

**Aus der Radiologischen Universitätsklinik Tübingen
Abteilung Radiologische Diagnostik
Ärztlicher Direktor: Professor Dr. C. D. Claussen**

**Die Relevanz der konventionellen
Röntgenaufnahme der Nasennebenhöhlen im Ver-
gleich zur Computertomographie**

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

der Medizinischen Fakultät
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Steffen Paasch

aus
Erfurt

2008

Dekan: Professor. Dr. I. B. Autenrieth
1. Berichterstatter: Professor. Dr. F. Dammann
2. Berichterstatter: Professor. Dr. Dr. h.c. mult. H.-P. Zenner

meiner Frau und meinen Eltern

Inhaltsverzeichnis:

1	Einleitung	1
1.1	Anatomie und Physiologie des Nasennebenhöhlensystems.....	1
1.1.1	Embryologie	1
1.1.2	Anatomie.....	2
1.1.3	Physiologie	4
1.2	Die chronische Sinusitis.....	6
1.2.1	Begriffsbestimmung	6
1.2.2	Epidemiologie	6
1.2.3	Ätiologie	7
1.2.4	Symptome.....	9
1.2.5	Diagnose.....	9
1.2.6	Therapie.....	9
1.3	Bildgebung.....	9
1.3.1	Überblick.....	9
1.3.2	Röntgen	9
1.3.3	Tomographie.....	9
1.3.4	Computertomographie	9
1.3.5	Digitale Volumentomographie.....	9
1.3.6	Magnet Resonanz Tomographie.....	9
1.3.7	Planare Szintigraphie, SPECT, PET	9
1.3.8	Ultraschall	9
1.4	Fragestellung	9
2	Material und Methoden	9
2.1	Verwendete Geräte.....	9
2.1.1	Röntgenanlage.....	9
2.1.2	CT-Gerät.....	9
2.1.3	Workstation	9
2.2	Patientenuntersuchung	9
2.2.1	Patienten.....	9
2.2.2	Röntgenaufnahme der NNH	9

2.2.3	Durchführung der CT-Untersuchungen.....	9
2.3	Aufnahmen	9
2.3.1	Auswertung der Röntgenaufnahmen	9
2.3.2	Auswertung der Computertomographien	9
3	Ergebnisse	9
3.1	Patienten.....	9
3.2	Röntgenaufnahmen	9
3.2.1	Strahlenexposition	9
3.2.2	Bewertungen.....	9
3.2.3	Vergleich der Bewertungszeitpunkte.....	9
3.2.4	Vergleich der Untersucher untereinander	9
3.3	Vergleich Röntgenaufnahme zur Computertomographie	9
3.3.1	Pneumatisation	9
3.3.2	Verschattungen.....	9
3.4	Operation	9
3.4.1	Röntgenbewertung versus Operationsbefund.....	9
3.4.2	Computertomographie versus Operationsbefund	9
4	Diskussion	9
5	Zusammenfassung	9
6	Abbildung und Tabellen	9
6.1	Abbildungen.....	9
6.2	Tabellen	9
7	Literaturverzeichnis.....	9
8	Verwendete Abkürzungen.....	9
9	Danksagung.....	9
10	Curriculum vitae	9

1 Einleitung

Die Röntgenübersichtsaufnahme der Nasennebenhöhlen stellt eine häufig durchgeführte bildgebende Untersuchung dar. (13)

Ein radiologisches Verfahren ist in der Traumatologie, Tumordiagnostik und im Rahmen der Diagnostik der chronischen Sinusitis notwendig. (1;19)

Schnittbildverfahren wie Computertomographie und Kernspintomographie stellen den Untersuchungsgegenstand überlagerungsfrei dar. Aufgrund dessen besteht ein Konsens über die Überlegenheit dieser Verfahren in der Traumatologie und Tumordiagnostik. Damit fokussiert sich die Indikation für die konventionelle Röntgendiagnostik des Gesichtsschädels auf den Ausschluss von Entzündungen. (90;97)

Diese Arbeit hinterfragt kritisch diese noch verbliebene Indikation.

1.1 Anatomie und Physiologie des Nasennebenhöhlensystems

1.1.1 Embryologie

Die Entwicklung der Nase beginnt bereits beim 27 Tage alten Keimling mit der Ausbildung der Placoda nasalis oberhalb der Mundbucht.

Als Anlage der Sinus paranasales sprossen ab dem 3. Keimlingsmonat Schleimhautknospen vom Meatus nasi in die benachbarten Knorpel- Knochenanlagen ein. Diese vergrößern sich bis zur Geburt nur sehr langsam. Postnatal ist zwar ein rascheres Wachstum zu verzeichnen, jedoch ist dieses bis zum 20. Lebensjahr nicht abgeschlossen. Trotz Anlage einer Schleimhautknospe im 3. Fetalmonat persistiert der Sinus sphenoidalis als Paleosinus bis zum 4. Lebensjahr. Danach setzt zunächst ein langsames und ab dem 12. Lebensjahr ein rasches Wachstum des Sinus sphenoidalis ein.

Die Schleimhautknospen respektieren bei ihrem Wachstum keine Knochengrenzen, vielmehr sind sie von einem Kapillarnetz und Histiozyten umgeben, die die benachbarten Skelettanteile abbauen. Dies erklärt den

späteren Variantenreichtum des adulten Nasennebenhöhlensystems. (42;53;71;79;82;91)

1.1.2 Anatomie

Zu den Sinus paranasales –den Nasennebenhöhlen (NNH)- zählen die paarigen Sinus frontales (Stirnhöhlen), Cellulae ethmoidales (Siebbeinzellsystem), Sinus maxillares (Kieferhöhlen) und der unpaarig angelegte Sinus sphenoidalis (Keilbeinhöhle). Sowohl die Sinus frontales als auch der Sinus sphenoidalis können durch ein Septum interfrontale bzw. intersphenoidale unterteilt sein.

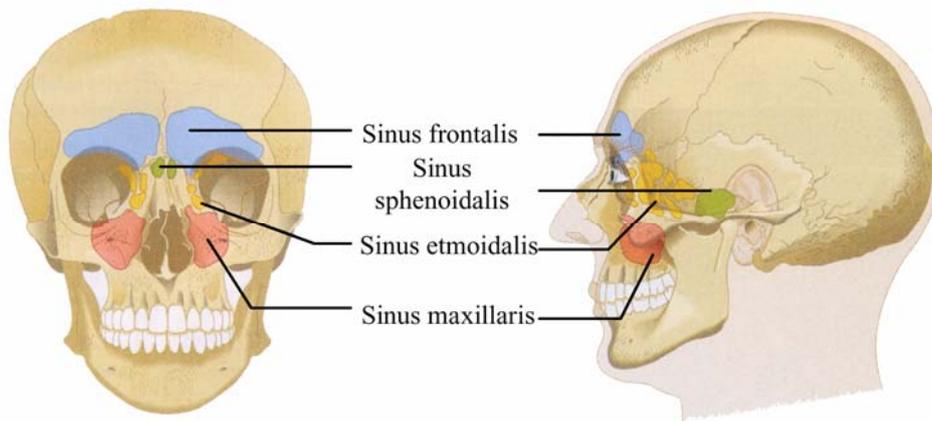


Abb. 1 Lagebeziehungen der Nasennebenhöhlen
aus (72)

Unterhalb der Concha nasalis media wird der Hiatus semilunaris von der Bulla ethmoidalis und dem Processus uncinatus begrenzt. Von hier aus eröffnet sich das vordere Siebbeinzellsystem, die Stirnhöhle, welche ebenfalls aus einer vorderen Siebbeinzelle entstanden ist, sowie die Kieferhöhle.

Der Sinus maxillaris eröffnet sich beiderseits vom Hiatus semilunaris nach lateral. Damit wird er medial von der lateralen Nasenwand der Nasenhaupthöhle, kranial vom Orbitaboden der Augenhöhle und posterior durch die Fossa pterygopalatina begrenzt. Bis zum Durchbruch der Dentes decidui stehen deren Wurzeln in engem Kontakt zum Kieferhöhlenboden.

Neben der gelegentlichen Ausbreitung der Pneumatisation in die benachbarten Knochen werden auch verschieden stark ausgebildete Septierungen bis hin zur vollständigen Doppelung (6%) beschrieben. (52)

Cranio-medial der Sinus maxillares befinden sich die Sinus ethmoidales. Sie stellen ein Labyrinth miteinander kommunizierender, durch dünne Knochensepten getrennter, lufthaltiger Zellen dar, deshalb werden sie auch als Cellulae ethmoidales bezeichnet. Diese erstrecken sich in latero-medialer Ausdehnung von der Lamina orbitalis (sive papyracea) bis zur Concha nasalis media. Cranial grenzt das Siebbeinzellsystem und die Lamina cribrosa an die vordere Schädelgrube.

Diese Cellulae ethmoidales werden in vordere, mittlere und hintere Zellen unterteilt. Während die Cellulae ethmoidales anteriores et mediae in den mittleren Nasengang drainieren, münden die Cellulae ethmoidales posteriores, die sich dorsal der Grundlamelle der mittleren Nasenmuschel befinden, in den Meatus nasi superior oder supremus. Das Infundibulum ethmoidale wird medial von der mittleren Muschel und lateral vom Processus uncinatus bzw. Bulla ethmoidalis begrenzt.

Der Sinus frontalis liegt im gleichnamigen Os frontale und ist sowohl dem Frontalhirn als auch der Augenhöhle unmittelbar benachbart. Als Ausprossung einer vorderen Siebbeinzelle mündet er ebenfalls ins Infundibulum ethmoidale. Eine Aplasie wird in 2-20% beschrieben. Darüber hinaus kann eine Erweiterung auch noch jenseits der 4. Lebensdekade auftreten.

Der Sinus sphenoidalis befindet sich etwa in der Mitte des knöchernen Schädels. Die Vorderwand grenzt an den Nasenrachenraum, die Hinterwand wird durch den Klivus gebildet. An der Seitenwand bestehen enge topographische Beziehungen zu den Hirnnerven I-VI sowie der Arteria carotis interna. (38;48;49; 51;57)

1.1.3 Physiologie

Aerodynamik

Der Atemwegswiderstand einer Nasenhaupthöhle variiert mit dem Nasenzyklus, dem wechselseitigen An- und Abschwollen der Nasenschleimhaut. Der Gesamatemwegswiderstand der Nase bleibt dabei konstant. Der Atemwegswiderstand ist sowohl von der Körperhaltung als auch von körperlicher Belastung abhängig (Hyperkapnie und Hypoxie verringern diesen). Eine veränderte Nasenatmung kann zu einer Verstärkung eines Schlaf-Apnoe-Syndroms führen, verändert jedoch beim gesunden wachen Menschen nicht den Sauerstoffpartialdruck des Blutes.

Klimatisierung der Atemluft

Die engen Lufträume mit der ausgedehnten Schleimhautoberfläche insbesondere zwischen den Nasenmuscheln und der Scheidewand sowie die turbulente Strömung erlauben einen großflächigen Kontakt der Atemluft. Das gut ausgebildete Kapillarnetz und die vorhandenen Becherzellen ermöglichen so eine Erwärmung und Befeuchtung der Atemluft während der 1 bis 2-sekündigen Passage, resultierend in einem 25°C warmen Luftstrom im Nasenrachen, selbst bei -12°C Außentemperatur.

Mukoziliärer Transport

Der gerichtete mukoziliäre Transport wird zum einem von der Zilienaktivität des respiratorischen Flimmerepithels, zum anderen von der Sekretion der Drüsen und Becherzellen beeinflusst. Die Sekretzusammensetzung ist 2-phasig: eine ziliennahe seröse Schicht erlaubt einen nahezu ungehinderten Zilienschlag mit bis zu 1000 Schlägen pro Minute, eine oberflächliche muköse und damit visköse Phase stellt einen gleichmäßigen Transport sicher. Die Zilienbewegung und damit der Schleimflow ist in den Nasennebenhöhlen zu den unter 1.1.2 beschriebenen natürlichen Ostien und in der Nasenhaupthöhle in den Nasenrachen gerichtet. Die nasale Clearance wurde mit 15-20 Minuten ermittelt.

Schleimhautabwehr

Zu den unspezifischen Abwehrmechanismen zählt der oben beschriebene mukoziliare Transport. Ebenso sind unspezifische Abwehrstoffe im Nasensekret wie Interferon, Proteasen, Proteaseninhibitoren, Lysozym sowie Antioxidantien nachweisbar. Auch die unspezifische zelluläre Abwehr in Form von neutrophilen Granulozyten, Makrophagen und Monozyten ist in der Nasenschleimhaut vorhanden.

Die spezifische immunologische Abwehr ist ebenfalls sowohl humoral, vor allem sekretorisches Immunglobulin A als auch zellgebunden. Neben Makrophagen und Mastzellen zählen hierzu auch polymorphkernige Leukozyten und Zellen des retikuloendothelialen Systems, hier vor allem dendritische Langerhanszellen. Schließlich spielen T-Lymphozyten eine Rolle in der Steuer- und Gedächtnisfunktion der Immunantwort.

Resonanz

Als Resonanzraum beeinflusst das Nasennebenhöhlensystem nicht nur den Klang der Stimme (Rhinophonia und/oder -lalia aperta bzw. clausa als pathologische Ausprägung), sondern ist für die Lautkontrolle der eigenen Stimme von Bedeutung.

Geruchsempfindung

Die Riechschleimhaut ist nur im Bereich der so genannten Regio olfactoria im kranialen vorderen Anteil des Septums sowie der benachbarten lateralen Nasenwand auf einer Fläche weniger Quadratzentimeter lokalisiert. (23;31;38;42;48;49;54;57;80;88)

1.2 Die chronische Sinusitis

1.2.1 Begriffsbestimmung

Als Sinusitis wird ein entzündlicher Prozess der Schleimhaut einer oder mehrerer Nasennebenhöhlen bezeichnet. Wegen der häufigen Koinzidenz einer Entzündung der Nasenschleimhaut spricht man treffender von einer Rhinosinusitis.

Nach klinischen Kriterien unterscheidet man zwischen akuter, akut rezidivierender und chronischer Sinusitis.

akute Sinusitis	Symptomatik <12 Wochen, oder <4 Episoden pro Jahr
akut rezidivierende Sinusitis	>4 Episoden pro Jahr mit vollständiger zwischenzeitlicher Rückbildung
chronische Sinusitis	Symptomatik >12 Wochen, oder >4 Episoden pro Jahr mit Restsymptomatik

(1;30;67)

1.2.2 Epidemiologie

Der Kodieraufwand ist im deutschen Gesundheitswesen in den letzten Jahren stark gestiegen. Exakte Aussagen zur Inzidenz der chronischen Sinusitis für Deutschland sind derzeit trotzdem nicht möglich. Eindeutige epidemiologische Daten liegen für die USA vor. In den USA ist die Sinusitis die häufigste chronische Erkrankung. Mit einer Inzidenz von 15% tritt sie beispielsweise häufiger als Arthritis (12,5%) oder Hypertonie (11,4%) auf.

Veröffentlichungen, basierend auf Daten des IMS HEALTH GmbH & Co. OHG, legen eine ähnliche Inzidenz auch für Deutschland nahe.

(6;8;11;69)

1.2.3 Ätiologie

Die meisten akuten Nasennebenhöhlenentzündungen sind rhinogen, d.h. nach einer Primäraffektion der Nasenschleimhaut kommt es sekundär zu einer Beteiligung des Nasennebenhöhlensystems. Die primäre Rhinitis ist zumeist viraler Genese. Mit über 50 % der Erkrankungen sind Rhino- und Koronaviren die häufigsten Erreger, gefolgt von Influenza- und Adenoviren. Eine mögliche bakterielle Superinfektion wird überwiegend durch *Haemophilus influenzae* und *Streptococcus pneumoniae* ausgelöst.

Einen pathogenetisch relevanten Faktor für die Ausbildung einer Sinusitis stellt eine Verminderung des Luftaustausches des Nebenhöhlensystems dar. Hierfür können sowohl morphologisch-anatomische Engstellen als auch funktionelle Ursachen von Bedeutung sein. (36;45;95)

Präexistente lokale Faktoren wie ein **nonallergic rhinitis with eosinophilia syndrome (NARES)** oder eine **eosinophilic fungal rhinosinusitis (EFRS)** können genauso wie hyperreflektorische, medikamenteninduzierte oder endokrine Schleimhautveränderungen das Auftreten einer Rhinosinusitis begünstigen. Es besteht eine überproportionale Koinzidenz einer allergischen Rhinitis mit einer akuten Sinusitis. (6)

Genetische Faktoren wie eine Ziliendyskinesie oder eine Zystische Fibrose sind mögliche pathogene Faktoren. (47)

Die Schleimhautschwellung bei der chronischen Sinusitis verursacht selbst eine langfristige Störung der Ventilation und der Drainage, was wiederum die Entstehung und die Chronifizierung der Sinusitis begünstigt. (Abb. 1) Der Kreuzung der Drainagewege aus vorderen Siebbein, Kieferhöhle und Stirnhöhle -dem sogenannten osteomeatalen Komplex- kommt dabei die entscheidende funktionelle Rolle zu. Anatomisch ist der osteomeatale Komplex nicht eindeutig definiert, klinisch versteht man darunter

den Bereich lateral der mittleren Muschel mit Processus uncinatus, vorderem Siebbein, Recessus frontalis und Ostium maxillae. (Siehe 1.1.2) (66)

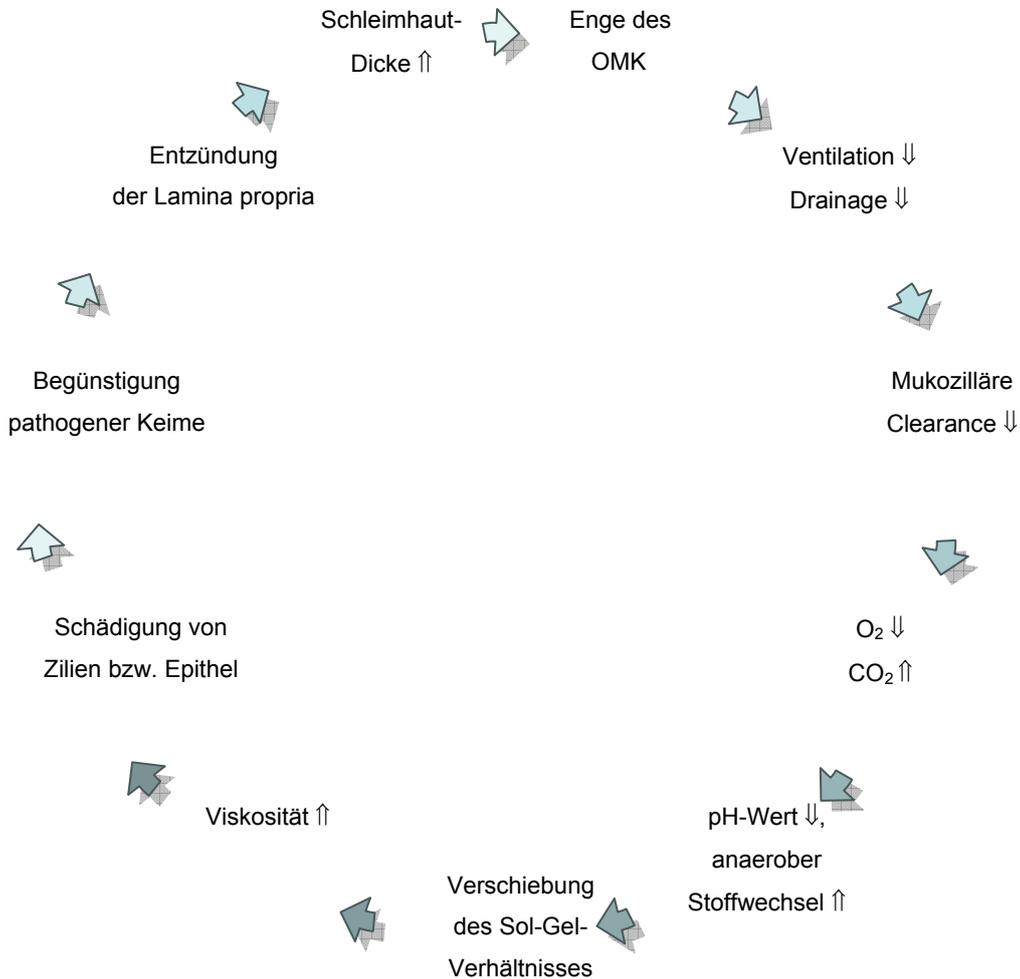


Abb. 2 Circulus vitiosus der chronischen Sinusitis
persönliche Zusammenfassung aus dem Fließtext, OMK Osteo-Meataler-Komplex

Neben den ossären Strukturen sind auch funktionelle Aspekte der in diesem Bereich besonders stark vaskularisierten und drüsenreichen Schleimhaut ätiologisch wirksam.

Selbst bei geringen Irritationen kann die Schleimhaut mit lang persistierenden Ödemen reagieren, die ihrerseits die Sinus und die Ostien einengen. Respiratorische Viren sind in der Lage, das Flimmerepithel zu schädigen und damit die nasale Clearance zu hemmen. Schließlich führen

Epithelmetaplasien zu einer Änderung des ziliaren Stroms, so dass keine ausreichende Drainage über die Ostien stattfinden kann. (95)

Entsprechend der Lokalisation werden die Entzündungen der Nasennebenhöhlen der anatomischen Nomenklatur gemäß in Sinusitis frontalis, ethmoidalis, maxillaris und sphenoidalis unterteilt.

Klinisch kann eine Differenzierung anhand des Sekrets - katarrhalisch (serös), hämorrhagisch (blutig) oder purulent (eitrig) - vorgenommen werden. (84)

Seltener können primär dentogene Entzündungen eine Sinusitis maxillaris auslösen. (63)

Ebenso selten ist eine posttraumatische oder primär hämatogene Genese der Sinusitis.

In 10% bis 40% bleibt die ätiologische Zuordnung unklar. (9;95)

1.2.4 Symptome

Während bei der akuten (Rhino-) Sinusitis einseitige Kopfschmerzen und Rhinorrhoe im Vordergrund stehen, besteht bei der chronischen Sinusitis ein eher uncharakteristischer Druck mit gelegentlicher schmerzhafter Exazerbation. Bei einer isolierten Sinusitis sphenoidalis kann ein parietal lokalisierter Schmerz auftreten. Typischerweise geht die anfänglich wässrige („katarrhalische“) Sekretion in eine eitrig („putride“) über. Dieser vermehrte hintere Sekretfluss (post-nasal-drip) kann wiederum Ausgangspunkt einer chronischen Pharyngitis sein.

In der akuten Phase kann dieser Sekretfluss von Ekzemen und Rhagaden am Naseneingang begleitet sein, diese Symptome fehlen bei chronischen Sinusitiden. Auch das häufig zu beobachtende Fieber ist ein Zeichen des akuten viralen oder bakteriellen Infektes.

Zumeist liegt eine behinderte Nasenatmung vor.

Eine Hyposmie kann sowohl bei der akuten als auch chronischen Verlaufsform auftreten. Da virale Erreger potentiell neutrotoxisch wirken können, kann die Hyposmie auch nach Ausheilung der Rhinosinusitis fortbestehen. (56)

Sowohl bei einer akuten Sinusitis als auch bei einer akuten Exacerbation einer chronischen Sinusitis sind leichte aber auch lebensbedrohliche Komplikationen beschrieben. Durch die Schleimhautschwellung können Tubenventilationsstörungen und in deren Folge eine Otitis media entstehen. Durch Ausbreitung der Entzündung in die unmittelbare Nachbarschaft können neben den Gesichtsteilen auch die Orbita und das Endokranium betroffen sein. Dabei kann sich eine Orbitalphlegmone bzw. eine Sinus-Cavernosus-Thrombose ausbilden. (3;26;60)

1.2.5 Diagnose

Bei fehlenden spezifischen Untersuchungsmethoden der Hals-Nasen-Ohrenheilkunde ergibt sich die Diagnose aus der typischen Anamnese, der Inspektion (Rötung, Schwellung), der Palpation (Schmerz über den Nervenaustrittspunkten) sowie der Perkussion (Klopfschmerz).

Dem Hals-Nasen-Ohrenarzt steht die Möglichkeit der klinischen Untersuchung mittels Nasenendoskopie zur Verfügung, bei der sich das typische endonasale Ödem mit Hyperämie und gegebenenfalls Eiter oder Schleimhautproliferationen nachweisen lässt. (77;83) Der diagnostische Nutzen einer Diaphanoskopie bzw. Transillumination der Sinus frontales und maxillares muss heute stark bezweifelt werden. (94) Dieses Verfahren wurde vollständig von bildgebenden Verfahren verdrängt, auf die in Abschnitt 1.3 gesondert eingegangen wird. Dadurch ist es nicht nur möglich, Regionen zuverlässig zu beurteilen, die der direkten klinischen Untersuchung unzugänglich sind, sondern auch individuelle Besonderheiten und damit Gefahrenquellen für eine Operation aufzuzeigen. (40;46)

1.2.6 Therapie

Die primäre Intention liegt in der Wiederherstellung der nasalen Clearance. Während der akuten Infektion dienen hierzu die Applikation von α -Sympatomimetika, die über eine Vasokonstriktion eine Abschwellung der Nasenschleimhaut bewirken. Die Wirksamkeit von Phytotherapeutika ist nachgewiesen. Die Inhalation von 42-45°C warmem Wasserdampf wirkt beschwerdelindernd. (5;7)

Eine Antibiotikatherapie ist in der Initialphase der dann noch viralen Rhinitis nicht indiziert. Bei sonst gesunden immunkompetenten Patienten ist eine Antibiotikagabe ebenfalls nicht indiziert. (27) Bei bestehender Indikation zeigen sich Cotrimoxazol oder Makrolide bei der akuten Rhinosinusitis den Penicillin-Derivaten überlegen. (22)

Generell können sich unter einer Antibiotikatherapie, im Idealfall dem Antibiogramm angepasst, selbst schwere Schleimhautveränderungen noch zurückbilden. Bei Auftreten von Komplikationen einer Sinusitis ist jedoch die sofortige operative Sanierung des Entzündungsherdes erforderlich.

Bei allergischer Genese sollte begleitend eine antiallergische Therapie (Allergenkarenz, Antihistaminika, Hyposensibilisierung im Intervall) erfolgen. (12)

Eine dentogene Sinusitis maxillaris sollte kausal und daher primär zahnärztlich therapiert werden.

