

Aus der Klinik und Poliklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde
der Ludwig-Maximilians-Universität München
Direktor: Prof. Dr. med. A. Berghaus

**Anatomische Varianten
der Nasennebenhöhlen**

-

Bedeutung und Vorteile multiplanarer CT-Rekonstruktionen

Dissertation
zum Erwerb des Doktorgrades der Medizin
an der Medizinischen Fakultät der
Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von
Fabian Sommer

aus
Augsburg

2009

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. med. Andreas Leunig

Mitberichterstatter: Prof. Dr. med. Mehdi Shakibaei
Priv. Doz. Dr. med. Hans-Christoph
Becker

Dekan: Prof. Dr. med. Dr. h.c. M. Reiser, FACR,
FRCR

Tag der mündlichen Prüfung: 23.07.2009

Für meinen Vater

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	4
Abkürzungsverzeichnis.....	7
1 Einleitung.....	8
1.1 Anatomie und Physiologie der Nase und Nasennebenhöhlen.....	8
1.2 Erkrankungen der Nase und Nasennebenhöhlen.....	9
1.3 Operationstechniken.....	10
1.4 Bedeutung der Schleimhaut bei Erkrankungen der Nasennebenhöhlen	11
1.5 Functional Endoscopic Sinus Surgery.....	12
1.6 Risiken bei Operationen im Bereich der Nasennebenhöhlen.....	12
1.7 Radiologische Diagnostik der Nasennebenhöhlen.....	13
2 Zielsetzung der Arbeit	15
3 Material und Methoden	17
3.1 Patienten	17
3.2 Technische Daten der CT-Untersuchung	17
3.3 Darstellungsmöglichkeiten der Inzidenz anatomischer Varianten.....	18
3.4 Anatomische Varianten	18
3.4.1 Begriffsdefinition „Zelle“	18
3.4.2 Frontoethmoidale Zellen	19
3.4.3 Pneumatisierte Crista galli	33
3.4.4 Niveauunterschiede der Fossa olfactoria.....	34
3.4.5 Suprabulläre Zellen	35
3.4.6 Onodi-Zellen	36
3.4.7 Haller-Zellen	37
3.4.8 Conchae bullosae.....	38
3.4.9 Variationen des Processus uncinatus.....	38
3.5 Auswertung der anatomischen Varianten	40
3.5.1 Software	40
3.5.2 Muster des Auswertungsbogens.....	41
3.6 Analyse des Vorteils multiplanarer CT-Rekonstruktionen.....	46
3.7 Statistik.....	48
4 Ergebnisse.....	49
4.1 Anatomische Varianten der Nasennebenhöhlen	49

4.1.1	Alters- und Geschlechtsverteilung	49
4.1.2	Inzidenz anatomischer Varianten	50
4.1.2.1	Varianten des frontoethmoidealen Komplexes	50
4.1.2.2	Varianten der Crista galli und der Fossa olfactoria.....	53
4.1.2.3	Varianten des Processus uncinatus.....	54
4.1.2.4	Suprabulläre und Onodi-Zellen.....	55
4.1.2.5	Pneumatisierter Processus clinoideus.....	55
4.1.2.6	Haller-Zellen, Varianten der Conchae nasales und Septumdeviationen.....	56
4.1.2.7	Radiologische Zeichen der chronischen Rhinosinusitis.....	56
4.1.2.8	Radiologische Zeichen der Verschattung im Bereich des ostiomeatalen Komplexes und der angrenzenden Nasennebenhöhlen.....	59
4.1.2.9	Inzidenz entzündlicher Prozesse der Zähne im Oberkiefer.....	60
4.1.3	Koinzidenz anatomischer Varianten	60
4.1.4	Koinzidenz anatomischer Varianten und Schleimhautpathologien	61
4.1.4.1	Varianten des frontoethmoidalen Komplexes und pathologische Schleimhautprozesse	61
4.1.4.2	Haller-Zellen und pathologische Schleimhautprozesse	62
4.1.4.3	Concha bullosa und Schleimhautpathologien	62
4.1.4.4	Entzündliche Herde der Zahnwurzeln des Oberkiefers und Schleimhautreaktionen des Sinus maxillaris.....	63
4.2	Analyse der Vorteile multiplanarer Rekonstruktionen (n=162 Patienten)....	64
4.2.1	Ergebnisse Untersucher 1	64
4.2.2	Ergebnisse Untersucher 2.....	66
4.2.3	Ergebnisse Untersucher 3.....	67
4.2.4	Vergleich der Analysen.....	68
4.2.4.1	Koronare versus multiplanare Analyse von Untersucher 1.....	68
4.2.4.2	Koronare versus multiplanare Analyse von Untersucher 2.....	71
4.2.4.3	Koronare Analyse der drei Untersucher.....	73
4.2.5	Signifikanz koronarer versus multiplanarer Analyse von Untersucher 1 und 2	74
4.2.6	Signifikanz koronarer Analysen der drei Untersucher versus multiplanarer Analyse von Untersucher 1	74
5	Diskussion	76
5.1	Material und Methoden	76

5.1.1	CT-Untersuchungsparameter	76
5.1.2	Strahlenexposition während der Computertomographie.....	76
5.2	Auswertung der anatomischen Varianten	78
5.2.1	Anatomische Varianten	78
5.2.1.1	Agger nasi Zellen	78
5.2.1.2	Frontoethmoidale Zellen	79
5.2.1.3	Zellen des Sinus ethmoidalis.....	85
5.2.1.4	Haller-Zellen	86
5.2.1.5	Onodi-Zellen	87
5.2.2	Koinzidenz anatomischer Varianten und Schleimhautpathologien	88
5.2.3	Entzündliche Herde der Zahnwurzeln des Oberkiefers und Schleimhautpathologien des Sinus maxillaris.....	90
5.3	Analyse des Vorteils multiplanarer Rekonstruktionen.....	90
5.3.1	Unterschiede in den Ergebnissen der verschiedenen Analysen	90
5.3.2	Statistik.....	92
5.3.3	Vorteile der multiplanaren CT-Analyse im Bereich des Recessus frontalis.	93
6	Zusammenfassung	95
7	Literaturverzeichnis	98
8	Abschließende Bemerkungen und Danksagung.....	104
9	Lebenslauf	105

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
ANZ	Agger nasi Zelle
CRS	Chronische Rhinosinusitis
CT	Computertomographie
FESS	Functional Endoscopic Sinus Surgery
HWS	Halswirbelsäule
K1-Zelle	Frontoethmoidale Zelle nach Kuhn Typ 1
K2-Zelle	Frontoethmoidale Zelle nach Kuhn Typ 2
K3-Zelle	Frontoethmoidale Zelle nach Kuhn Typ 3
K4-Zelle	Frontoethmoidale Zelle nach Kuhn Typ 4
MPR	Multiplanare Rekonstruktionen
NNH	Nasennebenhöhlen
NNH-CT	Computertomographie der Nasennebenhöhlen
OMK	Ostiomeataler Komplex
Tab.	Tabelle

1 Einleitung

1.1 Anatomie und Physiologie der Nase und Nasennebenhöhlen

Die Nase stellt die Eintrittspforte in die oberen Luftwege des Menschen dar und übernimmt mit ihrer Schleimhaut die Funktion einer Klimaanlage in Form von Erwärmung, Befeuchtung und Reinigung der eingeatmeten Luft. Über ein komplexes Transportsystem, das auf immer in die gleiche Richtung schlagenden Zilien basiert, werden Sekrete und Fremdkörper in Richtung Rachen abtransportiert. Die Nasennebenhöhlen (NNH) übernehmen eine Isolationsfunktion gegen unterschiedliche Außentemperaturen. Weiter vergrößern sie den Schädel und schaffen damit Muskelansatzflächen, ohne das Gewicht wesentlich zu erhöhen. Entwicklungsgeschichtlich entstehen die Nasenhaupthöhlen durch das Zusammenwachsen von Nasenseptum und Gaumenplatte. An deren lateraler Wand bilden sich durch Schleimhautausbuchtungen mit Skelettanteilen die Nasenmuscheln. Aushöhlungen des Epithels führen zur Entwicklung der Nasennebenhöhlen [1]. Stirn- und Kieferhöhle bilden sich aus dem vorderen Siebbein und bleiben über dünne Kanäle, ähnlich Flaschenhälsen, miteinander verbunden.

Die Sinus maxillares, die Kieferhöhlen, stellen die größte Nasennebenhöhlen dar. Sie erstrecken sich unterhalb der Orbita. In ihrem Dach verläuft der Nervus infraorbitalis und ihr Boden weist im Recessus alveolaris Kontakt zu den Zahnwurzeln des Kiefers auf. Die Zilien des Sinus maxillaris transportieren Sekret immer in Richtung des hoch gelegenen Hiatus semilunaris, kurz oberhalb des Processus uncinatus. Die Mündung erfolgt in den mittleren Nasengang.

Die Sinus frontales, die Stirnhöhlen, weisen die größten Variationen auf. Vollständige Aplasien oder extreme Pneumatisation über große Teile des Orbitadaches bis weit hinter die Arteria ethmoidalis anterior sind zu beobachten. Große Teile der Stirn werden durch die Vorderwand der Sinus frontales gebildet, welche durch das Septum interfrontale getrennt sind. Im unteren Teil münden die Stirnhöhlen über das Infundibulum frontale in den Recessus frontalis, der die natürliche Ebene des Stinhöhlenostiums darstellt. Von dort wird das Sekret weiter in den mittleren Nasengang und danach in Richtung Rachen transportiert.

Der Sinus ethmoidalis, das Siebbein, teilt sich in einen vorderen und hinteren Bereich auf. Der vordere Teil erstreckt sich zwischen der Concha nasalis media, deren Ansatz und der Lamina papyracea (mediale Orbitawand). Die Zellen des vorderen Siebbeins sind funktionell der Kieferhöhle und der Stirnhöhle vorgeschaltet. Sekrettransport und Belüftung beider Nebenhöhlen erfolgt durch das vordere Siebbeinlabyrinth in den mittleren Nasengang. Die Bulla ethmoidalis stellt die größte und konstanteste vordere Siebbeinzelle dar. Der dorsale Anteil des Sinus ethmoidalis drainiert unabhängig in den oberen Nasengang. Zellen des hinteren Siebbeinsystems haben enge Lagebeziehung zum Sinus sphenoidalis. Zellen des dorsalen Sinus ethmoidalis können sich in der Entwicklung kranial und lateral des Sinus sphenoidalis ausdehnen. In diesem Fall spricht man von Onodi-Zellen (siehe Kapitel 3.4.6).

Der Sinus sphenoidalis erstreckt sich im Keilbeinkörper und ist durch ein Septum zweigeteilt. Hinter der okzipitalen Wand befindet sich die hintere Schädelgrube. Das Dach der Keilbeinhöhle grenzt an die Sella turcica mit Hypophyse und vordere sowie hintere Schädelgrube. Die Nähe zur Sella turcica wird für transsphenoidale Operationen an der Hypophyse genutzt. Seitlich besteht enge Beziehung zu Arteria carotis interna, Sinus cavernosus und Nervus opticus. Der Sekrettransport mündet über das natürliche Keilbeinhöhlenostium im Bereich der Concha nasalis superior und des Septums in den Recessus sphenothmoidalis.

1.2 Erkrankungen der Nase und Nasennebenhöhlen

Erkrankungen der Atemwege gehören zu den häufigsten Leiden des Menschen. „Chronische Sinusitis“ wurde in Deutschland von Juli 2000 bis Juni 2001 2,6 Millionen Mal als Diagnose erhoben [2]. Erkrankungen der Nasennebenhöhlen entstehen meist auf dem Boden einer pathologischen Reaktion der Zellen des Sinus ethmoidalis. Diese bilden einen Vorraum, der dem Sinus maxillaris und frontalis vorgeschaltet ist. Wird dieser durch Schleimhautschwellung blockiert, so sind Ventilation und Drainage der nachfolgenden NNH beeinträchtigt. Im Bereich des mittleren Nasengangs und des vorderen Siebbeins kommt dem ostiomeatalen Komplex große Bedeutung als Kreuzungspunkt der Drainagewege des Sinus maxillaris, frontalis und ethmoidalis zu. Diese Bezeichnung umfasst das Infundibulum ethmoidale, den Processus uncinatus, den Hiatus semilunaris und die Bulla ethmoidalis. Entzündliche Veränderungen des ostiomeatalen Komplexes sind oft die Grundlage für sekundäre Erkrankungen der Nasennebenhöhlen. Dabei spielen anatomische Varianten als

Prädispositionsfaktor eine große Rolle. Viele dieser Varianten sind per se nicht pathologisch, können aber in Verbindung mit einer Reaktion der Schleimhaut Drainagewege einengen bzw. komplett verschließen. Es entsteht ein abgeschlossener Raum mit idealen Voraussetzungen zur Vermehrung pathologischer Keime. Symptome sind meist behinderte Nasenatmung, Kopf- und Gesichtsschmerzen, Druckgefühl, putride Rhinorrhoe und postnasale Sekretion [3,4]. Vielen Patienten, die an chronischer Rhinosinusitis (CRS)¹ leiden, hilft nur eine medikamentöse Therapie. Im Falle eines Nichtansprechens der medikamentösen Therapie ist das operative Vorgehen eine wichtige therapeutische Option. Strukturelle Veränderungen durch anatomische Varianten können in aller Regel nur operativ korrigiert werden, um Abflusswege wiederherzustellen und den Circulus vitiosus der CRS zu durchbrechen. Eine sorgfältige Operationsvorbereitung und -technik ist unerlässlich, da es durch unvollständig abgetragene Varianten häufig zu Rezidiven kommt.

1.3 Operationstechniken

Auf die Bedeutung des ostiomeatalen Komplexes wurde besonders von Messerklinger und Stammberger [5] hingewiesen. Sie etablierten die endoskopische Technik zur Sanierung des ostiomeatalen Komplexes durch gezielte Abtragung der vorderen Ethmoidalzellen. Bei dieser Technik wird endoskopisch kontrolliert mit geeigneten Instrumenten schleimhautschonend endonasal operiert. Früher wurde mit radikalen Techniken wie z.B. der 1889 von Caldwell und Luc publizierten Methode operiert. Bei dieser Operation wurde der Zugang zur Kieferhöhle transfazial oberhalb der Zähne durch die Fossa canina hergestellt. Es erfolgte eine radikale Entfernung der Schleimhaut sowie eine Fensterung der medialen Kieferhöhlenwand in der Überlegung, dass der Sekretstau an der tiefsten Stelle am besten abfließen kann. Ebenfalls den Radikaloperationen zuzuordnen ist die Stirnhöhlenoperation nach Ritter-Jansen, bei der über einen Schnitt unterhalb der Augenbraue ein Stück des Stirnhöhlenbodens entfernt wurde. Bei den radikalen Operationstechniken kam es vielfach zu postoperativen Beschwerden. Diese waren Trockenheitsgefühl in der Nase, Mukozelen oder rezidivierende entzündliche Prozesse. Ein häufiger Grund für Misserfolge der frühen Radikaloperationen war die Restenosierung des Recessus frontalis [6,7]. Revisionsoperationen waren häufig die Folge und stellten eine zusätzliche Belastung für den Patienten dar.

¹ CRS: Zeichen und Symptome einer Rhinosinusitis über einen Zeitraum von mehr als 12 Wochen

Van Alyea bezweifelte 1946 [8] den Erfolg von Radikaloperationen und unterstrich die Regenerationsfähigkeit der Schleimhaut bei Wiederherstellung der natürlichen Drainagerouten der Nasennebenhöhlen. Messerklinger ordnete dem vorderen Siebbein große Bedeutung zu. Als Schlüsselstelle zu den übrigen NNH ist durch die Sanierung dieses Bereichs häufig eine Ausheilung auch chronischer Beschwerden der NNH zu erreichen. Die Grazer Schule macht sich dabei die Schonung möglichst vieler anatomischer Strukturen zum Ziel [9]. Ziel der **Functional Endoscopic Sinus Surgery (FESS)** nach Messerklinger und Stammberger [10] ist die Wiederherstellung der normalen Ventilation und Drainage des ostiomeatalen Komplexes und damit die Regeneration der NNH.

1.4 Bedeutung der Schleimhaut bei Erkrankungen der Nasennebenhöhlen

Die Nasenschleimhaut ist zweigeteilt. In der Regio olfactoria, dem Bereich der Concha nasalis superior, dem oberen Teil des Nasenseptums und dem Nasendach, besteht sie aus Riech- und Stützzellen. In der Regio respiratoria, dem unteren Teil des Septums und den Nasennebenhöhlen, ist sie mit mehrschichtigem Flimmerepithel ausgekleidet, welches Schleimdrüsen enthält. Besonders dem Flimmerepithel kommt bei der Freihaltung der Drainagewege eine große Bedeutung zu. Durch aktiven Transport wird Sekret immer in eine Richtung abtransportiert. Dabei ist die Schlagrichtung der Zilien genetisch programmiert [10-14]. Im Nasenbereich wird der Schleim in Richtung Rachen befördert und dann geschluckt. In den Nasennebenhöhlen ist die Transportrichtung immer auf das natürliche Ostium gerichtet. Es konnte gezeigt werden, dass bei vielen Patienten eine Kieferhöhlenfensterung im unteren Nasengang keine langfristige Besserung liefert, da die Zilien das Sekret weiterhin in Richtung des natürlichen Ostiums transportieren. Ein kurzfristiges Abfließen von angestautem Sekret kann beobachtet werden („Überlaufprinzip“), aber es erfolgt kein aktiver Sekrettransport aus der Kieferhöhle über eine unphysiologisch angelegte Öffnung [14]. Im Falle eines akzessorischen Ostiums kann beobachtet werden, dass aus dem natürlichen Ostium transportiertes Sekret durch das akzessorische Ostium wieder in die Kieferhöhle eintritt und so ein Kreislauf entsteht. Kommen sich in Engstellen der Nasennebenhöhlen die gegenüberliegenden Schleimhautflächen aufgrund anatomischer Varianten oder Schleimhautschwellung sehr nahe, so kann der Zilienschlag und damit der aktive Transport behindert werden. Exogene Keime oder Noxen verursachen zusätzlich lokale Entzündungen

und führen im weiteren Verlauf zu pathologischen Veränderungen der Nasenschleimhaut. Bei der FESS ist deshalb die Schonung der Schleimhaut das Ziel.

1.5 Functional Endoscopic Sinus Surgery

1970 stellte Messerklinger ein Manuskript über die endoskopische Technik zur Diagnostik und Operation der Nasennebenhöhlen fertig, welches aufgrund mangelnden Interesses zunächst nicht veröffentlicht wurde [15]. Diese Methode ermöglicht bei operativen Eingriffen an Schlüsselstellen der Nasennebenhöhlen die direkte endoskopische Sicht. Auch Eingriffe an schwierig zu erreichenden Stellen, z.B. dem Recessus frontalis, können unter endoskopischer Sicht und mit, speziell für diese Eingriffe geformten Operationsinstrumenten, durchgeführt werden. Heute gehören die diagnostische Endoskopie und die endoskopisch transnasale Chirurgie zum weltweiten Goldstandard der operativen Eingriffe im Bereich der Nasennebenhöhlen. Im Unterschied zur herkömmlichen Chirurgie der NNH nutzt die FESS die vorhandenen Luftwege in der Nase und schafft nur an betroffenen Schlüsselstellen Platz. Heute sind unterschiedliche Winkeloptiken verfügbar. Durch sie können auch Stellen sichtbar gemacht werden, die nicht in gerader Linie durch die Nase zugänglich sind. Immer besser werdende Bildübertragung zwischen Endoskop und Kamera mittels Lichtwellenleiter ermöglicht heute eine Darstellung in sehr hoher Qualität. Die endoskopische Technik hat sich in den letzten 20 Jahren durchgesetzt und stellt heute die Therapie der Wahl bei operativen Eingriffen an Schlüsselregionen der Nasennebenhöhlen dar.

1.6 Risiken bei Operationen im Bereich der Nasennebenhöhlen

Auch minimalinvasive, mikrochirurgische Eingriffe bergen potentielle Risiken. Zahlreiche wichtige Strukturen liegen in unmittelbarer Nachbarschaft der Nasennebenhöhlen mit entsprechenden Komplikationsmöglichkeiten wie z.B. Duraläsionen und als Folge Liquorrhoe, Pneumatocephalus, Meningitiden und mögliche Hirnabszesse. Verletzungen von Gefäßen wie z.B. der Arteria ethmoidalis anterior und die damit verbundene Gefahr eines retrobulbären Hämatoms, welches zur Erblindung des Patienten führen kann, sind weitere Risiken. Arteria carotis interna, Orbita und Nervus opticus stellen aufgrund ihrer engen Lagebeziehung zur Keilbeinhöhle Gefahrenzonen bei Operationen dar [16,17]. Blutungen als

intraoperative Komplikation erfordern spezielle Vorbereitung und Verhaltensregeln [18]. Zahlreiche Varianten komplizieren die Anatomie der NNH und erfordern deshalb eine sorgfältige Operationsvorbereitung und -durchführung. Zur Vermeidung von Komplikationen ist die exakte Kenntnis der vorherrschenden Anatomie unerlässlich. Nicht erkannte luftgefüllte Zellen (siehe 3.4.1), welche zurückbleiben, und rezidivierende Polyposis nasi sind nach wie vor die häufigsten Ursachen für Revisionsoperationen [19].

1.7 Radiologische Diagnostik der Nasennebenhöhlen

Die Möglichkeiten der bildgebenden Diagnostik der NNH haben sich in den letzten 20 Jahren durch die Computertomographie (CT) stark weiterentwickelt. Konventionelle Röntgenaufnahmen zur Diagnostik der Nase und Nasennebenhöhlen sind heute überwiegend der CT gewichen. Konventionelle Röntgenaufnahmen der Nasennebenhöhlen sind zweidimensional und durch Überlagerungen der Weichteile in der Aussage deshalb eingeschränkt. Im Gegensatz dazu liefert die CT überlagerungsfreie Schichtbilder mit Darstellung der knöchernen Septen. Auch Weichteile, Schleimhautschwellungen oder Sekretstau werden genau sichtbar. Durch den hohen Knochen-Weichteil Kontrast ist eine exakte Beurteilung sowohl von Knochen als auch von Schleimhaut möglich.

Die erste CT-Aufnahme wurde 1971 an einem Menschen durchgeführt. Diese ersten Untersuchungen wurden mit Geräten angefertigt, die nur Einzelschichten von 2 bis 3 mm Schichtdicke in einem Umlauf ermöglichten. Zwischen den Einzelschichten war ein Zeitraum von mehreren Sekunden pro Schicht zur Bildberechnung erforderlich. Die Schichtebene musste koronar erfolgen, um die für den Operateur erforderliche Darstellung zu gewinnen.

Primär koronare Schichtung erforderte eine Position des Patienten in Rückenlage mit nach dorsal maximal überstrecktem Kopf über mehrere Minuten. Diese ist bei älteren Patienten, Patienten mit Atembeschwerden und Patienten mit Beschwerden im Bereich der Halswirbelsäule häufig nicht durchführbar, oder es entstehen starke Bewegungsartefakte. Durch den in der Frontalebene verlaufenden Strahlengang sind Artefakte durch Zahnkronen über den gesamten Bildbereich verteilt und machen Aussagen über dünne Knochensepten im Bereich der NNH unmöglich. Die Entwicklung der Spiral-CT, bei der die Schichtbilder bereits wesentlich rascher durch eine rotierende Röntgenröhre und die Daueraquisition der Bilddaten zu gewinnen waren, stellte eine neue Stufe der technischen Weiterentwicklung dar.

Durch sie wurden deutlich dünnere Schichten möglich. Die grundlegendste Neuerung war die Entwicklung von Multispiral-CT-Geräten 1998. Bei diesen wird der Patient entlang der Körperachse mit konstanter Geschwindigkeit durch den rotierenden Strahlengang bewegt. Bei jedem Spiralumlauf rotieren mehrere Röntgenquellen und -detektoren um den Patienten. Diese liefern gleichzeitig sehr dünne Schichten bis unter 1 mm. Die technische Entwicklung ermöglichte Geräte mit zunächst Doppelspirale, dann 4-, 8-, 16- und zwischenzeitlich bis zu 128-facher paralleler Schichterfassung. Ein weiterer Vorteil der Multispiral-CT ist die Bilderfassung in isotropen Voxeln. Diese „volumetrischen Pixel“ ermöglichen nach weiterer Bildbearbeitung Rekonstruktionen in beliebigen Ebenen und dreidimensionale Darstellung der Bilddaten [20].

Erst durch die Multispiral-Technik war es möglich, die Bilder ohne Kopfüberstreckung in bequemerer Rückenlage anzufertigen und die notwendigen koronaren Schichtebenen in hoher Qualität über eine sekundäre Bildnachbearbeitung aus den dünnen axialen Primärschichten zu berechnen. Ein weiterer Vorteil der sekundären Nachberechnung ist der Verlust von Artefakten durch Zahnkronen oder Implantate, da der Strahlengang in der Transversalebene verläuft. Zusätzlich sind aus diesem axialen primären Datensatz Bilder in beliebigen Ebenen rekonstruierbar.

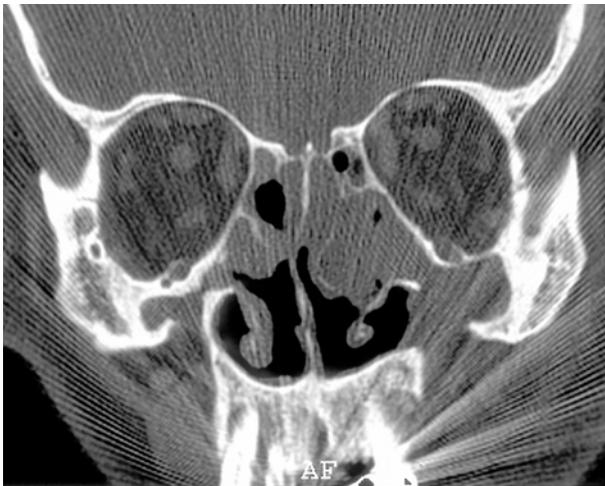


Abbildung 1-1: Koronare CT mit Artefakten der Zahnkronen über den gesamten Bildbereich.

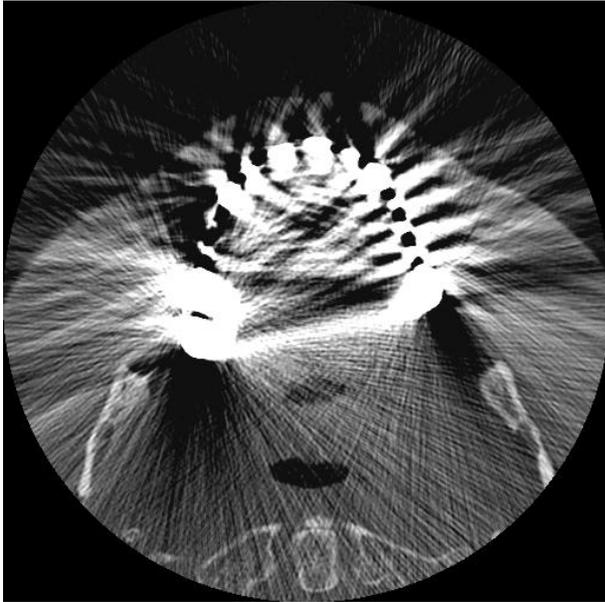


Abbildung 1-2: Artefakte bei primär axialer Schichtung. Die Artefakte sind in der axialen Ebene.



Abbildung 1-3: Sekundär koronare Rekonstruktion aus primär axialen Schichten: Die störenden Artefakte beeinträchtigen die diagnostisch wichtigen Bereiche nicht.

2001 zeigte eine Studie von Sharp et al., dass nur 84 % der Chirurgen überhaupt eine Computertomographie der NNH vor einer Operation anforderten [21]. Obwohl durch die Multislice-Technik heute umfangreiche Information bei jeder durchgeführten Untersuchung vorliegt, werden von klinischer Seite meist nur koronare Rekonstruktionen mit einem Abstand von 3 mm angefordert. Für die exakte Planung einer Operation im Bereich der Nasennebenhöhlen ist diese Schichtung häufig nicht ausreichend, da viele Septen und pneumatisierte Hohlräume übersehen oder nicht richtig interpretiert werden. Dies kann eine fortbestehende Symptomatik oder auch einen wiederholten Eingriff zur Folge haben.

2 Zielsetzung der Arbeit

Die Studie stützt sich auf 641 CT Untersuchungen von Patienten, die im Verlauf des Jahres 2004 in der Radiologischen Gemeinschaftspraxis München Pasing untersucht wurden. Ausschlusskriterium für diese Studie waren Patienten mit vorausgegangener Operation an den NNH.

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in zwei Teile.

Ziel des **ersten Teils** war die Ermittlung der Inzidenz anatomischer Varianten der Nasennebenhöhlen und der Häufigkeit entzündlicher Zahn-Herde im Oberkiefer bei den

vorliegenden CT-Untersuchungen. Weiterhin wurden die entzündlichen Herde hinsichtlich eines Zusammenhangs mit einer angrenzenden Schleimhautpathologie in der Kieferhöhle analysiert. Diese Analyse erfolgte mit multiplanarer Rekonstruktion unter Zuhilfenahme von axialen, sagittalen und koronaren Schichten mit einem Abstand von 1 mm.

Ziel des **zweiten Teils** war die Analyse der Vorteile einer multiplanaren Auswertung (Auswertung in mehreren Ebenen) mit einem Abstand von 1 mm im Vergleich zu ausschließlich koronaren Schichten in einem Abstand von 3 mm. Hierzu wurde aus der vorliegenden CT-Datenbank eines Jahres ein Zeitraum von 3 Monaten (1.8.2004 bis 30.10.2004) mit insgesamt 162 nicht selektierten Patienten herausgegriffen. Ein erfahrener HNO-Operateur und ein Assistent in der Ausbildung zum HNO-Facharzt analysierten diese Datensätze nur koronar und in 3 mm Schichtdicke. Eine zusätzliche koronare Analyse erfolgte durch einen in der Diagnostik der NNH erfahrenen Radiologen. Die gewonnenen Ergebnisse wurden mit den Resultaten der multiplanaren Auswertung verglichen und die Unterschiede analysiert.

