte wie Tumoren, Hypophyse und optischer Nerv, die aufgrund von zu geringer Dichte in CT-Datensatz nicht als Iso-Oberflächen dargestellt werden können, muss eine künstliche Isooberfläche mit einem fixen Isowert erzeugt werden.

Andere Objekte, wie die Arteria carotis interna, die sich durch Kontrastmittelzugabe gut von umliegenden Strukturen abgrenzen, können durch Iso-Oberflächen

als Teil des Original-Volumens repräsentiert werden. Hier kann der Nutzer den Isowert verändern.

#### 5.4.2. Navigation

Bei der Operationssimulation wird ein Joystick als Eingabemedium verwendet. Die Simulation beginnt, nachdem der Nutzer einen Startpunkt gesetzt hat. Dieser stellt die Stelle dar, wo bei der Operation das Endoskop eingeführt wird und ist idealerweise eins der Nasenlöcher.

Die Bewegungen sind wie bei der realen Operation durch die knöchernen Strukturen eingeschränkt. Um Kollisionen des Operationsgerätes mit anatomischen Strukturen zu ermitteln, verbindet man den Anfangspunkt und den aktuellen Punkt des virtuellen Endoskops und berechnet mögliche Schnittpunkte dieser Strecke mit den Iso-Oberflächen. Das haptische Feedback besteht im entsprechenden Widerstand des Endoskops an Strukturen wie Schleimhaut oder Knorpel.

#### 5.5. Sinus Endoscopy

Sinus Endoscopy ist eine von Krüger et al. in [KKSP08] vorgestellte Anwendung für virtuelle Endoskopie, die sich durch GPU-Einsatz für schnelles Volume-Rendering auszeichnet. Ihr Ziel ist es, Chirurgen bei funktioneller endoskopischer NNH-Chirurgie zu unterstützen und v.a. Schleimhautschwellungen sichtbar zu machen.

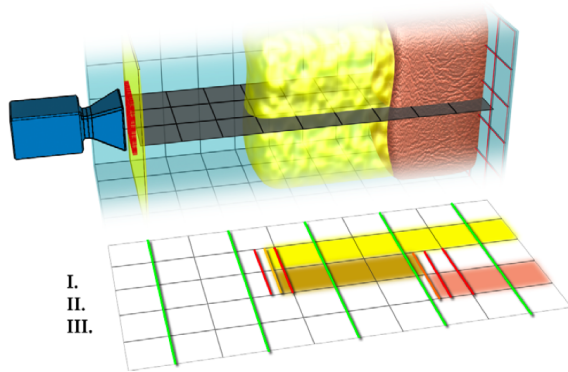
Bei diesem Tool wurde im Gegensatz zu STEPS nicht auf transparente Ansichten Wert gelegt, sondern auf eine möglichst realistische Darstellung. Dies wird durch den Einsatz von Texturen und Nässeeffekten erreicht. Außerdem wurde das System mit der Maßgabe entwickelt, das Laden und Durchfliegen der Daten in weniger als zwei Minuten zu ermöglichen. Um Zeit zu sparen, wurde vorerst auf Segmentierung verzichtet. Die Visualisierungsgrundlage für Sinus Endoscopy sind CT-Datensätze mit einem idealen Schichtabstand von einem Millimeter.

Die Ausführung der Berechnungen direkt auf der Grafikkarte verringert die Belastung des Prozessors; somit ist das schnelle Laden des Datensatzes und das direkte Volume-Rendering auf durchschnittlicher, in Kliniken vorhandener Hardware möglich. Wenn bessere Technik vorhanden ist, kann man die Leistungen aufstocken und beispielsweise die Qualität des Rendering anheben.

##### 5.5.1. Visualisierung

In Sinus Endoscopy wird Ray Casting angewendet und damit der Einsatz von Iso-Oberflächen zur Schleimhautdarstellung mit direktem Volume-Rendering zur Sekretdarstellung kombiniert. Da die Pixel zur Laufzeit klassifiziert werden, kann der Anwender Schwellwerte für Mucosa und Sekret interaktiv verändern.





**Figure 5:** *Abtastung eines Strahls in bestimmten Schritten (grün). Das Ergebnis wird verfeinert, um präzisere Ergebnisse zu erhalten (rot). Sekretdichte (II) wird als konstant zwischen erstem Sekret-Treffer (I) und erstem Schleimhaut-Treffer (III) angenommen. Prozess wird beendet, wenn Schleimhaut getroffen wurde.*[KKSP08]

Beim Ray Tracing, deren Berechnungen auf dem Grafikprozessor (GPU) durchgeführt werden, wird der Strahl verfolgt, bis er die Iso-Oberfläche trifft oder das Volumen verlässt. Hierbei wird mit sich iterativ verfeinernder Strahlabtastgenauigkeit gearbeitet.