Bei einer chronischen Sinusitis ist es zu einer irreversiblen Schädigung der Schleimhaut gekommen, die osteomeatale Einheit ist verengt, typischerweise ist keine ausreichende Ventilation bzw. Drainage gewährleistet. Überdurchschnittlich häufig ist eine allergische Diathese mit der Mukosafehlfunktion assoziiert, daher kann die topische und systemische Applikation von Glukokortikoiden die Symptomatik verbessern und zu einer zwischenzeitlichen Erholung der Nasennebenhöhlenschleimhaut führen (72%). In den meisten Fällen ist jedoch mit einem kurzfristigen Rezidiv zu rechnen. (89)

Nach Ausschöpfen aller konservativen Therapieoptionen ist dann eine operative Sanierung mit dem Ziel der Ventilations- bzw. Drainageverbesserung sowie einer Beseitigung der irreversibel veränderten Schleimhaut indiziert. (87)

Sowohl zur Feststellung des Ausmaßes als auch zur Differenzierung einer akuten versus chronischen bzw. akut exazerbierten chronischen Sinusitis ist neben der Anamnese, der klinischen und endoskopischen Untersuchung auch ein bildgebendes Verfahren notwendig. Im akuten Stadium ist die radiologische Untersuchung nur bei der Diagnostik der Komplikationen

sinnvoll. Wichtiger ist die Beurteilung im symptomarmen Intervall, nur dann kann eine fundierte Indikation zur operativen Intervention gestellt werden. (10;14;76;89;97)

Eine Operation des Nasennebenhöhlensystems ist nur unter Kenntnis der individuellen anatomischen Besonderheiten mit vertretbarem Risiko durchführbar. Die sichere Beurteilung topographischer Landmarken (z.B. Arteria carotis interna, Nervus opticus, accessorischer Sinus, Lamina cribrosa) sind Voraussetzungen für ein komplikationsarmes operatives Vorgehen. (87) (70)

1.3 Bildgebung

1.3.1 Überblick

Es ist das Verdienst von Wilhelm Conrad Röntgen (1845-1923), die auch von seinen Zeitgenossen beobachteten Effekte bei der Arbeit mit „Hittorfschen Röhren“ systematisch analysiert zu haben. Diese Analyse mündete in der Beschreibung einer „neuen Art von Strahlen“, die er selbst X-Strahlen nannte (auf Anregung des Würzburger Anatoms Kölliker am 23. Januar 1896 auch Röntgenstrahlen genannt). In seiner Schrift „Eine neue Art von Strahlen“, die er am 28. Dezember 1895 der Physikalisch-Medizinischen Gesellschaft in Würzburg einreichte, stellte er transparent die Erzeugung sowie die Eigenschaften des neuen Lichts dar. (75) Obwohl er 1901 den ersten Nobelpreis erhielt, lehnte er Patentansprüche und kommerzielle Angebote ab.

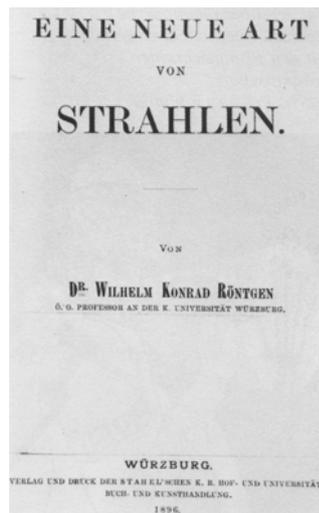
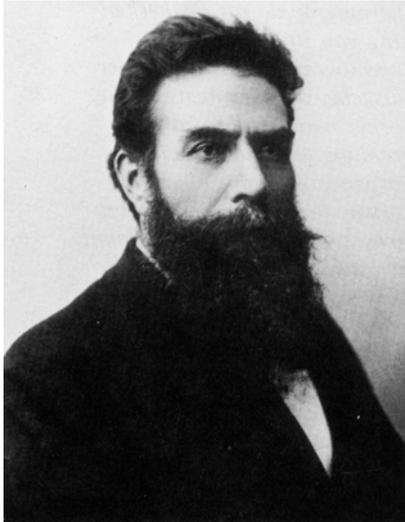


Abb. 3 W.C. Röntgen, „Eine Neue Art von Strahlen“
aus (50;72)

In den folgenden Jahren wurden Grundlagen für die radiologische Diagnostik geschaffen, die bis in unsere Zeit Bestand haben: Irisblende durch Bécélère und Röntgenstativ durch Lysholm. Mit der Etablierung der konventionellen Schnittbild-Technik (Tomographie) 1932 gelang es, Überlagerungseffekte zu eliminieren und den Focus auf eine Schicht zu reduzieren. Eine Revolution erfuhr die Nutzung der Röntgenstrahlen 1971/72 durch Godfrey Hounsfield –Nobelpreis für Medizin 1979- mit der Entwicklung der klinischen Computertomographie (CT). Mit dieser Technik gelang erstmals die Darstellung der Transversalebene. (39)

Ein anderes technisches Prinzip zur Darstellung von Objekten mit Hilfe von Magnetfeldern und Radiowellen wurde 1946 von Bloch und Purcell unabhängig voneinander entdeckt und außerhalb der Medizin angewandt, wofür beiden 1952 der Nobelpreis verliehen wurde. Die medizinische Anwendung der Kernspin-Tomographie, oder Magnet-Resonanz-Tomographie (MRT), zur bildlichen Darstellung innerer Organe und Gewebe geht auf Lauterbur und Mansfield im Jahr 1973 zurück. Klinisch verfügbar ist dieses Verfahren seit 1984. Für diese wissenschaftliche Leistung wurde auch ihnen 2003 der Nobelpreis für Medizin verliehen. (68)

Die Grundlagen der nuklearmedizinischen Verfahren der Bildgebung planare Szintigraphie, **Single Photon Emission Computed Tomographie (SPECT)** und **Positronen Emissions Tomographie (PET)** gehen letztlich

auf Antoine H. Becquerel (Entdeckung natürlich vorkommender Isotope) sowie Marie und Pierre Curie (Herstellung künstlicher Isotope) Ende des 19. / Beginn des 20. Jahrhunderts zurück. Erste metabolische Studien mit ^{32}P führte Georg von Hevesy bereits 1935 durch. Insgesamt wurden hierfür 3 Nobelpreise verliehen: 1901 – Becquerel, 1911 – M. Curie, 1943 – Hevesy. Die erste Radionuklid-Bildgebung erfolgte 1949 mittels ^{131}J in der Schilddrüse. Von den ersten Ideen zur PET 1951 brauchte es bis 1978 ehe der erste Scanner medizinischen Anwendungen zur Verfügung stand (Auflösung 1,5-2,0 cm). Im Jahr zuvor war die erste kommerzielle SPECT-Anlage verfügbar. (50)

1.3.2 Röntgen

Die konventionellen Röntgenaufnahmen des Gesichtschädels sind die am längsten verfügbaren bildgebenden Verfahren (1.3.1) Bereits deshalb haben sie eine feste Stellung in der klinischen Routinediagnostik inne.

Zur Minimierung der unvermeidlichen Überlagerung haben sich zwei Standardverfahren zur Diagnostik des Nebenhöhlensystems etabliert. Zum einen die okzipito-mentale Aufnahme (Abb. b; Water's projection), zum anderen die okzipito-frontale Aufnahme (Abb. d; Caldwell projection). (25;37;41;61)

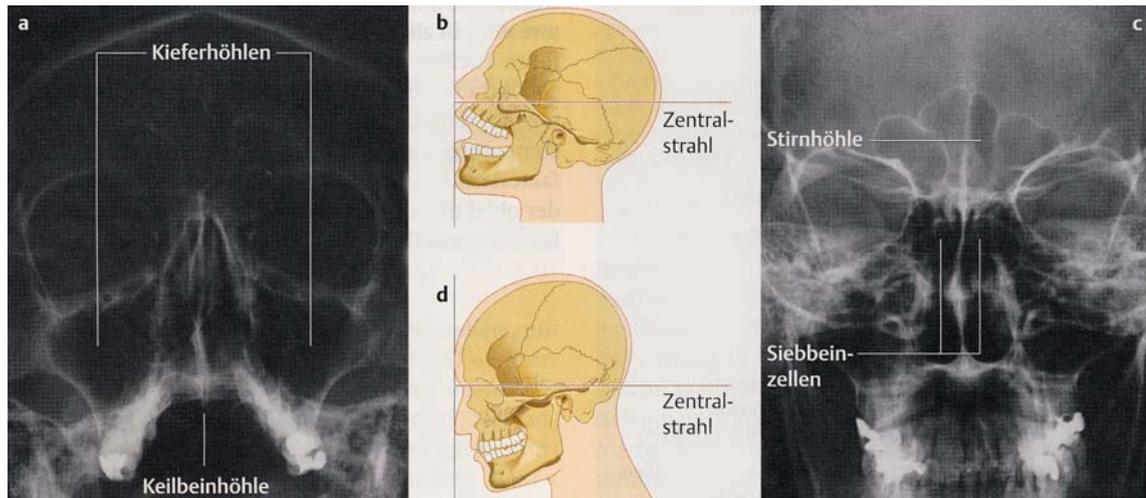


Abb. 4 Übersicht zur Anfertigung von Röntgenaufnahmen
der Nasennebenhöhlen occipito-frontal und occipito-mental (72)

Die seitlichen Aufnahmetechniken oder die tangentialen Schrägaufnahmen (z.B. Jochbogen) hatten ihre Indikation hauptsächlich innerhalb der Traumatologie.

1.3.3 Tomographie

Die konventionelle Tomographie mit polyzyklischer Verwischung weist gegenüber den Standard-Projektionen eine überlagerungsfreie Darstellung auf und erlaubt die Wahl einer nahezu beliebigen sagitalen bis koronaren Schnittebene. Sie ist in Deutschland nahezu vollständig durch die Computertomographie ersetzt worden. Eine Ausnahme stellt das Orthopantomogramm (Panoramaaufnahme) dar, welches unverändert vorrangig in der zahnärztlichen Routine eingesetzt wird und alle Zähne des Oberkiefers in deren topographischer Beziehung zu den Kieferhöhlen abbildet. (81)

1.3.4 Computertomographie

Die technische Anordnung der rotierenden Kombination aus Röntgenstrahler und korrespondierendem Detektor bedingt zunächst eine klar definierte Scanebene. Durch simultanen Vorschub des Patienten entsteht eine spiralförmige Abtastung mit einem dreidimensionalen Datensatz. Mittels sekundärer Rekonstruktion lassen sich anschließend beliebige Schnittebenen visualisieren. Damit ist der letzte Vorzug der konventionellen

Tomographie gefallen. Für die Screening-Untersuchung einer Sinusitis sind bereits wenige koronare Bilder ausreichend. Sie erlauben eine orientierende Beurteilung der Belüftung des Nebenhöhlensystems. Zur Operationsplanung bedarf es einer engen koronaren und transversalen Schichtung. Erstere erlaubt Aussagen hinsichtlich der Schädelbasis und der Orbita, letztere bezüglich der Beziehung von Arteria carotis interna und Nervus opticus zum Sinus sphenoidalis. Dieser diagnostische Standard wurde 1987 durch Zinreich etabliert. (10;14;70;93;97)

1.3.5 Digitale Volumentomographie

Im Unterschied zur Computertomographie wird bei der **Digitalen Volumentomographie (DVT)** ein kegelförmiges Strahlenbündel verwendet, somit entfällt die Notwendigkeit des Patientenvorschubs. Der Schädel des Patienten kann dabei mit einem Umlauf der Röntgenstrahler-Detektor-Kombination innerhalb von 14 Sekunden dreidimensional erfasst und nach einer 4,5-minütigen digitalen Rekonstruktion dargestellt werden.

Aktuelle Geräte wurden für die zahnmedizinische Anwendung optimiert. Mit einem darstellbaren Volumen von 15x15x15 cm ist auch eine Darstellung des gesamten Nasennebenhöhlensystems möglich.

Die Auflösung beträgt dabei 0,15 mm bei einer Effektivdosis von 29 μ Sv (21 mAs, 85 kV). (32;96)

1.3.6 Magnet Resonanz Tomographie

Das MRT besticht durch seine differenzierte multiplanare Darstellung von Weichgeweben. Dieser Unterscheidungsgrad kann durch Einsatz spezifischer Sequenzen und Gabe von paramagnetischen Kontrastmitteln (derzeit Gadolinium) weiter variiert werden. Die Signalschwäche des verkalkten Knochens erschwert dem Operateur jedoch die Orientierung hinsichtlich der unter 1.3.3 erwähnten Landmarken, weshalb sich das MRT trotz des Verzichts auf ionisierende Strahlung und überragender Weichteildarstellung nicht in der Routinediagnostik der Sinusitis und der Operationsplanung durchsetzen konnte. (20;58;64;73)

1.3.7 Planare Szintigraphie, SPECT, PET

Gemeinsam ist diesen Verfahren die radioaktive Markierung einer biologischen Substanz (Radiopharmakon) welche inkorporiert wird. Die aus dem Körper wieder austretende Strahlung wird detektiert und visualisiert. Damit gelingt die Untersuchung metabolischer Prozesse. Neben der Detektion maligner Manifestationen finden diese Verfahren bei der Lokalisation eines Entzündungsfokus auch bei der chronischen Sinusitis Anwendung. Aufgrund des hohen Untersuchungsaufwandes handelt es sich hierbei jedoch nicht um klinische Standardverfahren. (15;16;78)

1.3.8 Ultraschall

Das Nasennebenhöhlensystem als gut abgrenzbares Organsystem mit hohen Schallhärtesprüngen ist für die eindimensionale A-Bild-Sonographie prädestiniert. Allerdings sind die Untersuchungsbedingungen im vorderen Siebbein selten optimal. Im hinteren Siebbein sowie in der Keilbeinhöhle ist dieses Verfahren nicht einsetzbar. A- und B-Bild-Sonographie finden dank ihrer Vorzüge der geringen Invasivität, hohen Validität und einfachen Verfügbarkeit bei der Erstuntersuchung (chair-side) vor allem bei der Diagnostik von Erkrankungen der Stirn- und Kieferhöhlen Anwendung. Allerdings sind Anomalien und anatomische Variationen der sonographischen Diagnostik nicht zugänglich, weshalb selbst Protagonisten dieses Verfahrens den Einsatz zur Verlaufskontrolle oder in Ergänzung zur radiologischen / endoskopischen Diagnostik empfehlen. Eine Operationsplanung anhand eines sonographischen Befundes ist nicht möglich. (24;43;59;85)

1.4 Fragestellung

Die vorliegende Arbeit soll klären, inwieweit konventionelle Röntgenaufnahmen der Nasennebenhöhlen als primäres bildgebendes Verfahren der chronischen Sinusitis einsetzbar sind. Dazu wurden folgende Fragen untersucht:

Sind die Bewertungen der Röntgenaufnahmen der Nasennebenhöhlen reproduzierbar?

Sind die Bewertungen der Röntgenaufnahmen der Nasennebenhöhlen objektivierbar?

Sind die Bewertungen der Röntgenaufnahmen der Nasennebenhöhlen in Bezug auf die chronische Sinusitis sensitiv und spezifisch?

2 Material und Methoden

2.1 Verwendete Geräte

2.1.1 Röntgenanlage

Verwendung fand ein Lysholm-Stativ der Firma Siemens. Der Aufbau dieses Gerätes erlaubt die individuelle Anpassung der Sitzposition und Kopfhaltung sowie die exakte Positionierung des Zentralstrahles.

Zur Filmentwicklung wurde ein Entwicklungsautomat ebenfalls der Firma Siemens eingesetzt.

2.1.2 CT-Gerät

Es wurden Fächerstrahlgeräte der dritten Generation verwendet: die Röntgenröhre und der Detektor sind auf einem gemeinsamen Ring montiert und rotieren um dessen Drehachse. Dabei kam sowohl ein CT-Gerät mit einem einzeiligen Detektorring (ESCT; Tomoscan AVE, Philips, Hamburg) als auch mit vierzeiligem Detektorring (MSCT; Somatom Volume Zoom, Siemens, Erlangen) zur Anwendung. Beide Bauarten erzeugen ein Schnittbild innerhalb einer Sekunde, wobei jeweils eine 180° Interpolation durchgeführt wird. Dabei wird ein komplettes Schichtbild (360°) aus einer halben Umdrehung (180°) des Ringes berechnet.

2.1.3 Workstation

Aus den primär detektierten, transversal ausgerichteten Schichtbildern wurden auf einer in der Routineuntersuchung eingesetzten medizinischen Bildworkstation (Easy Vision, Philips; Volume Wizard, Siemens) sekundäre Rekonstruktionen von Schichtbildern in koronarer Angulierung berechnet. Da die Software intern mit einem 3D-Modell arbeitet, kann prinzipiell jede beliebige Schnittebene rekonstruiert werden. Hier erfolgte eine koronare Rekonstruktion anhand eines Übersichtsbildes von primär koronaren Aufnahmen.

2.2 Patientenuntersuchung

2.2.1 Patienten

In dieser retrospektiven Studie wurden 50 Patienten die wegen Beschwerden einer chronischen Sinusitis in der Universitätsklinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde vorstellig wurden, eingeschlossen. Die Patienten wurden klinisch untersucht, dies umfasste ebenfalls eine Nasenendoskopie. Bei allen Patienten lagen sowohl eine Röntgenaufnahme der Nasennebenhöhlen als auch ein Computertomogramm vor.

24 Patienten wurden einer Operation unterzogen, hiervon ein Patient einer zweiten Operation. Für diese Patienten lagen die Operationsberichte und die Ergebnisse der histologischen Aufarbeitung des Operationspräparates vor.

2.2.2 Röntgenaufnahme der NNH

Als klinischer Standard ist die occipitomentale (o.m.) Aufnahme nach Waters durchgeführt worden. (Siehe 1.3.1)

Der Patient wurde mit dem Gesicht zur Kassette positioniert. Mit geöffnetem Mund wurde nun das Philtrum im Fadenkreuz positioniert, die Lagekontrolle erfolgte über eine Spiegelanordnung. Für die Aufnahme wurde die Röntgenröhre um 30° anguliert.

Der Fokus-Film-Abstand betrug 115 cm, woraus ein mittlerer Fokus-Haut-Abstand von 85 cm resultierte. Die Eintrittsfläche ist näherungsweise mit 300 cm² anzunehmen. Die Standardfilterung betrug 2,5 mm Al.

Die Röntgenaufnahmen wurden mit einer Röhrenspannung zwischen 62 kV und 72 kV durchgeführt. Das Röhrenstrom-Zeitprodukt variierte zwischen 28 mAs und 100 mAs.

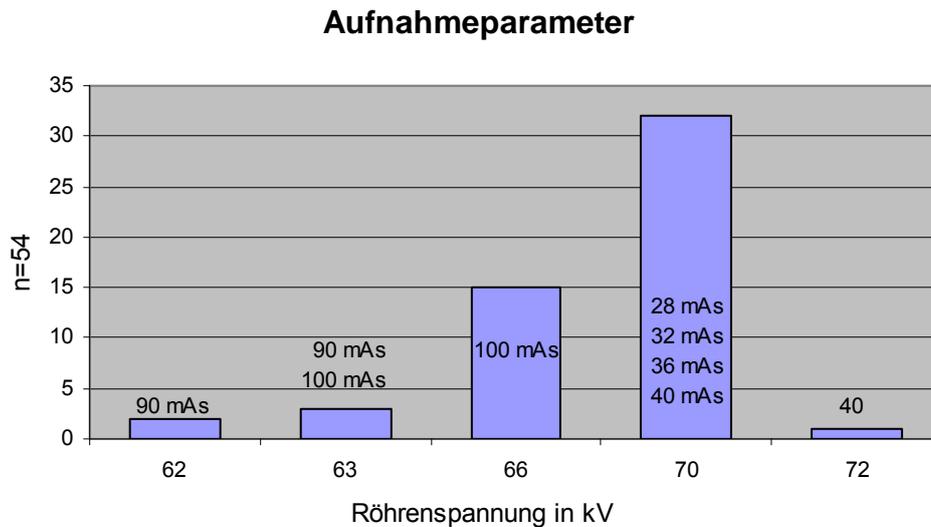


Abb. 5 Röntgen- Aufnahmeparameter
Röntgenaufnahmen der Nasennebenhöhlen , n=54

Anhand der dokumentierten Röhrenspannung und Röhrenstrom-Zeitprodukte wurden die lokale Hautenergiedosis und die Effektivdosis ermittelt.

2.2.3 Durchführung der CT-Untersuchungen

Patientenlagerung und Untersuchungsbereich

Zunächst wurde eine seitliche Übersichtsaufnahme zur Festlegung des Untersuchungsbereiches angefertigt. Bei transversaler Schichtführung erstreckte sich der Scanbereich von der Orbitaoberkante bis zur Oberkante des Ramus mandibulae. Die koronare Untersuchung reichte vom Os nasale bis zur Sella turcica. Die maximale Scanlänge betrug 100 mm und das Blickfeld (field of view - FOV) wurde in allen Untersuchungen auf 200 mm eingestellt. Dadurch war gewährleistet, dass alle relevanten Strukturen des Mittelgesichts abgebildet wurden. Die Kantenlänge eines Bildpunktes errechnet sich bei einer CT-Matrix von 512x512 Pixeln somit mit 0,39 mm in der Bildebene. Bei den transversalen Untersuchungen wurden die Patienten in Rückenlage ohne Kippung der CT-Gantry examiniert, idealerweise verlief die Aufnahmeebene parallel zur Frankfurter

Horizontalen. Bei primär koronarer Schichtung der Nasennebenhöhlen am ESCT wurde der Patient bäuchlings mit maximaler Reklination des Kopfes gelagert. Stirn und Kinn waren hierbei in einer speziellen Stütze fixiert. Um zur Frontalebene des Gesichtes einen möglichst parallelen Strahlengang zu realisieren, wurde die Gantry maximal gekippt.

Scanprotokolle

Für die Computertomographie am ESCT wurde das übliche Routineprotokoll mit 2 mm Schichtdicke, 3 mm Tischvorschub und 1 mm Inkrement verwendet. Am MSCT fand ein Protokoll mit 1 mm Schichtdicke, 3,5 mm Tischvorschub, 0,5 mm Inkrement Anwendung. Gemäß der Herstellerempfehlung zur Darstellung von Knochenstrukturen wurde zur primären Bildberechnung bei beiden Geräten ein kantenbetonter Faltungskern verwendet. (ESCT: Filter 8, MSCT: Filter B60f).

Primär- und Sekundärrekonstruktionen der CT-Daten

Es lagen für 50 Patienten koronare Primäraufnahmen bzw. Sekundärrekonstruktionen vor. In vorangegangenen Arbeiten der Arbeitsgruppe konnte nachgewiesen werden, dass für die klinische Beurteilung kein signifikanter Unterschied zwischen den Primäraufnahmen und den Rekonstruktionen besteht. Für 42 Patienten lagen darüber hinaus auch primäre transversale Schichtbilder vor.

Alle Aufnahmen wurden auf Laserfilm der Größe 43x30 cm belichtet, pro Film konnten 20 Schichten abgebildet werden. In einer modifizierten, mittleren Knochenfenstereinstellung (Level 0 HE, Breite 1900 HE) wurden Schichten in 2 mm Abstand dokumentiert. Zur besseren Übersichtlichkeit wurden die Aufnahmen hierbei so vergrößert (Sekundärzoom ohne Neuberechnung), dass das Nasennebenhöhlensystem vollständig abgebildet und der Jochbogen beidseits gerade noch erfasst war.

2.3 Aufnahmen

Bei 4 Patienten lagen je zwei Röntgenaufnahmen vor. Für die Beurteilung der Qualitätskriterien der Röntgenaufnahmen wurden alle 54 Aufnahmen

herangezogen. Für den Vergleich möglicher pathologischer Verschattungen mit dem Computertomogramm wurde die jeweils näher zur computertomographischen Untersuchung datierte Aufnahme verwendet. Ausschlusskriterium für den Vergleich war ein Zeitintervall von mehr als 180 Tagen bzw. eine zwischenzeitliche operative Intervention. Es konnten somit 48 Vergleichspaare gebildet werden. Für den Vergleich der evaluierten Größe wurden 44 als Ausdruck vorhandene Computertomographien vermessen.

2.3.1 Auswertung der Röntgenaufnahmen

Drei Untersucher, ein Facharzt für diagnostische Radiologie und zwei Fachärzte für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde, beurteilten unabhängig voneinander in einem Abstand von mindestens 4 Wochen jeweils alle Aufnahmen hinsichtlich der Pneumatisation, der Beurteilbarkeit von Verschattungen und das Vorhandensein pathologischer Verschattungen. Die Beurteilung wurde an dem Röntgenbildbetrachter „Planilux“ (Fa. Gerätebau Schulte, Warstein) mit blendfreier Abdunklung vorgenommen.

Hierzu wurden folgende Kategorien definiert:

Tab. 1 „Pneumatisation“

Kriterien zur Beurteilung der Größe der abgebildeten Nasennebenhöhle im Röntgenbild

	Pneumatisation
1	nicht angelegt
2	klein
3	normal
4	groß

Tab. 2 „Beurteilbarkeit“

Kriterien zur Beurteilbarkeit der Aufnahme der abgebildeten Nasennebenhöhle im Röntgenbild

	Beurteilbarkeit von Verschattungen
1	nicht beurteilbar
2	eingeschränkt mit diagnostischer Relevanz
3	eingeschränkt ohne diagnostische Relevanz
4	optimale Qualität

Tab. 3 „Verschattungen“

Kriterien zur Beurteilung pathologischer Verschattungen der abgebildeten Nasennebenhöhle im Röntgenbild

	Pathologische Verschattungen
1	Pathologie sicher vorhanden
2	Pathologie wahrscheinlich vorhanden
3	unentschieden
4	Pathologie wahrscheinlich nicht vorhanden
5	Pathologie sicher nicht vorhanden

Wenn ein Untersucher einen Sinus hinsichtlich der Beurteilbarkeit von Verschattungen als „1 – nicht beurteilbar“ klassifizierte, wurden die entsprechenden Sinus hinsichtlich pathologischer Verschattungen als „3 – unentschieden“ eingestuft.

Die Datenakquisition erfolgte in einer Access (Microsoft Office XP) – Datenbank.

The screenshot shows a software application window titled "RoNNH - [Auswertung1]". The main heading is "Beurteilung der Röntgen-Aufnahmen". At the top, there are fields for "Untersucher" (66), "Datum der Beurteilung" (05.11.2004), and "Rö-NNH am:" (09.10.1996). Below this, there are four tabs: "Pneumatisation", "Beurteilbarkeit", "Verschattungen", and "Morphologie". The "Beurteilbarkeit" tab is selected, displaying a diagram of the paranasal sinuses with input fields for "Stirnhöhlen", "Siebbein", "Kieferhöhle", and "Keilbeinhöhle". To the right of the diagram is a reference X-ray image of the paranasal sinuses. The bottom status bar shows "Datensatz: 1 von 324" and "Formularansicht".