3 Material und Methoden

3.1 Patienten

Die Patienten wurden im Zeitraum vom 01.01.2004 bis 31.12.2004 im Radiologischen Zentrum München Pasing untersucht. Es handelt sich um Patienten, die zu 88,35 % von HNO-Ärzten, zu 4,79 % von Allgemeinärzten, zu 3,84 % von Internisten und zu 3,02 % von anderen Ärzten (darunter Kieferchirurgen, Neurologen, Ophthalmologen, Kieferorthopäden und Pulmologen) zur Abklärung von chronischer Rhino-Sinusitis oder unklaren Kopfschmerzen mit Verdacht auf Sinusitis überwiesen wurden. Die Auswahl wurde bewusst auf ein ganzes Jahr angelegt, um die jahreszeitlich bedingten Schwankungen von Sinusitiden und damit verbundene Verschattungen im CT über ein Jahr zu mitteln und die Ergebnisse hierdurch nicht zu beeinträchtigen. Für die Arbeit wurden nur Untersuchungsdaten von Patienten ohne vorherige Operation an den NNH herangezogen.

3.2 Technische Daten der CT-Untersuchung

Alle Untersuchungen wurden an einem CT-Gerät Typ Lightspeed Ultra Advantage (GE Healthcare Technologies, Waukesa, Wisconsin, USA) in „low dose Technik“ (20 mAs) durchgeführt. Die Untersuchungsparameter waren: Röhrenspannung 120 kV, Schichtdicke 1,25 mm, Pitch 1, Kippung 0°. Der Pitchwert ist als Verhältnis von Tischvorschub pro Röhrenrotation zu Schichtkollimation definiert. Er liefert bei 1 die beste Auflösung in der Z-Achse und garantiert gleichzeitig eine nicht überlappende Abtastung des Patienten. Dies wiederum verhindert eine unnötige Strahlenbelastung des Patienten.

Die Analyse erfolgte mit multiplanarer Rekonstruktion am Computer in 1 mm überlappender Schichtdicke. Der zweite Teil der Studie wurde mit Hilfe koronarer Rekonstruktion am Computer in 3 mm Schichtdicke durchgeführt. Die Rekonstruktionen wurden mit der Software eFilm (Merge eMed: Milwaukee, USA) Version 1.8.3 realisiert.

3.3 Darstellungsmöglichkeiten der Inzidenz anatomischer Varianten

Bei der Analyse anatomischer Varianten der NNH Regionen ergibt sich folgendes Problem: Die NNH sind paarig angelegt. Deshalb können anatomische Varianten sowohl einseitig, als auch beidseitig vorkommen. In aktuellen Publikationen werden folgende Methoden der Berechnung verwendet:

1. **Inzidenz bezogen auf die Zahl der Patienten:** weist ein Patient eine anatomische Besonderheit auf beiden Seiten auf, so wird er nur einmal gezählt. (Beispielaussage: x % aller Patienten wiesen Agger nasi Zellen auf)
2. **Inzidenz bezogen auf die Zahl der Seiten:** um das Vorkommen dieser Variante insgesamt (Anzahl der Zellen) festzustellen, wird die anatomische Besonderheit auf $n = 641$ Patienten mit $n \times 2 = 1282$ (symmetrisch vorkommenden) Höhlen umgerechnet. (Beispielaussage: In x % aller untersuchten Sinus war die anatomische Variante zu finden.)

Methode Nr. 2 ist genauer und wurde deshalb bevorzugt verwendet. Methode 1 wurde zusätzlich angewendet, um die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit mit Studien zu vergleichen, welche diese Art der Ergebnisdarstellung gewählt haben. Bei der Erfassung werden in dieser Arbeit deshalb gelegentlich 2 Ergebnisse/Graphen angegeben, um die eigenen Ergebnisse mit denen aktueller Studien vergleichen zu können.

3.4 Anatomische Varianten

3.4.1 Begriffsdefinition „Zelle“

Anatomische Varianten der Nasennebenhöhlen bestehen zu einem großen Teil aus pneumatisierten Hohlräumen. Strukturen wie z.B. die Conchae nasales, das Nasenseptum oder die Crista galli können pneumatisiert sein. Bilden sich knöcherne Hohlräume im Bereich der Nasennebenhöhlen aus, die in das Lumen hineinragen, so spricht man von Zellen. Dieser Begriff wird nachfolgend nicht im mikroskopischen, sondern makroskopischen Sinne eingesetzt und beschreibt den eigenständigen, knöchernen Hohlraum, der mit Schleimhaut ausgekleidet ist und als anatomische Variante angesehen wird. Dieser Hohlraum grenzt sich von dem umgebenden Nasenraum ab. Viele Patienten weisen Septierungen auf, welche in

koronaren Schichten den Eindruck einer Zelle erwecken. Öffnete sich eine Seite dieser Septierung mit weitem Lumen in den Sinus, so wurde sie nicht als „Zelle“ gewertet. Als Grundlage für die Definition anatomischer Varianten dienten Veröffentlichungen von Stammberger et al. [22], Lee et al. [23] und Davis et al. [24].

3.4.2 Frontoethmoidale Zellen

Der Sinus frontalis wird entwicklungsgeschichtlich dem vorderen Siebbein zugeordnet und ist die Region mit den höchsten Anforderungen an den Chirurgen [25]. Der enge Recessus ist in Verbindung mit komplexer Anatomie häufig von Stenosen betroffen. Frontoethmoidale Zellen sind Zellen des vorderen Siebbeins und können vom Agger nasi ausgehen. Je nach Ausprägung reichen sie unterschiedlich weit in die Stirnhöhle hinein. Hierbei kann der Recessus frontalis stark eingengt werden. Besonders in der sagittalen CT-Rekonstruktion ist der Ursprung dieser Zellen gut sichtbar.

Pneumatisierte Knochenräume bzw. Zellen können je nach Lage und Größe die Luftwege der Nasennebenhöhlen beeinträchtigen. Im Bereich des vorderen Sinus ethmoidalis sind am häufigsten **Agger nasi Zellen** anzutreffen. Sie entstehen, wenn die Region unmittelbar vor dem Vorderrand der Concha nasalis media und unterhalb der Spina nasalis interna superior, im englischen auch „frontal beak“ genannt, pneumatisiert ist [22]. Diese sehr häufig anzutreffenden Zellen haben per se keine pathologische Bedeutung, können aber ab einer bestimmten Größe oder in Verbindung mit anderen frontoethmoidalen Zellen die Drainagewege des Sinus frontalis einengen. Dies kann im weiteren Verlauf zu Beschwerden im Sinne einer CRS führen.

Agger nasi Zellen müssen von einer anderen Variante unterschieden werden. Bei dem so genannten „Recessus terminalis“ inseriert der Processus uncinatus lateral an der Orbitawand (siehe 3.4.9) und bildet einen Hohlraum, der in koronarer Schnittebene mit einer Agger nasi Zelle verwechselt werden kann.

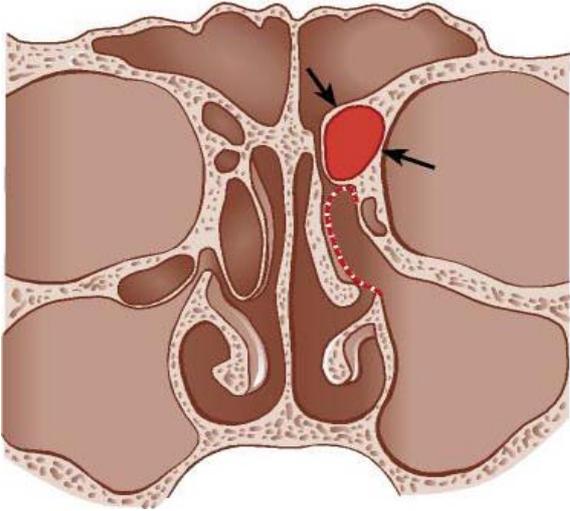


Abbildung 3-1: Schematische Darstellung einer Agger nasi Zelle links (Pfeile) und des Processus uncinatus (gestrichelte Linie).

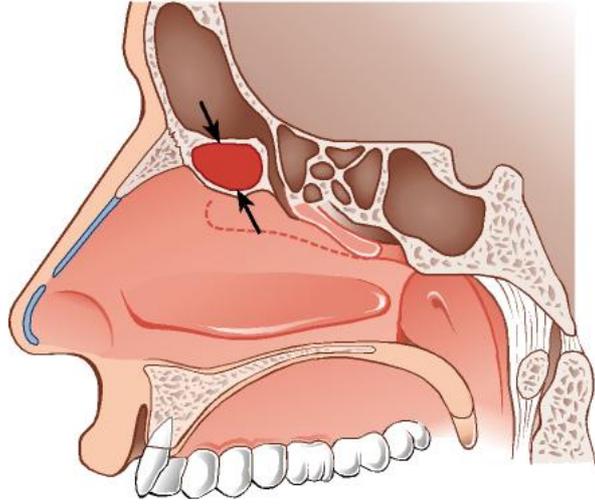


Abbildung 3-2: Schematische Darstellung einer Agger nasi Zelle in sagittaler Ebene.

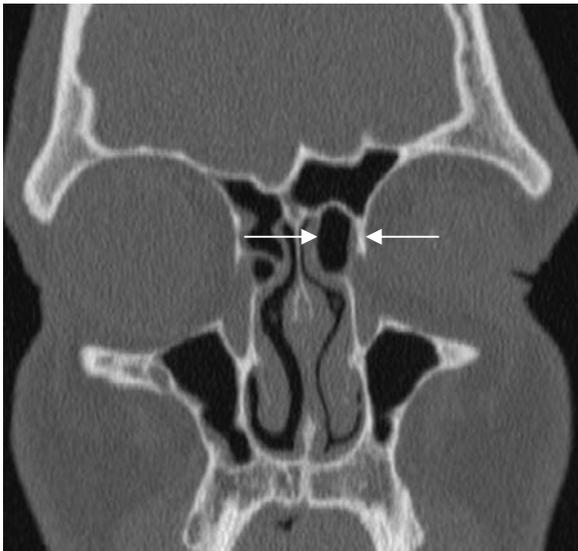


Abbildung 3-3: Agger nasi Zelle links in koronarer Ebene.

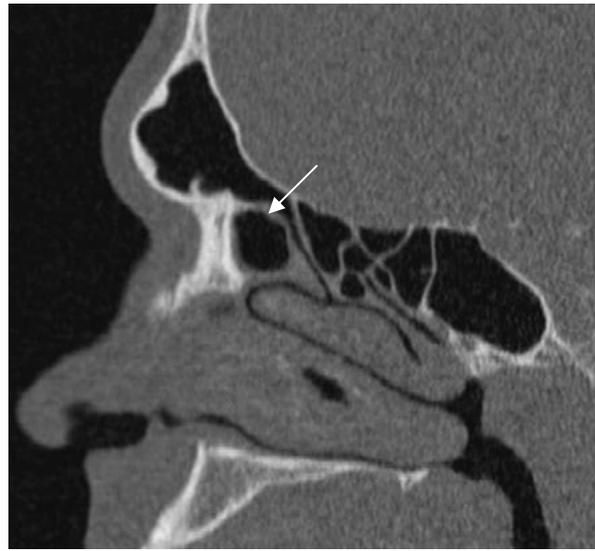


Abbildung 3-4: Agger nasi Zelle in sagittaler Ebene.

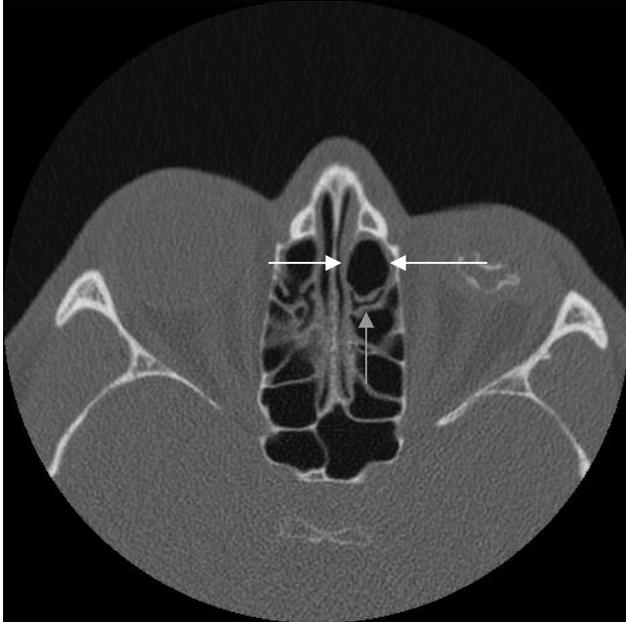


Abbildung 3-5: Agger nasi Zelle links in axialer Ebene (weiße Pfeile). Der Spalt direkt hinter der Zelle ist die Drainageroute im Recessus frontalis (grauer Pfeil).

Ebenfalls der Gruppe frontoethmoidaler Zellen zuzurechnen ist eine Variante, die nach ihrem Erstbeschreiber Kuhn in 4 Kategorien eingeteilt wird [23,26].

Frontoethmoidale Zelle nach Kuhn Typ 1 (K1-Zelle)

- Einzelne Zelle des vorderen Sinus ethmoidalis oberhalb einer Agger nasi Zelle
- Hinterwand ist nicht die Schädelbasis, sondern ein Teil des Recessus frontalis
- Identifizierung auf sagittalen und koronaren CT-Schichten

Frontoethmoidale Zelle nach Kuhn Typ 2 (K2-Zelle)

- Mehrere Zellen des vorderen Sinus ethmoidalis auf Höhe von oder oberhalb einer Agger nasi Zelle
- Hinterwand ist nicht die Schädelbasis sondern ein Teil des Recessus frontalis
- Spina nasalis anterior superior („frontal beak“) wird nicht überschritten
- Identifizierung auf sagittalen und koronaren CT-Schichten

Frontoethmoidale Zelle nach Kuhn Typ 3 (K3-Zelle)

- Einzelne, große Zelle oberhalb einer Agger nasi Zelle

- Pneumatisiert in den Boden des Sinus frontalis (oberhalb der Spina nasalis interna superior) oder weit in diesen hinein (jedoch nur bis maximal 50 % der Höhe des Sinus frontalis)
- Superiorer Anteil inseriert an der Vorderwand des Sinus frontalis
- Hinterwand ist nicht die Schädelbasis, sondern ein Teil des Recessus frontalis; eigenständige Rückwand in der Stirnhöhle
- Abtragung über Recessus frontalis möglich
- Identifizierung auf koronaren, sagittalen und axialen CT-Schichten

Frontoethmoidale Zelle Typ 4 (K4-Zelle)

- Seltene, isolierte Zelle innerhalb des Sinus frontalis und oberhalb einer Agger nasi Zelle
- Ausdehnung weit in den Sinus frontalis; mehr als 50 % der Höhe des Sinus frontalis (koronare Schichtung) [27]
- Anterior - inferiorer Anteil ist Vorderwand oder Boden des Sinus frontalis
- Hinterwand ist nicht die Schädelbasis; eigenständige Rückwand in der Stirnhöhle
- Identifizierung auf koronaren, sagittalen und axialen CT-Schichten

Beispiele zu frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn Typ 1

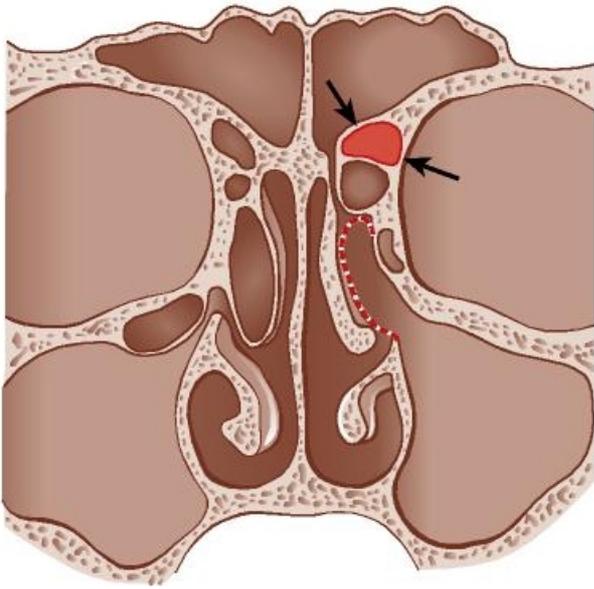


Abbildung 3-6: Schematische Darstellung einer K1-Zelle (Pfeile) oberhalb einer Agger nasi Zelle.

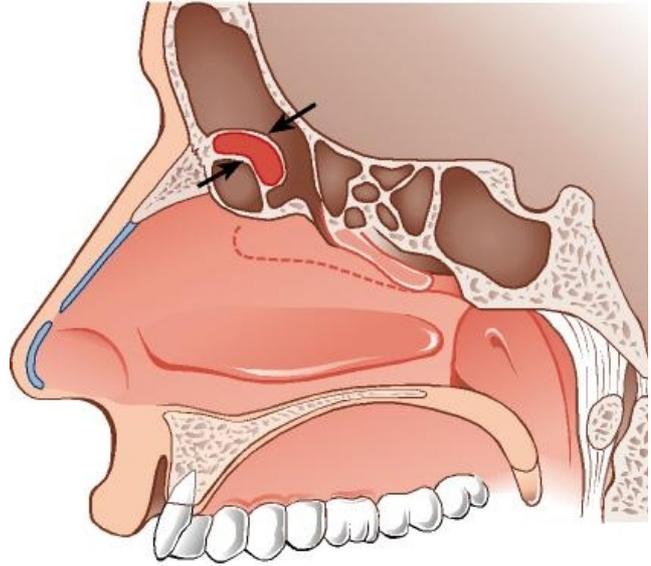


Abbildung 3-7: Schematische Darstellung einer K1-Zelle (Pfeile) oberhalb einer Agger nasi Zelle in sagittaler Ebene.

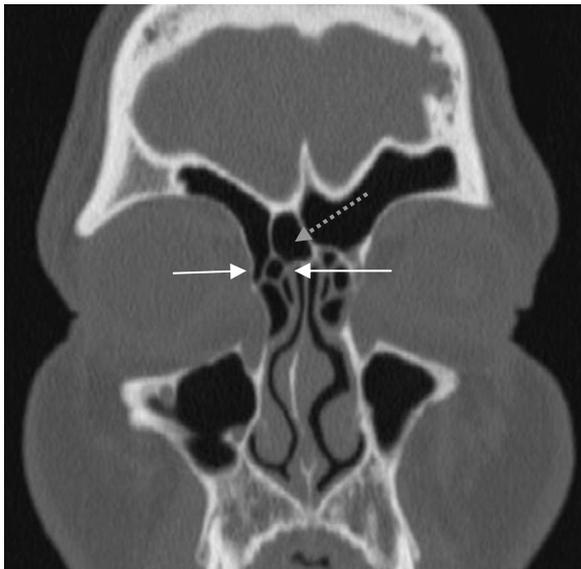


Abbildung 3-8: K1-Zelle rechts (weiße Pfeile). Zusätzlich pneumatisiertes Septum interfrontale (gestrichelter Pfeil).

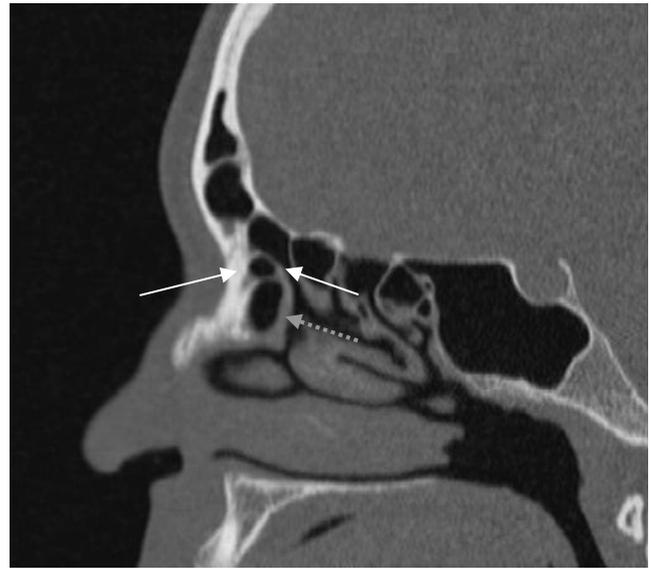


Abbildung 3-9: K1-Zelle (weiße Pfeile) oberhalb einer Agger nasi Zelle (gestrichelter Pfeil).

Beispiele zu frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn Typ 2

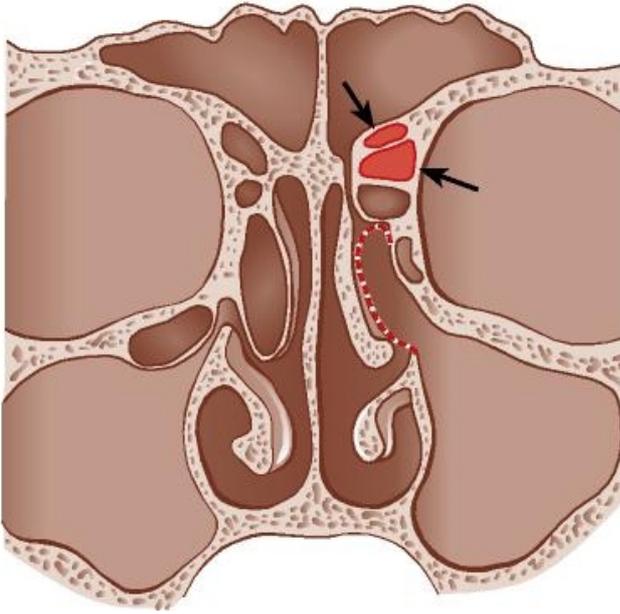


Abbildung 3-10: Schematische Darstellung der K2 Zellen (Pfeile) oberhalb einer Agger nasi Zelle in koronarer Ebene.

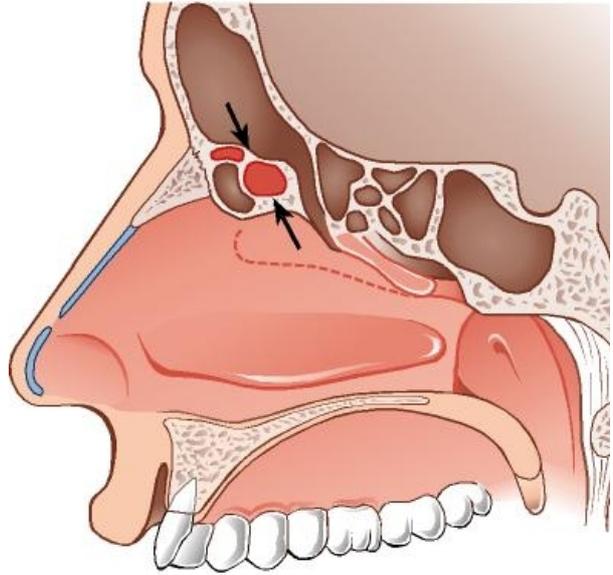


Abbildung 3-11: Schematische Darstellung der K2-Zellen (Pfeile) in sagittaler Ebene.

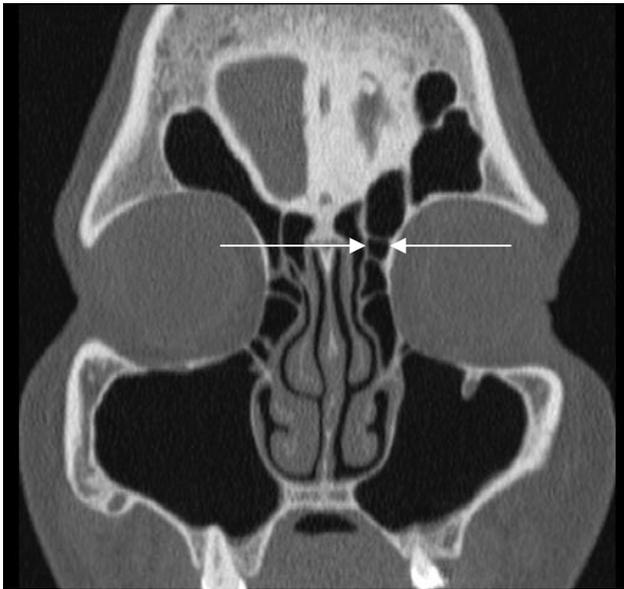


Abbildung 3-12: K2-Zellen links (weiße Pfeile).



Abbildung 3-13: Mehrere K2-Zellen oberhalb einer Agger nasi Zelle (weiße Pfeile).

Beispiele zu frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn Typ 3

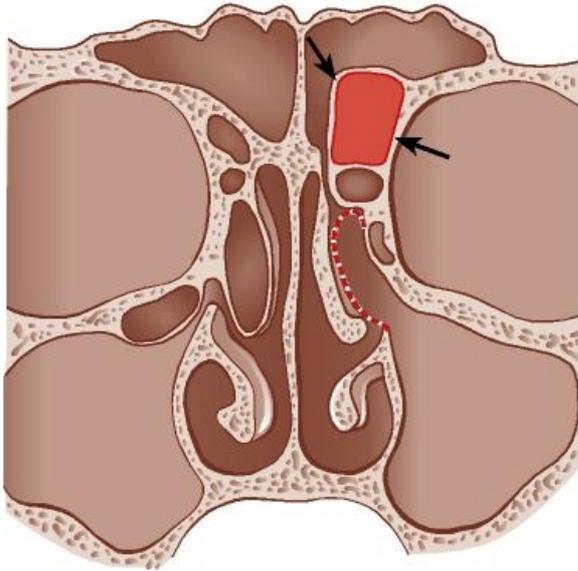


Abbildung 3-14: Schematische Darstellung einer K3-Zelle oberhalb der Agger nasi Zelle in koronarer Darstellung.

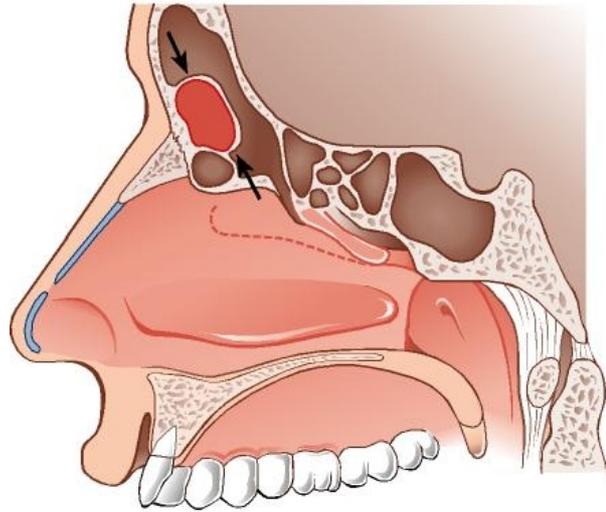


Abbildung 3-15: Schematische Darstellung einer K3-Zelle in sagittaler Darstellung.

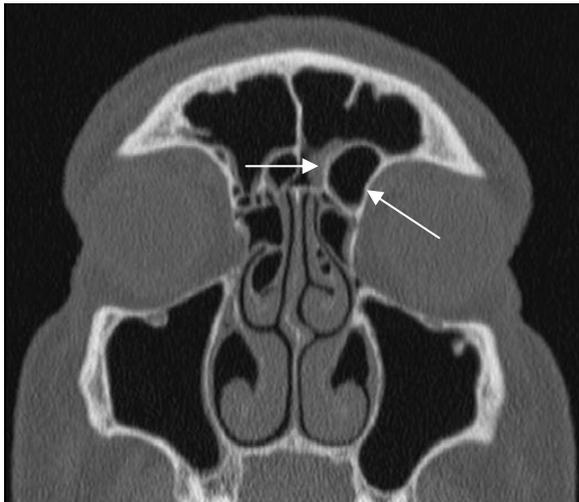


Abbildung 3-16: K3-Zelle oberhalb einer Agger nasi Zelle (weiße Pfeile) auf der linken Seite.



Abbildung 3-17: Schnitt durch eine K3-Zelle in sagittaler Ebene (weiße Pfeile).

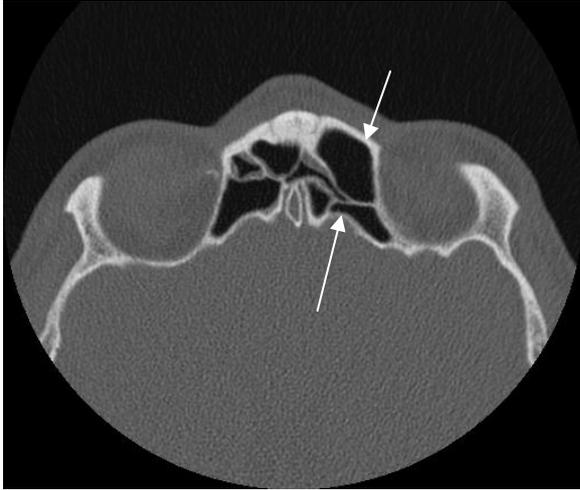


Abbildung 3-18: Axiale Darstellung der K3-Zelle. Erkennbar ist die eigenständige Rückwand im Sinus frontalis.

Beispiele zu frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn Typ 4

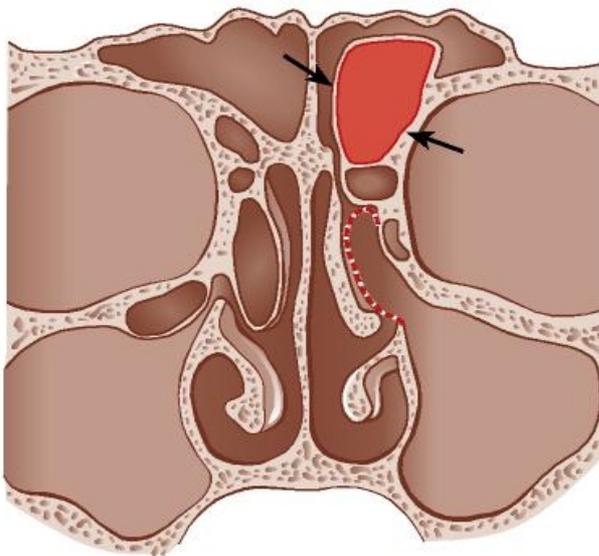


Abbildung 3-19: Schematische Darstellung einer K4-Zelle in koronarer Ebene.

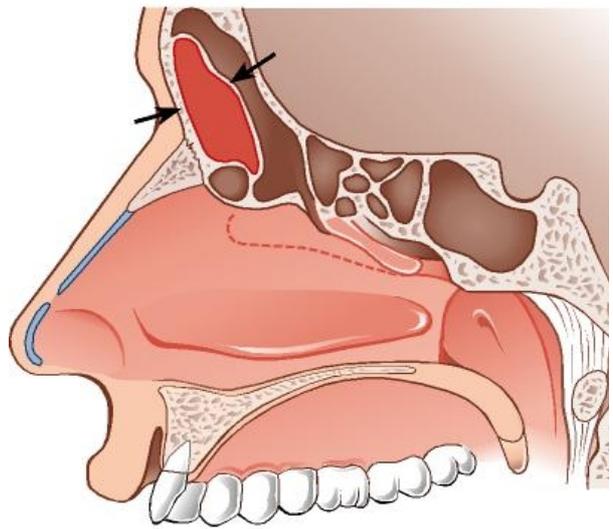


Abbildung 3-20: Schematische Darstellung einer K4-Zelle in sagittaler Ebene.