Damit es durch zu große Strahl-Abtastabstände nicht zu Artefakten kommt, oder durch sehr geringe Abstände zu hohen Berechnungszeiten, wird die Schrittweite an wichtigen Stellen verringert. Dies erfolgt iterativ, bis die Sekretoberfläche und die Mucosa gefunden wurden (siehe Fig. 5).

Die Schleimhaut wird mit einer Textur belegt. Aus Gründen der Effizienz wurde beim Oberflächen-Rending auf Dreiecksnetze und auf den Marching Cubes-Algorithmus verzichtet. In Sinus Endoscopy wird zum Beleuchten und Färben die Methode des verzögerten Shadings angewendet, welche in zwei Durchgängen durchgeführt wird. Die Ergebnisse des ersten Durchgangs sind die z-Werte des Gewebes, Dichtewerte oder andere Werte für jeden Pixel des endgültigen Bildes. Im zweiten Durchgang wird darauf aufbauend die Beleuchtung durchgeführt, die das Ergebnisbild produziert.

### 5.5.2. Interaktion

Sinus Endoscopy ermöglicht dem Nutzer das Malen mit halbtransparentem Pinsel und Stift auf Oberflächen, um beispielsweise die Durchbruchstelle für den Rongeur zu kennzeichnen. Die Zeichnung kann als Textur auf die Mucosa abgebildet und in einem Tex-

uratlas zur wiederholten Verwendung abgelegt werden.

## 6. Zusammenfassung

Sinus Endoscopy erreicht mit einer Ladezeit von nicht mehr als zwei Minuten eine für Mediziner vertretbare Performanz, liefert optisch ansprechende Visualisierungen und ist zudem auf handelsüblicher Hardware ausführbar.

Wenngleich Tests ergeben haben, dass das Tool STEPS eine sinnvolle Unterstützung bei der Hypophysenchirurgie darstellt, ist es für den Klinikeinsatz aufgrund der zu langen Datensatzladezeiten ungeeignet. Die in STEPS vorhandenen Features zur Segmentierung anatomischer Strukturen, wären auch für Sinus Endoscopy wünschenswert und sind derzeit in Arbeit. Jedoch wird eine solche Featureaufstockung nicht ohne Einbußen in der Performanz möglich sein.

## Quellenangaben

- [1210] : *Sinusitis*, März 2010. <http://www.medizinfo.de/immunsystem/erkaelt/sinusitis.htm>.
- [609] : *Hypophyse*, Dezember 2009. <http://de.academic.ru/dic.nsf/dewiki/637483>.
- [All10] ALLOLIO B.: *Informationen über Operationen von Hyphophysentumoren*, Januar 2010. [http://www.glandula-online.de/broschueren/brosch/b\\_tm.htm](http://www.glandula-online.de/broschueren/brosch/b_tm.htm).
- [BL05] BOENNINGHAUS H.-G., LENARZ T.: *Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde*, 12 ed. Springer, 2005.
- [Gre09] GREVERS G.: *Aufbau und Funktion von Nase und Nasennebenhöhlen*, Dezember 2009. <http://www.gesundheit-heute.de/gh/ebene3.html?id=1467>.
- [Gum10] GUMPERT N.: *Polypen*, März 2010. <http://www.dr-gumpert.de/html/polypen.html>.
- [KKSP08] KRÜGER A., KUBISCH C., STRAUSS G., PREIM B.: Sinus endoscopy - application of advanced gpu volume rendering for virtual endoscopy.
- [Med10] MEDIZIN S.: *Transssphenoidale Operation*, Januar 2010. <http://www.special-akromegalie.de/akromegalie/therapie/operation/content-120886.html>.
- [NMW\*04] NEUBAUER A., MROZ L., WOLFSBERGER S., WEGENKITTL R., FORSTER M.-T., BÜHLER K.: Steps - an application for simulation of transssphenoidal endonasal pituitary surgery. *IEEE Visualization* (2004).
- [Sch10] SCHUSTER B.: *Nasennebenhöhlenentzündungen*, März 2010. <http://>

plastische-operationen-schuster.de/  
nebenhoehlenentzuendung.php.

[See10] SEELGE M.: *Volume Rendering*, Januar  
2010. [http://www.informatik.uni-mainz.de/  
lehre/cg/SS2006\\_SCG/talks/VolumeRendering/  
VolumeRendering.pdf](http://www.informatik.uni-mainz.de/lehre/cg/SS2006_SCG/talks/VolumeRendering/VolumeRendering.pdf).

[Stu10] STUMMER W.: *Hypophysentumoren*,  
Januar 2010. [http://neurochir.klinikum.  
uni-muenchen.de/PDF\\_Dateien/Hypophyse/PDF/  
AllgFragen.pdf](http://neurochir.klinikum.uni-muenchen.de/PDF_Dateien/Hypophyse/PDF/AllgFragen.pdf).