Abb. 6 Eingabemaske der Access-Datenbank

Die in die Eingabemaske eingefügten Aufnahmen galten nur der Kontrolle und wurden nicht zur Beurteilung herangezogen.

2.3.2 Auswertung der Computertomographien

Alle vorliegenden Computertomographien wurden hinsichtlich pathologischer Verschattungen beurteilt.

Die pathologischen Verschattungen wurden wie folgt kategorisiert:

Tab. 4 pathologische Verschattungen im CT
Kriterien zur Beurteilung der abgebildeten Nasennebenhöhlen im Computertomogramm

	pathologische Verschattung
0	keine
1	randständig (<3 mm)
2	teilweise
3	komplett

Zur Größenbestimmung wurden die maximalen Durchmesser jedes Sinus sowohl in koronarer als auch in transversaler Schichtung von 44 Computertomographien vermessen.

Sowohl für die Beurteilung der Verschattungen als auch zur Messung wurde der Röntgenbildbetrachter „Planilux“ (Fa. Gerätebau Schulte, Warstein) genutzt. Die akquirierten Daten wurden in Excel (Microsoft Office XP) eingepflegt.

Die Messung erfolgte mittels Schublehre. Es wurde zunächst pro Ausdruck die 5 cm Referenz bestimmt. Zur Ermittlung der maximalen Ausdehnung wurde, ausgehend von der vermeintlich größten Ausdehnung, die Schublehre eingestellt, die fixierte Schublehre konnte nun über alle Einzelbilder bewegt werden.

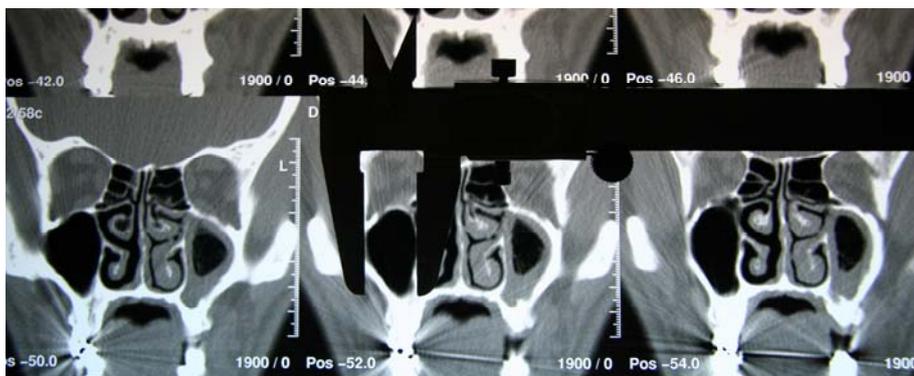


Abb. 7 Primäranlage der Schublehre

Somit war ein direkter Vergleich der Ausdehnung zwischen den Einzelbildern möglich. Die Schublehre ließ sich auf diese Weise dem maximalen Abstand anpassen.



Abb. 8 Anpassung der Schublehre

Dieser Wert wurde in cm mit zweifach dezimaler Genauigkeit ermittelt. Die gemessenen Werte wurden abschließend mit dem Referenzwert in Beziehung gesetzt und die reale Größe errechnet. Um eine Zuordnung gemäß den Röntgenbildkategorien treffen zu können, erwies sich die Bildung des Flächenproduktes aus Höhe und Breite, gemessen in der koronaren Schichtung, notwendig. Die 10%-Perzentile der Flächen wurden zur Grundlage der Klassifikation herangezogen.

Tab. 5 Größeneinteilung

Kategorisieren der Nasennebenhöhlen anhand des Produktes aus Höhe und Breite

	Pneumatisation	„Fläche“
1	nicht angelegt	
2	klein	1%-10%
3	normal	11%-90%
4	groß	91%-100%

Statistische Methoden

Die statistische Auswertung erfolgte unter Mithilfe des Instituts für Medizinische Biometrie der Eberhard Karls Universität Tübingen. Zur Beurteilung der Übereinstimmungen wurde der Kappa-Koeffizient und dessen 95% Konfidenz-Intervalle ermittelt. (SAS Version 9; SAS Institute Inc.) (34)

3 Ergebnisse

3.1 Patienten

In diese Studie wurden 50 Patienten eingeschlossen.

Von diesen waren 16 weiblichen und 34 männlichen Geschlechts.



Abb. 9 Geschlechtsverteilung, n=50

Das Durchschnittsalter der Patienten betrug 44,5 Jahre, der jüngste war 16,5 und der älteste Patient 79,0 Jahre alt.

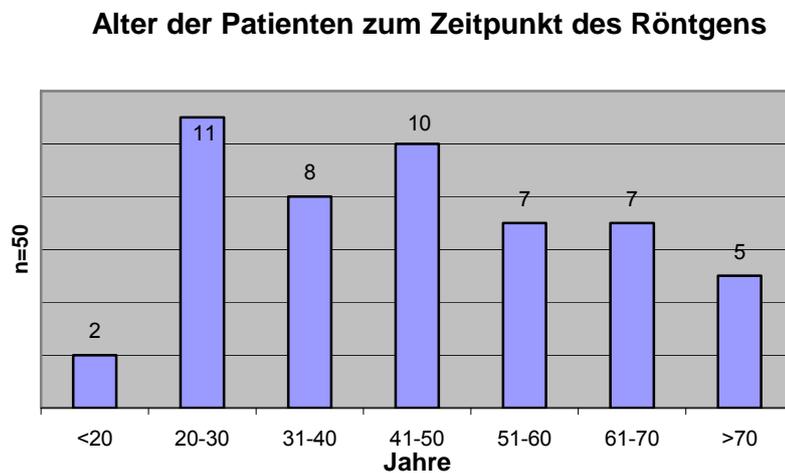


Abb. 10 Alter der Patienten zum Zeitpunkt des Röntgens, n=50

3.2 Röntgenaufnahmen

3.2.1 Strahlenexposition

Die Strahlenexposition stellt ein wichtiges Kriterium für die Bewertung des Nutzen-Risiko-Verhältnisses für den Patienten im klinischen Einsatz dar.

Aus den verwendeten Parametern (2.2.2) wurden Rückschlüsse auf die individuelle Exposition gezogen. Ausgehend von der angelegten Röhrenspannung wurde über den Fokus-Hautabstand (85 cm) und den Standardfilter (2,5 mm Al) mittels eines Hautdosisabschätzungsnomogramms (86) ein Zahlenwert (in cGy/As) ermittelt. Daraus wurde als Produkt mit dem Röhrenstrom-Zeitprodukt die lokale Hautenergiedosis errechnet.

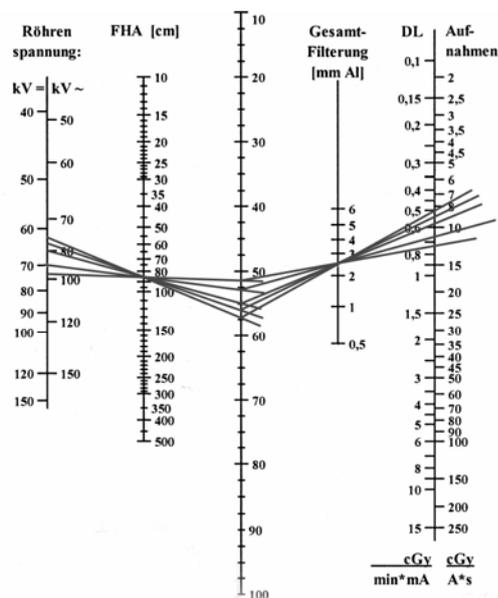


Abb. 11 Hautdosisabschätzungsnomogramm;
FHA Fokus-Haut-Abstand, DL Durchleuchtung

Tab. 6 Lokale Hautenergiedosis,
 $n_1=54$ Aufnahmen bei $n_2=50$ Patienten

Röhrenspannung kV	Hautdosis- Abschätzungs- nomogramm cGy/As	Röhrenstrom- Zeitprodukt mAs	Dosis _{Haut} mGy
72	12,0	40	4,800
70	11,0	40	4,400
70	11,0	36	3,960
70	11,0	32	3,520
70	11,0	28	3,080
66	9,5	100	9,500
66	9,5	90	8,550
63	8,7	100	8,700
63	8,7	90	7,830
62	8,3	90	7,470

Bei den untersuchten Patienten ergaben sich lokale Hautenergiedosen zwischen 3,1 mGy und 9,5 mGy.

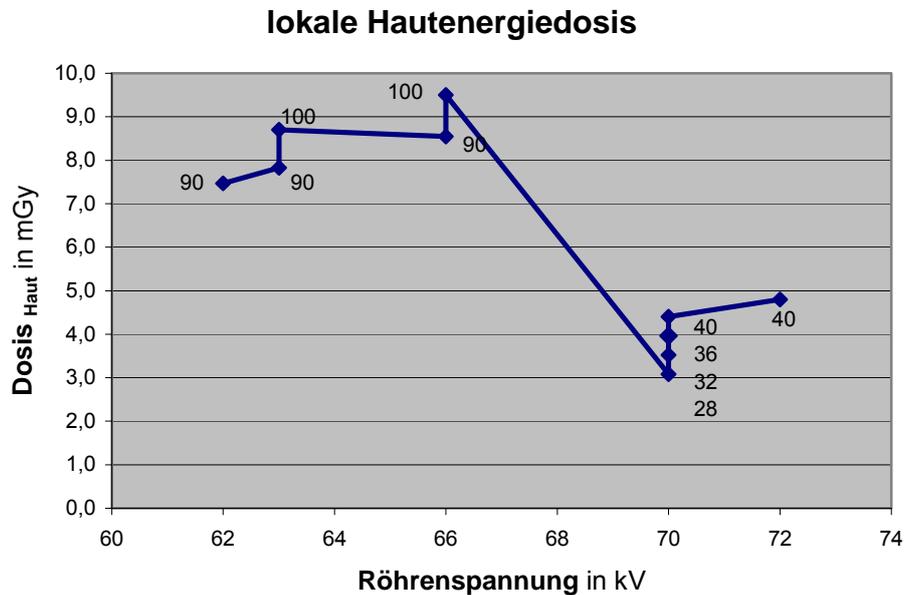


Abb. 12 Lokale Hautenergiedosis
 Beschriftung: korrespondierendes Röhrenstrom-Zeitprodukt in mAs, $n_1=54$ Aufnahmen bei $n_2=50$ Patienten

Aus der Röhrenspannung wurde mittels einer Grafik, angelehnt an Din 6809-7, die Dosisausbeute in 1 m Fokusabstand ermittelt. Mit dem zugehörigen Röhrenstrom-Zeitprodukt wurde die Dosisausbeute $Kerma_{Luft}$

berechnet und auf 85 cm Abstand korrigiert. Aus dem $Kerma_{Luft}$ wurde bei bekannter Eintrittsfläche (300 cm^2) das Dosisflächenprodukt bestimmt und schließlich die Effektivdosis abgeleitet. (55)

Tab. 7 Effektivdosis der Röntgenaufnahmen
 $n_1=54$ Aufnahmen bei $n_2=50$ Patienten

Röhrenspannung kV	Röhrenstrom-Zeitprodukt mAs	Effektivdosis pro Dosisflächen- produkt $\mu\text{Sv}/\text{cGy}\cdot\text{cm}^2$	Dosisflächen- produkt $\text{cGy}\cdot\text{cm}^2$	Effektivdosis	
				μSv	mSv
72	40	0,225	99,654	22,42	0,022
70	40	0,215	96,332	20,71	0,021
70	36	0,215	86,699	18,64	0,019
70	32	0,215	77,066	16,57	0,017
70	28	0,215	67,433	14,50	0,014
66	100	0,175	211,765	37,06	0,037
66	90	0,175	190,588	33,35	0,033
63	100	0,15	195,156	29,27	0,029
63	90	0,15	175,640	26,35	0,026
62	90	0,14	171,903	24,07	0,024

Die ermittelte Effektivdosis für die Patienten dieser Studie schwankte zwischen 0,014 mSv und 0,037 mSv.

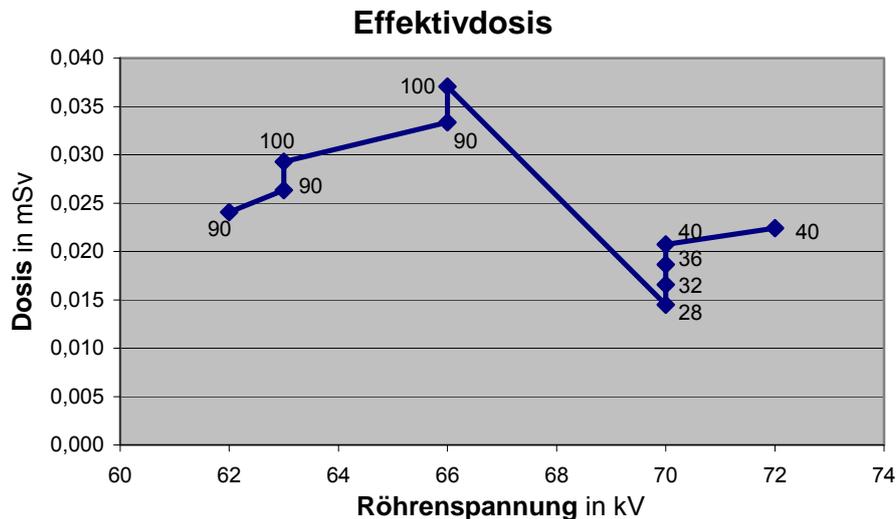


Abb. 13 Effektivdosis
 Beschriftung: korrespondierendes Röhrenstrom-Zeitprodukt in mAs, $n_1=54$ Aufnahmen bei $n_2=50$ Patienten

3.2.2 Bewertungen

Die Ausprägungen der Modalität „Pneumatisation“ richteten sich nach der klinischen Erfahrung der Untersucher. Das individuelle Ranking bezog sich nicht auf die vorliegende Stichprobe allein, sondern sollte die Gesamtheit der jemals betrachteten Röntgenaufnahmen berücksichtigen.

Tab. 8 Merkmalsausprägung „Pneumatisation“
n₁=54 Aufnahmen mit jeweils paarigen Sinus bei n₂=50 Patienten, 3 Untersucher mit zusammen n₃=324 Einzelbeurteilungen

"Pneumatisation"	Stirnhöhle		Siebbein		Kieferhöhle		Keilbeinhöhle	
	n	%	n	%	n	%	n	%
nicht angelegt	13	4%	2	1%	0	0%	34	10%
klein	73	23%	16	5%	57	18%	50	15%
normal	147	45%	266	82%	224	69%	135	42%
groß	89	27%	38	12%	41	13%	103	32%

Bei dieser Größenabschätzung wurden zwischen 42% -Keilbeinhöhlen- und 82% -Siebbeinzellsysteme- der betrachteten Sinus als „normal“ eingruppiert. Bei der Keilbeinhöhle und bei der Stirnhöhle war die Kategorisierung am weitesten gestreut.

"Pneumatisation" der Nasennebenhöhlen

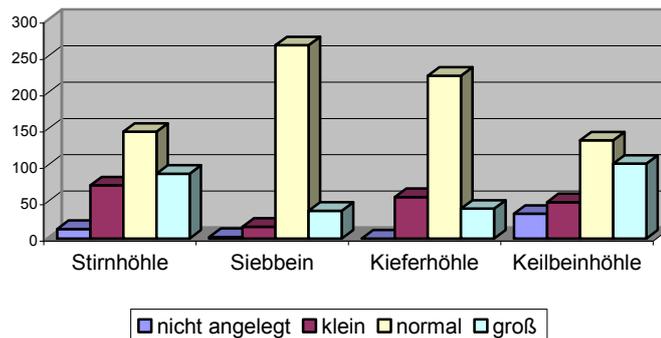


Abb. 14 Merkmalsausprägung „Pneumatisation“
n₁=54 Aufnahmen mit jeweils paarigen Sinus bei n₂=50 Patienten, 3 Untersucher mit zusammen n₃=324 Einzelbeurteilungen

Bei 49 der insgesamt 324 beurteilten Nasennebenhöhlen wurde das Merkmal „nicht angelegt“ angegeben, am häufigsten mit 10% bei der Keilbeinhöhle.

Tab. 9 Merkmalsausprägung „Beurteilbarkeit“
n₁=54 Aufnahmen mit jeweils paarigen Sinus bei n₂=50 Patienten, 3 Untersucher mit zusammen n₃=324 Einzelbeurteilungen

"Beurteilbarkeit"	Stirnhöhle		Siebbein		Kieferhöhle		Keilbeinhöhle	
	n		n		n		n	
nicht beurteilbar	0	0%	42	13%	0	0%	31	10%
eingeschränkt mit diagnostischer Relevanz	2	1%	128	40%	1	0%	23	7%
eingeschränkt ohne diagnostische Relevanz	34	10%	88	27%	93	29%	100	31%
optimale Qualität	286	88%	64	20%	228	70%	168	52%

Die Stirnhöhle wurde am häufigsten als mit „optimaler Qualität“ beurteilbar klassifiziert. In 13% war das Siebbeinzellsystem und in 10% die Keilbeinhöhle „nicht beurteilbar“. Stirnhöhle und Kieferhöhle waren in allen Fällen zu beurteilen.

"Beurteilbarkeit" der Röntgenaufnahmen

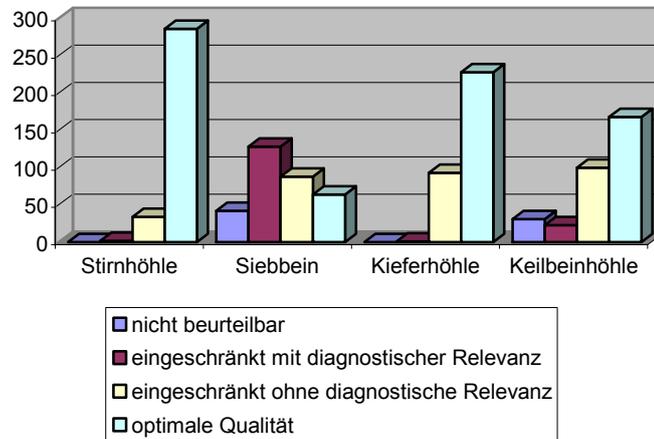


Abb. 15 Merkmalsausprägung „Beurteilbarkeit“
n₁=54 Aufnahmen mit jeweils paarigen Sinus bei n₂=50 Patienten, 3 Untersucher mit zusammen n₃=324 Einzelbeurteilungen

Nur bei 1% bis 2% der untersuchten Stirnhöhlen bzw. Kieferhöhlen lag eine klinisch relevante Einschränkung der Beurteilbarkeit vor.

Tab. 10 Merkmalsausprägung „Verschattungen“
n₁=54 Aufnahmen mit jeweils paarigen Sinus bei *n₂*=50 Patienten, 3 Untersucher
 mit zusammen *n₃*=324 Einzelbeurteilungen

"Verschattungen"	Stirnhöhle		Siebbein		Kieferhöhle		Keilbeinhöhle	
	n	%	n	%	n	%	n	%
Pathologie mit Sicherheit vorhanden	10	3%	2	1%	72	22%	0	0%
Pathologie wahrscheinlich	9	3%	36	11%	34	10%	5	2%
unentschieden	2	1%	106	33%	10	3%	40	12%
Pathologie wahrscheinlich nicht vorhanden	24	7%	123	38%	54	17%	68	21%
Pathologie sicher nicht vorhanden	277	85%	55	17%	152	47%	209	65%

"Verschattungen" der Nasennebenhöhlen

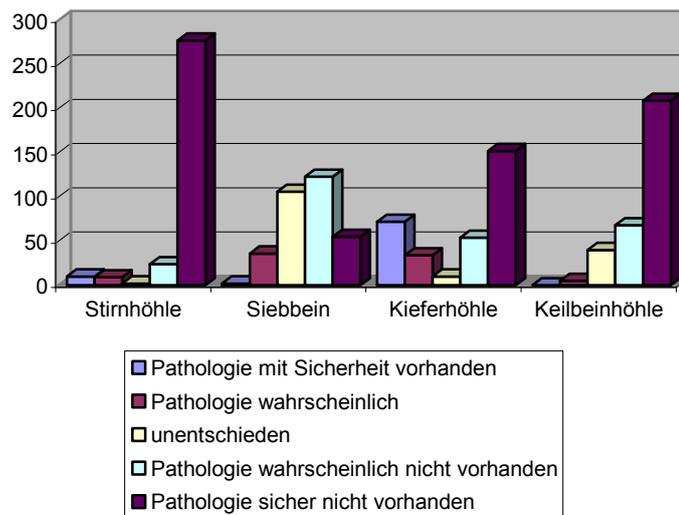


Abb. 16 Merkmalsausprägung „Verschattungen“
n₁=54 Aufnahmen mit jeweils paarigen Sinus bei *n₂*=50 Patienten, 3 Untersucher
 mit zusammen *n₃*=324 Einzelbeurteilungen

Auf dieser Grundlage wurden 13% der beurteilten Nasennebenhöhlen als pathologisch verschattet eingestuft, bei etwa jeder 3. Kieferhöhle wurde eine Verschattung als vorhanden oder zumindest als wahrscheinlich angenommen, aber nur in 2% der Keilbeinhöhlen wurde eine Pathologie vermutet.

3.2.3 Vergleich der Bewertungszeitpunkte

Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit der diagnostischen Aussagen wurden die Röntgenaufnahmen den Untersuchern zweimalig zur Bewertung vorgelegt (*intrarater agreement*).

Der zeitliche Abstand zwischen den Bewertungen durch denselben Untersucher betrug 25, 27 und 47 Tage.

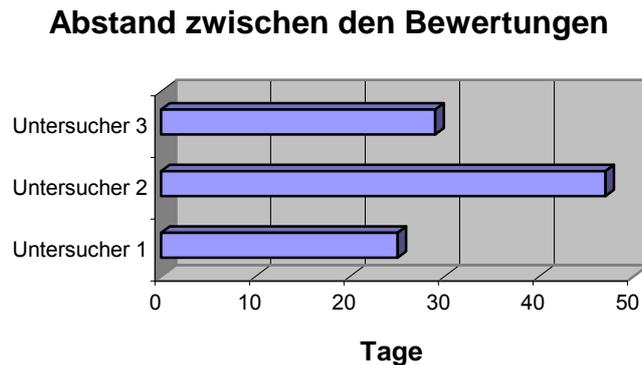


Abb. 17: Zeitlicher Abstand zwischen den Bewertungen durch denselben Untersucher in Tagen

Aus den jeweiligen Beurteilungen wurden der gewichtete Kappa-Koeffizient und dessen 95%-Konfidenzgrenzen ermittelt. Hierbei wurden die Nasennebenhöhlen nicht seitengetrent betrachtet, sondern jeweils zu einer Gesamtheit zusammengeführt (n=108). Der Kappa-Koeffizient wurde als ein Maß für die Übereinstimmung zweier Bewertungsmengen herangezogen. Dem in der Tabelle 8 aufgeführten Wert „0,6625“ lagen demnach zweimal 108 Einzelbewertungen zugrunde. Der Algorithmus zur Berechnung von Kappa berücksichtigt, dass zufällige Übereinstimmungen auftreten, die unabhängig von der eigentlich zu betrachtenden Reproduzierbarkeit sind. (17)

Mit dem gewichteten Kappa-Koeffizient wurde dem Ranking der Kategorien einer Nominalskala zusätzlich Rechnung getragen. Beispielsweise stellten „nicht angelegt“, „klein“, „normal“ und „groß“ die Bewertungen der „Pneumatisation“ in aufsteigender Größe dar. Diese Rangfolge wurde im Algorithmus des gewichteten Kappa-Koeffizienten berücksichtigt.

Im Test-Re-Test-Szenario wies die Bewertungspaarung „klein“-„groß“ eine niedrigere Übereinstimmung auf, als die Paarung „klein“-„normal“. (29)

Tab. 11 Reproduzierbarkeit - alle Untersucher

Übereinstimmung der Bewertungen zum Zeitpunkt 1 mit denen zum Zeitpunkt 2, n=54 Aufnahmen; U1 Untersucher 1, U2 Untersucher 2, U3 Untersucher 3

Zeitpunkt 1 zu Zeitpunkt 2		U 1 κ	U 2 κ	U 3 κ
Pneuma- tisation	Stirnhöhle	0,6625	0,8433	0,7211
	Siebbein	0,4834	0,3363	0,3165
	Kieferhöhle	0,5472	0,5843	0,2922
	Keilbeinhöhle	0,7719	0,7787	0,6412
Beurteil- barkeit	Stirnhöhle	0,7033	0,4433	0,5173
	Siebbein	0,4780	0,2709	0,2786
	Kieferhöhle	0,6126	0,4247	0,3394
	Keilbeinhöhle	0,5654	0,3782	0,5905
Verschat- tungen	Stirnhöhle	0,6298	0,6127	0,5442
	Siebbein	0,5196	0,5175	0,3469
	Kieferhöhle	0,7468	0,7334	0,5426
	Keilbeinhöhle	0,4701	0,3494	0,4799

Der Kappa-Koeffizient als Maß der Übereinstimmung variierte in allen Kenngrößen: Untersucher, beurteilte Nasennebenhöhle und Modalität.