Abbildung 3-21: K4-Zelle auf der linken Seite. Zur Verdeutlichung ist die 50 %-Höhenmarkierung als weiße Linie eingezeichnet.



Abbildung 3-22: Sagittale Darstellung der K4-Zelle auf der linken Seite. Die 50 %-Höhenmarkierung ist überschritten.

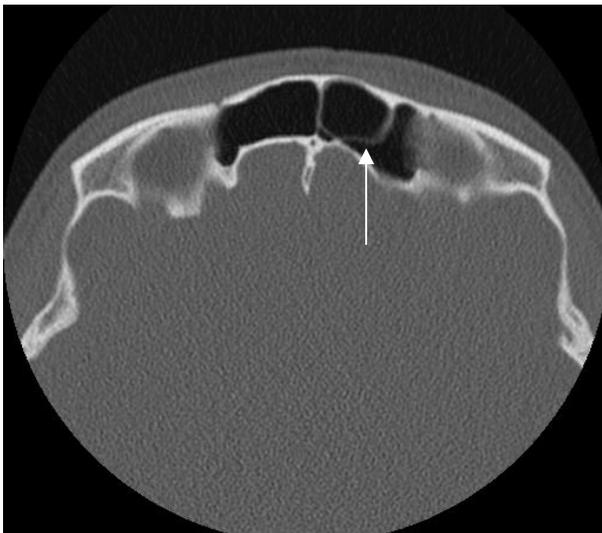


Abbildung 3-23: Axiale Darstellung der K4-Zelle auf der linken Seite. Erkennbar ist die eigenständige Rückwand im Sinus frontalis.

Das Merkmal jeder frontoethmoidalen Zelle nach Kuhn ist die eigenständige hintere Zellwand. Die Rückwand dieser Zellen ist von der Schädelbasis getrennt erkennbar. Dies ist wichtig zur Differenzierung gegenüber einer Bulla frontalis oder einer suprabullären Zelle, welche im Folgenden erklärt werden.

Die **Bulla frontalis** liegt oberhalb der Bulla ethmoidalis und reicht in die Stirnhöhle hinein. Ihre Rückwand ist die Schädelbasis. Dieser Unterschied grenzt diese Variante von frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn Typ 3 und 4 ab. Die Vorderwand der Zelle ist eigenständig im Sinus frontalis. In nur koronarer Schichtung ist die Bulla frontalis einer frontoethmoidalen Zelle Typ 3 sehr ähnlich und kann von dieser nicht unterschieden werden.



Abbildung 3-24: Bulla frontalis auf der rechten Seite in koronarer Darstellung.

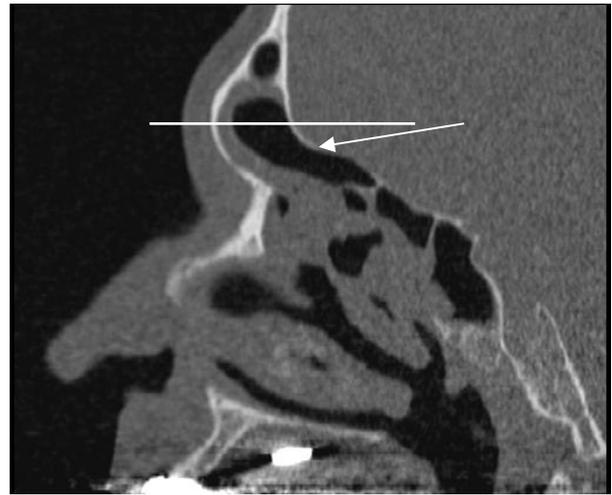


Abbildung 3-25: Sagittale Darstellung der Bulla frontalis rechts.

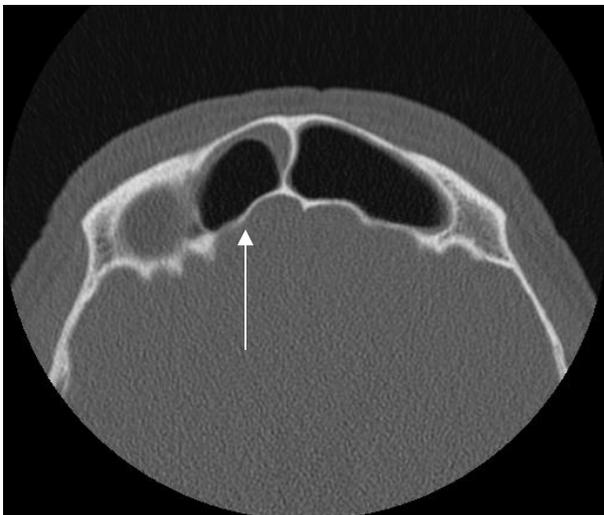


Abbildung 3-26: Axiale Darstellung der Bulla frontalis. Erkennbar ist, dass die Hinterwand der Zelle die Schädelbasis ist.

Abbildung 3-24 zeigt die koronare Darstellung einer Bulla frontalis. Die weiße Linie markiert die 50 % Höhenlinie. In der koronaren Darstellung könnte sie mit einer K4-Zelle verwechselt werden. Erst die sagittale (Abbildung 3-25) und axiale (Abbildung 3-26) Schichtung zeigen, dass sich die Zelle an der Hinterwand des Sinus frontalis befindet (weiße Pfeile). Auch

pneumatisiert sie nicht vom Bereich des Agger nasi aus in die Stirnhöhle, sondern erreicht den Recessus frontalis ausgehend von dem Bereich oberhalb der Bulla ethmoidalis.

Die größte Ähnlichkeit in rein koronarer Ebene besteht zwischen einer frontoethmoidalen Zelle nach Kuhn Typ 3 (K3-Zelle) und einer Bulla frontalis. Abbildung 3-27 bis Abbildung 3-32 zeigen die Ähnlichkeit in koronarer Ebene und Unterschiede in sagittaler und axialer Ebene auf.

Bulla frontalis



Abbildung 3-27: Konfiguration Bulla frontalis.

K3-Zelle



Abbildung 3-28: Konfiguration K3-Zelle.



Abbildung 3-29: Konfiguration Bulla frontalis. Die Rückwand der Zelle ist die Schädelbasis.

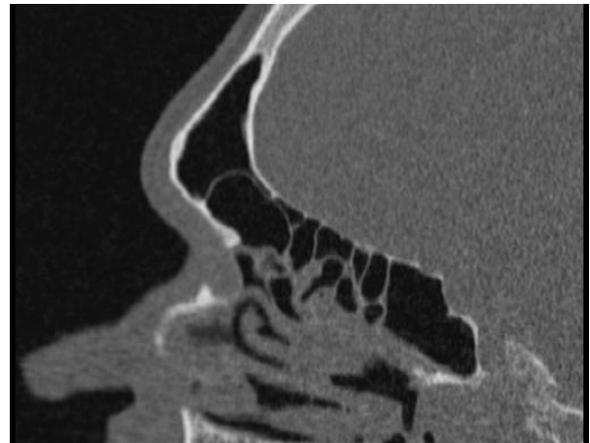


Abbildung 3-30: Konfiguration K3-Zelle. Die Vorderwand der Zelle ist die Vorderwand des Sinus frontalis.

Bulla frontalis

Abbildung 3-31: Konfiguration Bulla frontalis. Die Rückwand der Zelle ist die Schädelbasis.

K3-Zelle

Abbildung 3-32: Konfiguration K3-Zelle. Die Vorderwand der Zelle ist die Vorderwand des Sinus frontalis.

Abbildung 3-27 und Abbildung 3-28 verdeutlichen die Problematik bei der Unterscheidung einer Bulla frontalis von einer K3-Zelle in rein koronarer Darstellung. Erst durch sagittale (Abbildung 3-29, Abbildung 3-30) sowie axiale (Abbildung 3-31, Abbildung 3-32) Schichten lässt sich die vorherrschende Anatomie eindeutig klären. Die Bulla frontalis besitzt eine eigenständige Vorderwand im Sinus frontalis, die K3-Zelle eine eigenständige Rückwand. Zur Operationsplanung ist die Kenntnis dieses Unterschieds unerlässlich, da ansonsten eine intraoperative Verletzung der vorderen Schädelbasis die Folge sein kann.

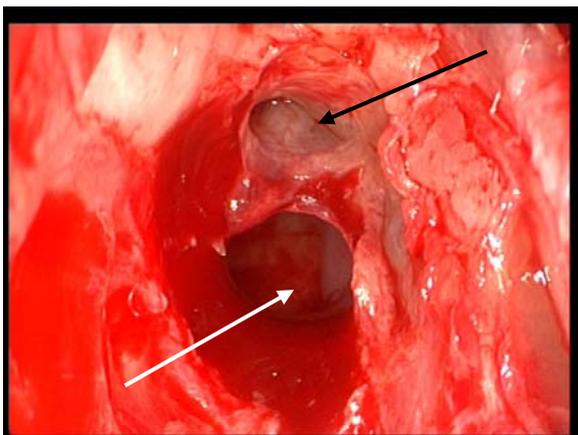


Abbildung 3-33: Konfiguration Bulla frontalis

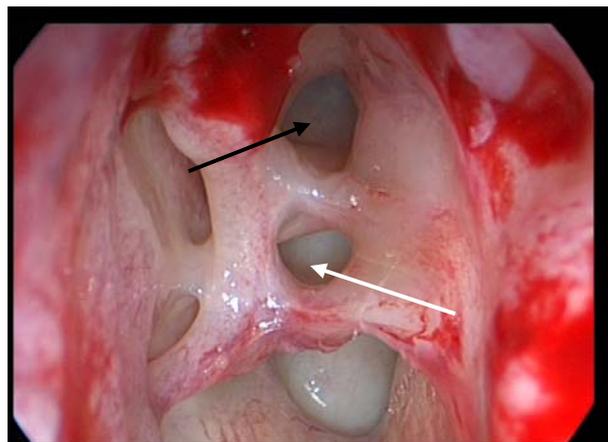


Abbildung 3-34: Konfiguration K3-Zelle

Abbildung 3-33 zeigt den Recessus frontalis unter Verwendung einer 45°-Optik. Die Stirnhöhlendrainage ist durch eine Bulla frontalis beeinträchtigt. Der weiße Pfeil markiert den Eingang in die Bulla frontalis, der schwarze Pfeil zeigt den Weg in die Stirnhöhle. Abbildung

3-34 stellt den Blick in den Recessus frontalis mit einer K3-Zelle ebenfalls unter Verwendung einer 45°-Optik dar. Der schwarze Pfeil zeigt auf die Öffnung der K3-Zelle, während durch den weißen Pfeil die Schädelbasis markiert ist.

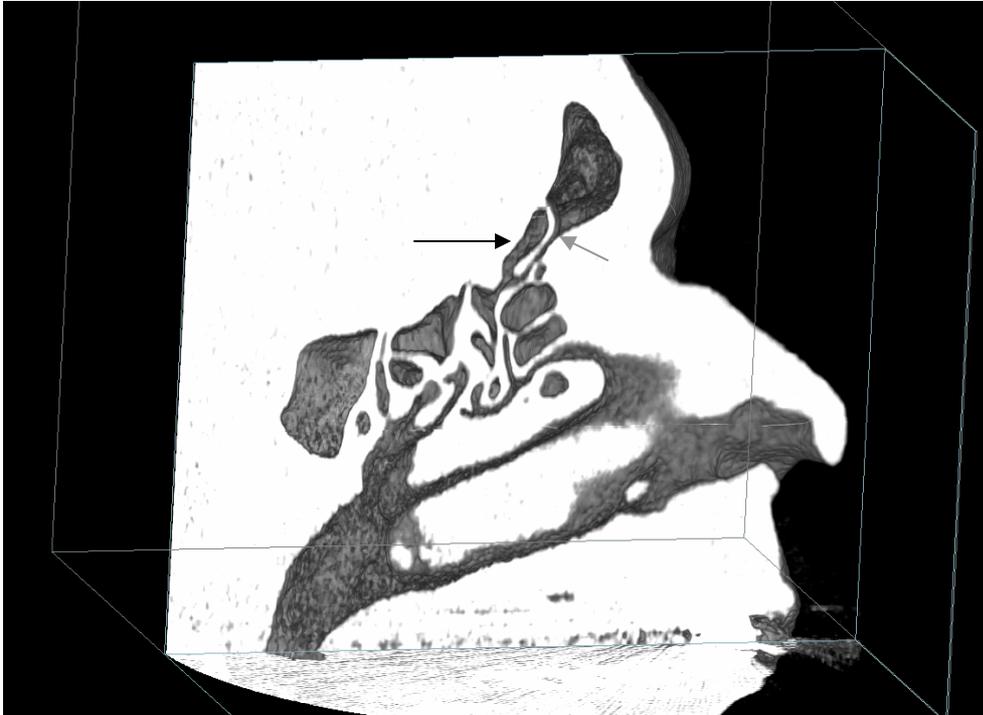


Abbildung 3-35: Dreidimensionale Rekonstruktion der pneumatisierten Räume der Nase. Darstellung einer Bulla frontalis (schwarzer Pfeil). Der graue Pfeil zeigt auf die Drainageroute der Stirnhöhle, welche durch eine Bulla frontalis beeinträchtigt ist.

Abbildung 3-35 zeigt die dreidimensionale Rekonstruktion der pneumatisierten Räume der Nase. Der schwarze Pfeil markiert eine Bulla frontalis, deren vordere Wand sich frei im Sinus frontalis befindet. Erkennbar ist der stark verengte Recessus frontalis mit Infundibulum frontale (grauer Pfeil), durch den Sekret der Stirnhöhle transportiert werden muss.

Zellen des Septum interfrontale entstehen durch Pneumatisation des Septums zwischen den beiden Stirnhöhlen. Diese Zellen drainieren meist in den Recessus frontalis und verlagern die Drainageroute des Sinus frontalis nach lateral. Häufig unterscheidet sich diese anatomische Variante lediglich durch ihre mediale Wand, die gleichzeitig auch das Septum des Sinus frontalis ist, von einer K3-Zelle. Je nach Größe der Kontaktfläche mit dem Septum interfrontale und Ausdehnung innerhalb der Stirnhöhle können diese Zellen auch mit K4-Zellen verwechselt werden. Hier ist vor allem die axiale Ebene mit möglichst vielen und dünnen Schichten wichtig, um eine sichere Unterscheidung zu ermöglichen.



Abbildung 3-36: Pneumatisiertes Septum interfrontale (weiße Pfeile) in koronarer Schichtebene.

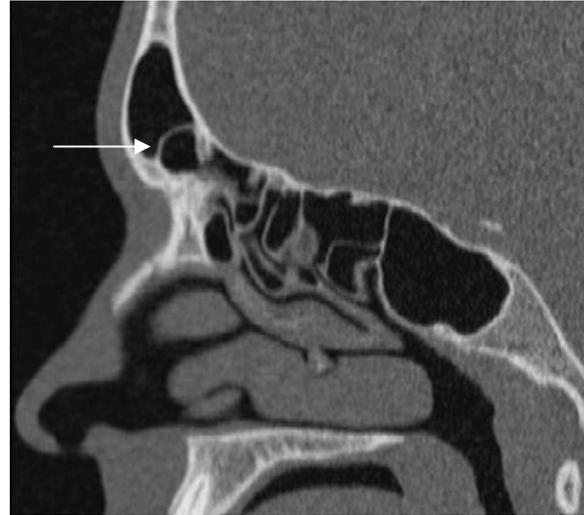


Abbildung 3-37: Pneumatisiertes Septum interfrontale (weißer Pfeil) in sagittaler Schichtebene.



Abbildung 3-38: Pneumatisiertes Septum interfrontale (weiße Pfeile) in axialer Schichtebene.

Supraorbitale Zellen sind luftgefüllte Hohlräume oberhalb der Orbita, die ihren Ursprung im Recessus frontalis haben. Sie erstrecken sich allerdings weiter nach okzipital und lateral des Sinus frontalis als die anderen frontoethmoidalen Zellen. In der koronaren Schnittführung ist erkennbar, dass sich der pneumatisierte Raum bis hinter die Arteria ethmoidalis anterior erstreckt. Der Durchtritt dieser Arterie ist an der pyramidenförmigen Struktur der Orbita (siehe Abbildung 3-39) zu erkennen.

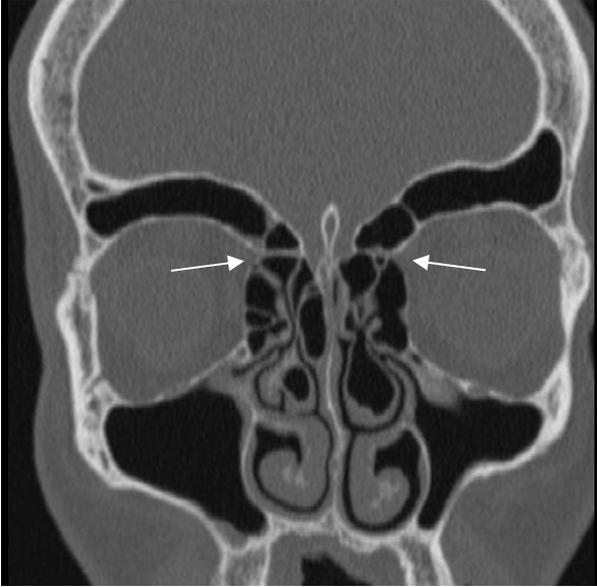


Abbildung 3-39: Supraorbitale Zellen mit Durchtritt der A. ethmoidalis anterior (weiße Pfeile). Typisch ist die pyramidenartige Form der Orbita im Bereich der Durchtrittsstelle.

3.4.3 Pneumatisierte Crista galli

Die **pneumatisierte Crista galli** ist besonders gut in der koronaren Ebene der CT-Untersuchung zu erkennen und tritt häufig in Kombination mit einem pneumatisierten Septum interfrontale auf.

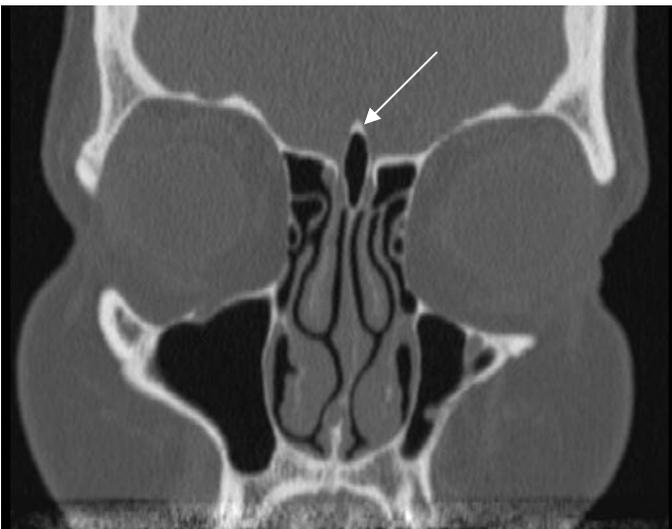


Abbildung 3-40: Pneumatisierte Crista galli (weißer Pfeil).

3.4.4 Niveauunterschiede der Fossa olfactoria

In der **Fossa olfactoria** verläuft der Bulbus olfactorius. Die Fila olfactoria treten im Bereich der Lamina cribrosa in die Nasenhaupthöhle aus. Die knöcherne Grenze zwischen intra- und extrakraniellern Raum ist mit einer Wandstärke zwischen 0,2 und 0,05 mm extrem anfällig für Penetrationen durch chirurgische Instrumente [28-30]. Zusätzlich können Niveauunterschiede der horizontalen Ebene von Siebbeindach und Lamina cribrosa auftreten. Die Einteilung erfolgt entsprechend der Tiefe der lateralen Wand der Lamina cribrosa in Beziehung zum Siebbeindach nach Keros [31].

Keros-Klassifikation

Typ I	1 – 3 mm (Siebbeindach auf Höhe der Lamina cribrosa)
Typ II	4 – 7 mm
Typ III	8 – 16 mm (Siebbeindach signifikant höher als Lamina cribrosa: „dangerous ethmoid“ [32])

Tabelle 3-1

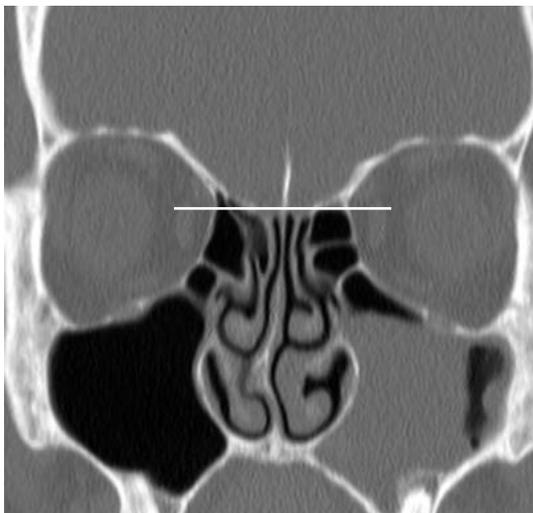


Abbildung 3-41: Keros Typ 1.

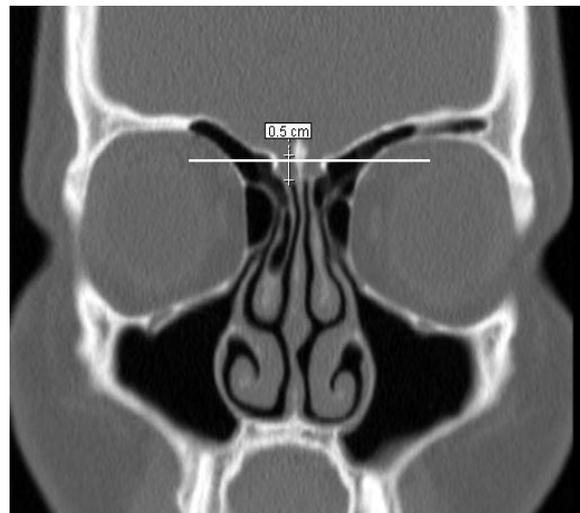


Abbildung 3-42: Keros Typ 2.

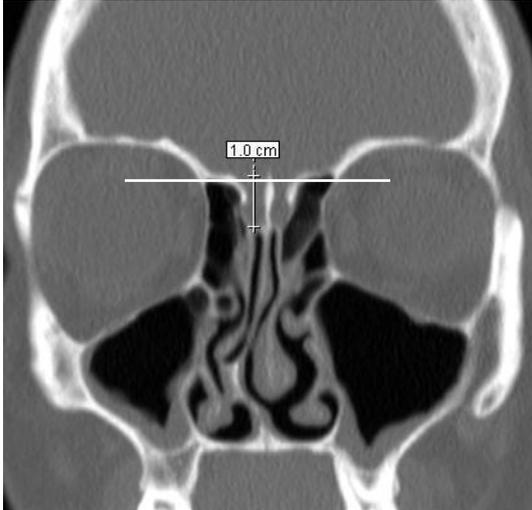


Abbildung 3-43: Keros Typ 3.

3.4.5 Suprabulläre Zellen

Eine **suprabulläre Zelle** ist ein weiterer pneumatisierter Raum oberhalb der Bulla ethmoidalis. Die obere Begrenzung dieser Zelle ist gleichzeitig die Schädelbasis. Der Ursprung bzw. Ansatz dieser Zelle ist einer Bulla frontalis sehr ähnlich, nur reicht deren Vorderwand nicht über die Spina nasalis interna superior hinaus. Sie hat damit keinen unmittelbaren Kontakt zum Sinus frontalis und reicht nicht in das Lumen hinein, kann aber die Drainageroute der Stirnhöhle von okzipital blockieren.

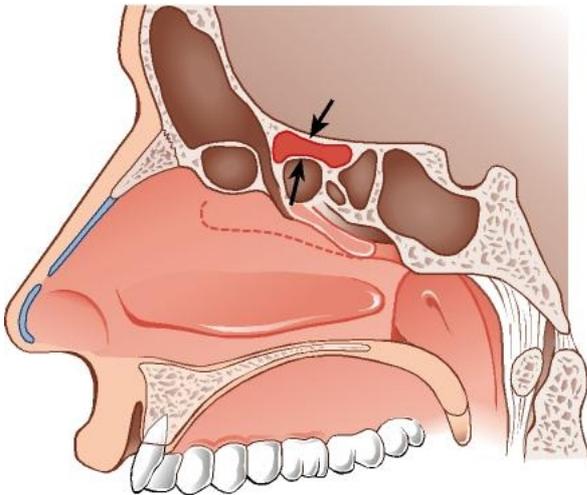


Abbildung 3-44: Schematische Darstellung einer suprabullären Zelle in sagittaler Schicht.



Abbildung 3-45: Sagittale Darstellung einer suprabullären Zelle (weißer Pfeil).

3.4.6 Onodi-Zellen

Onodi-Zellen sind Zellen des hinteren Siebbeins, die kranial und lateral der Keilbeinhöhle pneumatisieren. Diese wurden durch Onodi 1903 zum ersten Mal beschrieben [33]. Klinische Bedeutung erhält diese anatomische Variante durch ihre unmittelbare Nähe zum Nervus opticus. Dieser kann direkt neben oder sogar frei durch die Onodi-Zelle verlaufen. Die Gefahr einer iatrogenen Läsion des Nervus opticus ist bei Unkenntnis dieser Variation besonders hoch [30]. Koronare und axiale Ebenen der NNH-Computertomographie können den Verlauf des Nervus opticus sehr gut darstellen und durch Kenntnis die Gefahr einer Läsion reduzieren. Eine weitere gefährdete Struktur ist die Arteria carotis interna, welche bei einer ausgedehnten Onodi-Zelle an deren Seiten- und Hinterwand verlaufen kann. Um Verletzungen dieser Strukturen zu vermeiden, ist es für den Rhinochirurgen entscheidend, eine präzise radiologische Darstellung der vorherrschenden Anatomie vorliegen zu haben [34].

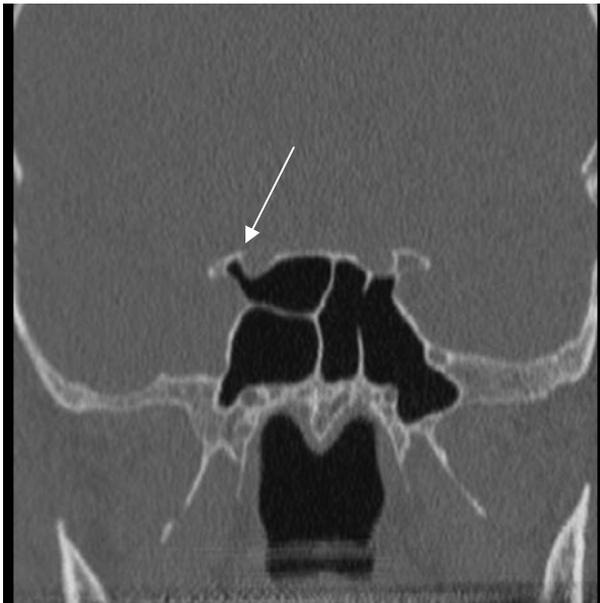


Abbildung 3-46: Koronarer Anschnitt des N. opticus mit Verlauf durch eine Onodi-Zelle (weißer Pfeil).



Abbildung 3-47: Axiale Darstellung des Verlaufs des N. opticus (weiße Pfeile).

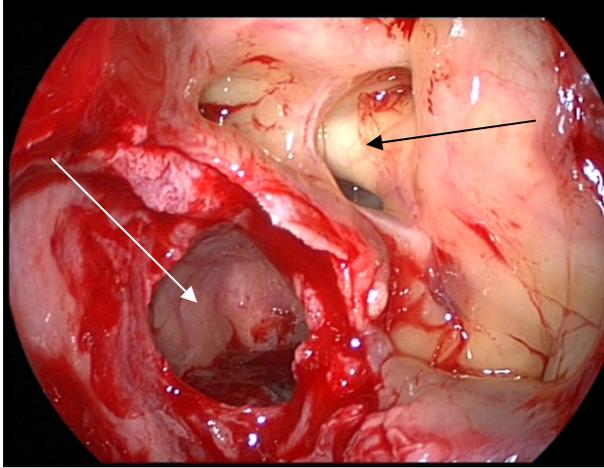


Abbildung 3-48: Endoskopischer Blick in ein eröffnetes hinteres Siebbein mit N. opticus (schwarzer Pfeil) und darunter die eröffnete Keilbeinhöhle (weißer Pfeil).

3.4.7 Haller-Zellen

Infraorbitale Zellen, auch Haller-Zellen (Erstbeschreibung durch Haller 1765) genannt, sind Zellen des vorderen Siebbeins, die weit lateral lokalisiert sind [22,35]. Sie haben in ihrer Entwicklung unter die Orbita pneumatisiert. Diese Zellen können den Recessus maxillaris beeinträchtigen und die Drainage der Kieferhöhle blockieren. Große Haller-Zellen können den posterioren Anteil des Infundibulum ethmoidale beeinträchtigen und damit eine Blockade des ostiomeatalen Komplexes verursachen, welcher als Schlüsselregion für die Ausbreitung von Entzündungen der Nasennebenhöhlen gilt.

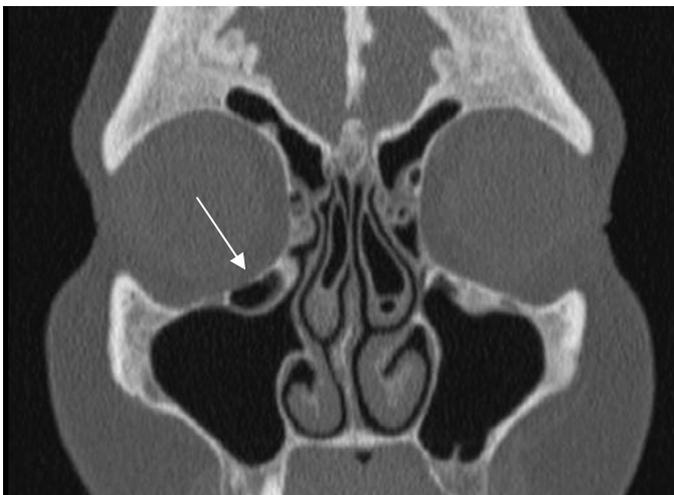


Abbildung 3-49: Haller-Zelle rechts (weißer Pfeil).

3.4.8 Conchae bullosae

Eine Concha bullosa ist eine pneumatisierte Concha nasalis. Meist sind die mittleren Nasenmuscheln betroffen. Die Ausprägung der Pneumatisation des vorderen und hinteren Teils der Concha kann sehr unterschiedlich sein. Je nach Größe können sie ein Atemhindernis darstellen oder die Ventilation des Sinus maxillaris beeinträchtigen. Bei Schleimhautkontakt kann auch die Funktion des ostiomeatalen Komplexes gefährdet sein. Symptome können Kopfschmerzen auch ohne Entzündungszeichen sein [34]. Als Kriterium zur Bewertung der Conchae bullosae wurde die pneumatisierte Fläche der Concha in der koronaren Ebene herangezogen. Eine Volumenvermessung ist in den zweidimensionalen Bildern bei solch kleinen Volumina nur sehr bedingt möglich. Ab einer pneumatisierten Fläche von $0,3 \text{ cm}^2$ wurde deshalb eine Concha nasalis als Concha bullosa gewertet (siehe Abbildung 3-50).

Eine weitere anatomische Variante ist die **inverse Concha nasalis**. Diese anatomische Variante kann bei der Concha nasalis superior, media und inferior auftreten. Bei ihr ist die konvexe Seite der Nasenmuschel der lateralen Nasenwand zugewandt.

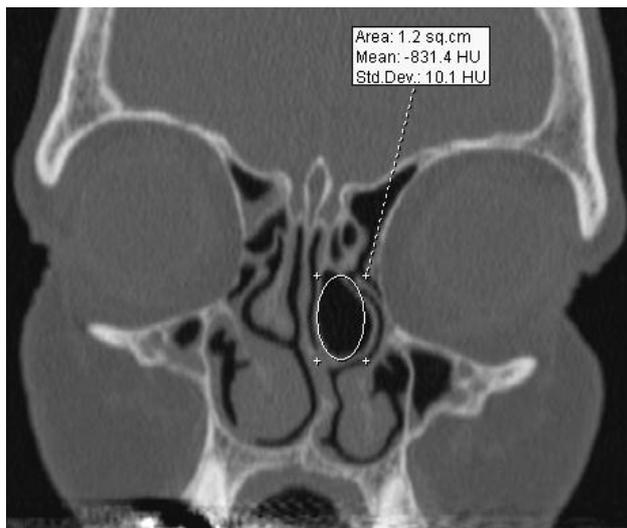


Abbildung 3-50: Flächenberechnung einer Concha bullosa.

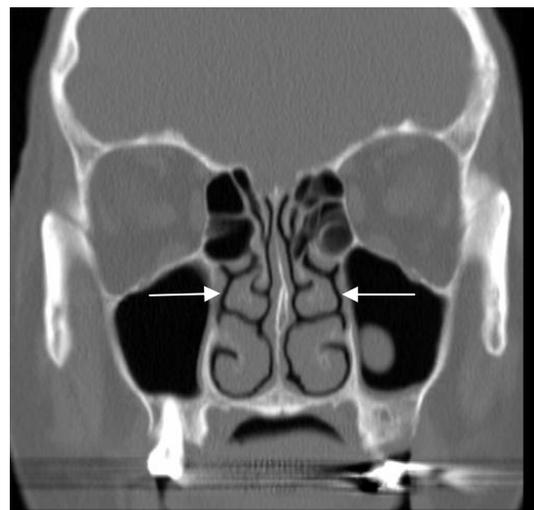


Abbildung 3-51: Inverse Concha nasalis media auf beiden Seiten (weiße Pfeile).

3.4.9 Variationen des Processus uncinatus

Der **Processus uncinatus** ist eine dünne Knochenplatte der lateralen Nasenwand und kann verschiedene Verlaufsformen annehmen. Seine sagittale Ebene verläuft von vorne oben nach unten hinten und besitzt einen konkaven Hinterrand. Dieser bildet mit der konvexen vorderen Wand der Bulla ethmoidalis einen schmalen Hohlraum. Der kraniale Teil kann drei

verschiedene Verläufe aufweisen. Als Kontaktflächen kommen die Concha nasalis media, die Schädelbasis oder die Lamina papyracea vor. Der Processus uncinatus kann auch pneumatisiert sein und dadurch ein Drainagehindernis im Bereich des ostiomeatalen Komplexes darstellen (siehe Abbildung 3-55).

Die drei Verlaufsformen des Processus uncinatus sind:

- I: Insertion an der Concha nasalis media (Abbildung 3-52)
- II: Insertion an der Schädelbasis (Abbildung 3-53)
- III: Insertion an der Lamina papyracea mit Bildung eines Recessus terminalis (Abbildung 3-54)

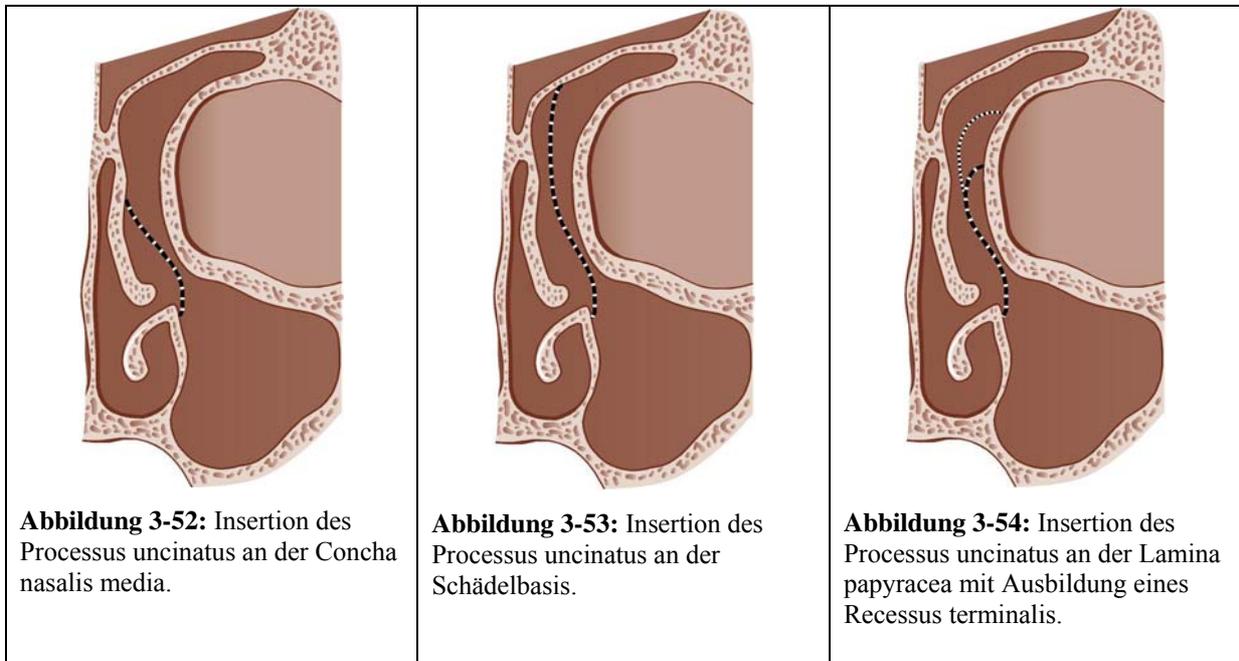




Abbildung 3-55: Pneumatizierter Processus uncinatus auf der linken Patientenseite (weißer Pfeil).

3.5 Auswertung der anatomischen Varianten

3.5.1 Software

Die Patientendaten wurden mit dem Programm eFilm medical, Version 1.8.3 der Firma Merge eMed (Milwaukee, USA) ausgewertet. Diese Software ermöglicht die Erstellung beliebiger Schnittebenen aus dem axialen Primärdatensatz (DICOM-Format). Abbildung 3-56 zeigt die Arbeitsoberfläche des Programms eFilm mit den axialen Primärschichten rechts unten und links oben als Navigationsebene sowie die sagittale und koronare Rekonstruktionsebene rechts oben bzw. links unten.

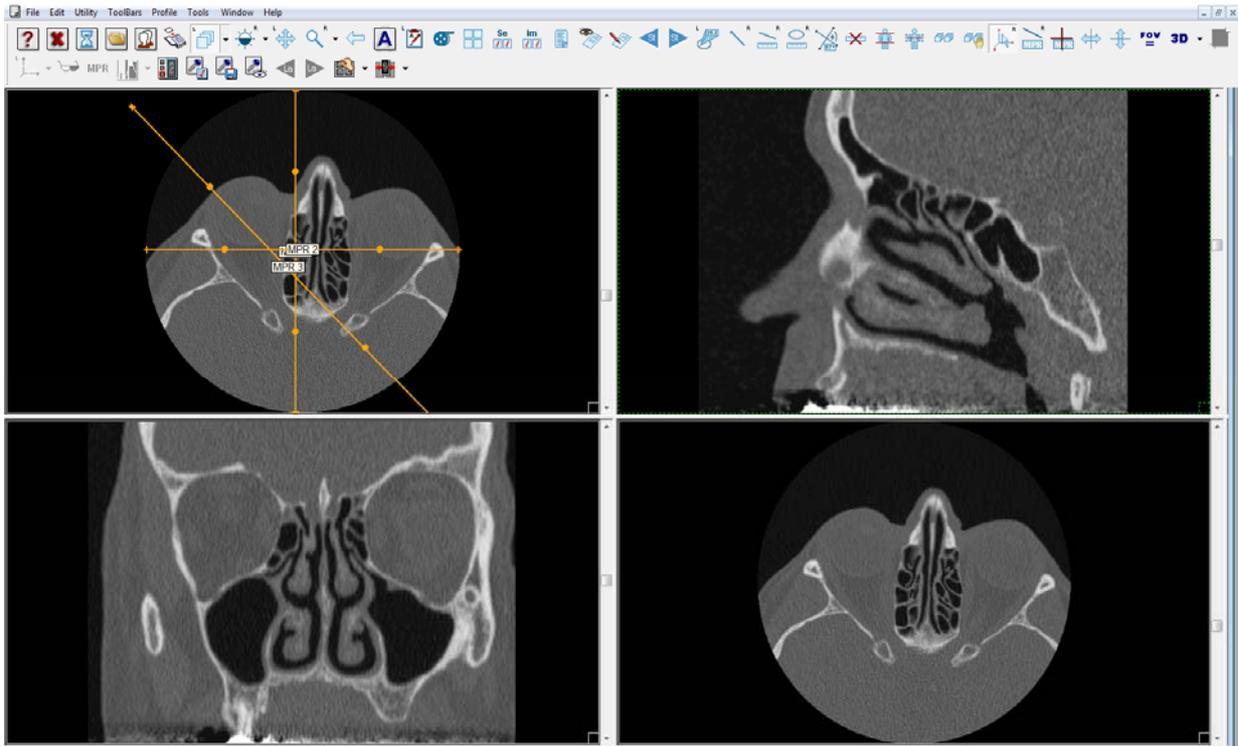


Abbildung 3-56: Arbeitsoberfläche des Auswertungsprogramms eFilm.

3.5.2 Muster des Auswertungsbogens

In der Auswertung wurden anatomische Varianten, die Verschattungsgrade der einzelnen Sinus nach dem Staging-System von Lund & Mackay [36] und der Zusammenhang zwischen einem Entzündungsherd im Oberkiefer und einer pathologischen Schleimhautreaktion des darüber liegenden Sinus maxillaris analysiert.

Zur Erfassung der analysierten Daten diente ein Microsoft Access Formular (siehe Abbildung 3-57).

Abbildung 3-57: Microsoft Access Formular zur Erfassung anatomischer Varianten.

Folgende anatomische Varianten wurden in dem Auswertungsformular erfasst. Da bei einigen Varianten Unterteilungen in verschiedene Ausprägungsgrade erforderlich waren, sind in den Beispieltabellen die Einteilungen grau dargestellt.

Frontoethmoidale Zellen:

	rechte Patientenseite	linke Patientenseite
Agger nasi Zelle	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>
Frontoethmoidale Zelle nach Kuhn	<i>nicht vorhanden / Typ 1 bis Typ 4</i>	<i>nicht vorhanden / Typ 1 bis Typ 4</i>
Zelle des Septum interfrontale	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>
Bulla frontalis	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>
Supraorbitale Zelle	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>

Tabelle 3-2

Crista galli und Fossa olfactoria:

Weiter wurden die Crista galli auf Pneumatisierung untersucht und die Fossa olfactoria nach Keros [31] klassifiziert.

Pneumatisierte Crista galli	<i>ja / nein</i>
Fossa olfactoria nach Keros	<i>Typ I - III</i>

Tabelle 3-3**Processus uncinatus:**

	rechte Patientenseite	linke Patientenseite
Processus uncinatus Verlaufsform	<i>Typ I-III</i>	<i>Typ I-III</i>
Processus uncinatus pneumatisiert	<i>ja / nein</i>	<i>ja / nein</i>

Tabelle 3-4**Suprabulläre und Onodi-Zellen:**

	rechte Patientenseite	linke Patientenseite
Suprabulläre Zelle	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>
Onodi-Zelle	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>

Tabelle 3-5**Wandbeurteilung des Sinus sphenoidalis und Processus clinoides:**

	rechte Patientenseite	linke Patientenseite
Knöcherner Dehiszenz der Arteria carotis interna im Sinus sphenoidalis	<i>ja / nein</i>	<i>ja / nein</i>
Pneumatisierter Processus clinoides	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>

Tabelle 3-6

Haller-Zellen, Conchae und Septum:

Die Einteilung der Haller-Zellen beschränkt sich auf vorhanden/nicht vorhanden. Bei einer pneumatisierten Nasenmuschel wurde die lufthaltige Fläche in der koronaren Schnittebene bestimmt.

	linke Patientenseite	rechte Patientenseite
Haller-Zelle	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>
Concha bullosa	<i>superior / media / inferior mit 2-dimensionaler Flächenbestimmung</i>	<i>superior / media / inferior mit 2-dimensionaler Flächenbestimmung</i>
Inverse Concha nasalis	<i>superior / media / inferior</i>	<i>superior / media / inferior</i>
Septumdeviation	<i>Angabe der Richtung (links, rechts) und Weite in mm</i>	<i>Angabe der Richtung (links, rechts) und Weite in mm</i>
Pneumatisiertes Septum	<i>ja / nein</i>	<i>ja / nein</i>

Tabelle 3-7

Schleimhautpathologien in den Nasennebenhöhlen:

Als Grundlage für die Beurteilung der Verschattung in den einzelnen Sinus wurde das Staging System nach Lund und Mackay [36] zugrunde gelegt. In diesem System wird der Verschattungsgrad jeder Nasennebenhöhle mit 0 (= keine Verschattung), 1 (= teilweise verschattet) oder 2 (= vollständig verschattet) festgelegt. Der Verschattungsgrad jeder Höhle wird addiert und ergibt maximal 24 Punkte (addiert für linke und rechte Patientenseite). Die Beurteilung der Verschattung ist stark vereinfacht, bietet aber den Vorteil einer minimierten Abweichung in der Interpretation der Verschattungsgrade, d.h., die Einteilung ist, soweit dies möglich ist, beobachterunabhängig [37].

0 Punkte	keine Verschattung
1 Punkt	teilweise Verschattung
2 Punkte	vollständige Verschattung

Tabelle 3-8

	rechte Patientenseite	linke Patientenseite
Sinus frontalis	<i>0-2 Punkte</i>	<i>0-2 Punkte</i>
Anteriorer Sinus ethmoidalis	<i>0-2 Punkte</i>	<i>0-2 Punkte</i>
Posteriorer Sinus ethmoidalis	<i>0-2 Punkte</i>	<i>0-2 Punkte</i>
Ostiomeataler Komplex	<i>0-2 Punkte</i>	<i>0-2 Punkte</i>
Sinus maxillaris	<i>0-2 Punkte</i>	<i>0-2 Punkte</i>
Sinus sphenoidalis	<i>0-2 Punkte</i>	<i>0-2 Punkte</i>

Tabelle 3-9

Entzündungsherd im Oberkiefer und Schleimhautpathologie des Sinus maxillaris:

Durch die Erfassung des Kieferhöhlenbodens einschließlich des Alveolarkamms war es möglich, den Zahnwurzelstatus des Oberkiefers mit hoher Auflösung zu beurteilen und apikale Entzündungsherde zu erfassen. Bei entzündlichen Prozessen wurde der darüberliegende Sinus maxillaris auf damit zusammenhängende Schleimhautpathologien analysiert.

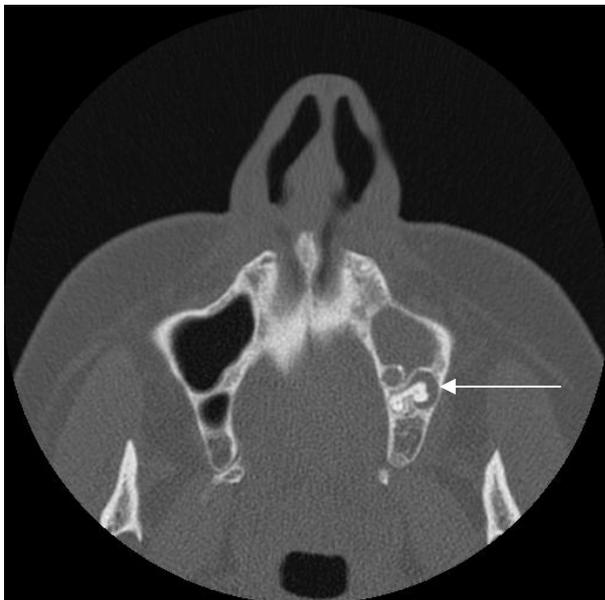


Abbildung 3-58: Entzündlicher Herd an einer Zahnwurzel auf der linken Patientenseite (weißer Pfeil).



Abbildung 3-59: Entzündlicher Herd in koronarer Reformatierung (weißer Pfeil) mit darüber liegender Schleimhautreaktion der Kieferhöhle.

Entzündlicher Herd der Zahnwurzel	<i>Position(-en)</i>
Fokale Verschattung im Sinus maxillaris	<i>ja / nein</i>
Totale Verschattung im Sinus maxillaris	<i>ja / nein</i>

Tabelle 3-10

3.6 Analyse des Vorteils multiplanarer CT-Rekonstruktionen

Um die Vorteile einer multiplanaren Diagnostik quantitativ zu erfassen, wurden 162 nicht selektierte CT-Untersuchungen aus der Gesamtzahl der vorliegenden Datensätzen ausgewählt und durch einen Assistenten in der Weiterbildung und einen erfahrenen Rhinochirurgen koronar und multiplanar ausgewertet. Zusätzlich erfolgte eine weitere, nur koronare Auswertung durch einen Schnittbild-erfahrenen Radiologen, um die Aussagekraft der üblicherweise nur koronaren Standardbildgebung und –befundung aus radiologischer Sicht vergleichen zu können. Die Untersuchungen dieser Patienten stammen aus dem Zeitraum vom 02.08.2004 bis 29.10.2004. Dieser Zeitraum wurde ausgewählt, um jahreszeitlich bedingte Schleimhautverschattungen aufgrund der Häufung von Infekten der NNH während der kalten Jahreszeit gering zu halten. Diese „Zweitauswertung“ fand zunächst in koronarer Ebene und anschließend mit multiplanaren Rekonstruktionen statt. Die koronare Auswertung in 3 mm Schichtabstand sollte für alle drei Untersucher den klinischen Alltag simulieren, in dem meist nur Bilder mit diesen Bedingungen zur Verfügung stehen. Die Anzahl der anatomischen Varianten wurde auf die für den Sinus frontalis relevanten Kriterien begrenzt und in einem Microsoft Access Formular erfasst:

Abbildung 3-60: Microsoft Access-Formular zur Erfassung des Vorteils multiplanarer CT-Rekonstruktion.

Die Kriterien wurden folgendermaßen kategorisiert:

	rechte Patientenseite	linke Patientenseite
Agger nasi Zelle	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>
Frontoethmoidale Zelle nach Kuhn	<i>0 = nicht vorhanden</i> <i>Typ 1 – Typ 4</i>	<i>0 = nicht vorhanden</i> <i>Typ 1 – Typ 4</i>
Zelle des Septum interfrontale	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>
Bulla frontalis	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>
Suprabulläre Zelle	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>	<i>vorhanden / nicht vorhanden</i>

Tabelle 3-11

Die Ergebnisse der verschiedenen Auswertungsarten (koronar/multiplanar) und der unterschiedlichen Auswerter wurden miteinander verglichen.

3.7 Statistik

Zur Berechnung der Signifikanz wurde der χ^2 -Test bei abhängigen Stichproben, McNemar Test, verwendet. Dieser Test eignet sich bei wiederholten Messungen dichotomer Merkmale (0/1, ja/nein). Der McNemar Test verfolgt Änderungen, also Kriterien, die z.B. im ersten Durchlauf mit 0 und im zweiten mit 1 analysiert wurden. Dadurch eignet er sich für den vergleichenden Teil der vorliegenden Arbeit, in dem gleiche Patientendaten von unterschiedlichen Personen ausgewertet wurden. Die Ergebnisse der Auswerter wurden in Excel-Tabellen erfasst und miteinander verglichen. Zur Berechnung der Signifikanz wurde eine Vierfeldertafel für jede einzelne anatomische Variante verwendet.

		Auswerter 1	
		Zelle vorhanden	Zelle nicht vorhanden
Auswerter 2	Zelle vorhanden	a	b
	Zelle nicht vorhanden	c	d

Tabelle 3-12

a und *d* stehen für Übereinstimmung der Beurteiler. *b* und *c* zeigen unterschiedliche Ergebnisse an. Die Prüfgröße berechnet sich folgendermaßen:

$$\chi^2 = \frac{(b - c)^2}{b + c}$$

Durch die Funktion CHIVERT (Wert; Freiheitsgrade) kann hieraus in Microsoft Excel der P-Wert berechnet werden. Er gibt bei einem Signifikanzniveau von $\alpha = 0,05$ an, ob die Unterschiede der verschiedenen Auswertungen sich signifikant in eine Richtung bewegen.

Es erfolgte ein Test auf Signifikanz der Unterschiede der koronaren Analyse gegenüber der multiplanaren Analyse von Untersucher 1 und getrennt dazu die gleiche Analyse der Unterschiede von Untersucher 2.

Weiter wurden die Unterschiede der koronaren Analysen von Untersucher 1, 2 und 3 mit der multiplanaren Analyse von Untersucher 1 auf Signifikanz überprüft. Abweichungen der koronaren Analysen wurden als Fehler gewertet.

4 Ergebnisse

4.1 Anatomische Varianten der Nasennebenhöhlen

4.1.1 Alters- und Geschlechtsverteilung

Die Untersuchungen wurden bei 336 weiblichen (= 52,42 %) und 305 männlichen (= 47,58 %) Patienten durchgeführt.

Alters- und Geschlechtsverteilung:

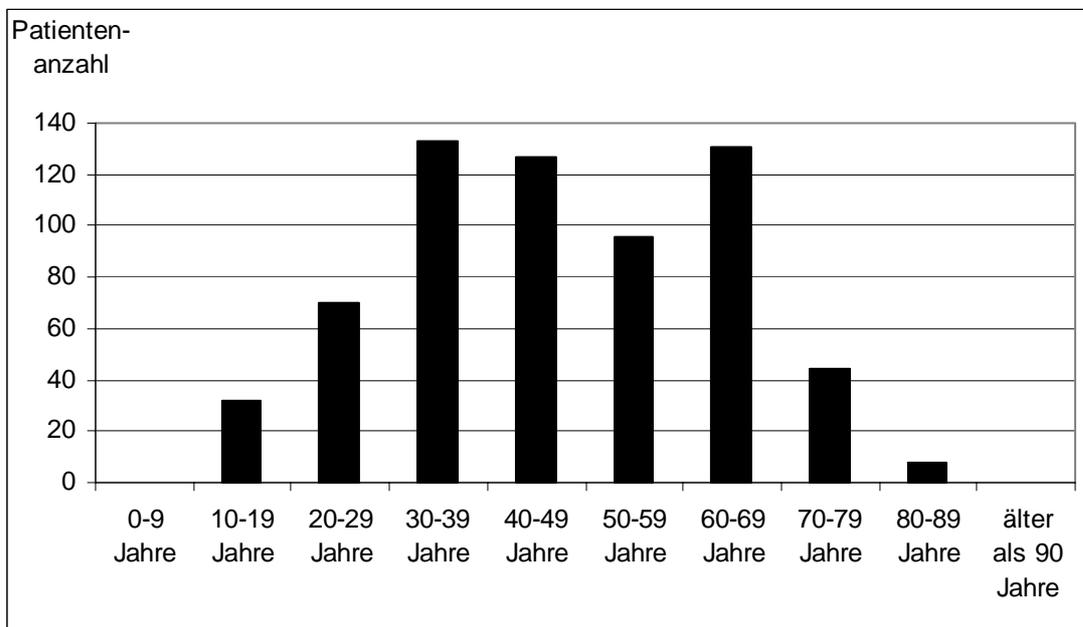


Abbildung 4-1: Altersverteilung der Patienten.

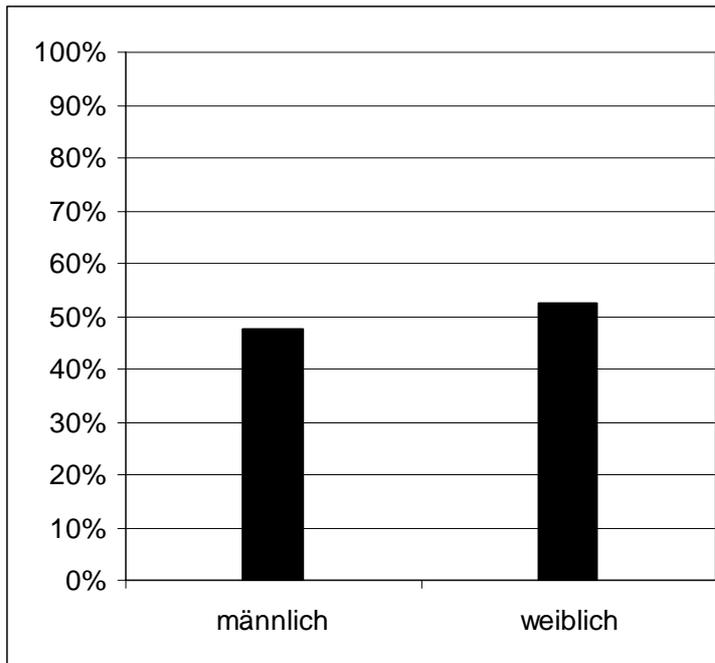


Abbildung 4-2: Geschlechterverteilung der Patienten der CT-Untersuchungen.

4.1.2 Inzidenz anatomischer Varianten

4.1.2.1 Varianten des frontoethmoidalen Komplexes

Agger nasi Zellen kamen bei den vorliegenden CT-Untersuchungen in 80,03 % der Sinus vor. Frontoethmoidale Zellen der Klassifikation nach Kuhn [26] wurden in 36,35 % der Sinus frontales festgestellt. Eine Darstellung der Häufigkeit frontoethmoidaler Zellen zeigen Abbildung 4-3 und Tabelle 4-1.

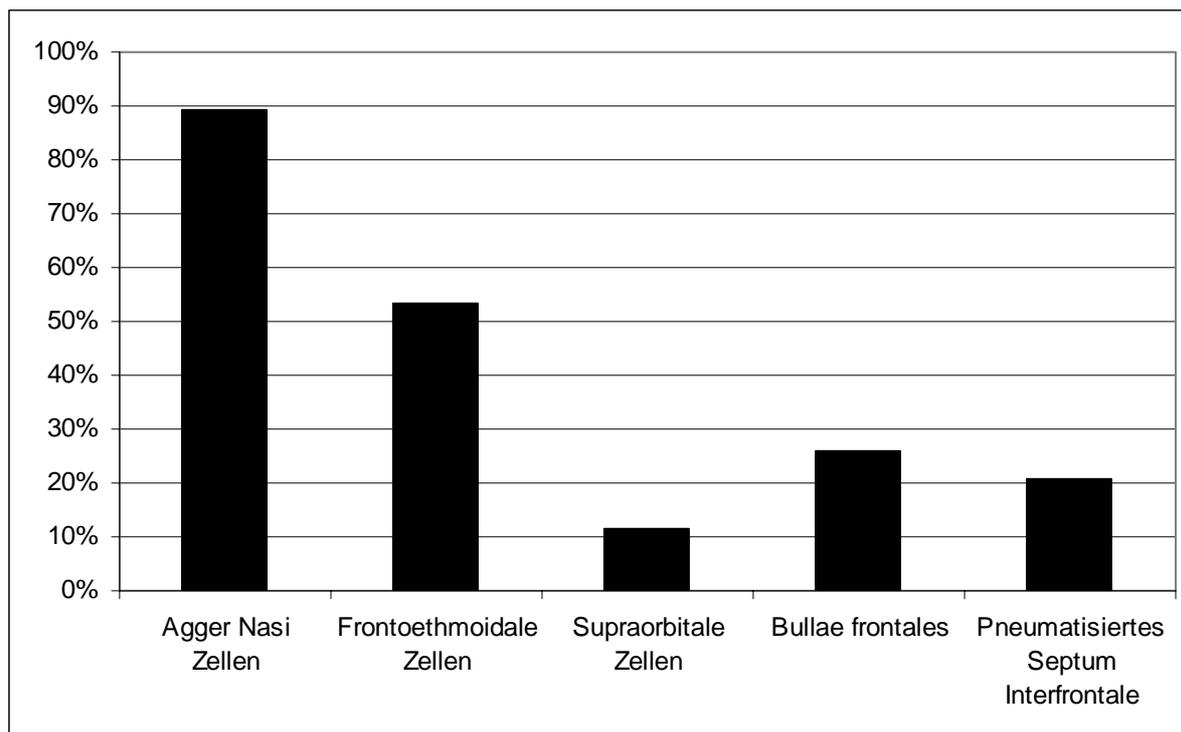


Abbildung 4-3: Inzidenz frontoethmoidaler Zellen.

<i>Anatomische Variante</i>	<i>Anzahl (1282 Sinus gesamt)</i>	<i>prozentual (1282 Sinus)</i>
Agger nasi Zellen	1026	80,03 %
frontoethmoidale Zellen nach Kuhn	466	36,35 %
Supraorbitale Zellen	131	10,22 %
Bullae frontales	205	15,99 %
Zellen des Septum interfrontale	152	11,86 %

Tabelle 4-1: Inzidenz frontoethmoidaler Zellen bezogen auf die Anzahl der Sinus.