Reproduzierbarkeit der Bewertungen zu einem 2. Zeitpunkt - intrarater agreement

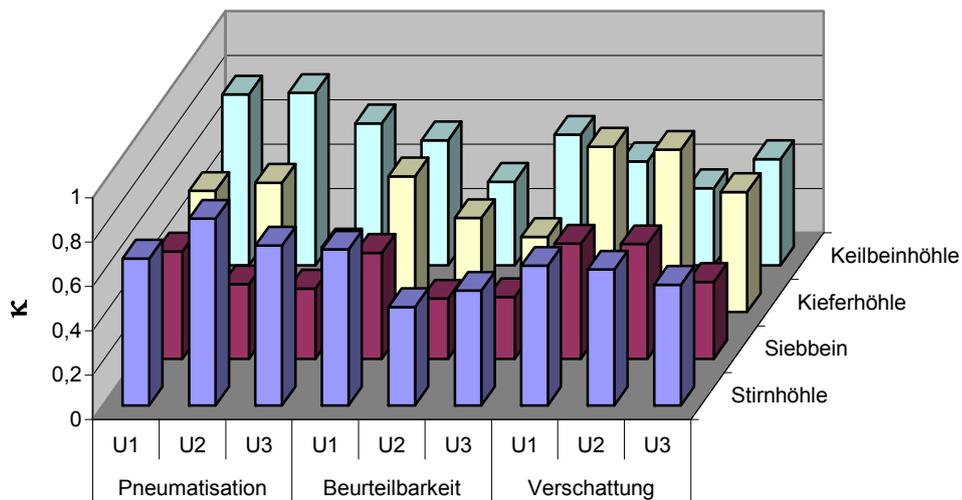


Abb. 18 Reproduzierbarkeit - Übersicht

Übereinstimmung der Bewertungen zum Zeitpunkt 1 mit denen zum Zeitpunkt 2, n=54 Aufnahmen; U1 Untersucher 1, U2 Untersucher 2, U3 Untersucher 3

Zur Interpretation des gewichteten Kappa-Koeffizienten wird in der vorliegenden Arbeit neben dessen 95%-Konfidenzgrenzen eine normative Einteilung nach Altman verwendet. (4)

Tab. 12 Interpretation von Kappa nach Altman

κ	Interpretation
< 0,20	schwach
0,21 – 0,40	leicht
0,41 – 0,60	mittelmäßig
0,61 – 0,80	gut
0,81 – 1,00	sehr gut

Tab. 13 Reproduzierbarkeit - Untersucher 1

Übereinstimmung der Bewertungen zum Zeitpunkt 1 mit denen zum Zeitpunkt 2, n=54 Aufnahmen

Zeitpunkt 1 zu Zeitpunkt 2		Untersucher 1			Wertung
	κ	95% Konfidenzgrenzen			
Stirnhöhle	Pneumatisation	0,6625	0,5442	0,7808	gut
	Beurteilbarkeit	0,7033	0,5161	0,8905	gut
	Verschattungen	0,6298	0,3853	0,8744	gut
Siebbein	Pneumatisation	0,4834	0,2661	0,7007	mittelmäßig
	Beurteilbarkeit	0,4780	0,3530	0,6031	mittelmäßig
	Verschattungen	0,5196	0,3957	0,6436	mittelmäßig
Kieferhöhle	Pneumatisation	0,5472	0,3997	0,6948	mittelmäßig
	Beurteilbarkeit	0,6126	0,4818	0,7435	gut
	Verschattungen	0,7468	0,6509	0,8427	gut
Keilbeinhöhle	Pneumatisation	0,7719	0,6768	0,8670	gut
	Beurteilbarkeit	0,5654	0,4351	0,6957	mittelmäßig
	Verschattungen	0,4701	0,3061	0,6340	mittelmäßig

Tab. 14 Reproduzierbarkeit - Untersucher 2:
*Übereinstimmung der Bewertungen zum Zeitpunkt 1 mit denen zum Zeitpunkt 2,
n=54 Aufnahmen*

Zeitpunkt 1 zu Zeitpunkt 2		Untersucher 2			
		κ	95% Konfidenzgrenzen		Wertung
Stirnhöhle	Pneumatisation	0,8433	0,7672	0,9195	sehr gut
	Beurteilbarkeit	0,4433	0,1742	0,7124	mittelmäßig
	Verschattungen	0,6127	0,4504	0,7750	gut
Siebbein	Pneumatisation	0,3363	0,2005	0,4720	leicht
	Beurteilbarkeit	0,2709	0,1771	0,3647	leicht
	Verschattungen	0,5175	0,4156	0,6195	mittelmäßig
Kieferhöhle	Pneumatisation	0,5843	0,4507	0,7178	mittelmäßig
	Beurteilbarkeit	0,4247	0,2541	0,5952	mittelmäßig
	Verschattungen	0,7334	0,6394	0,8273	gut
Keilbeinhöhle	Pneumatisation	0,7787	0,6865	0,8709	gut
	Beurteilbarkeit	0,3782	0,2738	0,4827	leicht
	Verschattungen	0,3494	0,1828	0,5159	leicht

Tab. 15 Reproduzierbarkeit - Untersucher 3:
*Übereinstimmung der Bewertungen zum Zeitpunkt 1 mit denen zum Zeitpunkt 2,
n=54 Aufnahmen*

Zeitpunkt 1 zu Zeitpunkt 2		Untersucher 3			
		κ	95% Konfidenzgrenzen		Wertung
Stirnhöhle	Pneumatisation	0,7211	0,6201	0,8220	gut
	Beurteilbarkeit	0,5173	0,3136	0,7210	mittelmäßig
	Verschattungen	0,5442	0,3460	0,7424	mittelmäßig
Siebbein	Pneumatisation	0,3165	-0,0259	0,6588	leicht
	Beurteilbarkeit	0,2786	0,1360	0,4213	leicht
	Verschattungen	0,3469	0,2083	0,4855	leicht
Kieferhöhle	Pneumatisation	0,2922	0,0955	0,4889	leicht
	Beurteilbarkeit	0,3394	0,1660	0,5129	leicht
	Verschattungen	0,5426	0,4173	0,6679	mittelmäßig
Keilbeinhöhle	Pneumatisation	0,6412	0,5121	0,7703	gut
	Beurteilbarkeit	0,5905	0,4863	0,6947	mittelmäßig
	Verschattungen	0,4799	0,3587	0,6011	mittelmäßig

Übereinstimmung der Bewertungen Zeitpunkt 1 zu Zeitpunkt 2

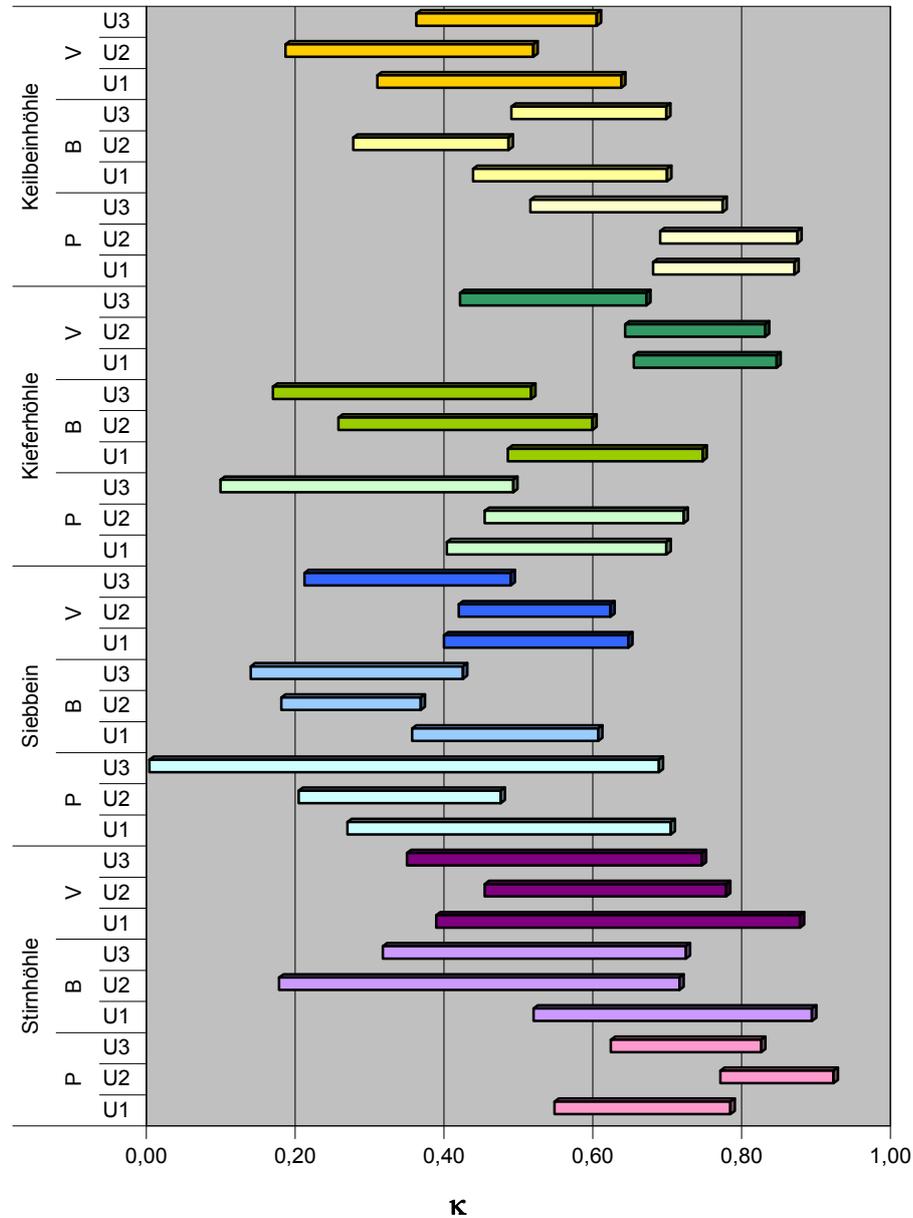


Abb. 19 Reproduzierbarkeit - alle Untersucher
 Übereinstimmung der Bewertungen zum Zeitpunkt 1 mit denen zum Zeitpunkt 2,
 gewichtetes κ mit 95%-Konfidenzgrenzen; U1 Untersucher 1, U2 Untersucher 2,
 U3 Untersucher 3, P Pneumatisation, B Beurteilbarkeit, V Verschattungen, n=54
 Aufnahmen

Die Werte für das gewichtete Kappa pendelten für die Stirnhöhle in allen untersuchten Modalitäten auf dem höchsten Niveau: >0,5. Für die anderen Nasennebenhöhlen waren die Kappa-Schwankungen für die Variable

„Modalität“ stärker ausgeprägt als für die Variable „Untersucher“. Insgesamt bewegte sich die Reproduzierbarkeit auf niedrigem Niveau: $\kappa < 0,5$. Ausnahmen stellten die Keilbeinhöhle in der Modalität „Pneumatisation“ und die Kieferhöhle in der Modalität „Verschattung“ dar, $\kappa > 0,5$. Die niedrigeren Kappa-Werte zeichneten sich zumeist durch ein größeres Konfidenz-Intervall aus, welches über mehrere Normierungs-Klassen reichte. Hohe Kappa-Werte wiesen auch das kleinere Konfidenz-Intervall auf.

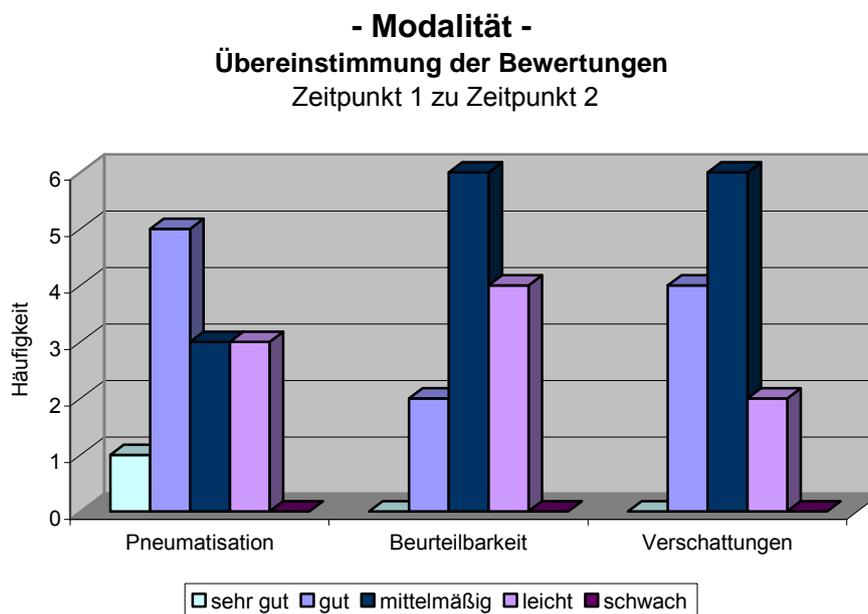


Abb. 20 Reproduzierbarkeit - Modalität
Häufigkeiten der Kappa-Interpretation, $n=54$ Aufnahmen

Die geringste Übereinstimmung lag bei der Modalität „Beurteilbarkeit“ mit insgesamt 8 Werten „mittelmäßig“ und besser vor. Die Abstände zu den Variablen „Pneumatisation“ mit 9 und „Verschattungen“ mit 10 Werten für „mittelmäßig“ und besser waren gering.

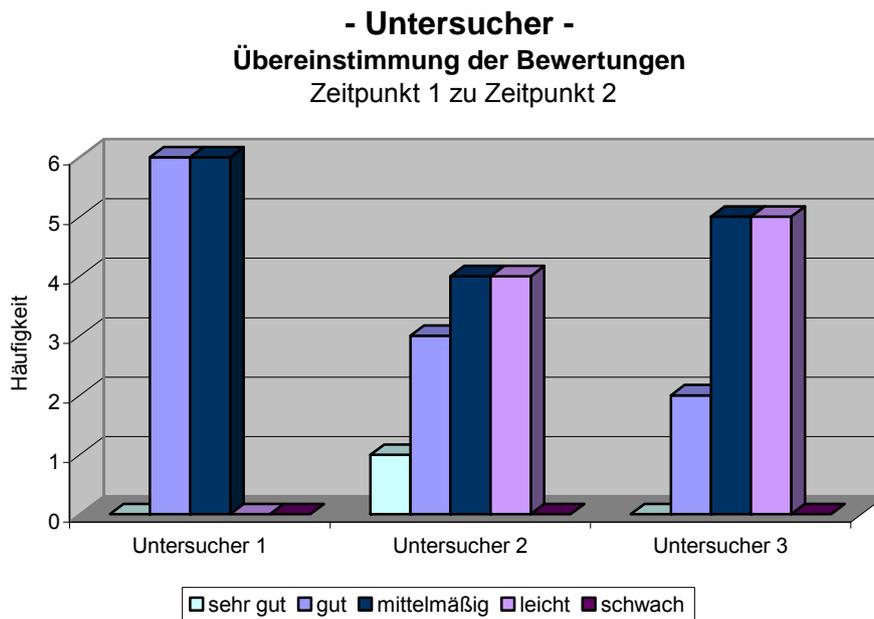


Abb. 21 Reproduzierbarkeit - Untersucher
Häufigkeiten der Kappa-Interpretation, n=54 Aufnahmen

Eine relativ hohe Übereinstimmung, oder Konstanz, in seinen Bewertungen zu beiden Zeitpunkten wies „Untersucher 1“ auf, alle 12 Werte sind „mittelmäßig“ und besser. „Untersucher 2“ und „Untersucher 3“ hatten 8 bzw. 7 Werte mit „mittelmäßig“ und besser. Bei keinem Untersucher trat eine „schwache“ Übereinstimmung auf.

- Nasennebenhöhle -
Übereinstimmung der Bewertungen
Zeitpunkt 1 zu Zeitpunkt 2

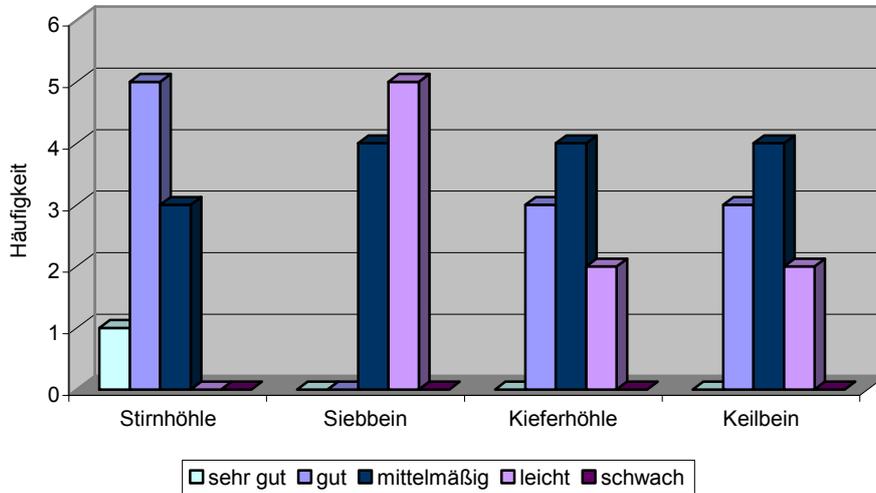


Abb. 22 Reproduzierbarkeit –Nasennebenhöhle
Häufigkeiten der Kappa-Interpretation, n=54 Aufnahmen

Die Reproduzierbarkeit der Bewertungen durch denselben Untersucher war für die Stirnhöhle am höchsten, alle Werte waren „mittelmäßig“ und besser. Bei Kieferhöhle und Keilbeinhöhle waren mehr als zwei Drittel „mittelmäßig“ und besser. Beim Siebbeinzellsystem war die Reproduzierbarkeit am geringsten.

3.2.4 Vergleich der Untersucher untereinander

Zur Überprüfung der objektiven Verwertbarkeit der Befunde wurden die Aussagen der Untersucher untereinander verglichen. Da ebenfalls eine Nominal-Skala zugrunde lag, wurden der gewichtete Kappa-Koeffizient sowie dessen 95%-Konfidenzgrenzen bestimmt.

Tab. 16 Übereinstimmung der Bewertungen zwischen den Untersuchern - Übersicht gewichteter Kappa-Koeffizient, U1 Untersucher 1, U2 Untersucher 2, U3 Untersucher 3, n=54 Aufnahmen

		U1:U2	U1:U3	U2:U3
		κ	κ	κ
Pneumatisation	Stirnhöhle	0,6884	0,7128	0,6851
	Siebbein	0,28	-0,0305	0,0236
	Kieferhöhle	0,5741	0,4163	0,156
	Keilbeinhöhle	0,7089	0,4646	0,4576
Beurteilbarkeit	Stirnhöhle	0,5055	0,2382	0,3455
	Siebbein	0,1814	0,0345	0,0438
	Kieferhöhle	0,2619	0,3116	0,2567
	Keilbeinhöhle	0,162	0,26	0,0952
Verschattungen	Stirnhöhle	0,4759	0,4861	0,4811
	Siebbein	0,3534	0,233	0,2325
	Kieferhöhle	0,6644	0,5348	0,4847
	Keilbeinhöhle	0,0152	0,2311	0,0962

Übereinstimmung zwischen den Untersuchern - interrater agreement

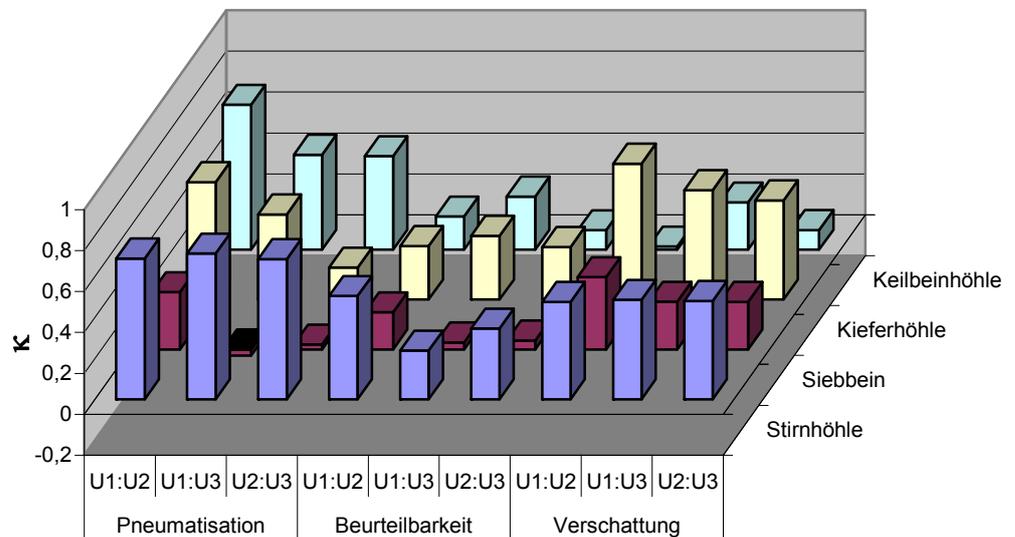


Abb. 23 Übereinstimmung der Bewertungen zwischen den Untersuchern - Übersicht U1 Untersucher 1, U2 Untersucher 2, U3 Untersucher 3, n=54 Aufnahmen

Tab. 17 Übereinstimmung der Bewertungen zwischen Untersucher 1 und Untersucher 2
n=54 Aufnahmen

		Untersucher 1 vs Untersucher 2			
		κ	95% Konfidenzgrenzen		Wertung
Stirnhöhle	Pneumatisation	0,6884	0,5751	0,8017	gut
	Beurteilbarkeit	0,5055	0,2774	0,7336	mittelmäßig
	Verschattungen	0,4759	0,2458	0,7060	mittelmäßig
Siebbein	Pneumatisation	0,2800	0,1136	0,4464	leicht
	Beurteilbarkeit	0,1814	0,0479	0,3148	schwach
	Verschattungen	0,3534	0,2305	0,4763	leicht
Kieferhöhle	Pneumatisation	0,5741	0,4313	0,7168	mittelmäßig
	Beurteilbarkeit	0,2619	0,0645	0,4592	leicht
	Verschattungen	0,6644	0,5548	0,7740	gut
Keilbeinhöhle	Pneumatisation	0,7089	0,6078	0,8099	gut
	Beurteilbarkeit	0,1620	0,0457	0,2782	schwach
	Verschattungen	0,0152	-0,1015	0,1318	schwach

Tab. 18 Übereinstimmung der Bewertungen zwischen Untersucher 1 und Untersucher 3
n=54 Aufnahmen

		Untersucher 1 vs Untersucher 3			
		κ	95% Konfidenzgrenzen		Wertung
Stirnhöhle	Pneumatisation	0,7128	0,5981	0,8275	gut
	Beurteilbarkeit	0,2382	-0,0033	0,4798	leicht
	Verschattungen	0,4861	0,1822	0,7901	mittelmäßig
Siebbein	Pneumatisation	-0,0305	-0,0668	0,0057	schwach
	Beurteilbarkeit	0,0345	0,0041	0,0648	schwach
	Verschattungen	0,2330	0,1487	0,3173	leicht
Kieferhöhle	Pneumatisation	0,4163	0,2544	0,5782	mittelmäßig
	Beurteilbarkeit	0,3116	0,1256	0,4975	leicht
	Verschattungen	0,5348	0,4163	0,6533	mittelmäßig
Keilbeinhöhle	Pneumatisation	0,4646	0,3669	0,5622	mittelmäßig
	Beurteilbarkeit	0,2600	0,1377	0,3823	leicht
	Verschattungen	0,2311	0,1020	0,3602	leicht

Tab. 19 Übereinstimmung der Bewertungen zwischen Untersucher 2 und Untersucher 3
n=54 Aufnahmen

		Untersucher 2 vs Untersucher 3			
		κ	95% Konfidenzgrenzen		Wertung
Stirnhöhle	Pneumatisation	0,6851	0,5878	0,7824	gut
	Beurteilbarkeit	0,3455	0,0951	0,5958	leicht
	Verschattungen	0,4811	0,2629	0,6992	mittelmäßig
Siebbein	Pneumatisation	0,0236	-0,0576	0,1049	schwach
	Beurteilbarkeit	0,0438	-0,0017	0,0893	schwach
	Verschattungen	0,2325	0,1208	0,3442	leicht
Kieferhöhle	Pneumatisation	0,1560	0,0159	0,2960	schwach
	Beurteilbarkeit	0,2567	0,0683	0,4450	leicht
	Verschattungen	0,4847	0,3647	0,6047	mittelmäßig
Keilbeinhöhle	Pneumatisation	0,4576	0,3670	0,5481	mittelmäßig
	Beurteilbarkeit	0,0952	0,0085	0,1819	schwach
	Verschattungen	0,0962	-0,0005	0,1929	schwach

Übereinstimmung der Bewertungen zwischen den Untersuchern - *interrater agreement*

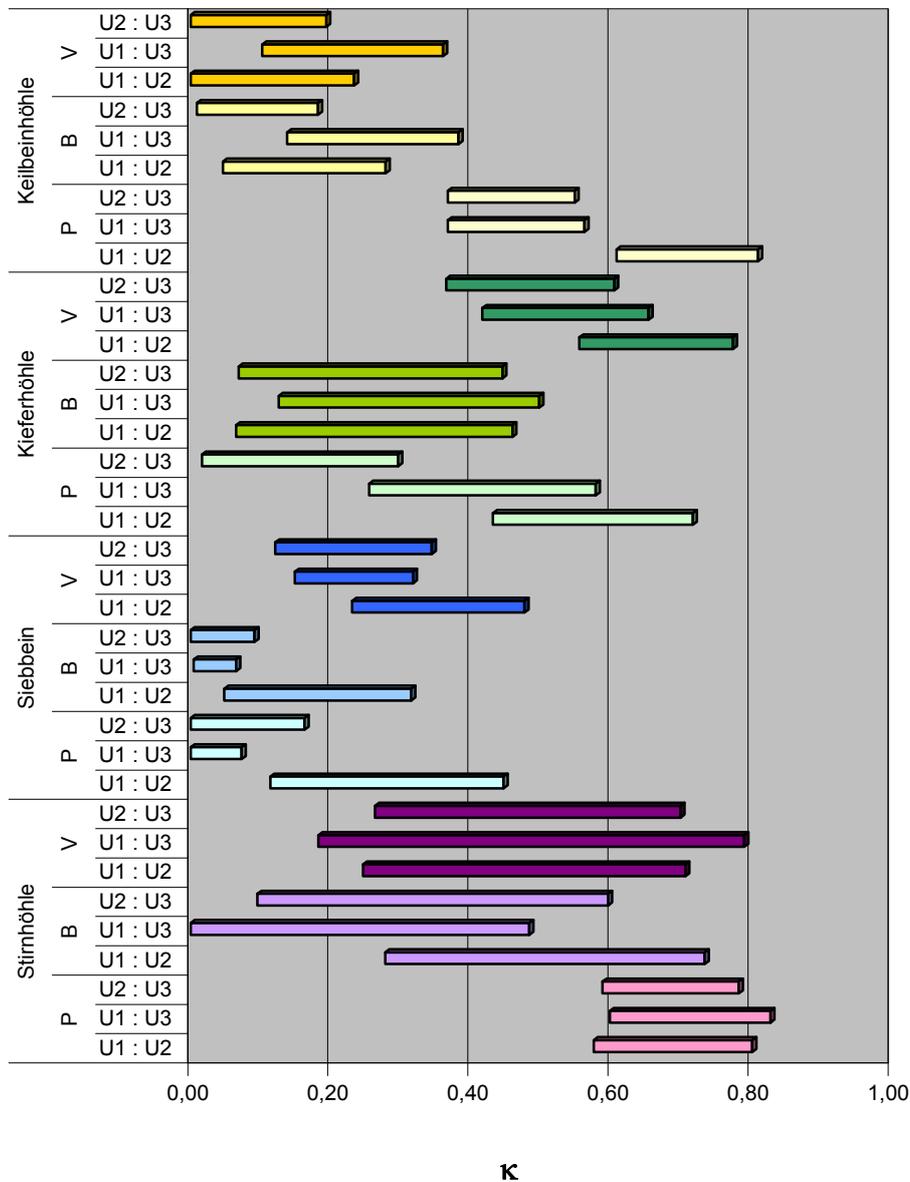


Abb. 24 Übereinstimmung der Bewertungen zwischen den Untersuchern gewichtetes κ mit 95%-Konfidenzgrenzen; U1 Untersucher 1, U2 Untersucher 2, U3 Untersucher 3, P Pneumatisation, B Beurteilbarkeit, V Verschattungen, n=54 Aufnahmen

Die höchsten Kappa-Werte mit den engsten Konfidenzgrenzen wies die Stirnhöhle in der Modalität „Pneumatisation“ auf. Die niedrigste Übereinstimmung lag bei der Bewertung des Siebbeins vor, hier stimmten die Untersucher insbesondere in der Modalität „Beurteilbarkeit“ wenig überein.

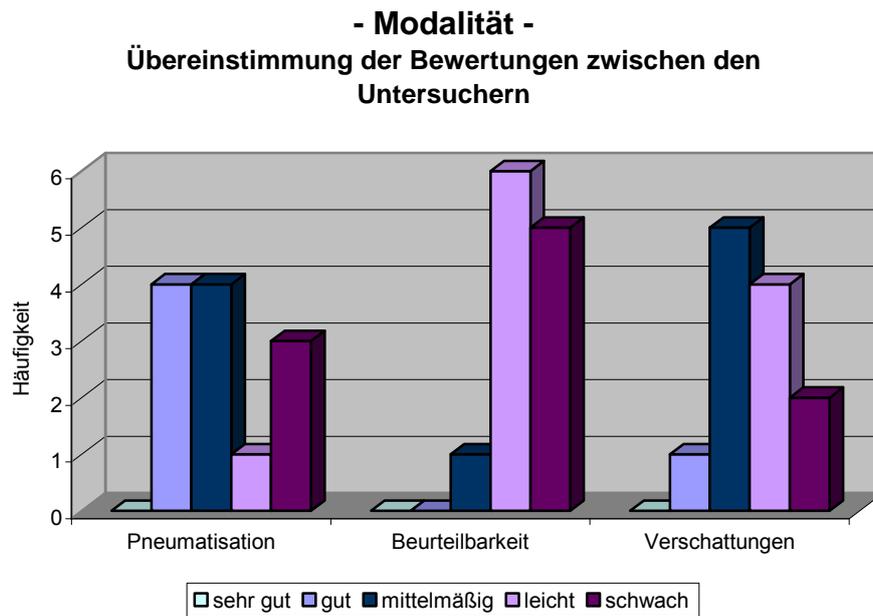


Abb. 25 Übereinstimmung der Bewertungen zwischen den Untersuchern - Modalität
Häufigkeiten der Kappa-Interpretation, n=54 Aufnahmen

Die größte Übereinstimmung bestand hinsichtlich der Modalität „Pneumatisation“ mit 8 „mittelmäßig“ und besser. Etwas geringer war die Übereinstimmung für die Modalität „Verschattungen“ mit 6 „mittelmäßig“ und besser sowie sehr gering bei der Modalität „Beurteilbarkeit mit nur einem Wert „mittelmäßig“.

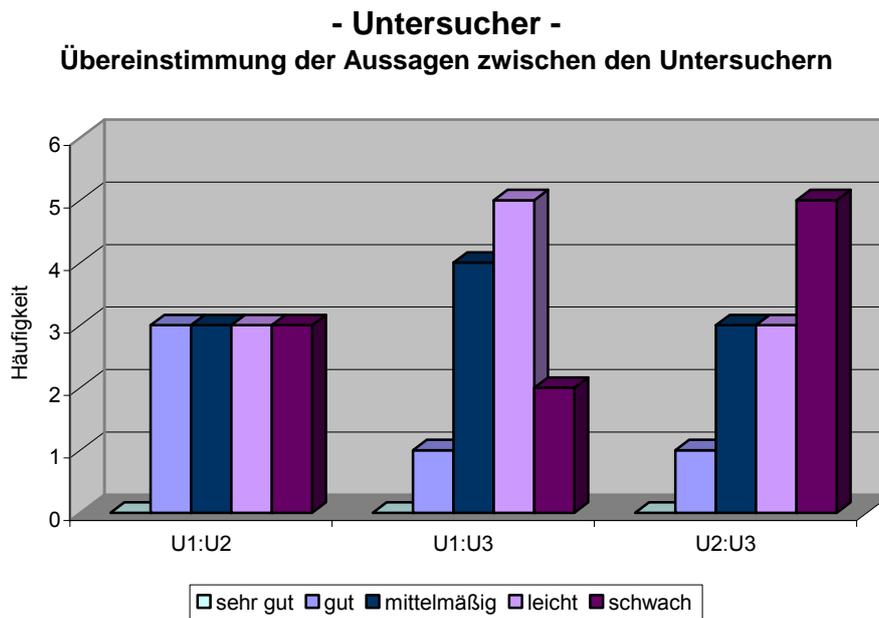


Abb. 26 Übereinstimmung der Bewertungen zwischen den Untersuchern - Untersucher Häufigkeiten der Kappa-Interpretation; U1 Untersucher 1, U2 Untersucher 2, U3 Untersucher 3, n=54 Aufnahmen

Das höchste Maß an Übereinstimmung fand sich zwischen den Bewertungen der Untersucher 1 und Untersucher 2. Dagegen hat Untersucher 3 häufiger eine abweichende Bewertung am gleichen Bildmaterial getroffen. In 10 von 36 Kategorien war die Übereinstimmung der Untersucher untereinander „schwach“.

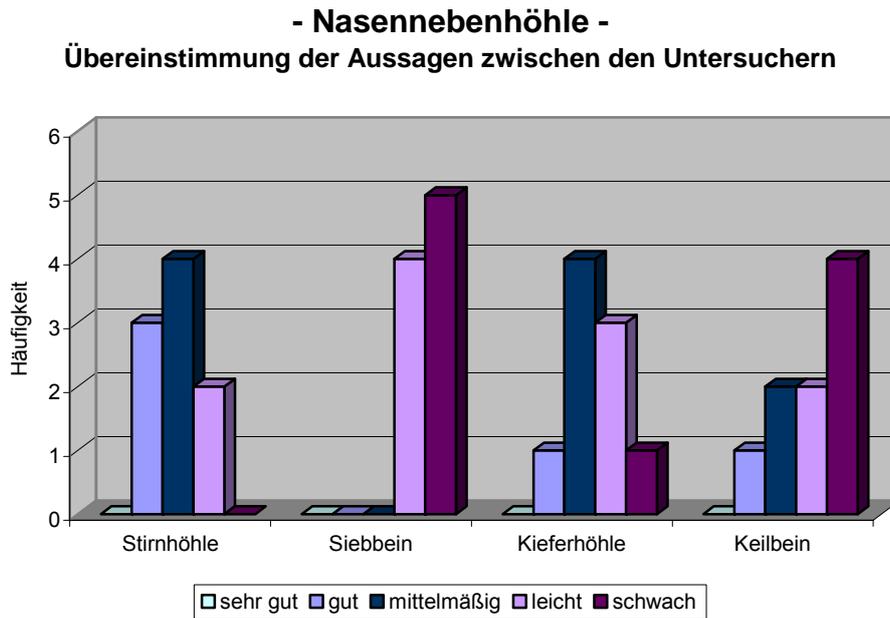


Abb. 27 Übereinstimmung der Bewertungen zwischen den Untersuchern
- Nasennebenhöhle
Häufigkeiten der Kappa-Interpretation, n=54 Aufnahmen

Die Stirnhöhle wies mit 7 Wertungen „mittelmäßig“ und besser die höchste Übereinstimmung auf. Die Bewertungen für die Kieferhöhle mit 5 und die Keilbeinhöhle mit 4 Wertungen „mittelmäßig“ und besser differierten häufiger. Eine überwiegend „schwache“ Übereinstimmung lag beim Siebbeinzellsystem vor.

3.3 Vergleich Röntgenaufnahme zur Computertomographie

Bei 42% der Patienten wurde innerhalb von 14 Tagen nach der Röntgenuntersuchung eine Computertomographie durchgeführt.

Abstand der Röntgenaufnahme zur Computertomographie

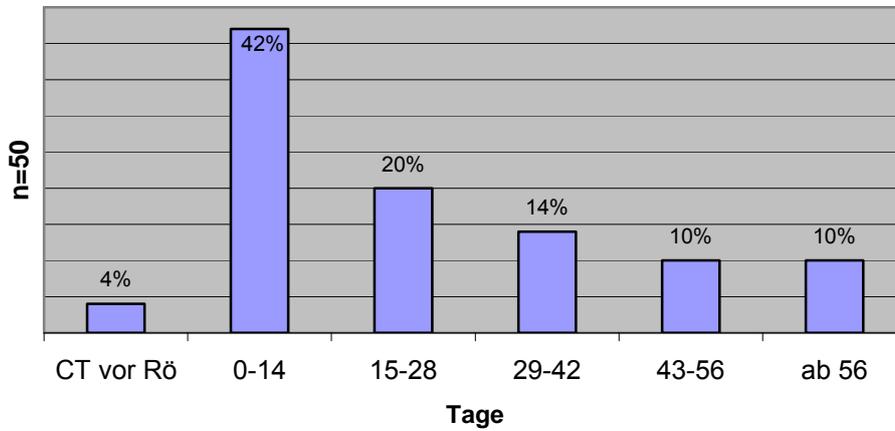


Abb. 28 Perioden zwischen Röntgenaufnahme und CT
n=50 Patienten

Der zeitliche Abstand zwischen der vergleichenden Röntgenaufnahme und der Computertomographie der Nasennebenhöhlen betrug im Mittel 34 Tage mit einem maximalen Abstand von 753 Tagen. Bei einem Patienten fanden beide Untersuchungen am selben Tag statt.

zeitlicher Abstand Röntgen - CT

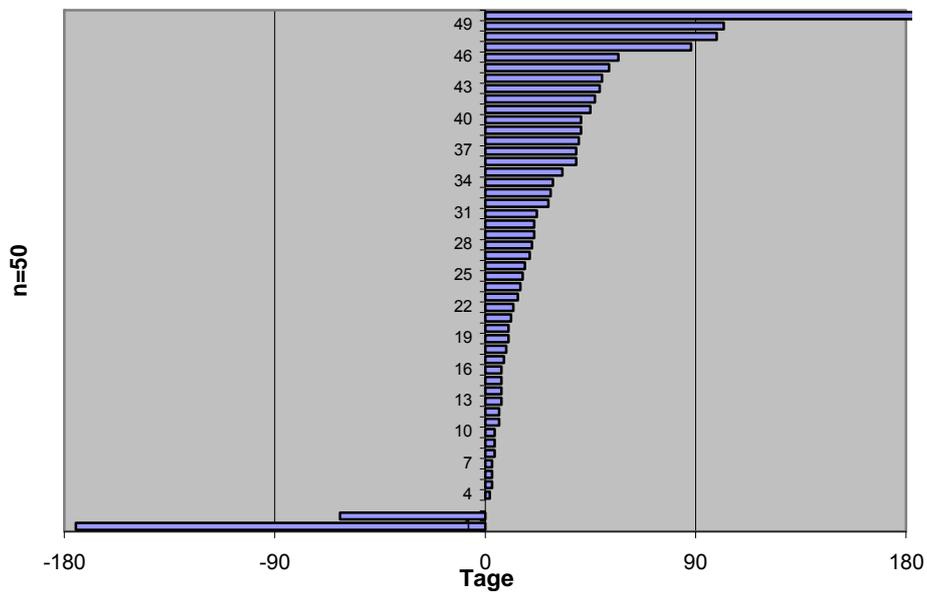


Abb. 29 zeitlicher Abstand Röntgen – CT
n=50 Patienten

Für den Vergleich der beurteilten Verschattungen der Nebenhöhlen im Röntgenbild mit dem Computertomogramm wurde ein maximaler zeitlicher Abstand von 180 Tagen definiert. Dieses Kriterium wurde von einem Aufnahme-paar nicht erfüllt.

3.3.1 Pneumatisation

Um den subjektiven Bewertungen der Größe der Nasennebenhöhlen anhand der konventionellen Röntgenaufnahmen ein objektivierbares Maß zugrunde zu legen, wurden die Projektionen der Nasennebenhöhlen im Computertomogramm ausgemessen. Es wurden in den koronaren Schichten die Höhe und die Breite des jeweiligen Sinus bestimmt. Zusätzlich wurde bei vorhandenen transversalen Schichten die Breite und die Tiefe der Sinus bestimmt.

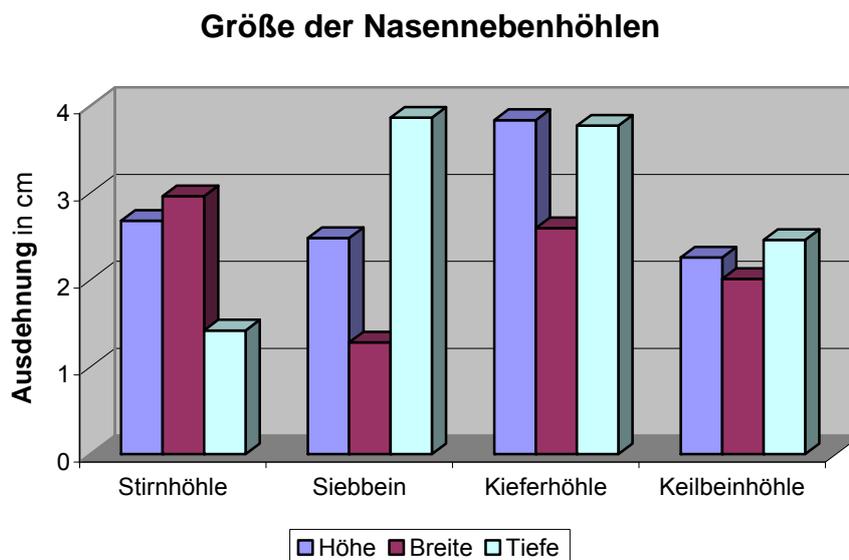


Abb. 30 Größe der Nasennebenhöhlen

Messresultate aus dem Computertomogramm, $n_1=44$ Aufnahmen mit paarigen Nasennebenhöhlen, Mittelwerte aus $n_2=88$ einzelnen Nasennebenhöhlen

Die jeweiligen Größenparameter der Nasennebenhöhlen waren annähernd normalverteilt.

Tab. 20 Größenangaben der Nasennebenhöhlen
Messresultate aus dem Computertomogramm, $n_1=44$ Computertomogramme mit paarigen Nasennebenhöhlen, Mittelwerte in cm aus $n_2=88$ Einzelmessungen im Vergleich zur Größenbestimmung an anatomischen Präparaten (51)

	Stirnhöhle		Siebbein	Kieferhöhle		Keilbeinhöhle	
	Messung	Lang	Messung	Messung	Lang	Messung	Dixon
Höhe	2,68	2,43	2,48	3,84	4,00	2,26	1,84
Breite	2,96	2,90	1,28	2,60	2,62	2,01	1,62
Tiefe	1,42	2,05	3,86	3,77	3,84	2,46	2,15

In der Röntgenaufnahme wurden die Nasennebenhöhlen zweidimensional abgebildet. Die Höhe und die Breite wurden dargestellt, die Tiefe war methodisch bedingt nicht zu eruieren.

Die Größen der Nasennebenhöhlen wurden anhand der Röntgenaufnahmen geschätzt. Zur Validierung dieser Schätzung wurden die Höhe und die Breite der jeweiligen Nasennebenhöhle in der koronaren Schichtung des Computertomogramms ausgemessen.

Es wurde der Korrelationskoeffizient für diese Meßgrößen bestimmt.

Tab. 21 Korrelation Höhe zu Breite
 $n_1=44$ Computertomogramme mit paarigen Nasennebenhöhlen, $n_2=88$ Einzelmessungen

	Höhe in cm	Breite in cm	Korrelation Höhe zu Breite
Stirnhöhle	2,68	2,96	0,72
Siebbein	2,48	1,28	-0,36
Kieferhöhle	3,84	2,60	0,72
Keilbeinhöhle	2,26	2,01	0,67

Die Höhe korrelierte bei allen Nasennebenhöhlen mit Ausnahme des Siebbeinhöhlensystems positiv mit der Breite. Beim Siebbeinzellsystem lag dagegen eine negative Korrelation vor, d.h. je höher das Siebbeinzellsystem, umso schmaler war es ausgebildet.

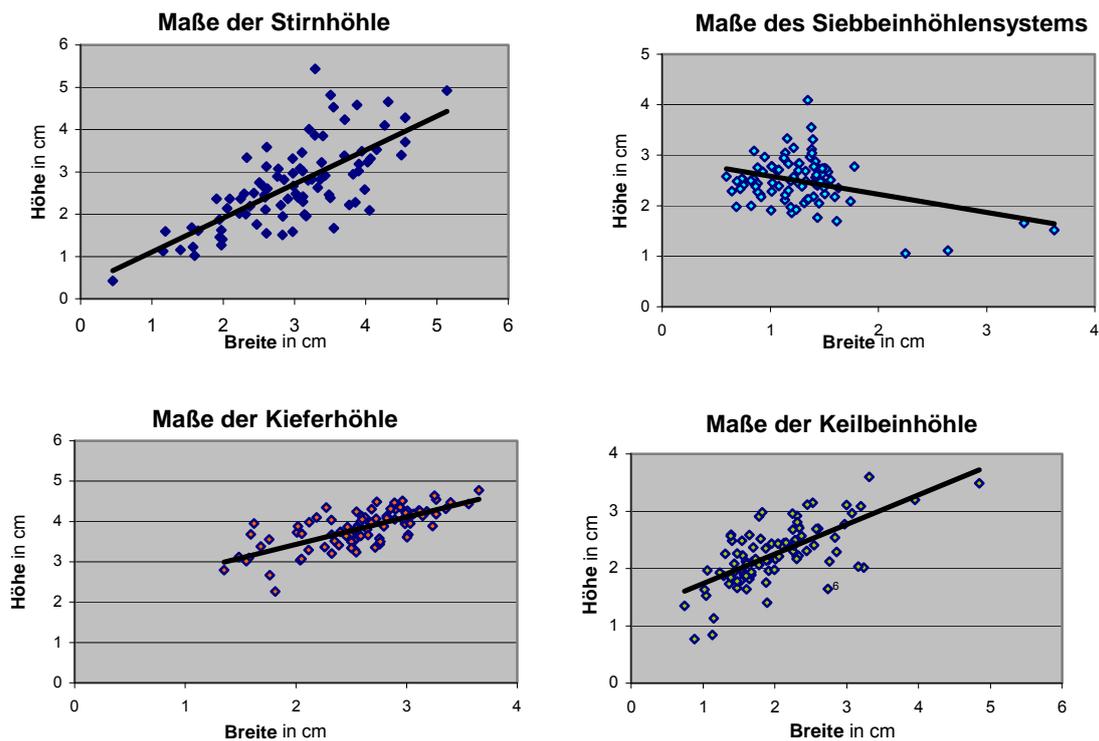


Abb. 31 Korrelationen Höhe zu Breite
 $n_1=44$ Computertomogramme mit paarigen Nasennebenhöhlen, $n_2=88$ Einzelmessungen

Bei 5 ausgemessenen Siebbeinzellsystemen gehörten die Höhen zu den größten 10% und die Breiten zu den kleinsten 10%. Bei einer solchen Konstellation von Höhe und Breite war keiner der beiden Parameter ausreichendes Kriterium, um eine Aussage gemäß den Vorgaben der Röntgenbildbeurteilung („nicht angelegt“, „klein“, „normal“, „groß“) treffen zu können.

Deshalb wurde das Produkt aus Höhe und Breite bestimmt und die 10%-Perzentile ermittelt.

Im Computertomogramm waren alle Nasennebenhöhlen nachweisbar. Die Kategorie „nicht angelegt“ war nicht präsent und fand keine Berücksichtigung bei der computertomographischen Größeneinteilung.

Tab. 22: Größeneinteilung der Nasennebenhöhlen
gemäß des Produktes Höhe x Breite, Angaben in cm²

Röntgen-Kategorie			Stirnhöhle	Siebbein	Kieferhöhle	Keilbeinhöhle
2	klein	10%	≤2,65	≤1,89	≤6,20	≤2,09
3	normal	80%	>2,65 <16,07	>1,89 <4,15	>6,20 <13,37	>2,09 <7,63
4	groß	10%	≥16,07	≥4,15	≥13,37	≥7,63

Ausgehend von dieser Kategorisierung wurden der gewichtete Kappa-Koeffizient und dessen 95%-Konfidenzgrenzen bestimmt.

Tab. 23 Übereinstimmung der Größenabschätzung
mit der klassifizierten computertomographischen Größeneinteilung, n₁=44 Computertomogramme mit paarigen Nasennebenhöhlen, n₂=88 Einzelbewertungen

		Kappa	Pneumatisation		Wertung
			95% Konfidenzgrenzen		
Untersucher 1	Stirnhöhle	0,3944	0,2438	0,5451	leicht
	Siebbein	0,0473	-0,1139	0,2085	schwach
	Kieferhöhle	0,4174	0,2241	0,6107	mittelmäßig
	Keilbeinhöhle	0,0211	-0,0767	0,1190	schwach
Untersucher 2	Stirnhöhle	0,5113	0,3637	0,6590	mittelmäßig
	Siebbein	0,1873	0,0086	0,3661	schwach
	Kieferhöhle	0,2356	0,0514	0,4199	leicht
	Keilbeinhöhle	0,0388	-0,0580	0,1356	schwach
Untersucher 3	Stirnhöhle	0,4670	0,3244	0,6096	leicht
	Siebbein	-0,0301	-0,0599	-0,0003	schwach
	Kieferhöhle	0,3658	0,1679	0,5638	leicht
	Keilbeinhöhle	0,1290	-0,0427	0,3007	schwach

Auswertungen zur Größe der Nasennebenhöhlen

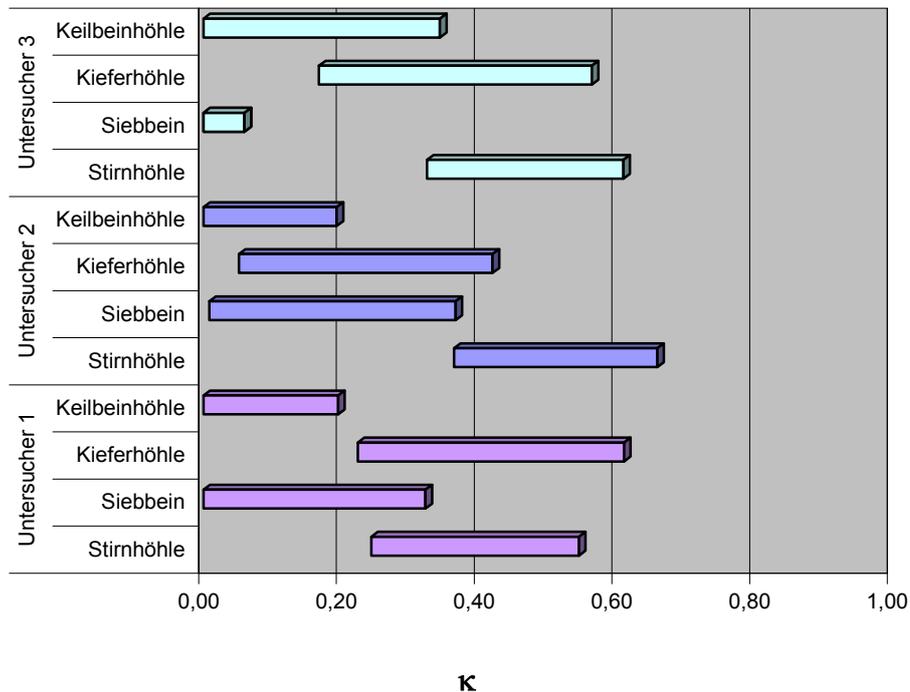


Abb. 32 Übereinstimmung der Größenabschätzung mit der klassifizierten Größeneinteilung, gewichteter Kappa-Koeffizient und dessen 95%-Konfidenzgrenzen, $n_1=44$ Computertomogramme mit paarigen Nasennebenhöhlen, $n_2=88$ Einzelbewertungen

Die Ausprägungen für Kappa schwankten zwischen den Untersuchern. Alle Untersucher erreichten bei der Größenabschätzung für die Kieferhöhle und für die Stirnhöhle eine „leichte“ bis „mittelmäßige“ Übereinstimmung. Dagegen waren für das Siebbeinzellsystem und für die Keilbeinhöhle die Übereinstimmungen bei allen Untersuchern „schwach“.

3.3.2 Verschattungen

Von den ursprünglichen 50 vorliegenden Computertomographien konnten 2 nicht für die Auswertung der Verschattungen herangezogen werden. Ein Patient wurde zwischen der Anfertigung der Röntgen-Aufnahme und der Computertomographie operiert, bei einem weiteren Patienten war der maximale Abstand von 180 Tagen zwischen den beiden Untersuchungen überschritten. Für die verbliebenen 48 computertomographischen Untersuchungen wurde die korrespondierende Röntgenaufnahme zugeordnet.

Für die 4 Patienten, bei denen 2 Röntgenaufnahmen vorlagen, wurde die zur Computertomographie zeitlich nähere Aufnahme zum Vergleich herangezogen.

Als ein Qualitätsmerkmal der Röntgenaufnahmen der Nasennebenhöhle wurde die „Beurteilbarkeit“ von pathologischen Veränderungen definiert. Wurde dieses Merkmal mit „nicht beurteilbar“ bewertet, wurde das Qualitätsmerkmal der Existenz von pathologischen „Verschattungen“ „unentschieden“ zugeordnet.

Auch bei den primären Bewertungen konnten die Untersucher bei der Modalität „Verschattungen“ das Merkmal „unentschieden“ wählen.

Diese Aussage wurde von den Untersuchern unterschiedlich häufig getroffen.

Tab. 24 Häufigkeit der Ausprägung „unentschieden“
n₁=48 Aufnahmen mit paarigen Nasennebenhöhlen, 3 Untersucher, n₂=384 Einzelbewertungen pro Untersucher an jeweils n₃=288 Nasennebenhöhlen

"unentschieden"	Stirnhöhle		Siebbein		Kieferhöhle		Keilbeinhöhle		gesamt	
	n		n		n		n		n	
Untersucher 1	0	0%	17	18%	1	1%	10	10%	28	7%
Untersucher 2	1	1%	25	26%	4	4%	2	2%	32	8%
Untersucher 3	1	1%	42	44%	5	5%	23	24%	71	18%
gesamt	2	1%	84	29%	10	3%	35	12%	131	11%

Lag die Ausprägung „unentschieden“ vor, so wurde diese Nasennebenhöhle bei der Analyse der Modalität „Verschattungen“ für den betreffenden Untersucher nicht berücksichtigt.