Das Vorkommen der einzelnen Typen frontoethmoidaler Zellen nach Kuhn erläutern Abbildung 4-4 und Tabelle 4-2.

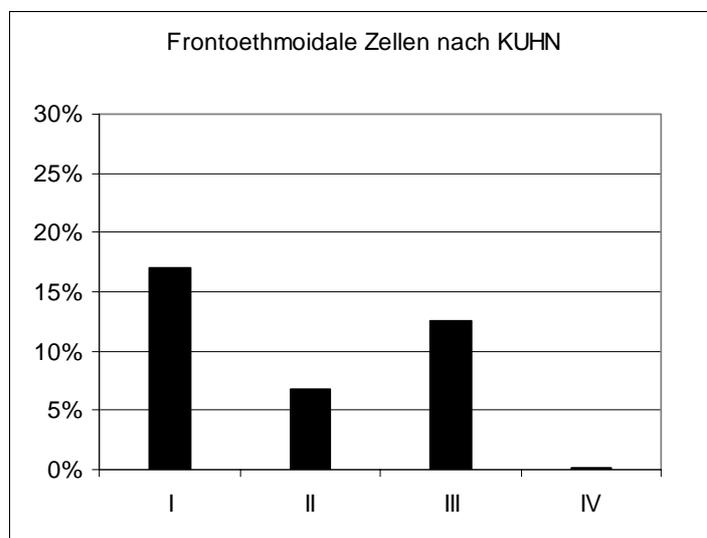


Abbildung 4-4: Inzidenz frontoethmoidaler Zellen nach Kuhn.

<i>Frontoethmoidale Zellen nach Kuhn</i>	<i>Anzahl (1282 Sinus)</i>	<i>prozentual (1282 Sinus)</i>
K1	218	17,00 %
K2	87	6,79 %
K3	160	12,48 %
K4	1	0,08 % ²

Tabelle 4-2: Inzidenz frontoethmoidaler Zellen nach Kuhn bezogen auf die Anzahl der Sinus.

Betrachtet man die Seiten der Patienten getrennt, ergibt sich folgende Tabelle:

	<i>links</i>	<i>rechts</i>
K1	104	114
K2	43	44
K3	89	71
K4	1	0

Tabelle 4-3: Seitengetrennte Darstellung frontoethmoidaler Zellen nach Kuhn.

² Zur Interpretation dieser Ergebnisse ist zu beachten, dass die anatomischen Varianten seitengetrengt gezählt wurden. Die prozentuale Inzidenz bezieht sich hier auf die maximal mögliche Anzahl:
(n = 641 Sinus frontales × 2 Seiten = 1282)

Bei insgesamt 1282 Sinus frontales wurden 218 Zellen Typ 1 nach Kuhn, 87 Zellen vom Typ 2, 160 Zellen vom Typ 3 und 1 Typ 4 Zelle gezählt.

Supraorbitale Zellen kamen in 131 bzw. 10,22 % aller Sinus frontales vor. 205 Bullae frontales wurden festgestellt. Dies entspricht 15,99 % aller Sinus frontales. Zellen des Septum interfrontale wurden in 152 Fällen festgestellt. Dies entspricht einem Anteil von 11,86 % aller Sinus frontales.

Bezieht man die Ergebnisse auf jeweils einen Patienten, so ergibt sich folgende Tabelle:

<i>Anatomische Variante</i>	<i>Anzahl (641 Patienten)</i>	<i>prozentual</i>
Agger nasi Zellen	573	89,39 %
Frontoethmoidale Zellen nach Kuhn	341	53,20 %
Supraorbitale Zellen	74	11,54 %
Bullae frontales	166	25,90 %
Zellen des Septum interfrontale	134	20,90 % ³

Tabelle 4-4: Auf Patienten bezogene Inzidenz.

In Tabelle 4-4 wurden Patienten, die eine anatomische Variante in einem oder in beiden Sinus aufwiesen, jeweils nur einmal gezählt. Das heißt, die Tabelle gibt an, wie viele Patienten von der anatomischen Variante betroffen waren.

4.1.2.2 Varianten der Crista galli und der Fossa olfactoria

Eine **pneumatisierte Crista galli** wurde in 14,04 % der Untersuchungen gefunden. Bei der Einteilung der **Fossa olfactoria** nach KEROS erwies sich Typ 2 mit einem Vorkommen von 80,34 % als häufigste Variante.

³ Hier wurden die anatomischen Varianten nach der Anzahl der Patienten berechnet. Ein Patient mit derselben Variante in *beiden* Seiten des Sinus frontalis wird *einmal* gezählt. Die Zahlen der rechten Spalte geben den prozentualen Anteil der Patienten an, die von einer anatomischen Variante betroffen waren.

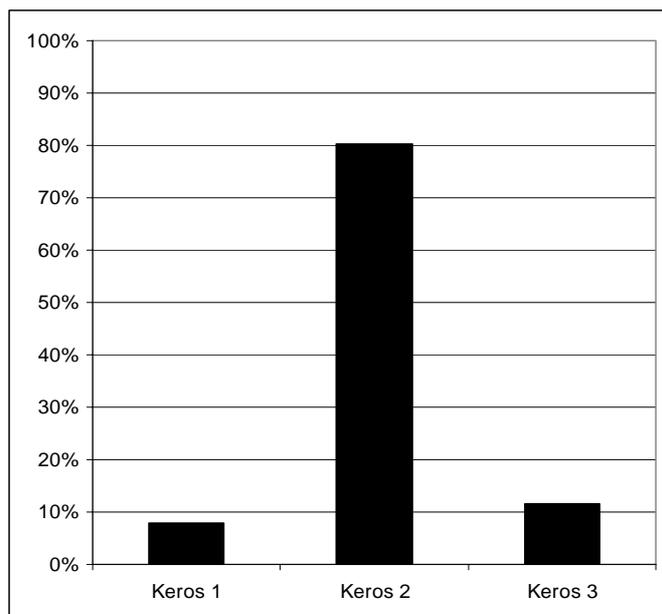


Abbildung 4-5: Verteilung der Siebbeindachkonfiguration nach Keros.

<i>Anatomische Variante</i>	<i>Anzahl</i>	<i>Prozentual</i>
Pneumatisierte Crista galli	90	14,04 %
Keros Typ 1	51	7,96 %
Keros Typ 2	515	80,34 %
Keros Typ 3	75	11,70 %

Tabelle 4-5: Inzidenz der pneumatisierten Crista galli und Verteilung der Siebbeindachkonfiguration nach Keros.

4.1.2.3 Varianten des Processus uncinatus

Die Varianten des Processus uncinatus wurden nach den in Kapitel 3.4.9 beschriebenen Klassen eingeteilt. Die linke und rechte Seite der Patienten wurde getrennt bewertet. Die Inzidenz ist damit nach Seiten getrennt berechnet.

<i>Processus uncinatus</i>	<i>Anzahl</i>	<i>prozentual</i>
Typ 1	492	38,38 %
Typ 2	117	9,13 %
Typ 3	633	49,38 %

Tabelle 4-6: Verteilung der Varianten des Processus uncinatus.

Die häufigste Variante war die Insertion an der Lamina papyracea (Typ 3) mit 49,38 %. Ebenfalls häufig anzutreffen war mit 38,38 % die Insertion an der Concha nasalis media (Typ 1). Die Insertion an der Schädelbasis (Typ 2) stellte mit 9,13 % die seltenste Variation dar.

Bei einem Teil der Patienten war der ostiomeatale Komplex so verschattet, dass die Anheftungsstelle des Processus uncinatus aus radiologischer Sicht nicht zu beurteilen war. Deshalb ergibt die Summe der 3 Variationen in Tabelle 4-6 nur 96,9 %. Die restlichen 3,1 % konnten im Ergebnis aufgrund massiver Verschattung nicht berücksichtigt werden.

84 Patienten (13,10 %) wiesen ein- oder beidseitig eine Pneumatisation des Processus uncinatus auf. Seitengetrennt betrachtet kam diese Variation bei 113 bzw. 8,81 % dieser Strukturen vor.

4.1.2.4 Suprabulläre und Onodi-Zellen

Suprabulläre Zellen kamen in 362 (28,24 %) aller Sinus ethmoidales vor. Onodi-Zellen wurden in 107 (8,35 %) Sinus sphenoidales festgestellt.

Auf alle Patienten bezogen wiesen 38,85 % eine oder zwei suprabulläre Zellen und 12,95 % eine oder zwei Onodi-Zellen auf.

4.1.2.5 Pneumatisierter Processus clinoideus

212 Mal wurde bei 1282 analysierten Seiten ein pneumatisierter Processus clinoideus anterior festgestellt (16,54 %). Auf 641 Patienten bezogen kamen 156 Personen mit ein- oder beidseitiger Pneumatisation des Processus clinoideus anterior vor (24,34 %).

4.1.2.6 Haller-Zellen, Varianten der Conchae nasales und Septumdeviationen

Haller-Zellen: Im Bereich des Sinus maxillaris wurden bei 134, entsprechend 20,91 % der Patienten ein- oder beidseitig eine Haller-Zelle aufgefunden. Seitengetrennt konnten linksseitig 111 und rechtsseitig 95 Sinus maxillares mit einer Haller-Zelle gezählt werden. Dies entspricht einem Vorkommen von 15,99 % bezogen auf n=1282 Sinus maxillares.

Concha bullosa: Bei 220 Patienten, das entspricht 34,32 % aller untersuchten Patienten, stellte sich eine Concha bullosa dar. Linksseitig waren es 142 und rechtsseitig ebenfalls 142 Conchae bullosae. Das entspricht bei seitengetrennter Berechnung einem Vorkommen von 22,15 %.

Inverse Concha nasalis: Diese anatomische Variante wurde bei insgesamt 6 Patienten ein- oder beidseitig festgestellt. Dies entspricht einem Anteil von 0,94 %. Diese 6 Patienten wiesen 11 inverse Conchae auf. Dies entspricht einem Anteil von 0,86 % auf n = 1282 Seiten. Eine häufige Beobachtung ist die **Septumdeviation**. 169 Patienten der insgesamt 641 Patienten wiesen keine signifikante Septumdeviation auf. Alle anderen Patienten hatten eine Abweichung nach links oder rechts um mehr als 3mm. Das Kriterium der Deviation traf bei 73,64 % aller Patienten zu, d.h. etwa ein Viertel der analysierten Patienten hatte ein (nach den vorliegenden Definitionen) gerades Nasenseptum.

4.1.2.7 Radiologische Zeichen der chronischen Rhinosinuitis

Nach dem Staging System von Lund und Mackay zeigten sich folgende Klassen von Verschattungen in den Sinus:

Verschattungsgrad	Anzahl der Patienten	prozentualer Anteil
0-9	532	83,00 %
10-19	99	15,44 %
20-24	10	1,56 %

Tabelle 4-7: Einteilung der Patienten nach Verschattungsgrad der NNH.

Bei der Ergebnisberechnung wird der Grad der Verschattung der einzelnen Höhlen aufsummiert. Es wurde eine Darstellung der Patienten in drei Gruppen von 0 bis 9, von 10 bis

19 und von 20 bis 24 gewählt. Aussagekräftig ist vor allem die letzte Gruppe, da diese Patienten offensichtlich von einer massiven Pansinusitis betroffen waren.

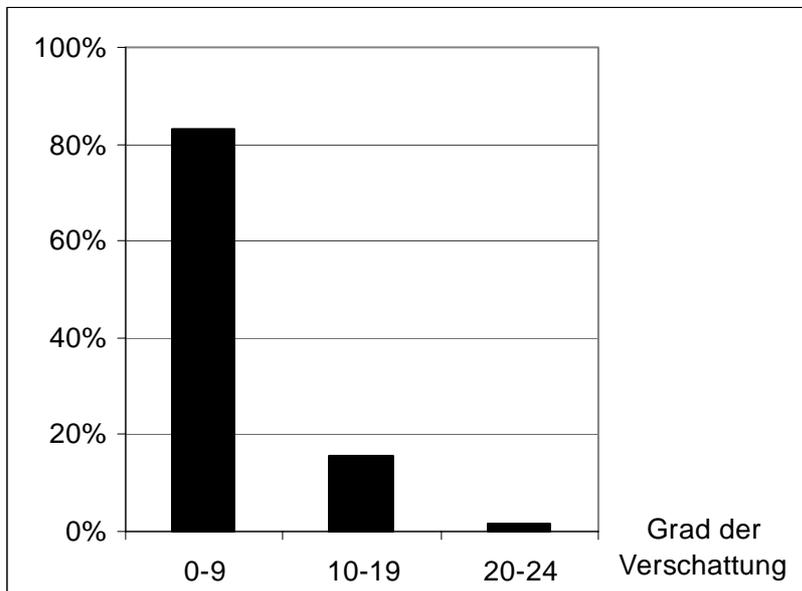


Abbildung 4-6: Verschattungsgrade nach Lund & Mackay von allen NNH zusammengefasst.

Tabelle 4-8 zeigt eine nach den Nebenhöhlen geordnete Aufstellung der Patienten, welche von teilweiser (Grad 1) oder vollständiger (Grad 2) Verschattung betroffen waren:

<i>Betroffene Region</i>	<i>Anzahl (n=641)</i>	<i>prozentual (n=641)</i>
Sinus frontalis	110	17,16 %
Sinus maxillaris	334	52,11 %
Sinus ethmoidalis anterior	233	36,35 %
Sinus ethmoidalis posterior	187	29,17 %
Sinus sphenoidalis	93	14,51 %
Ostiomeataler Komplex	171	26,68 %

Tabelle 4-8: Nasennebenhöhlen mit teilweiser oder vollständiger Verschattung.

Besonders häufig von Schleimhautreaktionen betroffen waren der Sinus maxillaris mit 52,11 %, die vorderen Siebbeinzellen sowie der ostiomeatale Komplex mit 36,35 % bzw. 26,68 % und die hinteren Siebbeinzellen mit 29,17 %.

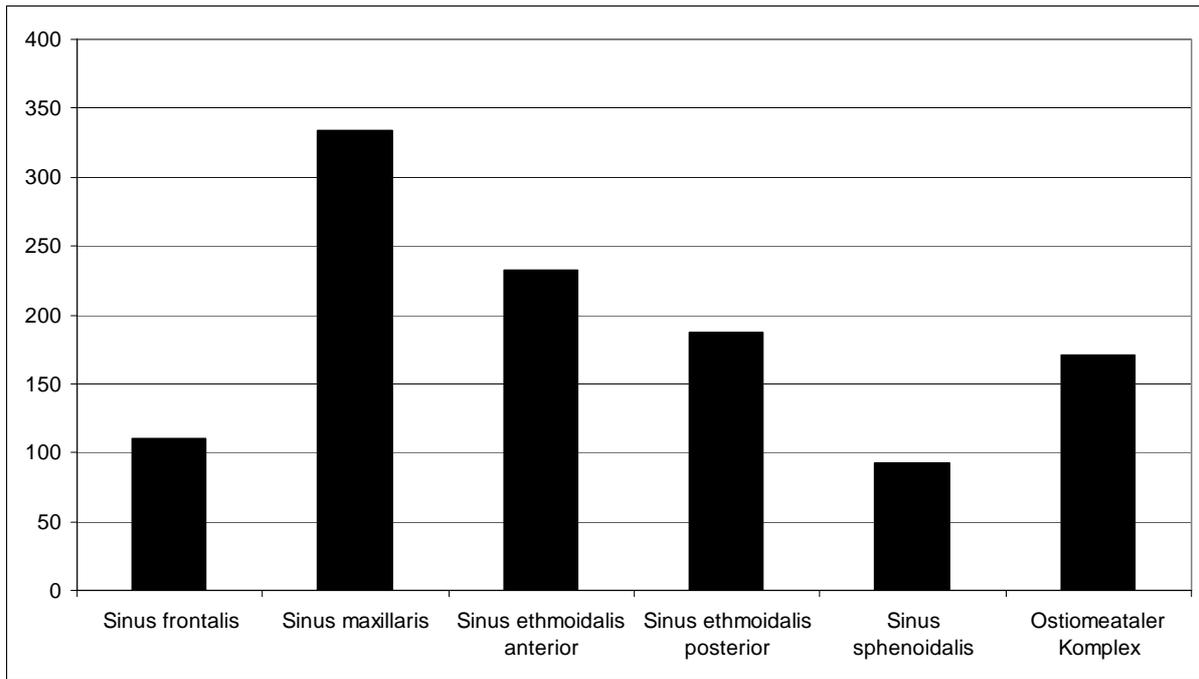


Abbildung 4-7: Nasennebenhöhlen mit pathologischen Schleimhautreaktion.

Tabelle 4-9 stellt die Ergebnisse der Sinus nach Verschattungsgrad dar. Mögliche Einteilungen sind nach dem Staging System von Lund und Mackay 1 (teilweise Verschattung) und 2 (vollständige Verschattung). Addiert man die Ergebnisse der paarigen NNH, so kommt man auf ein maximal mögliches Ergebnis von 4 Punkten. Tabelle 4-9 stellt die Patienten nach dem Grad der Verschattung und der jeweiligen (paarigen) NNH dar. In dieser Tabelle bedeutet Verschattungsgrad 1 eine teilweise Verschattung einer Nasennebenhöhle auf einer Seite. Grad 3 liegt bei vollständiger Verschattung auf der einen und zusätzlicher teilweiser Verschattung auf der anderen Seite vor.

<i>Verschattungs- grad</i>	<i>Sinus frontalis</i>	<i>Sinus ethmoidalis anterior</i>	<i>Sinus ethmoidalis posterior</i>	<i>Ostio- meataler Komplex</i>	<i>Sinus sphenoidalis</i>	<i>Sinus maxillaris</i>
'0'	531	408	454	470	548	307
'1'	39	44	45	0	43	101
'2'	53	132	120	51	39	185
'3'	8	16	6	0	5	33
'4'	10	41	16	120	6	15

Tabelle 4-9: Nach Verschattungsgrad und betroffenen NNH geordnete Darstellung.

Besonders häufig waren ostiomeataler Komplex und vorderes Siebbein von starken Schleimhautreaktionen betroffen. Hier ließ sich in 120 bzw. 41 Fällen eine beidseitige, totale Verschattung feststellen (Grad 4 in Tabelle 4-9).

4.1.2.8 Radiologische Zeichen der Verschattung im Bereich des ostiomeatalen Komplexes und der angrenzenden Nasennebenhöhlen

Tabelle 4-10 stellt den Zusammenhang einer Schleimhautreaktion des ostiomeatalen Komplexes und den daran angrenzenden Nasennebenhöhlen, dem Sinus frontalis, maxillaris und ethmoidalis anterior dar.

	Linke Patientenseite	Rechte Patientenseite
Schleimhautreaktion des ostiomeatalen Komplexes feststellbar	149	142
Schleimhautreaktion des ostiomeatalen Komplexes und des - Sinus frontalis oder - Sinus maxillaris oder - Sinus ethmoidalis anterior feststellbar	78	66
	52,4 %	46,5 %

Tabelle 4-10: Schleimhautreaktion im Bereich des ostiomeatalen Komplexes und angrenzender NNH

149 Patienten wiesen radiologische Zeichen einer Schleimhautreaktion auf der linken Seite des ostiomeatalen Komplexes auf. Bei 78 dieser Patienten waren zusätzliche Schleimhautpathologien in angrenzenden Nasennebenhöhlen, dem Sinus frontalis, Sinus maxillaris und Sinus ethmoidalis anterior festzustellen. Das entspricht einem prozentualen Anteil von 52,4 %. Auf der rechten Seite waren in 142 Fällen Schleimhautreaktionen im Bereich des ostiomeatalen Komplexes nachweisbar. 66 Patienten wiesen Schleimhautreaktionen in den angrenzenden Nasennebenhöhlen auf, was einem prozentualen Anteil von 46,5 % entspricht. Gemittelt waren bei 49,5 % der Patienten mit

Verschattungszeichen des ostiomeatalen Komplexes zusätzliche Schleimhautreaktionen in den angrenzenden Nasennebenhöhlen feststellbar.

4.1.2.9 Inzidenz entzündlicher Prozesse der Zähne im Oberkiefer

Bei insgesamt 52 von 641 Patienten, das entspricht 8,11 %, wurde ein entzündlicher Herd der Zahnwurzeln im Bereich des Oberkiefers entdeckt.

4.1.3 Koinzidenz anatomischer Varianten

Folgend eine Aufstellung der Koinzidenz anatomischer Varianten ausgehend von frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn.

Typ	Alle Patienten	Patienten mit frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn	Patienten ohne frontoethmoidale Zellen nach Kuhn
	n=641	n=341	n=300
Frontoethmoidale Zelle	53,20 %	-	-
Pneumatisiertes Septum interfrontale	20,90 %	20,82 %	37,67 %
Pneumatisierte Crista galli	14,04 %	13,78 %	25,33 %
Pneumatisierter Processus uncinatus	13,10 %	14,96 %	22,33 %
Onodi-Zelle	12,95 %	14,96 %	20,67 %
Supraorbitale Zelle	11,54 %	14,37 %	18,33 %
Pneumatisierter Processus clinoideus anterior	24,34 %	28,45 %	41,33 %
Concha bullosa	34,32 %	36,95 %	57,00 %

Tabelle 4-11: Koinzidenz anatomischer Varianten.

Bei Patienten ohne frontoethmoidale Zellen nach Kuhn wurde durchgehend eine höhere Inzidenz von den in Tabelle 4-11 dargestellten anatomischen Varianten festgestellt. Hyperpneumatisation ist damit häufiger bei Patienten ohne Kuhn-Zellen zu beobachten.

4.1.4 Koinkidenz anatomischer Varianten und Schleimhautpathologien

4.1.4.1 Varianten des frontoethmoidalen Komplexes und pathologische Schleimhautprozesse

Zellen, die den Recessus frontalis unmittelbar einengen und damit für eine chronische Rhinosinusitis verantwortlich sein können, sind frontoethmoidale Zellen nach Kuhn, Bullae frontales und Zellen des Septum interfrontale. Frontoethmoidale Zellen nach Kuhn wurden auf gleichzeitiges Vorliegen einer Schleimhautreaktion des betroffenen Sinus frontalis seitengetrennt analysiert:

Bei den **frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn** wiesen 10,09 % der K1-Zellen, 9,20 % der K2-Zellen und 17,50 % der K3-Zellen und 0 % der K4-Zellen Zeichen einer Schleimhautpathologie auf⁴.

<i>Frontoethmoidale Zelle nach Kuhn Typ</i>	<i>Zeichen der Verschattung in %</i>
K1	10,09
K2	9,20
K3	17,50
K4	0

Tabelle 4-12: Sinus frontales mit frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn und gleichzeitigen Zeichen der Verschattung.

14,47 % aller **Zellen des Septum interfrontale** waren positiv mit einer Verschattung des Sinus frontalis verknüpft.

16,10 % der Patienten mit **Bullae frontales** wiesen im Sinus frontalis eine Schleimhautreaktion auf.

⁴ Ergebnisse bezogen auf die Gesamtzahl der Sinus.

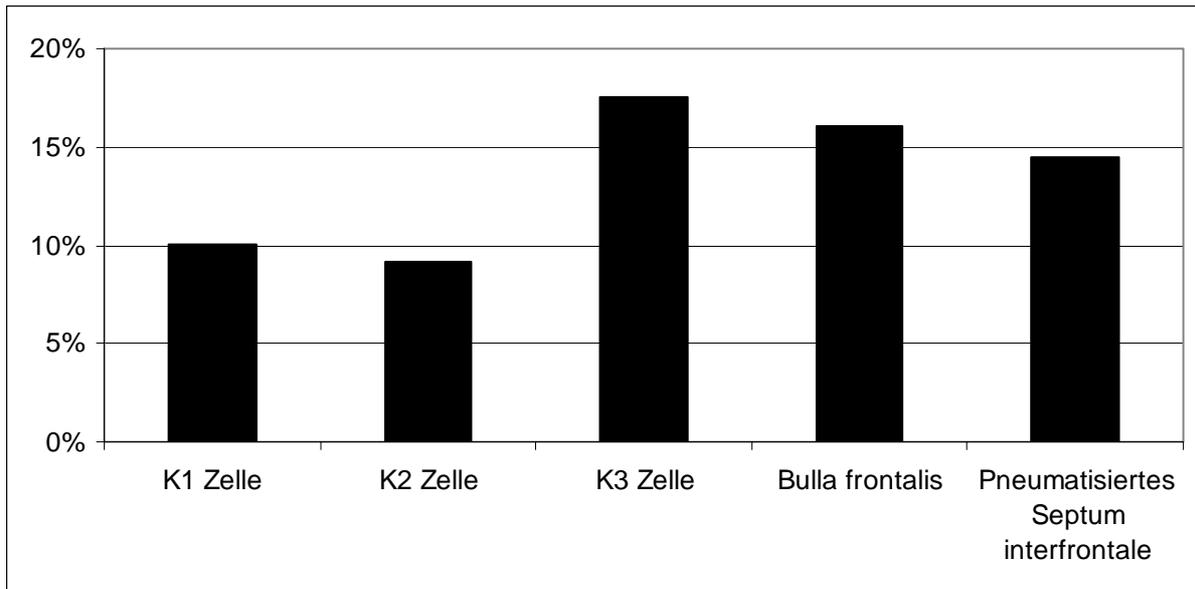


Abbildung 4-8: Von Schleimhautreaktion betroffene frontoethmoidale Zellen (prozentual).

4.1.4.2 Haller-Zellen und pathologische Schleimhautprozesse

Bei 111 von 641 Patienten wurden auf der linken Seite und bei 94 Patienten auf der rechten Seite Haller-Zellen festgestellt. Von den auf der linken Seite vorkommenden 111 war bei 33 eine Schleimhautreaktion des linken Sinus maxillaris festzustellen. Auf der rechten Seite waren es 29 von den insgesamt 94 Zellen. Insgesamt wurde damit bei 30,24 % der vorkommenden Haller-Zellen eine begleitende Schleimhautschwellung beobachtet.⁵

4.1.4.3 Concha bullosa und Schleimhautpathologien

Für die Wertung als Concha bullosa galt als Voraussetzung eine feststellbare Pneumatisation in der koronaren Ebene mit einer Fläche von mehr als $0,3 \text{ cm}^2$. In den vorliegenden CT-Datensätzen wurden auf der linken und rechten Patientenseite jeweils 142 Conchae bullosae festgestellt. Links ließ sich in 23 Fällen eine Verschattung (nach Lund & Mackay Staging System mit einem Wert >0) des ostiomeatalen Komplexes nachweisen und rechts waren es 29 Fälle. Insgesamt waren damit 18,31 % aller Conchae bullosae mit einer Verschattung des ostiomeatalen Komplexes assoziiert.

⁵ Schleimhautreaktion: Verschattungsgrad 1 (teilweise) oder 2 (vollständig) nach Lund und Mackay

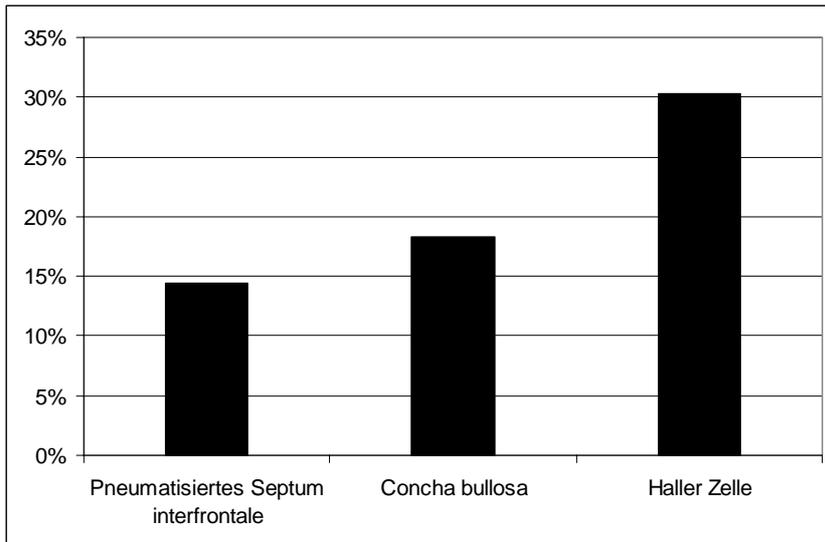


Abbildung 4-9: Koinzidenz anatomischer Varianten und Schleimhautreaktion.

Abbildung 4-9 zeigt die Korrelation zwischen anatomischer Variante und Schleimhautreaktion. Zellen des Septum interfrontale korrelierten in 14,47 % mit einer Verschattung des Sinus frontalis. Bei 18,31 % aller Conchae bullosae konnte eine Schleimhautreaktion des ostiomeatalen Komplexes beobachtet werden und 30,24 % der Haller-Zellen wiesen eine gleichzeitige Reaktion der Schleimhaut des Sinus maxillaris auf.

4.1.4.4 Entzündliche Herde der Zahnwurzeln des Oberkiefers und Schleimhautreaktionen des Sinus maxillaris

Folgende Tabelle listet entzündliche Herde an Zahnwurzeln im Oberkiefer auf. Begleitende Schleimhautreaktionen des Sinus maxillaris in Form von Verschattungen in der CT sind dargestellt:

	Oberkiefer rechts	Oberkiefer links
Entzündlicher Herd	30	31
Kieferhöhlenverschattung	22	17

Tabelle 4-13: Entzündliche Herde der Zahnwurzeln des Oberkiefers und begleitende Kieferhöhlenverschattung.

Diese Tabelle gibt die seitengetrennte Zählung von Entzündungen der Zahnwurzeln im Oberkiefer und Reaktionen der Schleimhaut im Sinus maxillaris wieder. In diesem Kontext wiesen 63,93 % der dentogenen Herde eine fokale oder totale Kieferhöhlenverschattung auf. Betrachtet man die Vorkommen der Entzündungen patientenbezogen, wird ein Patient, der

links und rechts entzündliche Herde und Kieferhöhlenverschattung hat, nur einmal gezählt. Als Konsequenz wiesen so 32,69 % aller Patienten, die einen entzündlichen Herd an einem ihrer Zähne aufwiesen, auch Verschattungszeichen unterschiedlicher Ausprägung in der darüber liegenden Kieferhöhle auf.

4.2 Analyse der Vorteile multiplanarer Rekonstruktionen (n=162 Patienten)

Für die vergleichende Studie wurden aus der Gesamtmenge der Datensätze 162 nicht selektierte CT-Untersuchungen über einen zusammenhängenden Zeitraum von drei Monaten ausgewählt. Diese Untersuchungen wurden in nur koronarer Schichtführung von drei Untersuchern analysiert. Nach einem Abstand von mehreren Monaten wurden die gleichen Datensätze von 2 Untersuchern erneut unter Zuhilfenahme multiplanarer Rekonstruktionen analysiert. Die Ergebnisse miteinander verglichen und die Unterschiede analysiert.

4.2.1 Ergebnisse Untersucher 1

Tabellarisch dargestellt die Ergebnisse der *koronaren* Analyse von Untersucher 1. Es erfolgte eine seitengetrennte Analyse:

Anatomische Variante	Anzahl	
	links	rechts
Agger nasi Zellen	121	117
Frontoethmoidale Zellen nach Kuhn	72	53
Zellen des Septum interfrontale	17	9
Bullae frontales	9	3
Suprabulläre Zellen	16	17

Tabelle 4-14: Seitengetrennte Darstellung der Inzidenz frontoethmoidaler Zellen der koronare Analyse von Untersucher 1.

Folgend dargestellt die Ergebnisse der Analyse der frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn:

Frontoethmoidale Zelle nach Kuhn Typ	links	rechts
K1	43	25
K2	16	14
K3	13	14
K4	0	0

Tabelle 4-15: Inzidenz von frontoethmoidale Zellen nach Kuhn in der koronaren Analyse von Untersucher 1.

In Tabelle 4-16 sind die Inzidenzen der anatomischen Varianten von Untersucher 1 dargestellt. Es erfolgte eine *multiplanare* Analyse nach Seiten getrennt:

Anatomische Variante	Anzahl	
	links	rechts
Agger nasi Zellen	137	132
Frontoethmoidale Zellen nach Kuhn	49	47
Zellen des Septum interfrontale	25	20
Bullae frontales	27	26
Suprabulläre Zellen	46	40

Tabelle 4-16: Seitengetrennte Darstellung der Inzidenzen frontoethmoidaler Zellen in der multiplanaren Analyse von Untersucher 1.

Frontoethmoidale Zellen nach Kuhn wurden gesondert analysiert und sind in folgender Tabelle dargestellt:

Frontoethmoidale Zelle nach Kuhn Typ	links	rechts
K1	26	24
K2	12	10
K3	11	13
K4	0	0

Tabelle 4-17: Inzidenzen von frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn in der multiplanaren Analyse von Untersucher 1.

4.2.2 Ergebnisse Untersucher 2

Folgend die tabellarische Aufstellung der Ergebnisse der koronaren Analyse von Untersucher 2:

Anatomische Variante	Anzahl	
	links	rechts
Agger nasi Zellen	90	90
Frontoethmoidale Zellen nach Kuhn	20	14
Zellen des Septum interfrontale	15	15
Bullae frontales	1	0
Suprabulläre Zellen	5	4

Tabelle 4-18: Seitengetrennte Darstellung der Inzidenzen frontoethmoidaler Zellen in der koronaren Analyse von Untersucher 2.

Frontoethmoidale Zelle nach Kuhn Typ	links	rechts
K1	20	14
K2	2	5
K3	4	2
K4	0	0

Tabelle 4-19: Inzidenzen von frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn in der koronaren Analyse von Untersucher 2.

Folgende Tabellen zeigen die Ergebnisse der multiplanaren Analyse von Untersucher 2:

Anatomische Variante	Anzahl	
	links	rechts
Agger nasi Zellen	111	117
Frontoethmoidale Zellen nach Kuhn	33	33
Zellen des Septum interfrontale	18	11
Bullae frontales	9	4
Suprabulläre Zellen	72	62

Tabelle 4-20: Seitengetrennte Darstellung der Inzidenzen frontoethmoidaler Zellen in der multiplanaren Analyse von Untersucher 2.

Ergebnisse der Analyse frontoethmoidaler Zellen nach Kuhn:

Frontoethmoidale Zelle nach Kuhn Typ	links	rechts
K1	33	33
K2	10	8
K3	10	5
K4	0	0

Tabelle 4-21: Inzidenzen von frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn in der multiplanaren Analyse von Untersucher 2.

4.2.3 Ergebnisse Untersucher 3

Die 162 Datensätze wurden von Untersucher 3 nur in der koronaren Ebene analysiert. Im Folgenden sind die Ergebnisse dargestellt:

Anatomische Variante	Anzahl	
	links	rechts
Agger nasi Zellen	137	112
Frontoethmoidale Zellen nach Kuhn	91	70
Zellen des Septum interfrontale	26	36
Bullae frontales	8	9
Suprabulläre Zellen	52	45

Tabelle 4-22: Seitengetrennte Darstellung der Inzidenzen frontoethmoidaler Zellen in der koronaren Analyse von Untersucher 3.

Ergebnisse der Analyse frontoethmoidaler Zellen nach Kuhn:

Frontoethmoidale Zelle nach Kuhn Typ	links	rechts
K1	51	39
K2	9	11
K3	31	20
K4	0	0

Tabelle 4-23: Inzidenzen von frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn in der koronaren Analyse von Untersucher 3.

4.2.4 Vergleich der Analysen

Zur Ermittlung der Unterschiede in der koronaren gegenüber der multiplanaren Analyse jeweils eines Untersuchers wurden die Ergebnisse auf Übereinstimmung (Konkordanz) untersucht. Konnte z.B. Auswerter 1 in der koronaren Analyse bei einem Patienten auf der linken Seite eine frontoethmoidale Zelle nach Kuhn Typ I feststellen, die multiplanare Analyse jedoch ergab eine Zelle des Typs III, so wurde für diese Analyse eine Nichtübereinstimmung (Diskordanz) gewertet. Die folgenden Graphen stellen die Unterschiede in der Auswertung prozentual dar.

4.2.4.1 Koronare versus multiplanare Analyse von Untersucher 1

Nachfolgend ist tabellarisch und graphisch die Diskordanz dargestellt, welche bei der Analyse der Ergebnisse von Untersucher 1 zwischen koronarer und multiplanarer Analyse feststellbar war:

Agger nasi Zellen	Kuhn Zellen	Pneumatisiertes Septum interfrontale	Bullae frontales	suprabulläre Zellen
25,00 %	33,64 %	10,19 %	17,28 %	29,94 %

Tabelle 4-24: Prozentuale Diskordanz der koronaren gegenüber der multiplanaren Analyse von Untersucher 1.

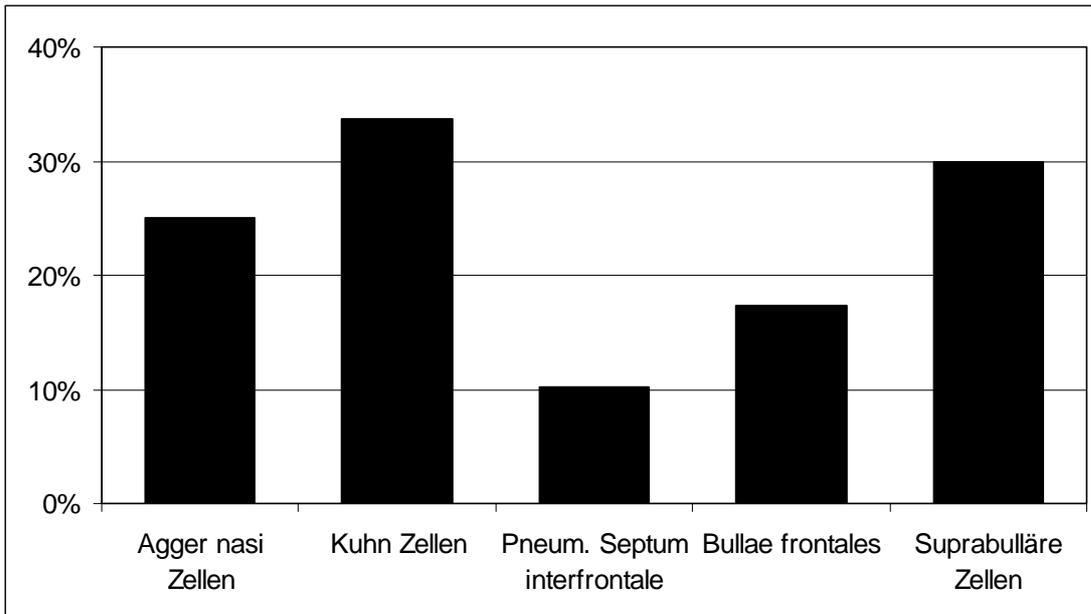


Abbildung 4-10: Prozentuale Diskordanz der koronaren gegenüber der multiplanaren Analyse von Untersucher 1

Es zeigt sich, dass bei Agger nasi Zellen, aber auch frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn, Bullae frontales und suprabullären Zellen Unterschiede zwischen 25 % und 34 % aufgetreten sind.

Betrachtet man frontoethmoidale Zellen nach Kuhn gesondert, so ergibt sich folgende graphische Darstellung der Diskordanz:

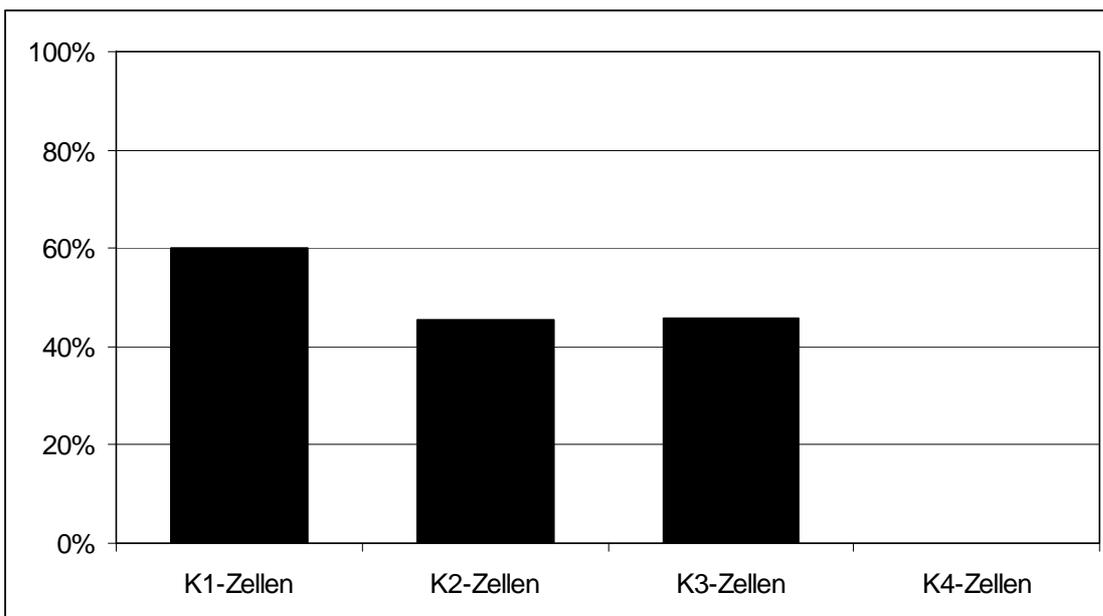


Abbildung 4-11: Diskordanz bei frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn der Ergebnisse von Untersucher 1.

Da in den 162 CT-Untersuchungen keine Zelle der Kategorie 4 nach Kuhn feststellbar war, konnte keine Diskordanz zwischen den Untersuchern festgestellt werden. Dies erklärt den Wert „0“ für K4-Zellen.

Weiterhin wurde untersucht, wie viele Bullae frontales mit Hilfe der multiplanaren Rekonstruktionen erkannt wurden.

Bullae frontales in MPR	davon in koronarer Analyse erkannt	prozentualer Anteil
53	5	9,43 %

Tabelle 4-25: In koronarer Ebene erkannte Bullae frontales von Untersucher 1.

Für die Berechnung des obigen prozentualen Ergebnisses wurden die multiplanaren Zahlen als Grundlage gewertet. Man ging also davon aus, dass insgesamt 53 Bullae frontales bei Untersucher 1 vorlagen, von denen in der koronaren Analyse 5 erkannt wurden (entspricht 9,43 %).

Die folgende Tabelle zeigt, bei wie vielen K3-Zellen von Untersucher 1 nach der Analyse der MPR die Aussage auf Bulla frontalis geändert wurde.

K3-Zellen in koronarer Analyse	Aussage: Bulla frontalis nach MPR-Analyse	prozentualer Anteil
27	8	29,63 %

Tabelle 4-26: In „Bullae frontales“ geänderte „K3-Zellen“ nach multiplanarer CT-Analyse von Untersucher 1

Untersucher 1 hatte in der koronaren Analyse 27 K3-Zellen festgestellt. Durch die MPR-Analyse änderte er seine Aussage für 8 dieser insgesamt 27 Zellen zu „Bulla frontalis“.

4.2.4.2 Koronare versus multiplanare Analyse von Untersucher 2

Nachfolgend dargestellt sind die Unterschiede, die zwischen der koronaren gegenüber der multiplanaren Analyse von Untersucher 2 aufgetreten sind.

Agger nasi Zellen	Kuhn Zellen	Zelle des Septum interfrontale	Bullae frontales	suprabulläre Zellen
22,84 %	25,93 %	7,10 %	3,70 %	39,81 %

Tabelle 4-27: Prozentuale Unterschiede der koronaren gegenüber der multiplanaren Analyse von Untersucher 2.

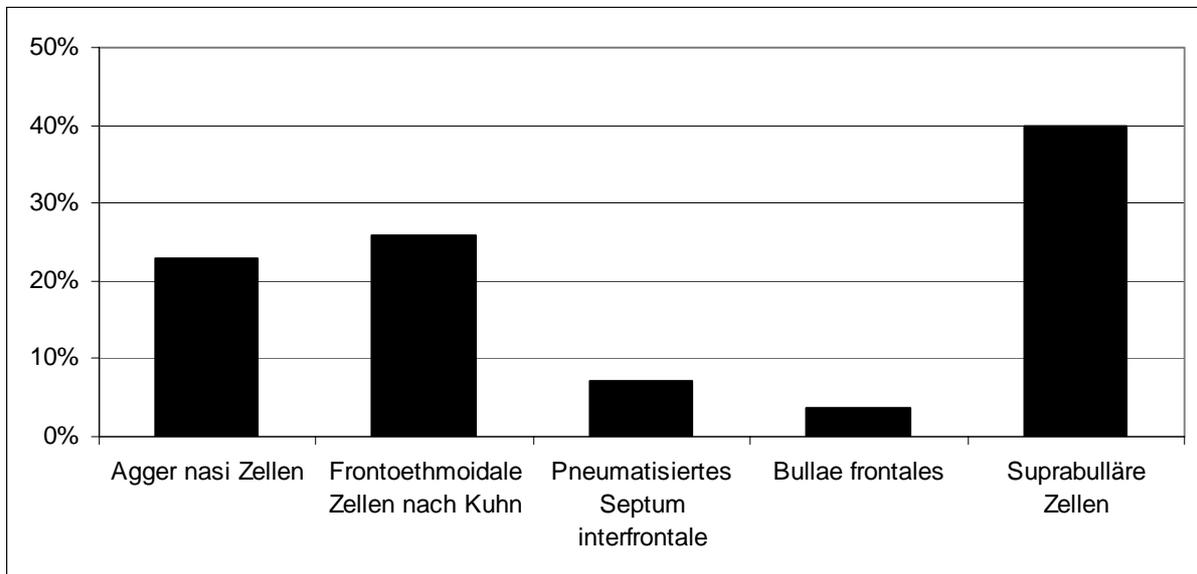


Abbildung 4-12: Prozentuale Diskordanz der koronaren gegenüber der multiplanaren Analyse von Untersucher 2.

Die Unterschiede von Untersucher 2 hinsichtlich frontoethmoidaler Zellen nach Kuhn sind in folgender Tabelle graphisch dargestellt:

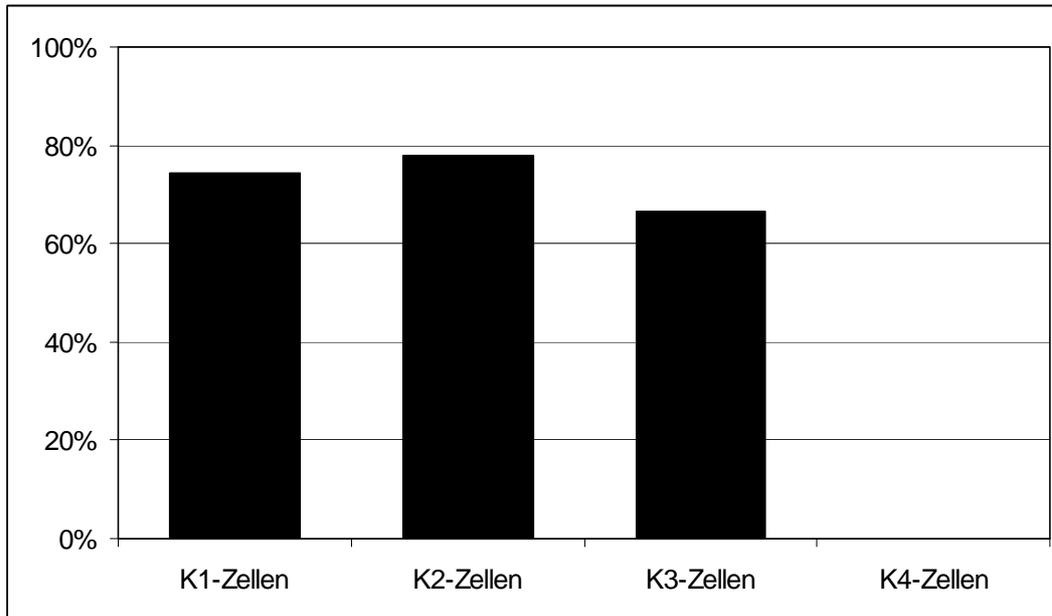


Abbildung 4-13: Diskordanz bei frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn von Untersucher 2.

Deutlich zu sehen ist eine hohe Korrekturrate nach der multiplanaren Analyse. Die Diskordanz von 0 % im Rahmen der K4-Zellen hat ebenfalls keine Aussagekraft, da in den 162 Datensätzen kein Patient mit einer solchen Zelle enthalten war.

Auch für Untersucher 2 wurde ermittelt, wie viele Bullae frontales mit Hilfe der multiplanaren Rekonstruktionen erkannt wurden.

Bullae frontales in MPR	davon in koronarer Analyse erkannt	prozentualer Anteil
13	1	7,69 %

Tabelle 4-28: In koronarer Ebene erkannte Bullae frontales von Untersucher 2.

Für die Berechnung des obigen prozentualen Ergebnisses wurden die multiplanaren Zahlen als Grundlage gewertet. Man ging also davon aus, dass insgesamt 13 Bullae frontales bei Untersucher 1 vorlagen, von denen in der koronaren Analyse 1 erkannt wurde (entspricht 7,69 %).

Die folgende Tabelle zeigt, bei wie vielen K3-Zellen von Untersucher 2 nach der Analyse der MPR die Aussage auf Bulla frontalis geändert wurde.

K3-Zellen in koronarer Analyse	Aussage: Bulla frontalis nach MPR-Analyse	prozentualer Anteil
6	3	50,00 %

Tabelle 4-29: In „Bulla frontalis“ geänderte „K3-Zellen“ nach multiplanarer CT-Analyse von Untersucher 2

Untersucher 2 hatte in der koronaren Analyse 6 K3-Zellen festgestellt. Durch die multiplanare CT-Analyse änderte er seine Aussage für 3 dieser insgesamt 6 Zellen zu Bullae frontales.

4.2.4.3 Koronare Analyse der drei Untersucher

Abbildung 4-14 zeigt die Ergebnisse, die in der koronaren Analyse der drei Untersucher aufgetreten sind.

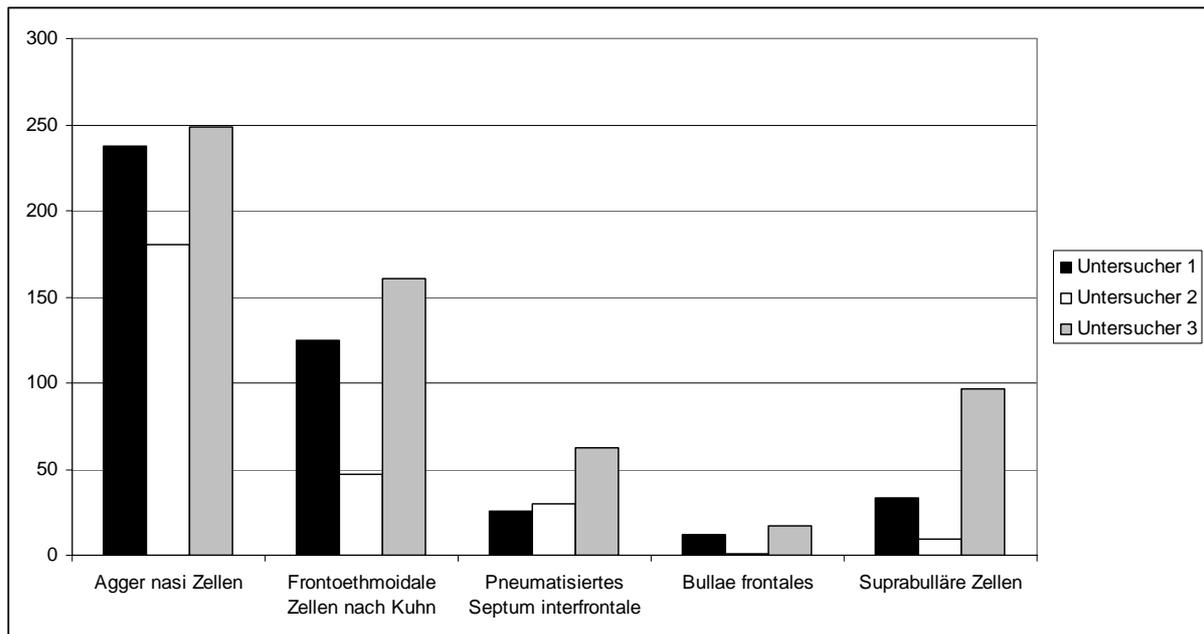


Abbildung 4-14: Ergebnisse der drei koronaren Analysen.

4.2.5 Signifikanz koronarer versus multiplanarer Analyse von Untersucher 1 und 2

Die Unterschiede der koronaren gegenüber der multiplanaren Auswertung von Untersucher 1 und Untersucher 2 wurden durch den McNemar Test auf Signifikanz überprüft. Dabei ergaben sich folgende Ergebnisse:

Anatomische Variante	Multiplanare Auswertung 1 – koronare Auswertung 1	Multiplanare Auswertung 2 – koronare Auswertung 2
Agger nasi Zellen	0,001	$2,407 \times 10^{-8}$
Frontoethmoidale Zellen nach Kuhn	0,002	$1,495 \times 10^{-9}$
Zellen des Septum interfrontale	0,001	0,835
Bullae frontales	$9,031 \times 10^{-8}$	0,001
Suprabulläre Zellen	$7,394 \times 10^{-8}$	$3,590 \times 10^{-28}$

Tabelle 4-30: p-Werte für die Abweichungen der Analysen

Bei einem festgelegten Signifikanzniveau $\alpha = 0,05$ ergeben sich für alle Kriterien außer der suprabullären Zelle signifikante Unterschiede zwischen koronarer und multiplanarer Auswertung. Der nicht signifikante Unterschied bei suprabullären Zellen deutet darauf hin, dass die koronare Ebene zur Beurteilung dieser Zellart gänzlich ungeeignet ist.

4.2.6 Signifikanz koronarer Analysen der drei Untersucher versus multiplanarer Analyse von Untersucher 1

Der Signifikanztest erfolgte auch für die Unterschiede, die sich zwischen den koronaren Analysen von Untersucher 1, 2 und 3 und der multiplanaren Analyse von Untersucher 1 ergaben. Bei diesem Test wurden die Ergebnisse der multiplanaren Analyse als grundsätzlich richtig vorausgesetzt und die Abweichungen der jeweiligen koronaren Analyse als Fehler gezählt. Der McNemar Test ergab folgende p-Werte:

Anatomische Variante	Koronare Auswertung 1 - Multiplanare Auswertung 1	Koronare Auswertung 2 - Multiplanare Auswertung 1	Koronare Auswertung 3 - Multiplanare Auswertung 1
Agger nasi Zellen	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Frontoethmoidale Zellen nach Kuhn	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Zellen des Septum interfrontale	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Bullae frontales	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Suprabulläre Zellen	< 0,05	< 0,05	0,347

Tabelle 4-31: p-Werte für die Abweichungen der Analysen

5 Diskussion

5.1 Material und Methoden

5.1.1 CT-Untersuchungsparameter

Die heutige Multislice-CT-Technik ermöglicht Schichtdicken von unter 1 mm. Dennoch wurden die vorliegenden Untersuchungen mit einer Dicke von 1,25 mm angefertigt. Vorrangig ist ein Kompromiss zwischen einerseits möglichst hoher Auflösung und damit bestmöglicher Darstellung der feinen knöchernen Septen der Nasennebenhöhlen und andererseits vertretbarer Strahlenbelastung für die Patienten. Die Auflösung bei 1,25 mm Schichtdicke benötigt weniger als die Hälfte der Strahlenbelastung als bei 0,6 mm bei noch sehr genauer Darstellung auch filigraner Knochenstrukturen.

CT-Untersuchungen von Patienten mit ausgeprägten oder totalen Verschattungen der ostiomeatalen Einheit sind für die Beurteilung ungeeignet, weshalb eine medikamentöse Vorbehandlung erfolgen sollte. Sehr dünne knöcherne Septen sind in diesem Fall schlecht von umgebender Schleimhaut und Sekret zu differenzieren. Eine Darstellung mit maximalem Kontrast verbessert diese Abgrenzung, ist jedoch aufgrund des Partialvolumeneffekts nicht immer ausreichend. Bei diesen Patienten ist die Grenze zwischen benachbarten Zellkomplexen nicht immer klar erkennbar. Die Bildqualität könnte in diesen Fällen zwar mit einer Dosiserhöhung gesteigert werden, der Radiologe kennt aber vor der Untersuchung das Ausmaß der Verschattungen nicht. Eine verbesserte Auflösung könnte nur über eine zusätzliche Zweituntersuchung mit deutlich höherer Strahlungs-dosis erreicht werden. Aus diesem Grunde sollte die CT-Untersuchung nicht unmittelbar während florider Entzündung, sondern erst nach konservativer Vorbehandlung über einen Mindestzeitraum von drei Monaten erfolgen. Den günstigsten Zeitpunkt für die CT-Untersuchung auszuwählen, ist Aufgabe des überweisenden HNO-Arztes.

5.1.2 Strahlenexposition während der Computertomographie

Die Computertomographie hat die konventionelle Röntgendiagnostik im Bereich der NNH weitgehend abgelöst [38-40]. Bereits 1987 bezeichnete Zinreich die CT als unabdingbar für

Patienten, bei denen eine diagnostische Endoskopie aufgrund komplizierter anatomischer Verhältnisse nicht möglich ist [41]. Zu diesem Zeitpunkt war die Multispiraltechnik noch nicht entwickelt. Die Strahlenexposition bei damaligen Geräten lag mindestens fünfmal höher, als sie mit modernen Geräten heute erreicht werden kann. Marmolya et al. [42] stellten 1991 fest, dass eine Reduktion der damaligen Standard-Strahlungsdosis für eine NNH-CT um den Faktor 28 möglich ist und die Bilder trotzdem diagnostisch verwertbar bleiben. Damman et al. [39] fordern „für die CT der NNH die maximal mögliche Reduktion der Strahlenexposition“. Die CT im Bereich der NNH wird vor allem zur Abklärung der anatomischen knöchernen Verhältnisse im Bereich der Ethmoidalzellen herangezogen. Die zusätzlichen Verschattungen durch Schleimhautschwellungen oder Sekret-Füllungen sind wichtige Zusatzinformationen. Eine Differenzierung von Schleimhautschwellung, Polypen oder freiem Sekret ist nur an Hand der Randkonturen, z.B. Spiegelbildungen, nicht aber anhand der Dichte möglich. Die knöchernen Randkonturen und Septen der Nasennebenhöhlen sind aufgrund der hohen Dichte und des hohen Kontrasts gegenüber Luft oder Schleimhautschwellungen bzw. Sekret auch bei sehr niedriger Dosis noch gut abzugrenzen. Im Gegensatz dazu erfordert die CT-Untersuchung des Gehirns zur Differenzierung der weichen Hirnstrukturen eine wesentlich höhere Dosis, um innerhalb dieser Weichteilstrukturen noch geringe Dichte-Unterschiede bildlich sichtbar zu machen. Im Rahmen der NNH-CT ist hingegen nur die anatomische Differenzierung von knöchernen Randkonturen und Weichteilgewebe durch Schleimhautschwellungen gefragt. Wegen des hohen Dichtekontrasts dieser Strukturen kann die Untersuchungsdosis im Gegensatz zu vielen anderen CT-Untersuchungen wesentlich niedriger gehalten werden. Es ist die Verantwortung des Radiologen, die Dosis entsprechend an diese Fragestellung anzupassen, um mit einer möglichst minimalen Dosis den besten Kompromiss zwischen der erforderlichen Bildqualität und der vertretbaren Dosisbelastung für den jeweiligen Patienten zu erreichen. Dosisrelevante Organe im Untersuchungsbereich sind die Orbita mit Augenlinsen, die Glandula parotis, das Kleinhirn und der Hirnstamm. Auch die Schilddrüse ist in diesem Zusammenhang von Bedeutung. Erhöhte Strahlungsbelastung an den Augenlinsen verstärkt das Risiko einer Linsentrübung. Über messbare Trübungen wurde bei 0,5-2 Gy berichtet. Mit einer visuellen Beeinträchtigung ist ab 4-5 Gy zu rechnen ([43], [44]).

5.2 Auswertung der anatomischen Varianten

5.2.1 Anatomische Varianten

5.2.1.1 Agger nasi Zellen

Vergleichbare Studien aus der Literatur verwenden unterschiedliche Bezugsgrößen für die Zählweise anatomischer Varianten (siehe 3.3). Die eigenen Ergebnisse wurden nach beiden Seiten getrennt gezählt, da die Inzidenz bezogen auf die untersuchten Zelltypen damit genauer dargestellt wird. Die Ergebnisse zeigen also die Anzahl der gefundenen Zellen insgesamt und nicht das prozentuale, auf die Patienten bezogene Vorkommen der Varianten. Bei Berechnung der Anzahl der Zelltypen in Bezug auf die Patientenzahl würden mehrfach vorkommende Varianten pro Patient nicht in der Analyse erfasst. Aus diesem Grund fallen die prozentualen Ergebnisse bei der patientenbezogenen Wertung höher aus, was die Unterschiede in den aktuellen Studien erklären dürfte.