Etwa jede 10. Nasennebenhöhle konnte aus diesem Grund nicht berücksichtigt werden. Das Siebbeinzellsystem war am schwierigsten zu beurteilen. Fast 30% der Siebbeinzellsysteme konnten in den weiteren Vergleich nicht mit einbezogen werden.

Die dem zeitlichen Einschlusskriterien genügenden 48 Computertomographien wurden hinsichtlich pathologischer Verschattungen der einzelnen Nasennebenhöhlen analysiert. Die erhobenen Befunde wurden 4 Kategorien zugeordnet.

Tab. 25 Kategorisierung der pathologischen Verschattungen
getrennt nach Nasennebenhöhlen, $n_1=48$ Computertomogramme mit paarigen
Nasennebenhöhlen, $n_2=96$ Einzelbewertungen

		Stirn- höhle	Siebbein	Kiefer- höhle	Keilbein- höhle
0	keine	69	60	33	76
1	randlich (<3mm)	7	7	28	13
2	teilweise	11	25	29	3
3	vollständig	9	4	6	4

Bei $\frac{2}{3}$ der untersuchten Kieferhöhlen lagen pathologische Verschattungen vor. Beim Siebbeinzellsystem wiesen über $\frac{1}{3}$, bei der Stirnhöhle über $\frac{1}{4}$ und bei der Keilbeinhöhle etwa $\frac{1}{5}$ Verschattungen auf.

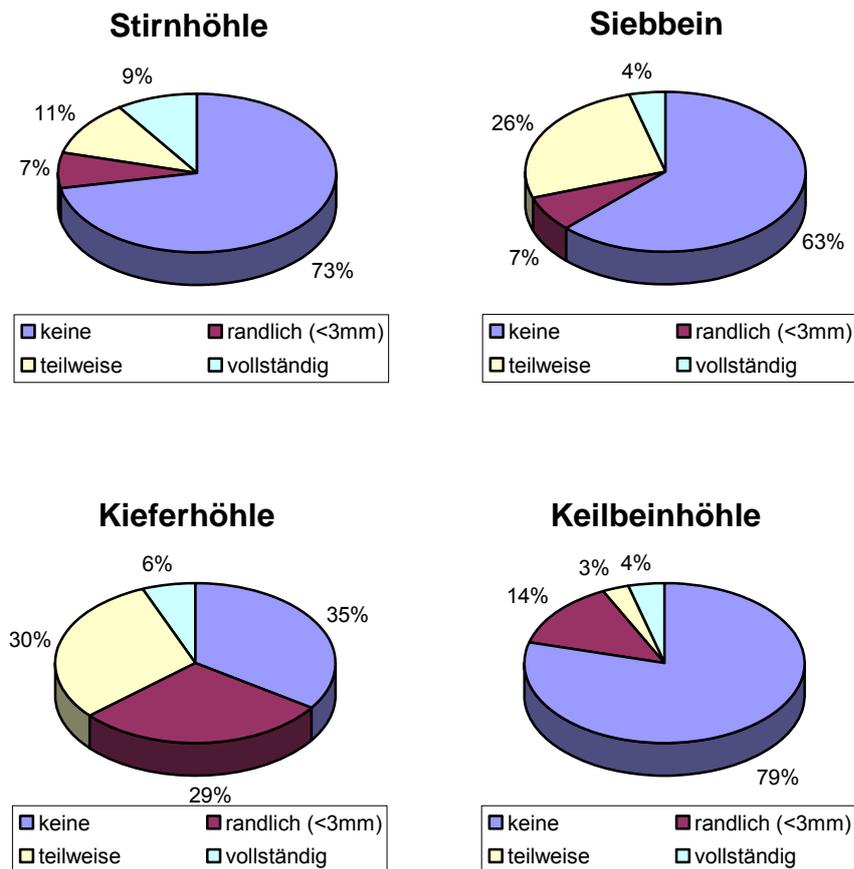


Abb. 33 Verschattungen der einzelnen Nasennebenhöhlen
Entsprechend dem „Gold Standard“ CT, $n_1=48$ Computertomogramme mit paari-
gen Nasennebenhöhlen, $n_2=96$ Einzelbewertungen

Insgesamt waren 38% aller untersuchten Nasennebenhöhlen pathologisch verändert. Bei 65% der Patienten lagen Verschattungen in mehreren Nasennebenhöhlen vor.

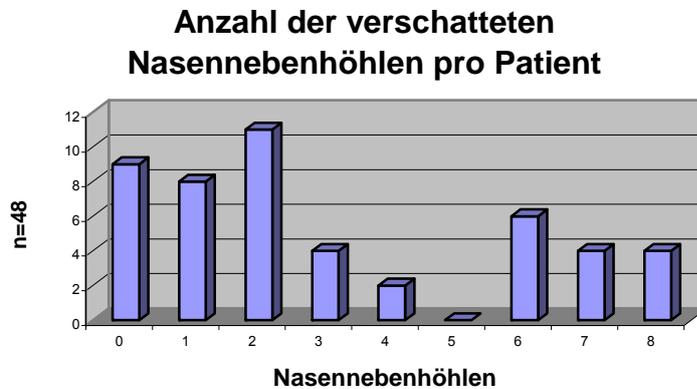


Abb. 34 Anzahl der verschatteten Nasennebenhöhlen pro Patient, n=48

Von den beurteilten 48 Patienten waren 9 Patienten ohne pathologischen computertomographischen Befund.

Patienten mit pathologischen Verschattungen

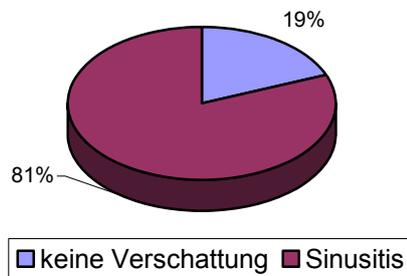


Abb. 35 Patienten ohne Pathologie, n=48

Die Analyse der Computertomogramme als „Goldstandard“ hinterlegend, wurde die Validität der Bewertungen der Röntgenaufnahmen der Nasennebenhöhlen durchgeführt. Die Werte für Sensitivität und Spezifität variierten in Abhängigkeit vom Untersucher und bewerteter Nasennebenhöhle.

Tab. 26: Validität der Bewertungen „Verschattungen“
 $n_1=48$ Röntgen-Aufnahmen mit paarigen Nasennebenhöhlen, $n_2=96$ Einzelbewertungen im Vergleich zum Computertomogramm

		Stirnhöhle	Siebbein	Kieferhöhle	Keilbeinhöhle
Untersucher 1	Sensitivität	7%	30%	34%	0%
	Spezifität	100%	98%	94%	100%
Untersucher 2	Sensitivität	15%	48%	33%	10%
	Spezifität	97%	83%	84%	100%
Untersucher 3	Sensitivität	19%	6%	57%	6%
	Spezifität	100%	97%	88%	98%
alle Untersucher	Sensitivität	14%	28%	41%	5%
	Spezifität	99%	93%	89%	99%

Die Sensitivität war für die Kieferhöhle mit 57% am größten und die Spezifität mit 99% bei den Bewertungen der Keilbeinhöhle und Stirnhöhle.

"Verschattungen" im Röntgenbild versus den CT Befunden
 alle Bewertungen gemittelt

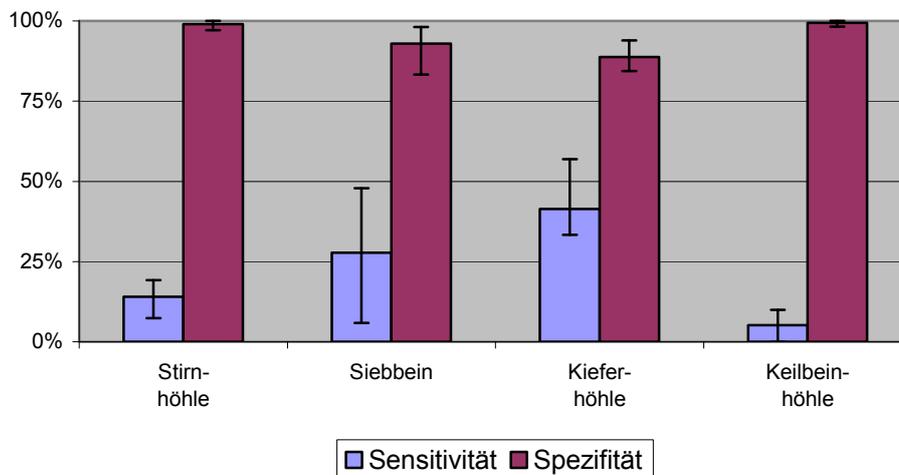


Abb. 36 Validität der Bewertungen „Verschattungen“
 $n_1=48$ Röntgen-Aufnahmen mit paarigen Nasennebenhöhlen, $n_2=96$ Einzelbewertungen im Vergleich zum Computertomogramm

Auch die Abweichungen vom Mittelwert waren bei Stirn- und Keilbeinhöhle am niedrigsten.

3.4 Operation

Es wurde bei 24 Patienten (48%) eine Operation des Nasennebenhöhlensystems durchgeführt.

Für die operierten Patienten wurde die Übereinstimmung des Befundes der bildgebenden Verfahren mit dem intraoperativen Befund überprüft. Der zeitliche Abstand zwischen der Operation und den bildgebenden Untersuchungen betrug minimal 0 Tage, d.h. Operation, Röntgenuntersuchung und Computertomographie fanden bei einem Patienten am selben Tag statt, und maximal 1652 Tage für den Abstand zur Computertomographie bzw. 1681 Tage für denjenigen zur konventionellen Röntgenuntersuchung.

Abstand der Untersuchungen zur Operation

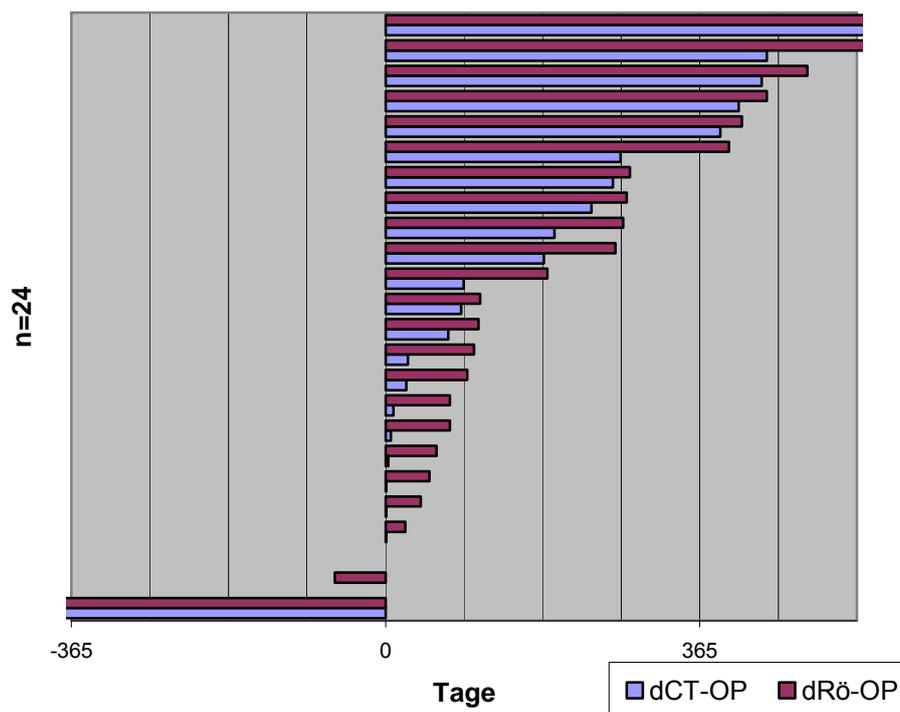


Abb. 37 Abstand der Untersuchungen von der Operation
n=24, dCT-OP Abstand Computertomographie zur Operation, dRö-OP Abstand der Röntgenuntersuchung zur Operation

Bei einem Patienten fand die Operation zwischen Computertomographie und Röntgenuntersuchung statt. Dieses Aufnahmepaar wurde vom Ver-

gleich der beurteilten Verschattungen im Röntgenbild und Computertomogramm ausgeschlossen. (3.3)

Die Operationsberichte und die Ergebnisse der histo-pathologischen Untersuchungen wurden für die Beurteilung der tatsächlichen klinischen Ausprägung der Sinusitis ausgewertet.

Tab. 27 Operationsbefunde und histologische Ergebnisse
n=13, CT ID interne Identifikationsnummer des zugehörigen CT, Rö ID interne Identifikationsnummer der zugehörigen Röntgenaufnahme

CT ID	Rö ID	OP-Befund	Histologie
9	9	Kieferhöhlenzyste links; polypöse Schleimhaut im vorderen Siebbein bds.	chronische Sinusitis maxillares et ethmoidales
12	12	verdickte Schleimhaut Kieferhöhle und Siebbein bds.	chronische, akut rezidivierende Sinusitis
13	13	polypöse Schleimhaut vorderes Siebbein bds.	chronische Sinusitis ethmoidales
15	15	Polyp Keilbeinhöhle	chronische unspezifische Sinusitis sphenoidales
22	23	Mucocele rechte Stirnhöhle	chronische unspezifische Sinusitis ethmoidales & Mucocele
26	28	Sekret in Kiefer- Stirn- und Keilbeinhöhle; Polypen im Siebbein	chronisch rezidivierende Sinusitis
34	38	Polyposis Siebbein und Kieferhöhlen, links mehr als rechts	chronische Sinusitis ethmoidales et maxillares
38	44	Kieferhöhlenzyste rechts; Concha bullosa bds.	unspezifische Sinusitis
40	46	Sekret in Kieferhöhle bds.; Kieferhöhlenzyste links	chronisch rezidivierende Sinusitis maxillares
43	49	Kieferhöhlenzysten bds.; Polyposis Siebbein und Keilbeinhöhle; Sekret in Stirnhöhlen	chronische Sinusitis maxillares et ethmoidales & Mucocele
44	50	Mucocelen Stirnhöhle bds; Polypen Siebbein	teils nekrotisierende Sinusitis
50	56	Polpen Siebbein und Kieferhöhle links	unspezifische Sinusitis
51	57	Sekret und Polypen Siebbein, Stirnhöhle und Kieferhöhle bds.	chronische Sinusitis maxillares et ethmoidales

Wenn der Operateur eine Nasennebenhöhle als verändert beschrieb, wurde diese als pathologisch deklariert, unabhängig von der konkreten Ausprägung dieser Veränderung.

Tab. 28 pathologisch veränderte Nasennebenhöhlen
n=13, CT ID interne Identifikationsnummer des zugehörigen CT, Rö ID interne I-identifikationsnummer der zugehörigen Röntgenaufnahme

CT ID	Rö ID	Stirnhöhle rechts	Stirnhöhle links	Kieferhöhle rechts	Kieferhöhle links	Siebbein rechts	Siebbein links	Keilbeinhöhle rechts	Keilbeinhöhle links
9	9	0	0	0	p	p	p	0	0
12	12	0	0	p	p	p	p	0	0
13	13	0	0	0	0	p	p	0	0
15	15	0	0	0	0	0	0	p	p
22	23	p	0	0	0	0	0	0	0
26	28	p	p	p	p	p	p	p	p
34	38	0	0	p	p	p	p	0	0
38	44	0	0	p	0	0	0	0	0
40	46	0	0	p	p	0	0	0	0
43	49	0	0	p	p	0	0	0	0
44	50	p	p	0	0	0	0	0	0
50	56	0	0	0	p	0	p	0	0
51	57	0	0	0	0	p	p	0	0

3.4.1 Röntgenbewertung versus Operationsbefund

Die Validierung der Bewertungen der Röntgenaufnahmen der Nasennebenhöhlen anhand des intraoperativen Befundes erfolgte nur in den Fällen, in denen der operative Eingriff in einem zeitlichen Abstand von weniger als 180 Tagen nach der radiologischen Untersuchung stattfand.

Abstand der Röntgenuntersuchung zur Operation

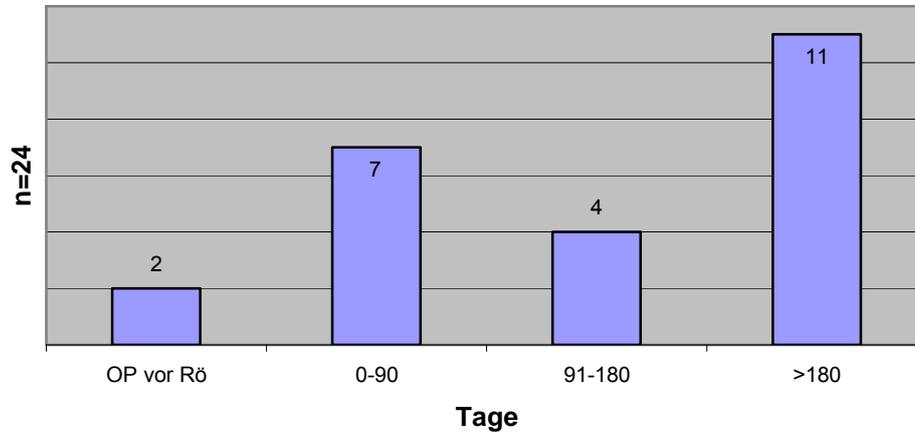


Abb. 38 Abstand der Röntgenuntersuchung zur Operation, n=24

Dieses Einschlusskriterium erfüllten 11 Röntgenaufnahmen. Die Resultate schwankten zwischen den unterschiedlichen Nasennebenhöhlen und zwischen den Untersuchern.

Bewertung der Röntgenaufnahme versus Operationsbefund

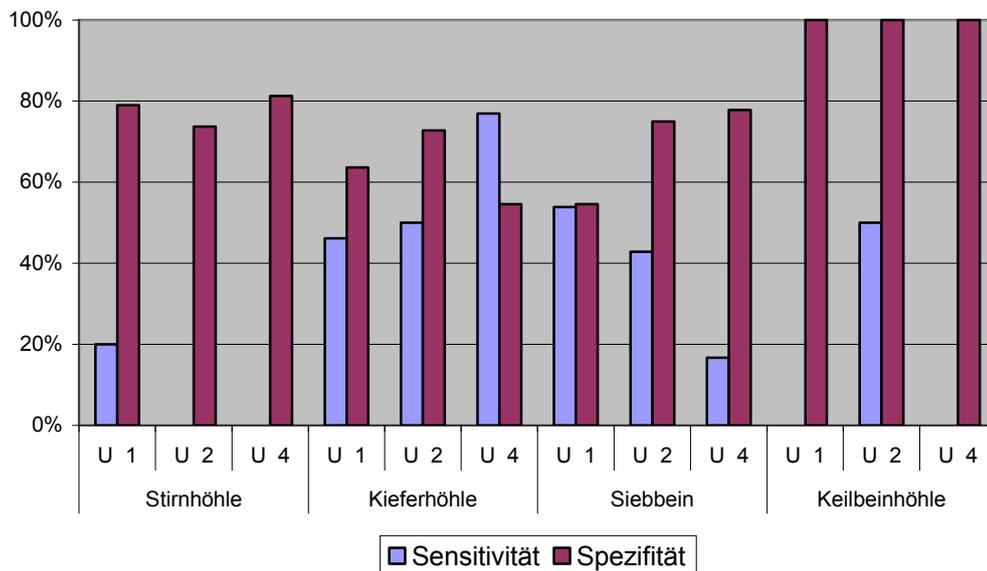


Abb. 39 Validität der Röntgen-Bewertung hinsichtlich Pathologien im intraoperativen Befund, n=11

Die Bewertungen aller Untersucher zeigten mit 46% bis 77% eine relativ hohe Sensitivität bei der Kieferhöhle. Die Spezifität ist für alle Untersucher bei der Keilbeinhöhle mit 100% am höchsten.

Für den Vergleich der Bewertungen mit dem computertomographischen Befund wurden die Mittelwerte bestimmt.

Tab. 29: Validität der Bewertung „Verschattungen“
hinsichtlich Pathologien im intraoperativen Befund n=11

Röntgen	Stirnhöhle	Kieferhöhle	Sieb-bein	Keilbeinhöhle
Sensitivität	7%	58%	38%	17%
Spezifität	78%	64%	69%	100%

Gemittelte Bewertungen der Röntgenaufnahme versus Operationsbefund

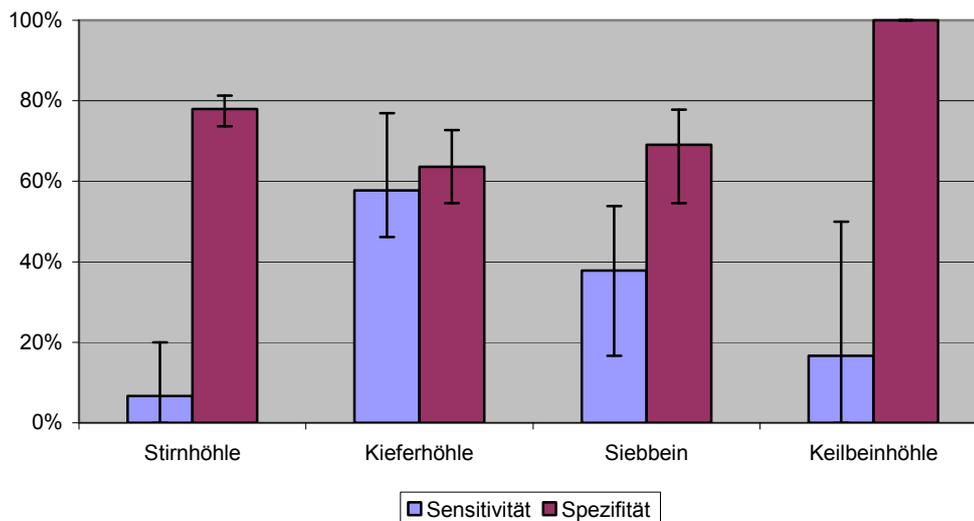


Abb. 40 Validität der Bewertung „Verschattungen“ –Übersicht
hinsichtlich Pathologien im intraoperativen Befund; n=11

Die Spezifität der Röntgen-Bewertungen in Bezug auf den intraoperativen Befund war für die Keilbeinhöhle mit 100% am größten und für die Kieferhöhle mit 64% am geringsten. Die Sensitivität schwankte zwischen 58% bei der Kieferhöhle und 7% bei der Stirnhöhle.

3.4.2 Computertomographie versus Operationsbefund

Analog zur Röntgenaufnahme wurde auch für die Computertomographie ein maximaler zeitlicher Abstand von 180 Tagen bis zur Operation gefordert.

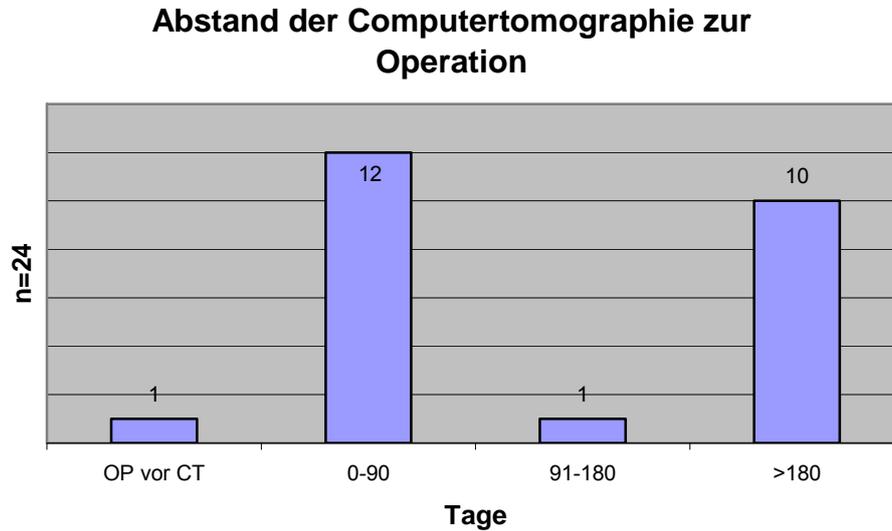


Abb. 41 Abstand der Röntgenuntersuchung zur Operation, n=24

Dieser Abstand war bei 13 Computertomographien gegeben.

Im Vergleich der Bewertungen der Computertomographien mit dem intraoperativen Befund ergaben sich eine Sensitivität zwischen 54% und 100% und Spezifität zwischen 31% und 64% in Abhängigkeit von der untersuchten Nasennebenhöhle. Spezifität und Sensitivität waren beim Siebbeinzellsystem am geringsten.

Tab. 30 Validität der CT-Auswertungen
hinsichtlich Pathologien im intraoperativen Befund, n=13

CT	Stirnhöhle	Kieferhöhle	Siebbein	Keilbeinhöhle
Sensitivität	100%	77%	54%	100%
Spezifität	62%	31%	46%	64%

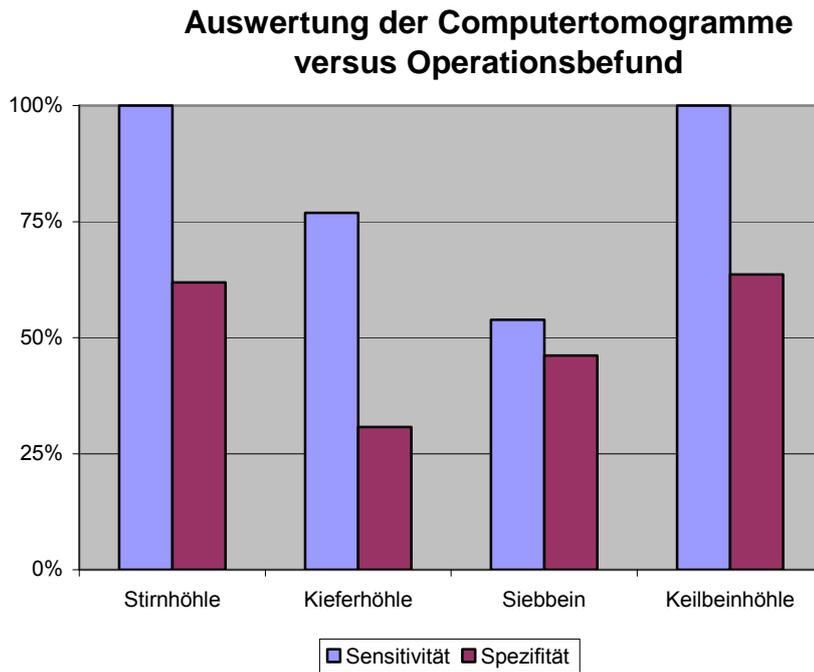


Abb. 42 Validität der CT-Auswertungen
hinsichtlich Pathologien im intraoperativen Befund; n=13

Das Computertomogramm wies für pathologische Veränderungen im Vergleich zum intraoperativen Befund eine Sensitivität von 100% für die Stirnhöhle und die Keilbeinhöhle auf, die niedrigste Sensitivität lag im Siebbeinzellsystem mit 54% vor. Die Spezifität schwankte zwischen 64% bei der Keilbeinhöhle und 31% bei der Kieferhöhle.

Auf Grundlage der intraoperativen Befunde ergab sich eine höhere Sensitivität für die Computertomographie.

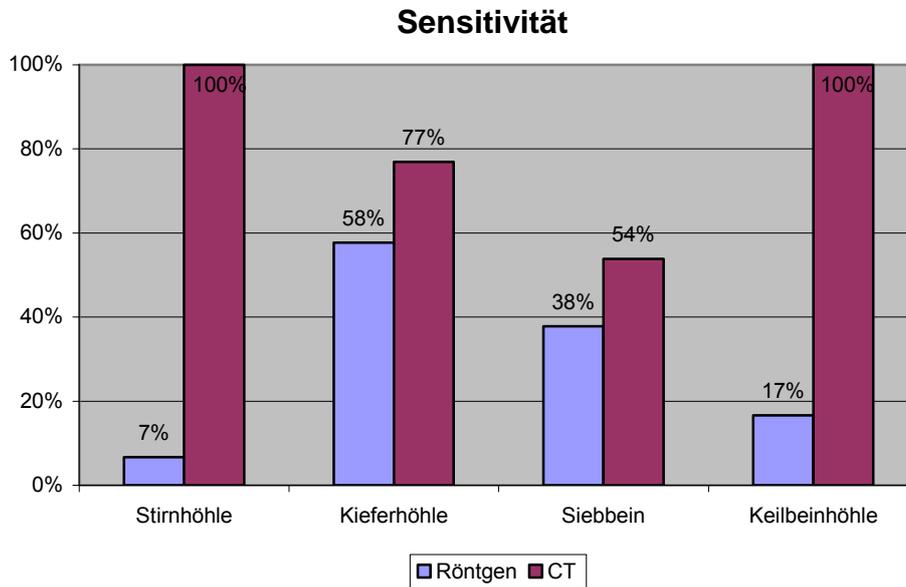


Abb. 43 Vergleich der Sensitivität Röntgen - CT für die Bewertung des intraoperativen Befundes $n_1=11$ Röntgenaufnahmen, $n_2=13$ Computertomographien

Dafür stellte die Röntgenuntersuchung in der vorliegenden Stichprobe die spezifischere Untersuchungsmethode dar.

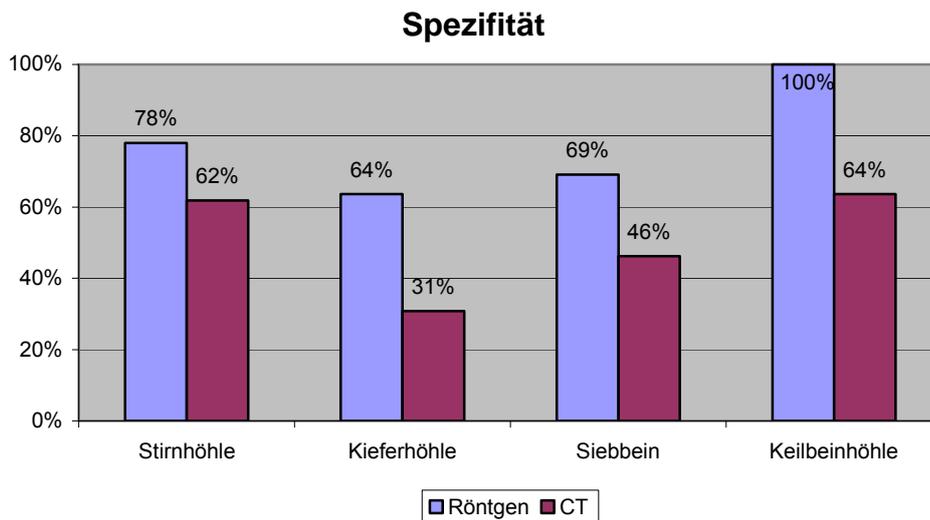


Abb. 44 Vergleich der Spezifität Röntgen – CT für die Bewertung des intraoperativen Befundes, $n_1=11$ Röntgenaufnahmen, $n_2=13$ Computertomographien

4 Diskussion

In Deutschland wird eine Inzidenz der Rhinosinusitis von 10-15% angenommen. (33) Für deren Therapie summierten sich die jährlichen Arzneimittelkosten im ambulanten Bereich im Jahr 2002 auf etwa 100 Mio. Euro. (67) Damit besitzt die Rhinosinusitis sozioökonomisch eine große Bedeutung. Das Entwickeln, Anwenden und Überprüfen adäquater Strategien für Diagnostik und Therapie erscheint daher umso wichtiger. Für den erfahrenen Hals-Nasen-Ohrenarzt ist eine akute Sinusitis zumeist zuverlässig durch die Erhebung der Anamnese und die klinisch-endoskopische Untersuchung zu diagnostizieren. Ein zusätzliches bildgebendes Verfahren ist meistens nicht erforderlich. (65)

Für die Diagnostik der chronischen Sinusitis ist die Beurteilung endoskopisch nicht zugänglicher Regionen unverzichtbar. Dafür existiert ein Repertoire bildgebender Verfahren. Die Primärdiagnostik der chronischen Rhinosinusitis erfolgt größtenteils durch den ambulant tätigen Hals-Nasen-Ohrenarzt. Diesem stehen in der eigenen Praxis als bildgebende Verfahren in aller Regel die Sonographie und das konventionelle Röntgen zur Verfügung. Diese reichen jedoch nicht aus, um eine operative Therapie zu indizieren. Zur Risikoabschätzung einer operativen Intervention ist ein überlagerungsfreies Schnittbildverfahren zwingend erforderlich. Hierfür bieten sich die Computertomographie oder die Magnetresonanztomographie der Nasennebenhöhlen an. Derzeit wird das Computertomogramm als „Goldstandard“ für die präoperative Nasennebenhöhlen-Diagnostik angesehen. (35;70;97)

In den Jahren 1996 bis 2001 wurden im Jahresdurchschnitt in Deutschland etwa 148 Millionen Untersuchungen mit Röntgenstrahlen durchgeführt. Davon waren etwa 8,8 Millionen Computertomographien des gesamten Körpers und etwa 13 Millionen Röntgen-Aufnahmen des Kopfes bzw. Schädels. Die zahnmedizinischen Aufnahmen sind hierbei nicht berücksich-

sichtigt. (13) Der konkrete Anteil der Nasennebenhöhlen-Aufnahme ist nicht zu ermitteln. (92)

Das Alter der in die Studie eingeschlossenen Patienten lag zwischen 16,5 und 79,0 Jahren. Im Kindesalter besitzt die chronische Sinusitis als eigenständige Erkrankung eine geringe Inzidenz. In dieser Altersgruppe tritt sie vorrangig als Neben- bzw. Begleiterkrankung einer allergischen Rhinitis, Zystischen Fibrose oder angeborener Ziliendyskinesien auf. (28;62) Unter Berücksichtigung dieses Umstandes ergab sich eine diskrete Häufung der Patienten im Alter zwischen 20 und 30 Jahren. Dies verstärkt die Forderung nach einer maximal möglichen Reduktion der Strahlenexposition.

Die aufgetretenen Hautenergiedosen lagen bei den hier vorliegenden Röntgenaufnahmen zwischen 3,1 mSv und 9,5 mSv. Die Schwankungen erklären sich durch die unterschiedlichen Aufnahmeparameter. Zur Schwärzung des Filmes ist eine bestimmte Energiemenge erforderlich. Diese Energiemenge wird maßgeblich durch die verwendete Film-Folien-Kombination determiniert und üblicherweise durch eine Meßzelle bildseitig des Patienten detektiert. Sobald die erforderliche Energiemenge erreicht ist, wird die Röntgenstrahlung abgeschaltet. Durch die Röhrenspannung wird die Härte der Röntgenstrahlung bestimmt. Je höher die angelegte Röhrenspannung, desto härter ist diese und umso leichter durchdringt die Strahlung den menschlichen Körper. Es verbleibt weniger Energie im Körper, die Aufnahmen weisen einen hohen Kontrast auf. Das heißt andererseits, dass der Weichteilkontrast des im Strahlengang befindlichen Gewebes sinkt. Bei der radiologischen Beurteilung der Nasennebenhöhlen weist der Untersuchungsgegenstand ein hohes Kontrastverhalten auf. Die radiologische Dichte für Knochen und Luft und gegebenenfalls Schleimhaut unterscheiden sich stark. Dies empfiehlt eine Aufhärtung der Röhrenspannung aus strahlenhygienischer Sicht ohne die diagnostische Aussagekraft zu verringern. (74) Durch die Verwendung empfindlicher Film-Folienkombination ließ sich zusätzlich die Strahlendosis reduzieren.

Bei den hier durchgeführten Röntgenaufnahmen der Nasennebenhöhlen war die Hautenergiedosis bei Verwendung einer Röhrenspannung von 70 kV bzw. 72 kV geringer als bei Verwendung niedrigerer Spannungswerte. Eine weitere Dosisreduktion war bei Verwendung eines niedrigeren Röhrenstrom-Zeitproduktes möglich. Hierfür konnten die Einstellungen von 40 mAs auf 28 mAs gesenkt werden. Die hier aufgetretenen lokalen Hautenergiedosen unter 10 mSv lagen beispielsweise deutlich unter der Teilkörperdosis „Haut“ für beruflich strahlenexponierte Personen von 300 mSv. (§31 RöV bzw. §49StrlSchV).

Das strahlenempfindlichste Organ im Strahlengang ist die Augenlinse. Ab einer deterministischen Schwelle von 1000 mGy kommt es zur Linsentrübung. Um hier eine zusätzliche Protektion zu erreichen, werden die Nasennebenhöhlenaufnahmen, wie die meisten Schädel-Aufnahmen, mit einem postero-anterioren, genauer mit einem occipito-mentalen bzw. – frontalem Strahlengang durchgeführt. Bei den hier verwendeten Parametern war eine Organdosis von 0,02 mGy bis 0,04 mGy zu erwarten. (18). Die Organdosis der Augenlinse ist zwar selbst beim *low-dose*-CT der Nasennebenhöhle mit 2 mGy noch 50- bis 100 -fach größer als bei der konventionellen Röntgenaufnahme, beträgt aber nur ein Fünfhundertstel der Schwellendosis von 1000 mGy. (20;21)

Die Effektivdosen für die Röntgenaufnahmen der Nasennebenhöhlen lagen zwischen 0,014 mSv und 0,037 mSv. Die Schwankungen resultierten aus den unterschiedlichen Röhrenspannungen und den Röhrenstrom-Zeitprodukten. Die Effektivdosis bei der Computertomographie in *low-dose*-Technik liegt bei etwa 0,1 mSv und damit um den Faktor 3 bis 7 höher als bei den vorliegenden Röntgenaufnahmen. Das Gefährdungspotential durch ionisierende Strahlung ist zum einen deterministisch, d.h. ab einem bestimmten Schwellenwert ist eine Veränderung einzelner Organe zu erwarten, und zum anderen stochastisch, d.h. unabhängig von einem Schwellenwert können Erkrankungen auftreten. Das Risiko solcher stochastischer Ereignisse steigt mit zunehmender Dosis. Die durchschnittli-

che effektive Jahresdosis der Bevölkerung in Deutschland beträgt 4,1 mSv, davon entfallen 2,0 mSv auf medizinische Exposition. Sowohl die konventionelle Röntgenaufnahme als auch das Computertomogramm der Nasennebenhöhlen liegen mit Ihren Effektivdosen von 0,037 mSv bzw. 0,1 mSv weit von diesen effektiven Jahresdosen entfernt. (2)

Von einer bildgebenden diagnostischen Maßnahme ist zu fordern, dass deren Aussage möglichst objektiv und reproduzierbar ist. Hierzu wurden 54 Röntgenaufnahmen der Nasennebenhöhle hinsichtlich 3 Kriterien bewertet: Größe, Qualität und Verschattungen. Zur Überprüfung der Objektivität wurde die Übereinstimmung der Aussagen von 3 voneinander unabhängigen Untersuchern ermittelt. Die Reproduzierbarkeit wurde durch ein Test-Re-Test-Szenario desselben Untersuchers bestimmt.

Die Beurteilung der abgebildeten Größe der einzelnen Nasennebenhöhlen bei der Modalität „Pneumatisation“ unterlag der klinischen Erfahrung des Untersuchers. Die Größe einer Nasennebenhöhle stellt kein pathologisches Kriterium dar und diente in der vorliegenden Studie primär der Überprüfung im Test-Re-Test (*intrarater agreement*). Die Modalität „Beurteilbarkeit“ ist ebenfalls kein pathologisches Kriterium, aber entscheidend für die klinische Verwertbarkeit der Aufnahmen. Die Modalität „Verschattungen“ ist geeignet, die klinische Aussagekraft der getroffenen Bewertungen zu überprüfen.

Durch die 3 Untersucher wurden je 54 Röntgenaufnahmen mit je 4 paarigen Nasennebenhöhlen begutachtet, von den insgesamt 1296 Einzelergebnissen wurden in 13% Verschattungen konstatiert. Anhand der Übereinstimmungen dieser Bewertungen zwischen den Untersuchern wurde die Objektivität der Aussagen evaluiert (*interrater agreement*).

Der von Cohen 1968 vorgeschlagene Kappa-Koeffizient ist eine häufig angewendete statistische Methode zur Analyse der Übereinstimmung zwi-

schen wiederholten Beurteilungen eines Untersuchers oder zwischen unterschiedlichen Untersuchern in Bezug auf ein kategorielles Merkmal. Der Kappa-Koeffizient ist ein Maß für den zufallskorrigierten Anteil übereinstimmender Bewertungen. Es empfehlen sich zwei verschiedene Möglichkeiten der Interpretation des Kappa-Koeffizienten. Einerseits existiert eine normative Interpretation, bei der in Abhängigkeit von der Größe dem Kappa-Wert eine Qualitätsstufe, von „schwach“ bis „sehr gut“, zugeordnet wird. Andererseits ist eine relative Interpretation möglich, bei der die Ausprägungen der Kappa-Koeffizienten untereinander verglichen werden. (4;17;29)

Wie oben dargestellt, lag die Bedeutung der Modalität „Pneumatisation“ in der Bewertung der Reproduzierbarkeit. Anhand der normativen Interpretation war die Übereinstimmung zwischen den Bewertungszeitpunkten bei der Hälfte der bewerteten Nasennebenhöhlen „gut“ oder „sehr gut“. Die Modalität „Pneumatisation“ wies auch in der Relation der gewichteten Kappa-Koeffizienten mit denen der Modalitäten „Beurteilbarkeit“ und „Verschattungen“ ein vergleichsweise hohes Maß an Übereinstimmung auf. Für jede Modalität war die Reproduzierbarkeit in $\frac{3}{4}$ der Nasennebenhöhlen wenigstens „mittelmäßig“ und damit als gegeben anzusehen.

Das Qualitätsmerkmal der Röntgenaufnahme „Beurteilbarkeit“ wurde nur bei 47% aller Siebbeinzellsysteme als den klinischen Ansprüchen genügend eingestuft. Damit entging der pathogenetisch entscheidende Osteo-Meatale-Komplex in 53% der Fälle der kritischen Begutachtung. Lediglich die Darstellung der Kieferhöhle und der Stirnhöhle wurden qualitativ den Ansprüchen in 99% gerecht. Diese Qualität war die Grundlage für die weiteren Aussagen bezüglich des Vorliegens von Verschattungen.

Die Modalität „Verschattungen“ sollte, zur optimalen klinischen Anwendbarkeit der getroffenen Aussagen, ein hohes Maß an Untersucher-Unabhängigkeit aufweisen. Dies traf mit einigen Einschränkungen für die Beurteilung der Stirnhöhle zu, bei der die Übereinstimmung siebenmal mit wenigstens „mittelmäßig“ und nie mit „schwach“ klassifiziert wurde. Mit größeren Einschränkungen konnte man diese Aussage auch auf die Kie-

ferhöhle ausweiten, wobei hier nur fünfmal „mittelmäßig“ oder besser und einmal „schwach“ erreicht wurde. Für das Siebbeinzellsystem und die Keilbeinhöhle waren die meisten Klassifizierungen „leicht“ oder schlechter. Eine Untersucher-Unabhängigkeit der Bewertungen konnte bei den letztgenannten Höhlen nicht angenommen werden.

Die Größenabschätzung der Nasennebenhöhlen anhand der Röntgen-Aufnahmen stellte ein quantifizierbares Merkmal dar. Die Messungen wurden mit einer Genauigkeit von 0,1 mm am Bild durchgeführt, doch war die abgebildete Schnittebene zufällig und für den größten Diameter nicht repräsentativ. Die so ermittelten Maße der Nasennebenhöhlen befanden sich in der Dimension der am anatomischen Präparat evaluierten Größen. (51)

Auch bei diesem Parameter wiesen die Bewertungen der Stirnhöhle und der Kieferhöhle das höchste Maß an Übereinstimmung in Bezug auf die am Computertomogramm ausgemessenen Größen auf. Das Siebbeinzellsystem und die Keilbeinhöhle wiesen ausschließlich „schwache“ Übereinstimmungen auf.

Die Bewertungen der Modalität „Verschattungen“ wurden maßgeblich durch die häufig als unzureichend befundenene diagnostische Beurteilbarkeit eingeschränkt. Fast 30% der Siebbeinzellsysteme konnten für den Vergleich deshalb nicht herangezogen werden. Die Stirnhöhle wurde durch die Untersucher überwiegend als befriedigend beurteilbar eingeschätzt. Es bestand auch ein relativ hohes Maß an Übereinstimmung bei den Bewertungen der Stirnhöhle. Trotzdem lag die Sensitivität in Bezug auf Verschattungen nur bei 14%. Dies bedeutet, die Wahrscheinlichkeit, dass eine vorhandene Erkrankung auch erkannt wird, ist gering.

Das Siebbeinzellsystem als pathogenetisch wichtige Kreuzungsstelle, wurde mit einer Sensitivität von 28% erfasst. Ein Drittel aller Siebbeinzellsysteme wurde als nicht beurteilbar eingestuft und bei der Auswertung nicht

berücksichtigt. Die im Vergleich zur Stirnhöhle höhere Sensitivität ist möglicherweise dieser Positivauswahl geschuldet, da nur eindeutige Röntgenaufnahmen ausgewertet wurden. Dies verbessert statistisch die Sensitivität, mindert aber die Aussagefähigkeit der Röntgenaufnahme der Nasennebenhöhlen für die klinische Diagnostik des Siebbeinzellsystems.

Die Spezifität für die Diagnostik sämtlicher Nasennebenhöhlen lag mit 89% bis 99% nominal sehr hoch, d.h. die Wahrscheinlichkeit, dass ein unauffälliger Sinus nicht als pathologisch verändert deklariert wird, war hoch (Richtig-Negativ-Rate). Unter Berücksichtigung der niedrigen Sensitivität (Richtig-Positiv-Rate) muss geschlossen werden, dass zu viele Nasennebenhöhlen als nicht verschattet deklariert wurden, obwohl pathologische Veränderungen vorlagen. Das Kriterium „Verschattungen“ wurde zu selten als vorhanden eingeschätzt, unabhängig davon, ob dies tatsächlich richtig oder falsch war. Dadurch sank die statistische Wahrscheinlichkeit, vorhandene Verschattungen treffend zu charakterisieren: die Sensitivität oder Richtig-Positiv-Rate blieb niedrig. Andererseits war es unwahrscheinlich, bei den wenigen positiven Bewertungen eine gesunde Nasennebenhöhle als pathologisch verändert zu deklarieren: die Spezifität oder Richtig-Negativ-Rate stieg.

Eine Sensitivität von bestenfalls 42% ist für eine radiologische Untersuchung unterdurchschnittlich niedrig. (25) Die hohe Spezifität ging zu Lasten der niedrigen Erkennungsrate und erhöht deshalb nicht den tatsächlichen klinischen Wert der Untersuchung. (40)

Zur klinischen Validierung der radiologischen Befunde wurden die Operationsberichte und die histologischen Ergebnisse der operierten Patienten ausgewertet. In einem zeitlich akzeptablen Abstand zur Operation wurden 11 Röntgenaufnahmen und 13 Computertomographien angefertigt. Diese Aufnahmen wurden in den Vergleich einbezogen. Die Sensitivität der Computertomographie mit 54% für das Siebbeinzellsystem und 100% für

die Stirnhöhle und die Keilbeinhöhle war deutlich höher als die der Röntgenaufnahmen mit einer Sensitivität zwischen 7% und 58%. Die Bewertungen der Röntgenaufnahmen wiesen dagegen bei allen Nasennebenhöhlen eine deutlich höhere Spezifität auf als die Befunde der Computertomographie. Zur Deutung dieser Validierung muss berücksichtigt werden, dass der Operationsbericht angefertigt wurde, um das operative Vorgehen schriftlich zu fixieren und mögliche Konsequenzen für die Nachbehandlung abzuleiten. Die Beschreibung von pathologischen Befunden erfolgte häufig nur, wenn es sich für diese Prämissen als erforderlich erschien. Für eine aussagekräftige statistische Auswertung wäre eine höhere Fallzahl wünschenswert. Dies wird zusätzlich durch den Umstand verstärkt, dass ein Teil der Aufnahmen bzw. einzelne darauf abgebildete Nasennebenhöhlen aufgrund der als ungenügend befundenen Qualität nicht für die Auswertung berücksichtigt werden konnten. Daher scheint eine über die deskriptive Statistik hinausgehende Bewertung als nicht belastbar, obwohl die ermittelten Werte mit den Literaturangaben übereinstimmen. (44)

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine gute Übereinstimmung der Bewertungen im Test-Re-Test vorlag. Die Übereinstimmung der Aussagen war überwiegend „mittelmäßig“ und höher, damit ist die Reproduzierbarkeit als gegeben anzusehen.

Die Übereinstimmungen der Aussagen zur Stirnhöhle zwischen den Untersuchern waren zumeist „mittelmäßig“. Etwas niedriger waren die Übereinstimmungen der Aussagen zur Kieferhöhle. Für das Siebbeinzellsystem und die Keilbeinhöhle waren die meisten Klassifizierungen der Übereinstimmungen „leicht“ oder schlechter. Eine Untersucher-Unabhängigkeit der Bewertungen kann für die Stirnhöhle und die Kieferhöhle angenommen werden. Für das Siebbeinzellsystem und die Keilbeinhöhle erscheint diese Objektivität nicht gegeben.

Die Sensitivität wurde mit höchstens 42% ermittelt. Dies wäre für die meisten klinischen Fragestellungen ungenügend. Es fand sich eine relativ hohe Spezifität. Es muss jedoch angenommen werden, dass diese durch den

Ausschluss zahlreicher qualitativ als ungenügend befundener Darstellungen begünstigt wurde. Da diese statistische Spezifität zu Lasten der niedrigen Erkennungsrate geht, wird der tatsächliche klinische Wert der Untersuchung dadurch kaum gesteigert.

Die Aussagefähigkeit der Röntgenaufnahme der Nasennebenhöhlen scheint insbesondere in Bezug auf das klinisch wichtige Siebbeinzellsystem stark eingeschränkt. Daher empfiehlt sich bei einer Indikation zur radiologischen Diagnostik die primäre computertomographische Schnittbild-Darstellung.

5 Zusammenfassung

Für die chronische Entzündung der Nasennebenhöhlen wird in Deutschland eine Inzidenz von 10-15% angenommen. Zur Diagnosesicherung ist die Beurteilung endoskopisch nicht zugänglicher Regionen notwendig. Hierfür existieren verschiedene radiologische Verfahren. Die konventionelle Röntgenaufnahme der Nasennebenhöhle ist unverändert eine häufig durchgeführte Untersuchung. Ziel der Studie ist die Überprüfung der klinischen Relevanz dieser Röntgenaufnahme im Zeitalter der Computertomographie.

Hierzu wurden 54 Röntgenaufnahmen der Nasennebenhöhlen durch 3 voneinander unabhängige Untersucher beurteilt. Es wurde eine kategorielle Auswertung der Aufnahmen hinsichtlich Pneumatisation, Beurteilbarkeit und Verschattungen des Nasennebenhöhlensystems durchgeführt. Die Aussagen wurden durch einen Test-Re-Test auf Reproduzierbarkeit geprüft. Die Objektivität wurde anhand der Übereinstimmung der Aussagen zwischen den Untersuchern analysiert. Die durch die Untersucher im Röntgenbild angenommene Größe der Nasennebenhöhlen wurde mit den am Computertomogramm ausgemessenen Daten verglichen. Die im Röntgenbild angegebenen Verschattungen wurden anhand des zugehörigen Nasennebenhöhlen-Computertomogramms auf Validität überprüft.

Die Aussagen zur Stirnhöhle und mit Einschränkungen zur Kieferhöhle wiesen ein ausreichendes Maß an Reproduzierbarkeit auf. Die Reproduzierbarkeit der Aussagen zu Siebbeinzellsystem und Keilbeinhöhle waren niedrig. Die Übereinstimmung zwischen den Untersuchern war nur für die Stirnhöhle und Kieferhöhle ausreichend, für Aussagen zu Siebbeinzellsystem und Keilbeinhöhle war die Übereinstimmung gering.

Die Sensitivität der Beurteilungen der Röntgenaufnahme hinsichtlich pathologischer Veränderungen war für die Kieferhöhle mit 41% am höchsten

Die hohe Spezifität zwischen 89% und 99% ist auf statistische Effekte einer durch die Qualität der Aufnahmen diktierte Präselektion von eindeutigen Befunden zurückzuführen.

Die Daten zeigen, dass die Aussagefähigkeit der Röntgenaufnahme in Bezug auf das klinisch wichtige Siebbeinzellsystem stark eingeschränkt ist. Daher sollte bei einer Indikation zur radiologischen Diagnostik primär das CT eingesetzt werden.