Die Häufigkeit von Agger nasi Zellen wurde in zahlreichen Studien untersucht. Tabelle 5-2 zeigt die Häufigkeit von Agger nasi Zellen vergleichbarer Studien. In dieser Darstellung wurden die eigenen Ergebnisse jeweils passend zu den entsprechenden Studien berechnet, um einen direkten Vergleich zu ermöglichen.

	Lee et al. [23]	DelGaudio et al. [45]	Landsberg et al. [46]	Bradley et al. [47]	Kantarci et al. [34]	Eigene Ergebnisse
Agger nasi Zellen	89 %	86,7 %	78 %	93 %	47 %	80,03 %
Anzahl Patienten	50	106	144	80	512	641
Analyse- methode	multiplanar, seiten- getrennt	multiplanar, seiten- getrennt	multiplanar, seiten- getrennt	koronar, seiten- getrennt	koronar & axial, seiten- getrennt	multiplanar, seiten- getrennt

Tabelle 5-1: Vergleich eigener Ergebnisse mit aktuellen Studien nach Seiten getrennt.

	Bolger et al. [48]	Eigene Ergebnisse
Agger nasi Zellen	98,5 %	89,9 %
Anzahl Patienten	202	641
Analyse- methode	koronar, patientenbezogen	multiplanar, patientenbezogen

Tabelle 5-2: Vergleich eigener Ergebnisse mit einer aktuellen Studie nach Patienten berechnet.

Übereinstimmend stellen Agger nasi Zellen eine sehr häufige Variante des frontoethmoidalen Komplexes dar. Die Häufigkeit liegt durchschnittlich im Bereich von ca. 80 %. Eine Ausnahme findet sich in der Studie von Kantarci et al. [34] mit nur 47 %. In dieser Studie wurden nur koronare und axiale Schnittebenen zur Analyse verwendet. Eine orientierende Suche nach Agger nasi Zellen in der CT-Auswertung kann in den koronaren Schichten erfolgen. Vor allem bei Agger nasi Zellen ist jedoch auch die sagittale Schichtung sehr wichtig, um diese Variante gegenüber einem Recessus terminalis, frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn, Bullae frontales oder einer großen Bulla ethmoidalis abzugrenzen. Möglicherweise ist der relativ niedrige prozentuale Anteil von Agger nasi Zellen in der Studie von Kantarci et al. damit zu erklären, dass hier hauptsächlich koronare und nur in einzelnen Fällen axiale, nicht aber grundsätzlich sagittale Rekonstruktionen, verwendet wurden.

5.2.1.2 Frontoethmoidale Zellen

Bereits 1941 beschrieb van Alyea „frontal cells“ als Zellen des vorderen Siebbeins und des Recessus frontalis und teilte sie in 2 Gruppen ein [49]:

1. **Frontal recess cells:** Zellen, deren Ursprung im Bereich des Recessus frontalis liegt.
2. **Invading frontal cells:** Zellen, die sich aus angrenzenden Bereichen in der Entwicklung in den Bereich des Recessus frontalis geschoben haben.

Klinisch waren in dieser Untersuchung vor allem die „invading frontal cells“ relevant, da diese erheblichen Einfluss auf die Drainageroute des Sinus frontalis nehmen. In Studien an insgesamt 242 Leichen wurde eine Inzidenz frontaler Zellen von ca. 50 % festgestellt. Diese Studien liefern nach wie vor die Grundlage heutiger Klassifikationen.

Es folgten neuere Klassifikationen und genauere Beschreibungen [22,23] mit Vereinheitlichung der teilweise verwirrenden Nomenklatur. Dennoch gestaltet sich die

Einteilung anatomischer Varianten nach wie vor schwierig. Nicht immer ist die Definition und Zuordnung zu einer Zellgruppe eindeutig möglich. Es gibt fließende Übergänge und nicht selten sehen unterschiedliche Zelltypen endoskopisch und radiologisch ähnlich aus oder kommen in Kombination mit anderen Zellen vor. Häufig unterscheiden sie sich in nur einem kleinen Detail ihrer Definition von einer anderen Zellgruppe. Dies macht die Interpretation teilweise subjektiv und vom Untersucher bzw. Operateur abhängig. Viele Autoren benutzen unterschiedliche Definitionen. Bei der Klassifikation frontoethmoidaler Zellen nach Kuhn [23] definiert der Autor diese anatomische Variante als „offensichtlich isolierte Zelle im Sinus frontalis oberhalb der Agger nasi Zelle“. Wormald sieht das Hauptkriterium in der Höhe der Zelle und grenzt eine Zelle Typ IV ab, wenn diese 50 % der Höhe des Sinus frontalis erreicht [28,50]. Die originäre Definition einer isolierten Zelle nach Kuhn verlangt eine Zelle, die sich ausschließlich und isoliert im Sinus frontalis befindet. Viele Zellen, die in der koronaren Schichtung als Typ 4 Zellen interpretiert werden, stellen sich aber in der multiplanaren Auswertung als große Zellen vom Typ 3 oder als Bullae frontales heraus. Diese entspringen kurz oberhalb des Agger nasi und erstrecken sich in die Stirnhöhle. Ursprung und Verlauf dieses Zelltyps ist besonders in der sagittalen Ebene gut zu sehen.

Auch bei frontoethmoidalen Zellen des Typs 3 nach Kuhn ist die Grenzziehung uneinheitlich. Kuhn hält sich in seiner Definition recht kurz. „Single large anterior ethmoid cell above the agger nasi cell“ und „extends far into true frontal sinus“ [23]. Diese Definition lässt eine Vielzahl von Varianten als K3-Zelle zu. In der Auswertung der vorliegenden Arbeit wurde eine frontoethmoidale Zelle als K3-Zelle gewertet, wenn sie den „frontal beak“, also die Spina nasalis anterior superior, überschreitet. Der Vergleich der Ergebnisse mit der Arbeit von Lee et al. [23] ergibt eine ähnliche Inzidenz (8 % zu 13 %, siehe Tabelle 5-4). Andere Arbeiten haben deutlich geringere Zahlen [23,45,51]. Dies dürfte an den unterschiedlichen Definitionskriterien für diese Zellen liegen.

Im Folgenden eine Aufstellung aktueller Studien bezüglich Zellvarianten des frontoethmoidalen Komplexes:

Autor	Anzahl Patienten	Zählweise	Auswertemethode
Lee et al. [23]	50	seitenbezogen	multiplanar
DelGaudio et al. [45]	106	seitenbezogen	multiplanar
Meyer et al. [51]	768	patientenbezogen	koronar

Tabelle 5-3: Aktuelle Studien, die zum Vergleich der Ergebnisse herangezogen wurden.

Studien mit Ergebnissen, die auf einzelne Seiten bezogen sind:

Anatomische Variante	Lee et al.	DelGaudio et al.	eigene Ergebnisse
Frontoethmoidale Zellen gesamt	<i>kein Ergebnis angegeben</i>	29,6 %	36,35 %
Frontoethmoidale Zellen Typ I	37 %	18,4 %	17,00 %
Frontoethmoidale Zellen Typ II	19 %	2,0 %	6,79 %
Frontoethmoidale Zellen Typ III	8 %	6,1 %	12,48 %
Frontoethmoidale Zellen Typ IV	0 %	3,1 %	0,08 %
Agger nasi Zellen	89 %	86,7 %	80,03 %
Zellen des Septum interfrontale	14 %	12,2 %	11,86 %
Bullae frontales	9 %	<i>kein Ergebnis angegeben</i>	15,99 %
Supraorbitale Zellen	62 %	<i>kein Ergebnis angegeben</i>	10,22 %

Tabelle 5-4: Vergleich eigener Ergebnisse mit aktuellen Studien nach Seiten getrennt.

Studien mit Ergebnissen, die auf Patienten bezogen sind:

Anatomische Variante	Meyer et al.	eigene Ergebnisse
Frontoethmoidale Zellen gesamt	20,4 %	53,20 %
Frontoethmoidale Zellen Typ I	14,9 %	29,33 %
Frontoethmoidale Zellen Typ II	3,1 %	12,48 %
Frontoethmoidale Zellen Typ III	1,7 %	21,68 %
Frontoethmoidale Zellen Typ IV	2,1 %	0,16 %

Tabelle 5-5: Vergleich eigener Ergebnisse mit aktuellen Studien nach Patienten berechnet.

Nicht alle Werte konnten miteinander verglichen werden. Lee et al. [23] haben in ihrer Studie keine Inzidenz für alle frontoethmoidalen Zellen angegeben. In der Studie von DelGaudio et al. [45] hingegen wurden keine Bullae frontales und auch keine supraorbitalen Zellen untersucht.

Die eigenen Ergebnisse liegen überwiegend im Bereich der vergleichbaren Studien. Bullae frontales wurden in der eigenen Untersuchung mit 15,99 % Häufigkeit gefunden und damit fast doppelt so häufig wie bei Lee et al. [23], eine Tatsache, die auf eine unterschiedliche Definition dieser Variante hindeuten kann. Der große Unterschied bei den supraorbitalen Zellen mit 62 % zu 10 % legt diesen Schluss auch bei dieser anatomischen Variante nahe.

Die Unterschiede der Ergebnisse im Vergleich zur Studie von Meyer et al. [51] sind für alle Varianten der frontoethmoidalen Zellen sehr deutlich. Dieser Unterschied ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf die nur koronare Analyse der CT-Untersuchungen der Studie von Meyer et al. [51] zurück zu führen. Gerade im Bereich des Recessus und Sinus frontalis sind multiplanare Rekonstruktionen zur exakten Analyse unverzichtbar. Häufig können erst durch die sagittale und axiale Schichtung die Grenzen der Zellen erfasst und damit die genaue Klassifikation vorgenommen werden.

Zellen des pneumatisierten Septum interfrontale sind in der vorliegenden Studie nur dann als solche gewertet worden, wenn sie als weitgehend abgeschlossener Raum vorzufinden waren. Manche Patienten weisen Verzweigungen am Septum interfrontale auf, die einer Zelle in diesem Bereich ähnlich sein können. Oft sind diese Räume aber zu einer Seite hin komplett offen und stellen damit nur eine Septierung des Sinus frontalis dar. Auch sollte eine Zelle des pneumatisierten Septum interfrontale deutlich in den Sinus frontalis hineinreichen, um als solche bezeichnet werden zu können. In den vergleichbaren Studien finden sich immer wieder Beispielbilder für diese anatomische Variante, die in der vorliegenden Arbeit nicht als solche gezählt wurden. Vergleicht man die vorliegenden Ergebnisse mit den Referenzarbeiten von Lee et al. [23] oder DelGaudio et al. [45], so sind die eigenen Ergebnisse sehr ähnlich.

Eine weitere unterschiedliche Interpretation dieses Zelltyps kann sich bei rein koronarer Betrachtung mit 3 mm Abstand ergeben. Bei dieser reduzierten Information können sie leicht mit frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn Typ 3 verwechselt werden. Zusätzlich sind zwei Konfigurationen der Zellen des Septum interfrontale zu berücksichtigen:

1. Die Zelle befindet sich weit im Sinus frontalis am Septum und ist damit klar als Zelle des Septum interfrontale zu erkennen.
2. Die Zelle befindet sich nahe dem Recessus frontalis und damit am Boden des Sinus frontalis.

Viele K3-Zellen, die nicht weit in den Sinus frontalis hinein reichen, befinden sich ebenfalls noch in der Region des Recessus frontalis. Allerdings fehlt ihnen der Kontakt zum Septum interfrontale. Die genauen Kontaktverhältnisse lassen sich nur mit koronaren und zusätzlich axialen Schichten darstellen. Andernfalls besteht die Gefahr, diese Zellen fälschlicherweise als frontoethmoidale Zellen nach Kuhn Typ 3 einzustufen. Koronare und axiale Schichten stellen die Kontaktverhältnisse zum Septum interfrontale am genauesten dar.

Im Vergleich mit der Studie von Lee et al. [23] ergeben sich Differenzen besonders hinsichtlich der supraorbitalen Zelle. Ursächlich hierfür können unterschiedliche Bewertungskriterien sein. Auch wird in dieser Studie die „supraorbital ethmoid cell“ als eine „Zelle des Ethmoids definiert, die sich über die Orbita erstreckt, ausgehend vom Recessus frontalis“, und die sich „in den lateralen Teil des Recessus frontalis öffnet“. Diese Definition wurde für diese Arbeit übernommen, allerdings mit dem Zusatz, dass sich der pneumatisierte Hohlraum bis hinter den Austritt der Arteria ethmoidalis anterior erstreckt. Hierdurch werden Varianten erfasst, bei denen im Falle eines chirurgischen Eingriffs eine besondere Gefahr im Bereich des vorderen Ethmoids besteht. Die Arteria ethmoidalis anterior verläuft in diesem Fall frei durch den Sinus ethmoidalis und kann bei Unkenntnis dieser anatomischen Variante zu intraoperativen Komplikationen führen.

Im Vergleich mit der Arbeit von DelGaudio et al. [45] ergeben sich Unterschiede in den Häufigkeiten der frontoethmoidalen Zellen insgesamt, der Agger nasi Zellen und der Zellen des pneumatisierten Septum interfrontale. Größere Unterschiede fallen beim Vergleich der frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn Typ II und III auf. Da sich die Zahl der frontoethmoidalen Zellen insgesamt aber nicht deutlich voneinander unterscheidet, ist die Differenz möglicherweise eher durch unterschiedliche Definitionen der anatomischen Varianten, als durch Unterschiede der Häufigkeit im Patientengut zu erklären.

Meyer et al. [51] stellen in ihrer Arbeit einen Zusammenhang mit dem Vorkommen von frontoethmoidalen Zellen und einer Hyperpneumatisation (Vorkommen mehrerer anatomischer Varianten bei einem Patienten) dar. Tabelle 5-6 zeigt die Ergebnisse hinsichtlich Hyperpneumatisation der Arbeit von Meyer et al. [51] und Tabelle 5-7 die Ergebnisse der vorliegenden Arbeit.

Ergebnisse von Meyer et al. [51]:

Anatomische Variante	Alle Patienten	Patienten mit frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn	Patienten ohne frontoethmoidale Zellen nach Kuhn
	n=768	n=157	n=611
Frontoethmoidale Zellen nach Kuhn	20,4 %	-	-
Pneumatisiertes Septum interfrontale	12,4 %	15,3 %	11,6 %
Pneumatisierte Crista galli	8,7 %	11,5 %	8,0 %
Onodi-Zellen	5,5 %	6,4 %	5,4 %
Conchae bullosae	27,6 %	41,4 %	24,1 %

Tabelle 5-6: Hyperpneumatisation: Ergebnisse der Studie von Meyer et al.

Eigene Ergebnisse:

Anatomische Variante	Alle Patienten	Patienten mit frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn	Patienten ohne frontoethmoidale Zellen nach Kuhn
	n=641	n=341	n=300
Frontoethmoidale Zellen nach Kuhn	53,20 %	-	-
Pneumatisiertes Septum interfrontale	20,90 %	20,82 %	37,67 %
Pneumatisierte Crista galli	14,04 %	13,78 %	25,33 %
Pneumatisierter Processus uncinatus	13,10 %	14,96 %	22,33 %
Onodi-Zellen	12,95 %	14,96 %	20,67 %
Supraorbitale Zellen	11,54 %	14,37 %	18,33 %
Pneumatisierter Processus clinoideus	24,34 %	28,45 %	41,33 %
Conchae bullosae	34,32 %	36,95 %	57,00 %

Tabelle 5-7: Hyperpneumatisation: Eigene Ergebnisse.

Die Inzidenz von Hyperpneumatisation in der eigenen Studie liegt durchwegs über der von Meyer et al. [51], in deren Studie allerdings nur koronare CT-Schichtungen zur Analyse herangezogen wurden. Gerade frontoethmoidale Zellen erfordern aber zur genauen Klassifizierung eine multiplanare Auswertung. Auch für Onodi-Zellen sind axiale und sagittale Schichtungen hilfreich. Eine weitere Ursache können die am Anfang dieses Abschnitts erwähnten Probleme bei den Definitionskriterien zwischen den einzelnen Zelltypen sein.

Das Vorliegen von frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn lässt laut den eigenen Ergebnissen keinen weiteren Schluss auf Hyperpneumatisation, also eine gleichzeitig erhöhte Inzidenz anderer anatomischer Varianten, zu. Bei der Analyse der Koinzidenz der vorliegenden Studie fiel auf, dass Patienten ohne frontoethmoidale Zellen nach Kuhn durchgehend weniger Zeichen der Hyperpneumatisation aufwiesen (siehe auch Tabelle 4-11). In der aktuellen Literatur ist keine weitere vergleichbare Gegenüberstellung zu finden. Eine Interpretation dieser Ergebnisse wäre aussagekräftiger, wenn sich dieses Phänomen in weiteren Studien feststellen lässt.

5.2.1.3 Zellen des Sinus ethmoidalis

Zellvarianten des Sinus ethmoidalis sind sehr häufig und bisweilen schwer zu klassifizieren. Durch die Labyrinthstruktur ihrer Verbindungswege verschmelzen sie oft miteinander. Nur mit multiplanarer Rekonstruktion ist dann zu unterscheiden, ob es sich um einen Recessus oder eine vollständige Zelle handelt. Van Alyea unterschied 1939 „ethmo-frontale“ Zellen in einen suprainfundibulären und suprabullären Typ [52].

- Suprainfundibular cell: „The ostium of the suprainfundibular cell lies above the point of fusion between the bullar lamella and the uncinat process. This point marks the upper end of the hiatus semilunaris.“ [52]
- Suprabullar cells: Diese Zelle liegt oberhalb der Bulla ethmoidalis und hat unmittelbaren Kontakt mit der Schädelbasis.

Diese Zellen können sich weiter frontal und kranial als der Sinus ethmoidalis anterior befinden. Speziell suprainfundibuläre Zellen können sich bis in den Sinus frontalis ausbreiten. In der vorliegenden Arbeit wurde zwischen suprabullären Zellen und Bullae frontales unterschieden. Suprainfundibuläre Zellen mit Ausweitung in den Sinus frontalis wurden als

Bullae frontales, andere Zellen als suprabulläre Zellen zusammengefasst. Agger nasi Zellen wurden von van Alyea ebenfalls den suprainfundibulären Zellen zugeordnet.

Allerdings ist die aktuelle Definition der suprabullären Zellen als „Ethmoidzellen über der Bulla ethmoidalis“ nicht immer ausreichend. Nach Stammberger et al. ist die Bulla ethmoidalis „die für gewöhnlich konstanteste und größte Zelle des vorderen Siebbeins“ [22]. Bei Patienten mit stark septiertem Sinus ethmoidalis ist häufig keine markant große Zelle zu erkennen. Legt man sich auf eine der vorderen Zellen als Bulla frontalis fest, so befinden sich häufig kleinere Zellen oberhalb dieser größeren Zelle. Diese sind dann als suprabulläre Zellen zu bezeichnen.

Es gibt nur wenige Studien über suprabulläre Zellen, was vermutlich an der fehlenden chirurgischen und pathologischen Konsequenz liegt. Lee et al. [23] stellten in ihrer Studie (50 Patienten) bei 14 % der Patienten suprabulläre Zellen fest. Die eigenen Ergebnisse liegen mit 28,24 % deutlich darüber.

5.2.1.4 Haller-Zellen

Für Haller-Zellen besteht keine präzise Definition. Die Unterscheidung, ob es sich um einen pneumatisierten Orbitaboden oder um jede eingewanderte Zelle des Sinus ethmoidalis handelt, ist nicht eindeutig definiert. Haller-Zellen gelten als potentieller ätiologischer Faktor für rekurrende Sinusitiden im Bereich der Kieferhöhle. Sie verengen das Ostium und schränken so die Belüftung des Sinus maxillaris ein. Es handelt sich um eine häufige Variante, die in mehreren Studien, unter anderem von Grünwald [53], Kainz et al. [35], Bolger et al. [48], Kantarci et al. [34] und Ahmad et al. [54], untersucht wurde. Die großen Unterschiede der Inzidenz dieser Variante in den einzelnen Studien verdeutlichen die „Definitionsücke“.

Grünwald (1913)	Kainz (1993)	Bolger (1991)	Kantarci (2004)	Ahmad (2006)	Eigene Ergebnisse
4 %	8,14 %	45,9 %	18 %	38,2 %	20,91 %

Tabelle 5-8: Häufigkeiten von Haller-Zellen.

Im Vergleich zu den Arbeiten von 1913 und 1993 wurden Haller-Zellen in der eigenen Studie mit einer deutlich höheren Rate von 20,91 % festgestellt worden. Manche Autoren werteten nur Zellen, die sich unmittelbar am Kieferhöhlendach befanden, als Haller-Zellen. Wie bei Bolger et al. [48] wurde in der vorliegenden Studie jede Zelle, die sich unterhalb der Bulla ethmoidalis und am Kieferhöhlendach sowie dem untersten Teil der Lamina papyracea befindet, als Haller-Zelle gewertet. Bolger et al. zählten auch Zellen, die sich im Infundibulum ethmoidale befanden, zu dieser Kategorie. Hierdurch lässt sich die hohe Inzidenz von 45,9 % in deren Studie erklären. Auch in der eigenen Arbeit wurden alle Zellen, die im Bereich des Infundibulum ethmoidale liegen, gezählt. Ahmad et al. [54] stützen sich in ihrer Arbeit auf 233 konventionelle Röntgenaufnahmen, deren diagnostische Aussage nicht mit der von multiplanaren CT-Schichten vergleichbar ist.

5.2.1.5 Onodi-Zellen

Kainz und Stammberger [55] untersuchten in einer Studie die Inzidenz von Onodi-Zellen an 52 Präparaten (durch Dissektion) und fanden diesen Zelltyp in 22 Fällen (42 % der Präparate). In unserer Studie fand sich in 12,95 % aller Patienten dieser Zelltyp. Meyer et u al. [51] kamen in ihrer Studie auf 5,5 % (ebenfalls patientenbezogen). Diese variierenden Ergebnisse können wiederum auf unterschiedliche Definitionen einer Onodi-Zelle zurückgeführt werden. In der eigenen Auswertung wurde eine Onodi-Zelle gewertet, wenn eine klar abgrenzbare, aus dem Sinus ethmoidalis posterior stammende, pneumatisierte Struktur zu erkennen war. Weiteres Kriterium war das Heranreichen bis an den Canalis opticus und die Ausbreitung nach kranial und lateral des Sinus sphenoidalis. Kainz und Stammberger [55] zählten in ihrer Arbeit 12 % der Patienten mit besonders großen Onodi-Zellen. Auch schreiben sie: „[In unserer Studie wurde jede posteriore Ethmoidalzelle, die sich mit einer endoskopisch identifizierbare Vorwölbung des Canalis opticus präsentierte, als Onodi-Zelle identifiziert, auch wenn sie in ihrer Größe minimal war]“. Möglicherweise stammt der Unterschied in den Ergebnissen aus diesen unterschiedlichen Definitionen. Onodi-Zellen kommt aufgrund der Nähe zu Arteria carotis interna und Nervus opticus eine besondere Bedeutung zu. Sie stammen aus dem Sinus ethmoidalis posterior und pneumatisieren häufig weit in oder posterior-lateral des Sinus sphenoidalis. In diesem Fall muss dem Operateur bewusst sein, dass die hintere Grenze des Sinus ethmoidalis posterior nicht die Vorderwand des Sinus

sphenoidalis ist. Auch die Vorderwand des Sinus sphenoidalis verläuft nicht immer in koronarer Ebene. Durch Fehleinschätzungen bei nicht exakter Kenntnis einer vorliegenden Onodi-Zelle kann es hier zu Verletzungen des Nervus opticus kommen [55].

Obwohl das Vorliegen dieser Zellen ein erhöhtes Risiko bedeutet, bestehen nur wenige Studien zu deren Häufigkeit. Jones et al. [56] untersuchten die Häufigkeit bei 200 Patienten, von denen 100 Sinusitispatienten waren und weitere 100 Patienten eine Kontrollgruppe darstellten.

Jones et al.	eigene Ergebnisse
7 % in Sinusitisgruppe 9 % in Kontrollgruppe	12,95 %

Tabelle 5-9: Inzidenz von Onodi-Zellen bei Patienten mit Sinusitis und einer Kontrollgruppe

Die Ergebnisse der eigenen Studie und der Vergleichsstudie von Jones et al. sind ähnlich. Onodi-Zellen ließen sich nach Jones et al. nicht häufiger bei Sinusitispatienten finden. Die eigenen Ergebnisse liegen etwas über denen von Jones et al.. Eine Unterteilung in Patienten mit Sinusitis und einer Kontrollgruppe erfolgte in der vorliegenden Studie nicht. Laut Kantarci et al. [34] bietet die axiale Schicht die beste Möglichkeit, Onodi-Zellen mit dem Verlauf des Nervus opticus sicher zu identifizieren. Die koronare Schichtung lieferte bei 1 mm Schichtung in der eigenen Studie die beste Erkennung. Axiale Schichten sind sehr hilfreich, um den Verlauf des Canalis nervi optici in seiner Gesamtheit über die Onodi-Zelle beurteilen zu können.

5.2.2 Koinzidenz anatomischer Varianten und Schleimhautpathologien

Zahlreiche Studien haben ergeben, dass die Computertomographie keine geeignete Screeningmethode für CRS ist. Holbrook und Brown [57] zeigten, dass die Größe einer Agger nasi Zelle oder einer Bulla ethmoidalis nicht in Zusammenhang steht mit Beschwerden des Patienten mit CRS. Auch die eigenen Ergebnisse bezüglich Schleimhautpathologien lassen keinen zwingenden Zusammenhang zwischen anatomischen Varianten und Schleimhautpathologien zu. In vielen Fällen finden sich aber Hinweise auf eine verminderte Ventilation und damit Prädisposition für sekundäre Pathologien.

Die Computertomographie kann nicht die klinische Diagnostik ersetzen. Sie ist aber die Methode der Wahl bei entsprechenden klinischen Beschwerden und Verdacht auf mechanisch

behindernde Varianten im Bereich der Nasennebenhöhlen und vor allem bei der Frage nach einem sinnvollen Einsatz operativer Maßnahmen.

Auffällig ist bei den vorliegenden CT-Untersuchungen das erhöhte Vorkommen von Schleimhautverdickungen im Bereich des Recessus und Sinus frontalis, vor allem bei frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn Typ III. Die Inzidenz ist mit 17,50 % mehr als doppelt so hoch wie bei Zellen der Kategorie I und II. Eine frontoethmoidale Zelle nach Kuhn Typ IV fand sich nur in einem Fall und lässt damit keine relevante Aussage zu einem erhöhten Risiko einer Schleimhautpathologie zu. Zusammenfassend besteht die Tendenz, dass Zellen des Typs III den Recessus mehr einengen als Zellen der Typen I und II und damit mehr Schleimhautpathologien zu erwarten sind.

Die den frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn ähnlichen Bullae frontales wiesen ebenfalls häufig begleitende Schleimhautreaktionen auf. 16,10 % dieser Variante waren mit Reaktionen der Schleimhaut des Sinus und Recessus frontalis vergesellschaftet.

Erklärbar sind diese Zahlen durch die spezielle Lage dieser Variationen des Recessus frontalis und der damit verbundenen Beeinträchtigung der Drainageroute der Stirnhöhle. Beide Varianten befinden sich im Lumen des Recessus und Sinus frontalis und schränken die Drainage dadurch ein.

Ähnliches gilt für Haller-Zellen. Hier ließ sich in 30,24 % eine Verschattung Grad 1 oder 2 des Sinus maxillaris nachweisen. Obwohl die Patienten nicht selektiv wegen Verdacht auf Sinusitis maxillaris untersucht wurden, zeigt das Ergebnis doch eine erhöhte Frequenz von Schleimhautverdickungen im Sinus maxillaris als Folge der verminderten Belüftung bei Vorliegen dieser Variante.

Besondere Bedeutung kommt dem ostiomeatalen Komplex als Schlüsselstelle der Drainage und Ventilation der angrenzenden Nasennebenhöhlen zu. Wie unter 4.1.2.7 gezeigt, war dieser Bereich in den vorliegenden CT-Datensätzen besonders häufig von mittleren bis schweren Schleimhautpathologien betroffen. Zusätzliche erwies sich unter 4.1.2.8, dass gemittelt 49,5 % der Patienten mit einer Verschattung im Bereich der ostiomeatalen Einheit zusätzliche Schleimhautreaktionen im Sinus frontalis, maxillaris oder ethmoidalis anterior aufwiesen. Diese Zahlen legen nahe, dass in der radiologischen Diagnostik dem ostiomeatalen Komplex spezielle Beachtung als Schlüsselstelle bei der Ausbreitung entzündlicher Prozesse der Nasennebenhöhlen gewidmet werden muss.

5.2.3 Entzündliche Herde der Zahnwurzeln des Oberkiefers und Schleimhautpathologien des Sinus maxillaris

In vielen Fällen ist ein entzündlicher Prozess einer Zahnwurzel ein prädisponierender Faktor für eine Sinusitis maxillaris [58]. 8,8 % aller vorliegenden CT-Untersuchungen wiesen als Zufallsbefund einen oder mehrere bis dahin nicht bekannte entzündliche Herde an den Zahnwurzeln des Oberkiefers auf. Bei 32,7 % dieser Patienten war gleichzeitig eine lokale Schwellung der Schleimhaut des darüber liegenden Sinus maxillaris feststellbar. Besonders prädisponiert für diese entzündlichen Wurzelspitzenherde sind Zähne mit vorausgehender Wurzelbehandlung. Durch die Aktivität der betroffenen Zähne sind die chronischen Entzündungsherde im Alveolarkamm klinisch in der Regel lange Zeit stumm und verursachen erst bei entsprechend fortgeschrittenem Entzündungsherd Symptome der Sinusitis, wie einseitige Gesichtsschmerzen oder Druckgefühl im Bereich der Kieferhöhle. Eine konservative oder operative Therapie der Sinusitis wäre in diesen Fällen nicht zielführend. Die hohe Inzidenz solcher zufällig entdeckter, dentogener Entzündungsherde in unserem Patientengut zeigt die Notwendigkeit, im Rahmen einer NNH-CT auch den Oberkiefer mit dem entsprechenden Zahnstatus zu beachten.

5.3 Analyse des Vorteils multiplanarer Rekonstruktionen

5.3.1 Unterschiede in den Ergebnissen der verschiedenen Analysen

Die Multispiral-CT liefert primär sehr dünne axiale Schichten als einen Datenblock, aus dem zusätzliche Schichten sagittal, koronar aber auch in beliebigen anderen Ebenen rekonstruiert werden können.

Es handelt sich um kein neues Verfahren und keine zusätzliche Strahlenbelastung für den Patienten. Es werden lediglich die ohnehin vorhandenen anatomischen Daten aus dem gewonnenen Datensatz durch zusätzlich rekonstruierte Ebenen ergänzt. Diese dreidimensionale Auswertung wird bisher im klinischen Alltag nicht konsequent genutzt. Meist werden radiologisch und klinisch in der Auswertung nur koronare Schichten in 3 mm Schichtabstand dokumentiert und als Basis der Diagnostik genutzt.

162 Datensätze wurden von 2 Untersuchern zunächst jeweils nur koronar und mit einem zeitlichen Abstand noch einmal multiplanar ausgewertet. Zusätzlich erfolgte eine rein

koronare Auswertung durch einen Schnittbild-erfahrenen Radiologen, um die Aussagekraft der üblicherweise nur koronaren Standardbildgebung und -befundung aus radiologischer Sicht vergleichen zu können.

Als Referenz-Aussage zur Analyse der Vorteile multiplanarer Rekonstruktionen wurden die Ergebnisse der multiplanaren Auswertung festgelegt. Abweichende Ergebnisse der ausschließlich koronaren Auswertung von Schichten in 3 mm Abstand wurden dann als Fehler gezählt.

Der Unterschied zwischen den koronaren Analyseergebnissen der drei Untersucher ist bei frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn und suprabullären Zellen deutlich. Alle Auswerter hatten die gleichen CT-Datensätze vorliegen und es galten gleiche Kriterien der anatomischen Varianten. Abbildung 4-14 zeigt die Unterschiede der drei Untersucher bei den gleichen CT-Datensätzen und in nur koronarer Auswertung. Es ist deutlich zu erkennen, dass große Unterschiede vor allem im Bereich der frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn und suprabullären Zellen aufgetreten sind. Ersterer erklärt sich aus der zusätzlichen Unterklassifikation in 4 verschiedene Zellarten. Hierbei treten naturgemäß größere Unterschiede auf als bei Zellarten mit dem Unterscheidungskriterium vorhanden / nicht vorhanden. Der Unterschied bei den suprabullären Zellen, vor allem zwischen Untersucher 2 und Untersucher 3, fällt auf. Hier wird deutlich, dass die Untersucher eine unterschiedliche Definition einer suprabullären Zelle hatten. Gerade diese anatomische Variante ist in der koronaren Schicht nicht sicher einzuordnen. Die großen Differenzen in der ausschließlich koronaren Ebene verdeutlichen die Notwendigkeit einer multiplanaren Auswertung mit Nutzung des ohnehin vorhandenen Datenmaterials.

Für eine optimale Operationsplanung ist es unumgänglich, dass auch der Operateur Erfahrung in den verschiedenen Bildebenen besitzt [16]. Diese Erfahrung und Übung mit den unterschiedlichen Ebenen ist während des Operationsverlaufs von großem Nutzen. Auch eine gute Interaktion und Kommunikation zwischen Rhinochirurgen und Radiologen ist erforderlich, um die Untersuchungstechnik auf hohem Niveau zu standardisieren und die Bilddokumentation an die Erfordernisse des Operateurs optimal anzupassen, sowie eine verbesserte, einheitliche Terminologie zu erreichen.

5.3.2 Statistik

Der mit dem McNemar Test ermittelte p-Wert und damit die Signifikanz der Unterschiede zwischen der multiplanaren und koronaren Analyse untersucht eine Richtung in den Abweichungen. Ist der p-Wert kleiner als 0,05, so ist eine Tendenz feststellbar und eine Aussage der Art „Mehr Agger nasi Zellen wurden mit der multiplanaren Analyse festgestellt.“ ist zulässig. Ist der p-Wert größer als 0,05, so lässt sich diese Aussage nicht treffen. Trotzdem ist die prozentuale Abweichung zwischen koronarer und multiplanarer Analyse hoch. Die Zahl der falsch positiven kommt in diesem Fall der Zahl der falsch negativen Ergebnisse sehr nahe und bedingt dadurch einen hohen p-Wert und damit geringe Signifikanz.

Die Diskordanz zwischen rein koronarer und multiplanarer Auswertung ist besonders bei Kuhn Zellen und suprabullären Zellen auffällig hoch. Dies hat vor allem zwei Gründe: Zum einen besteht bei frontoethmoidalen Zellen nach Kuhn nicht nur das Unterscheidungskriterium 0 (nicht vorhanden) und 1 (vorhanden), sondern eine weitere Einstufung in vier unterschiedliche Typen (1-4). Damit erhöht sich die Möglichkeit einer Diskordanz. Auch sind die Grenzen der einzelnen Zellen je nach Konfiguration fließend und damit zu einem bestimmten Teil vom Untersucher abhängig.

Tabelle 4-30 zeigt die Signifikanz der Unterschiede zwischen der koronaren und multiplanaren Analysen von Untersucher 1 und 2. Die Abweichungen sind signifikant für fast alle Werte. Bei Untersucher 2 lässt sich für die Zellen des Septum interfrontale und für die suprabullären Zellen ein p-Wert von $> 0,05$ feststellen. Bei den Zellen des Septum interfrontale geht die Abweichung damit nicht signifikant in eine Richtung. Es kann also keine Tendenz festgestellt werden. Für suprabulläre Zellen ist ebenfalls ein p-Wert von $> 0,05$ aufgetreten. Dies zeigt, dass mit der rein koronaren Analyse keine Aussage möglich ist, ob mit dieser Ebene mehr falsch positive oder negative Ergebnisse geliefert werden.

Tabelle 4-31 zeigt die Signifikanz für die koronaren Analysen von Untersucher 1, 2 und 3 im direkten Vergleich zur multiplanaren Analyse von Untersucher 1.

Unter Verwendung der Ergebnisse der multiplanaren Analyse von Untersucher 1 als Referenzwert ergab sich bei allen untersuchten anatomischen Varianten eine signifikante Abweichung zwischen der koronaren und der multiplanaren Analyse. Bei suprabullären Zellen der koronaren Analyse von Untersucher 3 ist dieser Unterschied nicht signifikant und

damit keine Tendenz zu erkennen. Erklärbar ist dieses Ergebnis durch den 3 mm Abstand der koronaren Ebene. Suprabulläre Zellen können unter diesen Voraussetzungen schwer von Septierungen der Bulla ethmoidalis unterschieden werden. Dadurch lässt sich keine Aussage dazu treffen, ob durch die koronare Schicht fälschlicherweise mehr oder weniger dieser Zellen diagnostiziert wurden.

Die Vorteile der multiplanaren Analyse liegen in der genaueren Differenzierung ähnlicher Zellen wie z.B. K3-Zelle und Bulla frontalis. Diese Zellen unterscheiden sich durch ihren Ursprung und ihre Rückwand (siehe Begriffsdefinition). Für die Operationsplanung ist es sehr wichtig zu wissen, ob sich hinter einem knöchernen Septum der eigentliche Sinus oder Endokranium befindet. Wie die Statistik gezeigt hat, bietet nur die multiplanare Analyse ausreichende Sicherheit.

5.3.3 Vorteile der multiplanaren CT-Analyse im Bereich des Recessus frontalis

Anatomische Varianten der Nasennebenhöhlen sind zahlreich und können sehr komplexe Konfigurationen aufweisen. Der Operateur bedarf präoperativ zur Planung möglichst genauer Informationen bezüglich der zu erwartenden räumlichen Verhältnisse. Diese können bei Vorliegen einer einzelnen Agger nasi Zelle oder einer Haller-Zelle unter Umständen auch mit koronaren CT-Bildern alleine geliefert werden. Sobald allerdings mehrere Varianten in Kombination vorliegen, ist eine sichere Differenzierung nicht mehr möglich. Zusätzlich erscheint der 3 mm Abstand von CT-Schichten im Bereich der Nebenhöhlen zu groß und ungenau. Viele Zellen haben einen Durchmesser von nur ca. 3-4 mm und werden dann nur in ein bis zwei Schichten angeschnitten, was keine Aussage zu deren Wandkonfiguration zulässt. Selbst mit multiplanaren Rekonstruktionen ist für die Operationsplanung immer noch eine exakte, räumliche Vorstellung notwendig. P.J. Wormald schlägt deshalb für den Recessus frontalis das „building block concept“ [50] vor. Hier stellt man sich Zellen als Blöcke dar. Durch Überlappung und verschiedene Größen der einzelnen Zellen entsteht so ein vereinfachtes Modell der vorherrschenden Anatomie. Wichtig ist die Drainageroute des Recessus frontalis an diesen „Zellblöcken“ vorbei. Mit ausschließlich koronaren Schichtbildern kann in den meisten Fällen der Drainageweg des Sinus frontalis nicht erfasst werden, da dieser bei Vorliegen von mehreren anatomischen Varianten dreidimensional in einem Zick-Zack-Kurs verläuft. Nur unter Zuhilfenahme möglichst dünner Schichten in drei

Ebenen ist die Erstellung eines „Zellblock-Modells“ überhaupt möglich. Um eine gute räumliche Vorstellung der Anatomie zu erhalten, sind präoperativ multiplanare Rekonstruktionen der CT-Untersuchung mit möglichst geringer Schichtdicke unumgänglich. Intraoperativ bietet navigationsgesteuerte OP-Technik unter bestimmten Voraussetzungen zusätzliche Sicherheit. Diese Möglichkeit steht allerdings nicht in allen Häusern zur Verfügung und sie ersetzt in keinem Fall die genaue Kenntnis der anatomischen Gegebenheiten. Umso mehr sollte die Information von multiplanaren Rekonstruktionen der Computertomographie in der präoperativen Planung genutzt werden, um besonders komplexe Fälle dann einer Operation unter Navigationsbedingungen zuzuführen.

6 Zusammenfassung

Die Chirurgie der Nasennebenhöhlen bleibt trotz vieler technischer Neuerungen eine große Herausforderung. Mosher, ein Pionier der NNH-Chirurgie, schrieb 1929: „Theoretically the operation is easy. In practice, however, it has proved to be one of the easiest operations with which to kill a patient“ [59]. Besondere Bedeutung erhält die Region durch eine Fülle anatomischer Varianten und die Nähe zu Arteria carotis interna, Nervus opticus, Bulbus olfactorius und Endokranium, die häufig nur von Knochenwänden von unter 1 mm Dicke bedeckt sind. Zusätzlich weist eine Reihe anatomischer Varianten nur geringe Unterschiede auf, die aber vor allem für chirurgische Eingriffe von erheblicher Bedeutung sind. Die heutige Multispiraltechnik der Computertomographie ermöglicht Rekonstruktionen in beliebiger Ebene und Schichtdicken von unter 1 mm ohne zusätzliche Strahlenbelastung für den Patienten. Trotzdem werden im Rahmen von Operationen der Nasennebenhöhlen häufig nur koronare CT-Schichten mit einem Abstand von 3 mm angefordert. Axiale und sagittale Zusatzschichten liefern wichtige Zusatzinformationen in allen Bereichen der Nasennebenhöhlen.

Ziel dieser Arbeit war deshalb

- die Analyse von n = 641 CT-Datensätzen zur Ermittlung der Inzidenz anatomischer Varianten der Nasennebenhöhlen. Ausschlusskriterium war eine vorangegangene Operation im Bereich der Nasennebenhöhlen.
- die Ermittlung des Vorteils multiplanarer Rekonstruktionen durch Analyse von n = 162 CT-Datensätzen mit drei unabhängigen Untersuchern. Zunächst erfolgte eine Interpretation in koronarer Ebene bei 3 mm Schichtdicke. Anschließend wurden die Untersuchungen von 2 Untersuchern erneut unter Verwendung von multiplanaren Rekonstruktionen mit 1 mm Schichtdicke ausgewertet.

Die Ergebnisse des ersten Teils der Auswertung zeigen, dass anatomische Varianten im Bereich der Nasennebenhöhlen sehr häufig sind. Folgende Inzidenzen anatomischer Varianten des frontoethmoidalen Komplexes konnten festgestellt werden: Kuhn Typ I: 17,0 %, Typ II 6,8 %, Typ III: 12,5 %, Typ IV: 0,1 %. Die Prävalenz von Agger nasi Zellen lag bei 80,0 %, von supraorbitalen Zellen bei 10,2 %, von suprabullären Zellen bei 28,2 %, von Bullae frontales bei 16,0 % und von Zellen des Septum interfrontale bei 11,9 %. Bei 13,2 % der untersuchten Patienten zeigte sich im CT eine Schleimhautreaktion des Sinus frontalis. Die Inzidenz weiterer anatomischer Varianten war wie folgt: Concha bullosa in 22,2 %, Haller-

Zelle in 16,0 %, pneumatisierter Processus uncinatus in 8,8 % und Onodi-Zellen in 8,4 % der Fälle.

Die Ergebnisse des zweiten Teils der Auswertung ergaben, dass multiplanare Rekonstruktionen, vor allem im Bereich des Recessus frontalis, eine signifikante Verbesserung bei der Erkennung anatomischer Varianten gewährleisten.

Die statistische Auswertung zeigte signifikante Unterschiede der multiplanaren gegenüber der koronaren Analyse für Agger nasi Zellen, frontoethmoidale Zellen nach Kuhn, Zellen des Septum interfrontale und Bullae frontales. Unter Berücksichtigung der vorliegenden Ergebnisse sind folgende bevorzugte Ebenen zur Analyse von anatomischen Varianten zu empfehlen:

	Koronare Schicht	Sagittale Schicht	Axiale Schicht
Agger nasi Zellen	X	X	
Frontoethmoidale Zellen nach Kuhn, Zellen des Septum interfrontale	X	X	X
Bullae frontales	X	X	X
Haller-Zellen	X		
Onodi-Zellen	X	X	

Tabelle 6-1: CT-Checkliste der bevorzugten Ebenen für definierte anatomische Varianten.

Aufgrund der Ergebnisse kann folgendes praktisch-klinisches Vorgehen empfohlen werden:

- Beurteilung von multiplanaren CT-Rekonstruktionen im Sinne einer CT-Checkliste
- Folgende 10 Punkte sollten vom Operateur beachtet werden:
 1. Wie sind das Infundibulum ethmoidale und die ostiomeatale Einheit beschaffen?
 2. Welchen Verlauf hat der Processus uncinatus? Liegt ein Recessus terminalis vor?
 3. Welche Konfiguration hat die Bulla ethmoidalis?
 4. Wie ist das Verhältnis der medialen Orbitabegrenzung zur Nasenhaupthöhle?
 5. Wie ist die Beschaffenheit der Concha nasalis media? Liegt eine Pneumatisation (Concha bullosa) oder eine inverse Concha vor?
 6. Sind infraorbitale Zellen vorhanden? Wird das Infundibulum maxillare durch diese Zellen beeinträchtigt?

7. Wie gestaltet sich der Übergang von Lamina cribrosa und Siebbeindach? Welcher Typ nach Keros liegt vor? Liegt ein „dangerous ethmoid“ vor?
8. Kann der Verlauf der Arteria ethmoidalis anterior verfolgt werden? Verläuft diese frei durch das vordere Siebbein?
9. Wie ist der Recessus frontalis beschaffen? Liegen frontoethmoidale Zellen vor? Ist die Drainageroute der Stirnhöhle dadurch beeinträchtigt?
10. Wie ist die Konfiguration des Sinus sphenoidalis? Sind Onodi-Zellen vorhanden? Ist die Arteria carotis interna knöchern bedeckt oder liegen Dehiszenzen vor? Verläuft der Nervus opticus oberhalb oder frei durch den Sinus sphenoidalis?

Intraoperative Risiken aufgrund nicht erkannter anatomischer Varianten können durch sorgfältige Operationsplanung mit CT-Rekonstruktionen in drei Ebenen verringert werden. Multiplanare Rekonstruktionen sollten frühzeitig angefordert werden und während des Eingriffs in ausgedruckter Form vorliegen. Nur eine genaue Kenntnis der zu erwartenden anatomischen Strukturen gewährleistet ein sicheres operatives Vorgehen. CT-Rekonstruktionen in drei Ebenen ermöglichen weniger erfahrenen Operateuren eine bessere präoperative Einschätzung der anatomischen Situation. Eine Überweisung des Patienten an entsprechende OP-Zentren mit Spezialisten kann dann möglicherweise veranlasst werden.

Intraoperativ können Navigationssysteme auf der Basis von multiplanaren Rekonstruktionen als Hilfsmittel eingesetzt werden, jedoch dürfen diese nicht als Ersatz für fehlende anatomische Kenntnisse gesehen werden. Zudem stehen diese Geräte derzeit nur in größeren Kliniken zur Verfügung. Die Benutzung eines Navigationsgerätes bietet keine Garantie, intraoperative Komplikationen zu vermeiden; immer sind die genaue Kenntnis der individuellen anatomischen Gegebenheiten und dadurch mögliche Komplikationen während der Operation ausschlaggebend.

Wie die vorliegende Studie gezeigt hat, sind anatomische Varianten im Bereich der Nasennebenhöhlen die Norm. Anatomische Varianten können unter bestimmten Bedingungen intraoperative Risiken darstellen. Multiplanare CT-Rekonstruktionen bieten signifikante Vorteile bei der Analyse der anatomischen Situation und sollten deshalb zum Standard der präoperativen Routinediagnostik bei Eingriffen im Bereich der Nasennebenhöhlen werden.

7 Literaturverzeichnis

- [1] Boenninghaus HG, Lenarz T. *HNO*. Springer Medizin Verlag Heidelberg. 2005.
- [2] Berghaus A. [Chronic inflammation of the upper airways. Operation instead of antibiotic]. *MMW Fortschr Med* 2005; 147(39):27.
- [3] Lin SH, Ho CY. Paranasal sinus pathologies in patients presenting with headache as the primary symptom. *Cephalalgia* 2006; 26(4):423-427.
- [4] Leunig A, Berghaus A. [New information on chronic rhinosinusitis and polyposis nasi]. *MMW Fortschr Med* 2005; 147(39):28-32.
- [5] Stammberger H, Posawetz W. Functional endoscopic sinus surgery. Concept, indications and results of the Messerklinger technique. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 1990; 247(2):63-76.
- [6] Chiu AG. Frontal sinus surgery: its evolution, present standard of care, and recommendations for current use. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 2006; 196:13-19.
- [7] McLaughlin RB, Jr. History of surgical approaches to the frontal sinus. *Otolaryngol Clin North Am* 2001; 34(1):49-58.
- [8] Van Alyea OE. Frontal sinus drainage. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1946; 55:267-277.
- [9] Naumann HH. [New trends in surgery of the paranasal sinuses?]. *Laryngol Rhinol Otol (Stuttg)* 1987; 66(2):57-59.
- [10] Stammberger H. *F.E.S.S. Endoskopische Diagnostik und Chirurgie der Nasennebenhöhlen und der vorderen Schädelbasis*. Endo-Press. 2004.

- [11] Messerklinger W. On the drainage of the normal frontal sinus of man. *Acta Otolaryngol* 1967; 63(2):176-181.
- [12] Stammberger H. F.E.S.S. "Uncapping the egg". *Der endoskopische Weg zur Stirnhöhle. Eine Operationstechnik der Grazer Schule*. Endo-Press. 1999.
- [13] Messerklinger W. [On the drainage of human paranasal sinuses under normal and pathologic conditions. 2. The frontal sinus and its evacuation system]. *Monatsschr Ohrenheilkd Laryngorhinol* 1967; 101(7):313-326.
- [14] Stammberger H. [Comments on the contribution by U. Goede. Maxillary sinus fenestration via the middle vs. lower nasal passage]. *HNO* 1998; 46(2):95-101.
- [15] Messerklinger W. [Endoscopy of the nose]. *Monatsschr Ohrenheilkd Laryngorhinol* 1970; 104(10):451-456.
- [16] Rudert H, Maune S, Mahnke CG. Komplikationen der endonasalen Chirurgie der Nasennebenhöhlen. Inzidenz und Strategien zu ihrer Vermeidung. *Laryngorhinootologie* 1997; 76(4):200-215.
- [17] Kastenbauer ER. Die Operation an Siebbein und Keilbeinhöhle - kritisch betrachtet. *Laryngol Rhinol Otol (Stuttg)* 1975; 54(10):808-819.
- [18] Leunig A. [Avoiding and dealing with bleeding during endoscopic sinus surgery]. *Laryngorhinootologie* 2006; 85(4):249-252.
- [19] Ramadan HH. Surgical causes of failure in endoscopic sinus surgery. *Laryngoscope* 1999; 109(1):27-29.
- [20] Kauffmann G, Moser E, Sauer R. *Radiologie*. Urban & Fischer Verlag München, Jena. 2001.
- [21] Sharp HR, Crutchfield L, Rowe-Jones JM, Mitchell DB. Major complications and consent prior to endoscopic sinus surgery. *Clin Otolaryngol Allied Sci* 2001; 26(1):33-38.

- [22] Stammberger H, Hosemann W, Draf W. Anatomische Terminologie und Nomenklatur für die Nasennebenhöhlenchirurgie. *Laryngorhinootologie* 1997; 76(7):435-449.
- [23] Lee WT, Kuhn FA, Citardi MJ. 3D computed tomographic analysis of frontal recess anatomy in patients without frontal sinusitis. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2004; 131(3):164-173.
- [24] Davis WE, Templer J, Parsons DS. Anatomy of the paranasal sinuses. *Otolaryngol Clin North Am* 1996; 29(1):57-74.
- [25] Kuhn FA, Javer AR. Primary endoscopic management of the frontal sinus. *Otolaryngol Clin North Am* 2001; 34(1):59-75.
- [26] Bent JP, Cuiltysiller C, Kuhn FA. The Frontal Cell As A Cause of Frontal-Sinus Obstruction. *American Journal of Rhinology* 1994; 8(4):185-191.
- [27] Wormald PJ, Chan SZ. Surgical techniques for the removal of frontal recess cells obstructing the frontal ostium. *Am J Rhinol* 2003; 17(4):221-226.
- [28] Wormald PJ. The agger nasi cell: the key to understanding the anatomy of the frontal recess. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2003; 129(5):497-507.
- [29] Erdogmus S, Govsa F. The anatomic landmarks of ethmoidal arteries for the surgical approaches. *J Craniofac Surg* 2006; 17(2):280-285.
- [30] Zimmermann K, Heider C, Kosling S. [Anatomy and normal variations of paranasal sinuses in radiological imaging]. *Radiologe* 2007; 47(7):584-590.
- [31] Keros P. Über die praktische Bedeutung der Niveauunterschiede der Lamina cribrosa des Ethmoids. *Z Laryngol Rhinol Otol* 1962; 41:809-813.
- [32] Sprinzl GM, Menzler A, Eckel HE, Sittel C, Koebke J, Thumfart WF. Bone density measurements of the paranasal sinuses on plastinated whole-organ sections: anatomic data to prevent complications in endoscopic sinus surgery. *Laryngoscope* 1999; 109(3):400-406.

- [33] Onodi A. Des rapports entre le nerf optique et le sinus sphenoidal. La cellule ethmoidale posterieure en particulier. *Revue Hebd Laryng d'Otol Rhinol* 1903; 25:72-140.
- [34] Kantarci M, Karasen RM, Alper F, Onbas O, Okur A, Karaman A. Remarkable anatomic variations in paranasal sinus region and their clinical importance. *Eur J Radiol* 2004; 50(3):296-302.
- [35] Kainz J, Braun H, Genser P. Die Haller'schen Zellen: Morphologische Evaluierung und klinisch-chirurgische Bedeutung. *Laryngorhinootologie* 1993; 72(12):599-604.
- [36] Lund VJ, Kennedy DW. Staging for rhinosinusitis. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1997; 117(3 Pt 2):S35-S40.
- [37] Zinreich SJ. Imaging for staging of rhinosinusitis. *Ann Otol Rhinol Laryngol Suppl* 2004; 193:19-23.
- [38] Daniels DL, Mafee MF, Smith MM, Smith TL, Naidich TP, Brown WD *et al.* The frontal sinus drainage pathway and related structures. *AJNR Am J Neuroradiol* 2003; 24(8):1618-1627.
- [39] Dammann F, Momino-Traserra E, Remy C, Pereira PL, Baumann I, Koitschev A *et al.* Strahlenexposition bei der Spiral-CT der Nasennebenhöhlen. *Rofo* 2000; 172(3):232-237.
- [40] Sillers MJ, Kuhn FA, Vickery CL. Radiation exposure in paranasal sinus imaging. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1995; 112(2):248-251.
- [41] Zinreich SJ, Kennedy DW, Rosenbaum AE, Gayler BW, Kumar AJ, Stammberger H. Paranasal sinuses: CT imaging requirements for endoscopic surgery. *Radiology* 1987; 163(3):769-775.
- [42] Marmolya G, Wiesen EJ, Yagan R, Haria CD, Shah AC. Paranasal sinuses: low-dose CT. *Radiology* 1991; 181(3):689-691.

- [43] MacLennan AC, Hadley DM. Radiation dose to the lens from computed tomography scanning in a neuroradiology department. *Br J Radiol* 1995; 68(805):19-22.
- [44] Nishizawa K, Maruyama T, Takayama M, Okada M, Hachiya J, Furuya Y. Determinations of organ doses and effective dose equivalents from computed tomographic examination. *Br J Radiol* 1991; 64(757):20-28.
- [45] DelGaudio JM, Hudgins PA, Venkatraman G, Beningfield A. Multiplanar computed tomographic analysis of frontal recess cells: effect on frontal isthmus size and frontal sinusitis. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 2005; 131(3):230-235.
- [46] Landsberg R, Friedman M. A computer-assisted anatomical study of the nasofrontal region. *Laryngoscope* 2001; 111(12):2125-2130.
- [47] Bradley DT, Kountakis SE. The role of agger nasi air cells in patients requiring revision endoscopic frontal sinus surgery. *Otolaryngol Head Neck Surg* 2004; 131(4):525-527.
- [48] Bolger WE, Butzin CA, Parsons DS. Paranasal sinus bony anatomic variations and mucosal abnormalities: CT analysis for endoscopic sinus surgery. *Laryngoscope* 1991; 101(1 Pt 1):56-64.
- [49] Van Alyea OE. Frontal cells: an anatomic study of these cells with consideration of their clinical significance. *Arch Otolaryngol* 1941; 34:11-23.
- [50] Wormald PJ. *Endoscopic Sinus Surgery: Anatomy, Three-Dimensional Reconstruction, and Surgical Technique*. Thieme Medical Publishers, Inc. 2005.
- [51] Meyer TK, Kocak M, Smith MM, Smith TL. Coronal computed tomography analysis of frontal cells. *Am J Rhinol* 2003; 17(3):163-168.
- [52] Van Alyea OE. Ethmoid labyrinth: anatomic study, with consideration of the clinical significance of its structural characteristics. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1939; 29:881-901.

- [53] Grünwald L. Die Ausmündung der Kieferhöhle. *Anatomy and Embryology* 1913; 48(2):267-296.
- [54] Ahmad M, Khurana N, Jaber J, Sampair C, Kuba RK. Prevalence of infraorbital ethmoid (Haller's) cells on panoramic radiographs. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006; 101(5):658-661.
- [55] Kainz J, Stammberger H. Danger areas of the posterior rhinobasis. An endoscopic and anatomical-surgical study. *Acta Otolaryngol* 1992; 112(5):852-861.
- [56] Jones NS, Strobl A, Holland I. A study of the CT findings in 100 patients with rhinosinusitis and 100 controls. *Clin Otolaryngol Allied Sci* 1997; 22(1):47-51.
- [57] Holbrook EH, Brown CL, Lyden ER, Leopold DA. Lack of significant correlation between rhinosinusitis symptoms and specific regions of sinus computer tomography scans. *Am J Rhinol* 2005; 19(4):382-387.
- [58] Legert KG, Zimmerman M, Stierna P. Sinusitis of odontogenic origin: pathophysiological implications of early treatment. *Acta Otolaryngol* 2004; 124(6):655-663.
- [59] Mosher H. The surgical anatomy of the ethmoidal labyrinth. *Ann Otol Rhinol Laryngol* 1929; 38:869-901.

8 Abschließende Bemerkungen und Danksagung

Die vorliegende Arbeit entstand in Zusammenarbeit der Klinik und Poliklinik für Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde der Ludwig-Maximilians-Universität München (Prof. Dr. med. A. Berghaus) und dem Radiologischen Zentrum München Pasing.

Ich bedanke mich bei Herrn Prof. Dr. med. A. Berghaus für die Möglichkeit, diese wissenschaftliche Arbeit an der Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Kopf- und Halschirurgie der Ludwig-Maximilians-Universität München, durchzuführen.

Mein Dank gilt Herrn Prof. Dr. med. A. Leunig für die sehr gute Betreuung und Motivation während dieser Arbeit, die Hilfe und Unterstützung bei den Korrekturen und die Durchsicht des Textes. Vielen Dank auch für die Inspiration für die Publikationen und die Motivation für den Vortrag auf dem Deutschen HNO-Kongress in München.

Mein besonderer Dank gilt auch den ärztlichen Kollegen des Radiologischen Zentrums München Pasing für die Bereitstellung der anonymisierten CT-Datensätze für die vorliegende Studie.

9 Lebenslauf

Name: Fabian Sommer
 Geburtsdatum: 02.10.1978
 Geburtsort: Augsburg
 Familienstand: ledig
 Konfession: römisch-katholisch
 Eltern: Dr. med. Bernhard Sommer (Radiologe)
 Dr. med. Monika Sommer (Kinderärztin)
 Geschwister: Wieland Sommer, Assistenzarzt Radiologie, Klinikum
 Großhadern
 Gabriel Sommer, Student
 Schulausbildung: 1985 – 1989: Grundschule Peslmüllerstr. München Pasing
 1989 – 1998: Karls gymnasium München Pasing
 Abschluß: 1998: Abitur
 Studium: 1998 – 2001 Studium der Elektrotechnik an der RWTH Aachen
 2002 – 2008 Studium der Humanmedizin an der Ludwig
 Maximilians Universität München
 Praktisches Jahr: 1. Terial: Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, Kopf- und Hals-
 Chirurgie Universitätsklinikum Großhadern
 2. Terial: Chirurgie John Radcliffe Hospital Oxford (England)
 St. Clare´s Mercy Hospital St. John´s (Kanada)
 3. Terial: Innere Medizin Klinikum München-Schwabing
 Abschluss: 2008: Staatsexamen der Humanmedizin
 Approbation: 09.06.2008
 Berufliche Tätigkeit: seit 01.01.2009 Assistenzarzt an der Klinik für Hals-, Nasen-
 und Ohrenheilkunde der Universität Ulm