6 Abbildung und Tabellen

6.1 Abbildungen

Abb. 1 Lagebeziehungen der Nasennebenhöhlen	2
Abb. 2 Circulus vitiosus der chronischen Sinusitis	8
Abb. 3 W.C. Röntgen, „Eine Neue Art von Strahlen“	9
Abb. 4 Übersicht zur Anfertigung von Röntgenaufnahmen	9
Abb. 5 Röntgen- Aufnahmeparameter.....	9
Abb. 6 Eingabemaske der Access-Datenbank	9
Abb. 7 Primäranlage der Schublehre	9
Abb. 8 Anpassung der Schublehre.....	9
Abb. 9 Geschlechtsverteilung, n=50.....	9
Abb. 10 Alter der Patienten zum Zeitpunkt des Röntgens, n=50.....	9
Abb. 11 Hautdosisabschätzungsnomogramm;.....	9
Abb. 12 Lokale Hautenergiedosis.....	9
Abb. 13 Effektivdosis.....	9
Abb. 14 Merkmalsausprägung „Pneumatisation“	9
Abb. 15 Merkmalsausprägung „Beurteilbarkeit“	9
Abb. 16 Merkmalsausprägung „Verschattungen“	9
Abb. 17: Zeitlicher Abstand zwischen den Bewertungen durch denselben Untersucher in Tagen	9
Abb. 18 Reproduzierbarkeit - Übersicht	9
Abb. 19 Reproduzierbarkeit - alle Untersucher.....	9
Abb. 20 Reproduzierbarkeit - Modalität.....	9
Abb. 21 Reproduzierbarkeit - Untersucher	9
Abb. 22 Reproduzierbarkeit –Nasennebenhöhle.....	9
Abb. 23 Übereinstimmung der Bewertungen zwischen den Untersuchern - Übersicht.....	9
Abb. 24 Übereinstimmung der Bewertungen zwischen den Untersuchern.....	9
Abb. 25 Übereinstimmung der Bewertungen zwischen den Untersuchern - Modalität	9

Abb. 26 Übereinstimmung der Bewertungen zwischen den Untersuchern - Untersucher	9
Abb. 27 Übereinstimmung der Bewertungen zwischen den Untersuchern - Nasennebenhöhle.....	9
Abb. 28 Perioden zwischen Röntgenaufnahme und CT.....	9
Abb. 29 zeitlicher Abstand Röntgen – CT	9
Abb. 30 Größe der Nasennebenhöhlen.....	9
Abb. 31 Korrelationen Höhe zu Breite	9
Abb. 32 Übereinstimmung der Größenabschätzung	9
Abb. 33 Verschattungen der einzelnen Nasennebenhöhlen	9
Abb. 34 Anzahl der verschatteten Nasennebenhöhlen pro Patient, n=48	9
Abb. 35 Patienten ohne Pathologie, n=48	9
Abb. 36 Validität der Bewertungen „ Verschattungen“	9
Abb. 37 Abstand der Untersuchungen von der Operation.....	9
Abb. 38 Abstand der Röntgenuntersuchung zur Operation, n=24	9
Abb. 39 Validität der Röntgen-Bewertung	9
Abb. 40 Validität der Bewertung „ Verschattungen“ –Übersicht.....	9
Abb. 41 Abstand der Röntgenuntersuchung zur Operation, n=24	9
Abb. 42 Validität der CT-Auswertungen	9
Abb. 43 Vergleich der Sensitivität Röntgen - CT	9
Abb. 44 Vergleich der Spezifität Röntgen – CT	9

6.2 Tabellen

Tab. 1 „Pneumatisation“.....	9
Tab. 2 „Beurteilbarkeit“	9
Tab. 3 „Verschattungen“	9
Tab. 4 pathologische Verschattungen im CT	9
Tab. 5 Größeneinteilung	9
Tab. 6 Lokale Hautenergiedosis,	9
Tab. 7 Effektivdosis der Röntgenaufnahmen	9
Tab. 8 Merkmalsausprägung „Pneumatisation“	9

Tab. 9 Merkmalsausprägung „Beurteilbarkeit“	9
Tab. 10 Merkmalsausprägung „Verschattungen“	9
Tab. 11 Reproduzierbarkeit - alle Untersucher	9
Tab. 12 Interpretation von Kappa nach Altman	9
Tab. 13 Reproduzierbarkeit - Untersucher 1	9
Tab. 14 Reproduzierbarkeit - Untersucher 2:	9
Tab. 15 Reproduzierbarkeit - Untersucher 3:	9
Tab. 16 Übereinstimmung der Bewertungen zwischen den Untersuchern - Übersicht.....	9
Tab. 17 Übereinstimmung der Bewertungen zwischen Untersucher 1 und Untersucher 2	9
Tab. 18 Übereinstimmung der Bewertungen zwischen Untersucher 1 und Untersucher 3	9
Tab. 19 Übereinstimmung der Bewertungen zwischen Untersucher 2 und Untersucher 3	9
Tab. 20 Größenangaben der Nasennebenhöhlen.....	9
Tab. 21 Korrelation Höhe zu Breite	9
Tab. 22: Größeneinteilung der Nasennebenhöhlen	9
Tab. 23 Übereinstimmung der Größenabschätzung	9
Tab. 24 Häufigkeit der Ausprägung „unentschieden“	9
Tab. 25 Kategorisierung der pathologischen Verschattungen	9
Tab. 26: Validität der Bewertungen „ Verschattungen“	9
Tab. 27 Operationsbefunde und histologische Ergebnisse.....	9
Tab. 28 pathologisch veränderte Nasennebenhöhlen.....	9
Tab. 29: Validität der Bewertung „ Verschattungen“	9
Tab. 30 Validität der CT-Auswertungen	9

7 Literaturverzeichnis

1. Anonymous(2001): Clinical practice guideline: management of sinusitis. *Pediatrics*, 108:798-808.
2. Radioaktivität in Baden-Württemberg. 2003. Karlsruhe, Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. (GENERIC)
Ref Type: Report
3. Abuhammour,W.M., bdel-Haq,N.M., Asmar,B.I., and Dajani,A.S. (1999): Moraxella catarrhalis bacteremia: a 10-year experience. *South.Med.J.*, 92:1071-1074.
4. Altman,D.G. (1990): *Practical Statistics for Medical Research*. Chapman & Hall/CRC, New York.
5. Bachert,C., Gevaert,P., Holtappels,G., Johansson,S.G., and van,C.P. (2001): Total and specific IgE in nasal polyps is related to local eosinophilic inflammation. *J.Allergy Clin.Immunol.*, 107:607-614.
6. Bachert,C., Hormann,K., Mosges,R., Rasp,G., Riechelmann,H., Muller,R., Luckhaupt,H., Stuck,B.A., and Rudack,C. (2003): An update on the diagnosis and treatment of sinusitis and nasal polyposis. *Allergy*, 58:176-191.
7. Behrbohm,H., Kaschke,O., and Sydow,K. (1995): [Effect of the phyto-genic secretolytic drug Gelomyrtol forte on mucociliary clearance of the maxillary sinus]. *Laryngorhinootologie*, 74:733-737.
8. Benson,V. and Marano,M.A. (1998): Current estimates from the National Health Interview Survey, 1995. *Vital Health Stat.10*, 1-428.
9. Berg,O. and Carenfelt,C. (1985): Etiological diagnosis in sinusitis: ultrasonography as clinical complement. *Laryngoscope*, 95:851-853.
10. Bhattacharyya,N. (1999): Test-retest reliability of computed tomography in the assessment of chronic rhinosinusitis. *Laryngoscope*, 109:1055-1058.
11. Braun,H., Stammberger,H., Buzina,W., Freudenschuss,K., Lackner,A., and Beham,A. (2003): [Incidence and detection of fungi and eosinophilic granulocytes in chronic rhinosinusitis]. *Laryngorhinootologie*, 82:330-340.
12. Braun,J.J., Alabert,J.P., Michel,F.B., Quiniou,M., Rat,C., Cougnard,J., Czarlewski,W., and Bousquet,J. (1997): Adjunct effect of loratadine in the

- treatment of acute sinusitis in patients with allergic rhinitis. *Allergy*, 52:650-655.
13. Bundesinstitut für Strahlenschutz. Strahlenthemen BfS. 2003. (GENERIC)
Ref Type: Report
 14. Burke,T.F., Guertler,A.T., and Timmons,J.H. (1994): Comparison of sinus x-rays with computed tomography scans in acute sinusitis. *Acad.Emerg.Med.*, 1:235-239.
 15. Butler,T., Hirsch,L.J., and Claassen,J. (2004): The hazards of lack of co-registration of ictal brain SPECT with MRI: A case report of sinusitis mimicking a brainstem seizure focus. *BMC.Nucl.Med.*, 4:2
 16. Catalano,P.J., Dolan,R., Romanow,J., Payne,S.C., and Silverman,M. (2007): Correlation of bone SPECT scintigraphy with histopathology of the ethmoid bulla: preliminary investigation. *Ann.Otol.Rhinol.Laryngol.*, 116:647-652.
 17. Cohen,J. (1960): A coefficient of agreement for nominal scales. *Educational and Psychological Measurement*, 20:37-46.
 18. Dammann, F. Dosisreduktion bei der Schnittbilddiagnostik der Nasennebenhöhlen. 2004. (GENERIC)
Ref Type: Thesis/Dissertation
 19. Dammann, F. Diagnostik der Nasennebenhöhlen. RK19. 1998. Thieme. Roefo Kongress 98. (GENERIC)
Ref Type: Report
 20. Dammann,F. (2007): [Imaging of paranasal sinuses today]. *Radiologe*, 47:576, 578-576, 583.
 21. Dammann,F., Bode,A., Heuschmid,M., Kopp,A., Georg,C., Pereira,P.L., and Claussen,C.D. (2000): [Multislice spiral CT of the paranasal sinuses: first experiences using various parameters of radiation dosage]. *Rofo*, 172:701-706.
 22. de Bock,G.H., Dekker,F.W., Stolk,J., Springer,M.P., Kievit,J., and van Houwelingen,J.C. (1997): Antimicrobial treatment in acute maxillary sinusitis: a meta-analysis. *J.Clin.Epidemiol.*, 50:881-890.
 23. Detter,B. (1992): Grundlagen -Physiologie und Pathophysiologie der Nase. In: *Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis*, edited by E.Kastenbauer, pp. 41-67. Stuttgart.
 24. Druce,H.M. (1988): The use of ultrasound as an imaging technique in the diagnosis of sinusitis. *N.Engl.Reg Allergy Proc.*, 9:109-112.

25. Engels,E.A., Terrin,N., Barza,M., and Lau,J. (2000): Meta-analysis of diagnostic tests for acute sinusitis. *J.Clin.Epidemiol.*, 53:852-862.
26. Eufinger,H. and Machtens,E. (2001): Purulent pansinusitis, orbital cellulitis and rhinogenic intracranial complications. *J.Craniomaxillofac.Surg.*, 29:111-117.
27. Federspil,P. and Federspil,P.A. (2005): [Antibiotic therapy in otorhinolaryngology]. *HNO*, 53:11-28.
28. Fireman,P. (1992): Diagnosis of sinusitis in children: emphasis on the history and physical examination. *J.Allergy Clin.Immunol.*, 90:433-436.
29. Fleiss,J.L. (1973): The equivalence of weighted kappa and the intraclass correlation coefficient as measures of reliability. *Educational and Psychological Measurement*, 33:613-619.
30. Fokkens,W., Lund,V., Bachert,C., Clement,P., Hellings,P., Holmstrom,M., Jones,N., Kalogjera,L., Kennedy,D., Kowalski,M., Malmberg,H., Mullol,J., Passali,D., Stammberger,H., and Stierna,P. (2005): EAACI position paper on rhinosinusitis and nasal polyps executive summary. *Allergy*, 60:583-601.
31. Fontanari,P., Burnet,H., Zattara-Hartmann,M.C., and Jammes,Y. (1996): Changes in airway resistance induced by nasal inhalation of cold dry, dry, or moist air in normal individuals. *J.Appl.Physiol*, 81:1739-1743.
32. Friedenber,g,R.M., Lightfoote,J.B., Wang,S.P., and Smolin,M.F. (1985): Digital tomography: description and preliminary clinical experience. *AJR Am.J.Roentgenol.*, 144:639-643.
33. Grevers,G. and Klemens,A. (2002): [Rhinosinusitis. Current diagnostic and therapeutic aspects]. *MMW.Fortschr.Med.*, 144:31-35.
34. Grouven,U., Bender,R., Ziegler,A., and Lange,S. (2007): [Comparing methods of measurement]. *Dtsch.Med.Wochenschr.*, 132 Suppl 1:e69-e73
35. Gwaltney,J.M., Jr., Jones,J.G., and Kennedy,D.W. (1995): Medical management of sinusitis: educational goals and management guidelines. The International Conference on sinus Disease. *Ann.Otol.Rhinol.Laryngol.Suppl*, 167:22-30.
36. Gwaltney,J.M., Jr., Phillips,C.D., Miller,R.D., and Riker,D.K. (1994): Computed tomographic study of the common cold. *N.Engl.J.Med.*, 330:25-30.
37. Haapaniemi,J. (1997): Comparison of ultrasound and X-ray maxillary sinus findings in school-aged children. *Ear Nose Throat J.*, 76:102-106.

38. Hochban,W. and Brandenburg,U. (1994): Morphology of the viscerocranium in obstructive sleep apnoea syndrome--cephalometric evaluation of 400 patients. *J.Craniomaxillofac.Surg.*, 22:205-213.
39. Hounsfield,G.N. (1995): Computerized transverse axial scanning (tomography): Part I. Description of system. 1973. *Br.J.Radiol.*, 68:H166-H172
40. Hwang,P.H., Irwin,S.B., Griest,S.E., Caro,J.E., and Nesbit,G.M. (2003): Radiologic correlates of symptom-based diagnostic criteria for chronic rhinosinusitis. *Otolaryngol.Head Neck Surg.*, 128:489-496.
41. Inuma,T., Hirota,Y., and Kase,Y. (1994): Radio-opacity of the paranasal sinuses. Conventional views and CT. *Rhinology*, 32:134-136.
42. Jacobs,J.R., Levine,L.A., Davis,H., Lefrak,S.S., Druck,N.S., and Ogu-
ra,J.H. (1981): Posterior packs and the nasopulmonary reflex. *Laryngo-
scope*, 91:279-284.
43. Jensen,C. and von,S.C. (1987): Radiography and ultrasonography in
paranasal sinusitis. *Acta Radiol.*, 28:31-34.
44. Jones,N.S. (2002): CT of the paranasal sinuses: a review of the correla-
tion with clinical, surgical and histopathological findings.
Clin.Otolaryngol.Allied Sci., 27:11-17.
45. Kaiser,L., Lew,D., Hirschel,B., Auckenthaler,R., Morabia,A., Heald,A.,
Benedict,P., Terrier,F., Wunderli,W., Matter,L., Germann,D., Voegeli,J.,
and Stalder,H. (1996): Effects of antibiotic treatment in the subset of
common-cold patients who have bacteria in nasopharyngeal secretions.
Lancet, 347:1507-1510.
46. Katz,R.M., Friedman,S., Diament,M., Siegel,S.C., Rachelefsky,G.S.,
Spector,S.L., Rohr,A.S., Schoettler,J., and Dorris,A. (1995): A compari-
son of imaging techniques in patients with chronic sinusitis (X-ray, MRI,
A-mode ultrasound). *Allergy Proc.*, 16:123-127.
47. Knipping,S., Holzhausen,H.J., Riederer,A., and Bloching,M. (2007): Cys-
tic fibrosis: ultrastructural changes of nasal mucosa.
Eur.Arch.Otorhinolaryngol., 264:1413-1418.
48. Kosling,S., Wagner,F., Schulz,H.G., and Heywang-Kobrunner,S. (1993):
[Osseous variations in the coronary CT of the paranasal sinuses]. *Rofo*,
159:506-510.
49. Kunkel,M. and Hochban,W. (1994): Acoustic rhinometry: a new diagnos-
tic procedure--experimental and clinical experience. *Int.J.Oral Maxillo-
fac.Surg.*, 23:409-412.

50. Lalanne,C. and Coussement,A. (2000): Geschichte der Röntgendiagnostik. In: *Illustrierte Geschichte der Medizin*, edited by N.Tsouyopoulos, et al, pp. 2137--63Augsburg.
51. Lang,J. (1992): Morphologie. In: *Oto-Rhino-Laryngologie in Klinik und Praxis*, edited by E.Kastenbauer, pp. 16Stuttgart.
52. Lang,J. and Papke,J. (184): *Gegenbaurs morphologisches Jahrbuch*, 130:1-47.
53. Lang,J. and Papke,J. (1984): [Clinical anatomy of the inferior wall of the orbit and its neighboring structures]. *Gegenbaurs.Morphol.Jahrb.*, 130:1-47.
54. Larsen,K. and Juul,A. (1982): Arterial blood gases and pneumatic nasal packing in epistaxis. *Laryngoscope*, 92:586-588.
55. Löster,W., Drexler,G., Stieve,F.E., and Hoffmann,H. (1995): *Die Messung des Dosisflächenprodukts in der diagnostischen Radiologie als Methode zur Ermittlung der Strahlenexposition*. GmbH Verlag, Berlin.
56. Lund,V.J. and Kennedy,D.W. (1997): Staging for rhinosinusitis. *Otolaryngol.Head Neck Surg.*, 117:S35-S40
57. Macho,G.A. (1986): Cephalometric and craniometric age changes in adult humans. *Ann.Hum.Biol.*, 13:49-61.
58. Mafee,M.F. (2007): Imaging of paranasal sinuses and rhinosinusitis. *Clin.Allergy Immunol.*, 20:185-226.
59. Mann,W., Beck,C., and Apostolidis,T. (1977): Liability of ultrasound in maxillary sinus disease. *Arch.Otorhinolaryngol.*, 215:67-74.
60. Marianowski,R., Forcioli,J., Bouhnik,M., it Amer,J.L., Brunelle,F., and Manach,Y. (2001): Intracranial complications of ethmoiditis evidenced by magnetic resonance imaging. *Ann.Otol.Rhinol.Laryngol.*, 110:592-595.
61. McAlister,W.H., Lusk,R., and Muntz,H.R. (1989): Comparison of plain radiographs and coronal CT scans in infants and children with recurrent sinusitis. *AJR Am.J.Roentgenol.*, 153:1259-1264.
62. Mogica Mogica,J.D., Galindo,R.G., Gonzalez Diaz,S.N., Gonzalez Escamilla,J.A., and Canseco,G.C. (1996): [Chronic rhinosinusitis: predominant symptoms in children under 14 years of age who were seen at the Regional Center for the Prevention and Treatment of Allergic Diseases]. *Rev.Alerg.Mex.*, 43 Spec No:16-18.
63. Nimigean,V.R., Nimigean,V., Maru,N., Andressakis,D., Balatsouras,D.G., and Danielidis,V. (2006): The maxillary sinus and its endodontic implications: clinical study and review. *B-ENT*, 2:167-175.

64. Oikawa,K., Furuta,Y., Nakamaru,Y., Oridate,N., and Fukuda,S. (2007): Preoperative staging and surgical approaches for sinonasal inverted papilloma. *Ann.Otol.Rhinol.Laryngol.*, 116:674-680.
65. Okuyemi,K.S. and Tsue,T.T. (2002): Radiologic imaging in the management of sinusitis. *Am.Fam.Physician*, 66:1882-1886.
66. Osguthorpe,J.D. (2001): Adult rhinosinusitis: diagnosis and management. *Am.Fam.Physician*, 63:69-76.
67. Pade,J. (2005): [Sinusitis. An illness to be taken seriously]. *HNO*, 53 Suppl 1:S4-S9
68. Pearson,H. (2003): Magnetic pioneers net Nobel for putting medicine in the picture. *Nature*, 425:547
69. Pleis,J.R. and Coles,R. (2002): Summary health statistics for U.S. adults: National Health Interview Survey, 1998. *Vital Health Stat.10*, 1-113.
70. Pockler,C., Brambs,H.J., and Plinkert,P. (1994): [Computed tomography of the paranasal sinus prior to endonasal surgery]. *Radiologe*, 34:79-83.
71. Pohunek,P. (2004): Development, structure and function of the upper airways. *Paediatr.Respir.Rev.*, 5:2-8.
72. Probst,R., Grevers,G., and Iro,H. (2000): Nase, Nasennebenhöhlen und Gesicht. In: *Hals-Nasen-Ohrenheilkunde*, Anonymouspp. 1-67. Thieme, Stuttgart.
73. Raviv,J., Downing,L., Le,Q., and Hwang,P. (2007): Radiographic assessment of the sinuses in patients treated for nasopharyngeal carcinoma. *Am.J.Rhinol.*,
74. Reiser,M., Kuhn,F., and Debus,J. (2006): *Radiologie*. Thieme, Stuttgart.
75. ROENTGEN,W.C. (1959): [On a new kind of ray (first report)]. *Munch.Med.Wochenschr.*, 101:1237-1239.
76. Rohr,A.S., Spector,S.L., Siegel,S.C., Katz,R.M., and Rachelefsky,G.S. (1986): Correlation between A-mode ultrasound and radiography in the diagnosis of maxillary sinusitis. *J.Allergy Clin.Immunol.*, 78:58-61.
77. Rosbe,K.W. and Jones,K.R. (1998): Usefulness of patient symptoms and nasal endoscopy in the diagnosis of chronic sinusitis. *Am.J.Rhinol.*, 12:167-171.
78. Sakamoto,H., Nakai,Y., Ohashi,Y., Okamura,T., and Ochi,H. (1997): Positron emission tomographic imaging of head and neck lesions. *Eur.Arch.Otorhinolaryngol.*, 254 Suppl 1:S123-S126

79. Sarnat,B.G. and Wexler,M.R. (1966): Growth of the face and jaws after resection of the septal cartilage in the rabbit. *Am.J.Anat.*, 118:755-767.
80. Sato,T. (1980): Effect of nasal mucosa irritation on airway resistance. *Auris Nasus Larynx*, 7:39-50.
81. Schroeder,H.G. and Bunger,B. (1989): [Orthopantomography and its significance for the otorhinolaryngologist]. *HNO*, 37:496-500.
82. Schultz-Coulon,H.J. and Eckermeier,L. (1976): [Postnatal growth of nasal septum]. *Acta Otolaryngol.*, 82:131-142.
83. Senior,B.A., Kennedy,D.W., Tanabodee,J., Kroger,H., Hassab,M., and Lanza,D. (1998): Long-term results of functional endoscopic sinus surgery. *Laryngoscope*, 108:151-157.
84. Settipane,R.A. and Lieberman,P. (2001): Update on nonallergic rhinitis. *Ann.Allergy Asthma Immunol.*, 86:494-507.
85. Shapiro,G.G., Furukawa,C.T., Pierson,W.E., Gilbertson,E., and Bierman,C.W. (1986): Blinded comparison of maxillary sinus radiography and ultrasound for diagnosis of sinusitis. *J.Allergy Clin.Immunol.*, 77:59-64.
86. Siemens. Medizinische Technik; Daten Formeln, Fakten. 1997. (GENERIC)
Ref Type: Pamphlet
87. Stammberger,H. and Posawetz,W. (1990): Functional endoscopic sinus surgery. Concept, indications and results of the Messerklinger technique. *Eur.Arch.Otorhinolaryngol.*, 247:63-76.
88. Suratt,P.M., Turner,B.L., and Wilhoit,S.C. (1986): Effect of intranasal obstruction on breathing during sleep. *Chest*, 90:324-329.
89. van,C.C. and Clement,P.A. (1994): Results of oral steroid treatment in nasal polyposis. *Rhinology*, 32:5-9.
90. Vannier,M.W., Marsh,J.L., and Warren,J.O. (1984): Three dimensional CT reconstruction images for craniofacial surgical planning and evaluation. *Radiology*, 150:179-184.
91. Vidic,B. (1971): The morphogenesis of the lateral nasal wall in the early prenatal life of man. *Am.J.Anat.*, 130:121-139.
92. Wenzk, A. Anfrage an die KBV. 2007. (GENERIC)
Ref Type: Patent
93. West,B. and Jones,N.S. (2001): Endoscopy-negative, computed tomography-negative facial pain in a nasal clinic. *Laryngoscope*, 111:581-586.

94. Williams,J.W., Jr. and Simel,D.L. (1993): Does this patient have sinusitis? Diagnosing acute sinusitis by history and physical examination. *JAMA*, 270:1242-1246.
95. Winther,B., Gwaltney,J.M., and Hendley,J.O. (1990): Respiratory virus infection of monolayer cultures of human nasal epithelial cells. *Am.Rev.Respir.Dis.*, 141:839-845.
96. Ziegler,C.M., Woertche,R., Brief,J., and Hassfeld,S. (2002): Clinical indications for digital volume tomography in oral and maxillofacial surgery. *Dentomaxillofac.Radiol.*, 31:126-130.
97. Zinreich,S.J., Kennedy,D.W., Rosenbaum,A.E., Gayler,B.W., Kumar,A.J., and Stammberger,H. (1987): Paranasal sinuses: CT imaging requirements for endoscopic surgery. *Radiology*, 163:769-775.

8 Verwendete Abkürzungen

CT	Computertomographie
ESCT	Einzeilen-Spiral-CT
HE	Hounsfield-Einheit
MRT	Magnet-Resonanz-Tomographie
MSCT	Mehrzeilen-Spiral-CT = Mehrzeilen-CT
NNH	Nasennebenhöhlen
OMK	Osteo-Meataler-Komplex
PET	Positronen-Emissions-Tomographie
SPECT	Single-Photon-Emission-Computed- Tomographie

9 Danksagung

Dem ärztlichen Direktor der Radiologischen Universitätsklinik Tübingen, Abteilung Radiologische Diagnostik, Prof. Dr. Claus D. Clausen gebührt mein Dank für die Überlassungen dieses interdisziplinären Themas.

Ebenfalls möchte ich Prof. Dr. Florian Dammann für die Ausarbeitung des Studiendesigns und die fortwährende Unterstützung danken.

Mein besonderer Dank gilt auch Prof. H.-P. Zenner, dem Direktor der Universitäts-Hals-Nasen-Ohrenklinik Tübingen, als meinem akademischen und klinischen Lehrer.

Herzlichen danken möchte ich meinem Freund Dr. Assen Koitschev für die unermüdliche klinische und didaktische Hilfe.

Dr. Gunnar Blumenstock und Frau Martina Viessmann gilt mein Dank für ihre intensive Unterstützung bei den statistischen Auswertungen.

Herrn Dipl.-Ing. Klaus Herz danke ich für die spontanen und fundierten Erläuterungen in Bezug auf strahlenhygienische Aspekte.

10 Curriculum vitae

Name:	Steffen Paasch
Geburtsdatum:	24.06.1968
Geburtsort:	Erfurt
Familienstand:	verheiratet
Schulbildung:	
1974-84	mittlere Reife mit dem Prädikat "mit Auszeichnung"
1984-86	Abitur, Abschluss mit Prädikat "mit Auszeichnung"
Studium:	
1986-88	obligatorisches Vorpraktikum für Medizinstudenten, an der „Medizinischen Akademie Erfurt“
1988-95	Studium der Medizin an der "Friedrich-Schiller-Universität" Jena und der "Georg-August-Universität" Göttingen,
01.09.1995	Hochschulabschluss mit dem Prädikat "gut"
1990	Aufnahme in die Konrad Adenauer Stiftung
Beruf:	
Nov. 1995	Teilapprobation
Dez.1995	Arbeit an der Universitäts-Hals-Nasen-Ohrenklinik der "Eberhard Karls Universität" Tübingen
Juni 1997	Vollapprobation
Sep. 2003	Facharzt für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde