

## **2. MATERIAL UND METHODEN**

An Kästchenmodellen, zwei anatomiegerechten Modellen, einem anatomischen Präparat und sieben Versuchspersonen wurden akustisch rhinometrische Messungen durchgeführt.

### **2.1. MESSAPPARATUR ZUR AR**

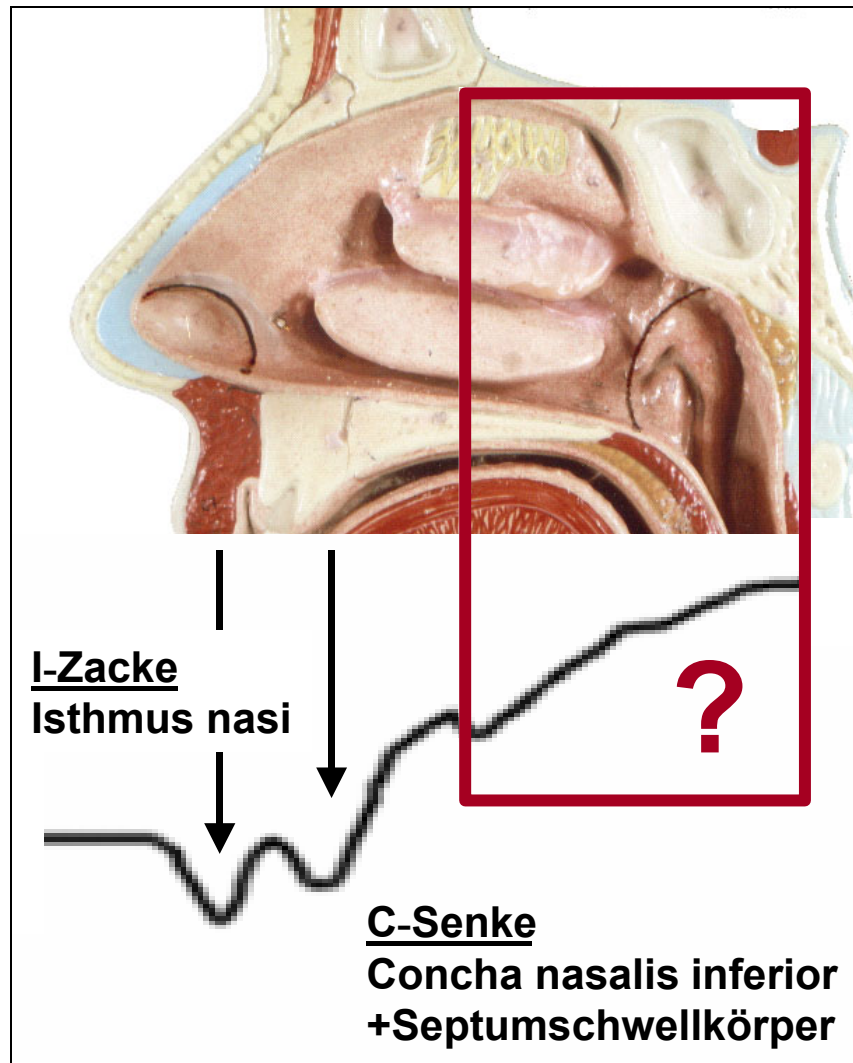
Es wurde ein Einzelimpulsrhinometer (Rhinoklack RK 100, Stimotron, Wendelstein, Deutschland) verwendet.

### **2.2. GRUNDLAGEN DER AR**

Die Akustische Rhinometrie basiert auf der mathematischen Analyse der Reflexion eines nasal applizierten Schallsignals. Betrachtet man die Nase hierbei als geometrischen Hohlkörper mit variierendem Durchmesser, wird Schall an Querschnittsänderungen bzw. bei Änderung der akustischen Impedanz reflektiert. Unter akustischer Impedanz versteht man hierbei den Schallwellenwiderstand innerhalb eines gasgefüllten Raumes. Sie ist unter anderem abhängig vom Querschnitt des Raumes, der Dichte des Gases und der Wellenlänge der Schallwelle. Da bei der AR die Schallwelle ein Spektrum von Frequenzen ist, kommt es zu einer frequenzspezifischen Reflexion. Zeit und reflektierter Schall werden aufgenommen und nach Verzögerung, Frequenz und Amplitude analysiert. Aus dem Frequenzmaximum lässt sich die Fläche, aus der Laufzeit die Distanz eines Querschnittes vom Ostium nasale externum berechnen und grafisch darstellen.

Reflektometrie wurde erstmals für Messungen an den tiefen Atemwegen von Jackson et al. (1977) angewendet und von Hilberg et al. (1989) sowie Lenders (1992) für die zweckmäßige Anwendung an der Nase weiterentwickelt.

Die grafische Darstellung der Querschnittsflächen der Nase zeigt einen typischen Kurvenverlauf und spiegelt anatomische Verhältnisse wider (Abbildung 1). Die I-Zacke stellt hierbei die Fläche des Isthmus nasi, die C-Senke den Kopf der Concha nasalis inferior und die Intumescentia septi (Lenders 1992) dar.



*Abbildung 1: Darstellung einer AR-Normalkurve und die Zuordnung der anatomischen Korrelate. Für den im roten Rahmen zusammengefassten posterioren Nasenbereich und Epipharynx ergeben sich Interpretationsschwierigkeiten.*

### **2.3.    UNTERSUCHUNGEN AM KÄSTCHENMODELL**

Für die Untersuchungen am Kästchenmodell wurde ein Kästchen mit den Innenmaßen 10 x 60 x 100 mm (Höhe x Breite x Länge) aus fünf transparenten Polyacrylplatten gefertigt. Entsprechende Verschraubungen ermöglichten ein Abheben der Deckplatte sowie eine davon unabhängige Entfernung der Rückwand. Auf diese Weise konnten aus *Otoform*<sup>®</sup> (A. Algeo's, Liverpool, UK) gefertigte Formelemente eingebracht werden, mit welchen Septen sowie Nasenmuscheln simuliert wurden. Ein schalldichter Anschluss des Akustischen Rhinometers an die Kästchenmodelle konnte durch die Verwendung eines speziell angefertigten Glasadapters mit einem quadratischen Querschnitt von 1 cm<sup>2</sup> auf der Modellseite und einem Kreisquerschnitt von 0,72 cm<sup>2</sup> auf der Geräteseite erreicht werden. Die zusätzliche Versiegelung mit Knetmasse bewirkte eine sichere Abdichtung und Verhinderung von akustischen Leckagen an der Verbindungsstelle zwischen Adapter und Modellen.

#### **2.3.1.    EINFLUSS DES ADAPTERMATERIALS AUF DAS AR-MESSERGEBNIS**

Um eine Beeinflussung des Messsignals durch die akustischen Eigenschaften des Adapters auszuschließen, wurden Vergleichsmessungen der Glasadaptoren mit den mitgelieferten Kunststoffadaptoren durchgeführt.

#### **2.3.2.    EINFLUSS DER QUERSCHNITTSFLÄCHE IN MESSEITE UND GEGENSEITE AUF DAS AR-MESSERGEBNIS**

Durch Einbringen eines 8 cm langen Septums in das Kästchenmodell parallel zur Seitenwand wurde dieses in eine „Messeite“ und eine „Gegenseite“ unterteilt (Abbildung 2).

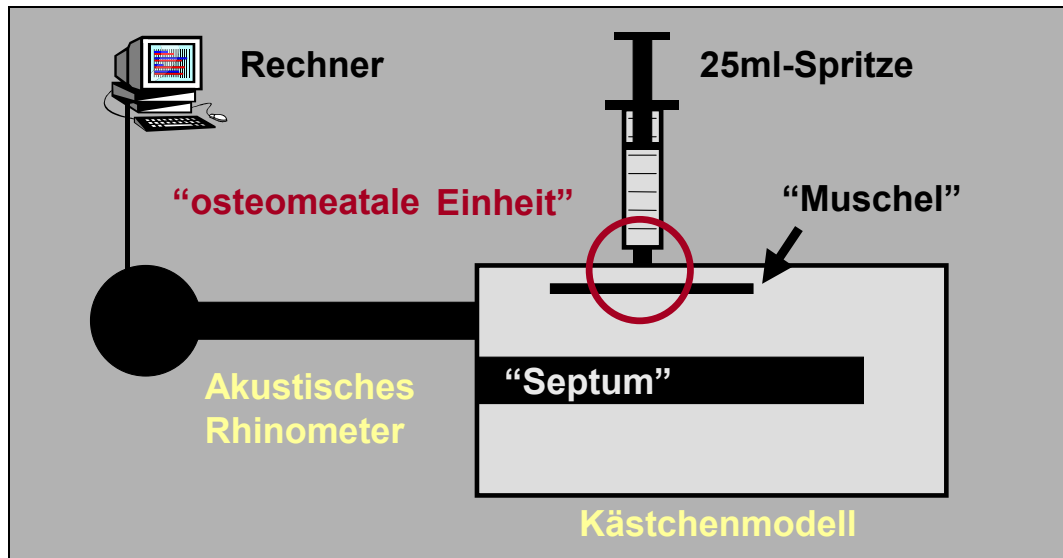


Abbildung 2: Grafische Darstellung des Versuchsaufbaus am Kästchenmodell

Durch Verschieben des Septums konnten unterschiedliche Querschnittsflächen bzw. Volumina in beiden Seiten hergestellt werden. In der „Messeite“ wurden Querschnittsflächen von 0,5, 1, 2, 3, 4 und 5 cm<sup>2</sup> untersucht.

Der Einfluss des Volumens der „Gegenseite“ auf das AR-Messergebnis wurde bei konstantem Querschnitt der „Messeite“ (2 cm<sup>2</sup>) und verschiedenen Volumina der „Gegenseite“ (6,4 und 12,8 cm<sup>3</sup>) untersucht.

### 2.3.3 EINFLUSS VON DURCHMESSER UND LÄNGE DES ANSCHLUSSKANALS SOWIE DES VOLUMENS DER NEBENHÖHLE AUF DAS AR-MESSERGEBNIS

An dem Kästchenmodell wurde 4 cm entfernt von der Eingangsöffnung an der Seitenfläche eine Bohrung angebracht. Zur Simulation einer Nasennebenhöhle (im Sinne eines Sinus maxillaris) mit veränderlichem Volumen dienten 25ml-Injektionspritzen, die mit *Otoform*<sup>®</sup> über der Bohrung angegossen wurden (Abbildung 2). Sämtliche Messungen wurden mit den Nebenhöhlenvolumina von 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 15, 20 und 25 ml durchgeführt. Die komplette Entfernung des Spritzenstempels simulierte ein unendliches Nebenhöhlenvolumen. Die das Ostium maxillare nachahmende Bohrung wurde schrittweise auf einen Durchmesser von 2, 3,

4, 5, 6 und 8 mm aufgebohrt und durch Silikonschläuche die Länge auf 5, 8, 12 und 20 mm verlängert.

Alle Modifikationen wurden zusätzlich bei den Modellquerschnitten von 1 und 3 cm<sup>2</sup> gemessen.

#### **2.3.4. EINFLUSS DER „NASENMUSCHEL“ AUF DAS AR-MESSERGEBNISS**

Zur weiteren Annäherung des Kästchenmodells an die anatomischen Bedingungen beim Menschen wurde zur Simulation einer „Nasenmuschel“ ein Silikonstreifen (Länge: 4,2 cm; Höhe: 1 cm; Breite 3 mm) in Abständen von 1, 2 und 3 mm zwischen lateraler Modellwand und Septum platziert (Abbildung 2).

## 2.4. UNTERSUCHUNGEN AN NASENMODELLEN

Zur Herstellung der verwendeten Nasenmodelle wurden zwei Leichenkopffpräparate mit *Otoform*<sup>®</sup> ausgegossen. Für das Modell MI wurden sämtliche oberen Luftwege vom Ostium nasale externum und dem Vestibulum oris bis zum Larynxeingang ausgegossen, für das zweite Modell MII nur die Nasenhaupthöhlen vom Ostium nasale externum bis zur Pars nasalis pharyngis. Gleichzeitig wurde bei MI ein kompletter Gesichtsabdruck und bei MII ein Abdruck der äußeren Nase angefertigt. Dies gewährleistete die spätere Rekonstruktion der Modelle unter Berücksichtigung der Oberflächenanatomie. Nach Aushärtung des Silikons wurden die Ausgüsse freipräpariert, gereinigt und standen zur Herstellung der Positive zur Verfügung. Um gleichmäßig dünne Wandstrukturen zu erzielen, wurde auf MI schichtweise ein Zwei-Komponenten-Polyesterharz aufgebracht. Das geringere Volumen des zweiten Modells erlaubte die komplette Einbettung in Polyacrylpolymerisat. Am Modell I wurden anschließend mit einer zahntechnischen Fräse die lateralen Nasenwände sowie die dorsale Begrenzung des Naso- und Oropharynx unter Erhaltung ihrer Struktur abgetrennt, um ein Ausräumen der Ausgussmassen zu ermöglichen. Das etwas weniger komplexe zweite Modell gestattete ein direktes Eröffnen der beiden Nasenhaupthöhlen entlang ihrer größten Circumferenz in der Sagittalebene zur Beseitigung des Ausgussmaterials. Alle Einzelteile der Modelle konnten beliebig oft entfernt und wieder verschlossen werden. Der Modellinnenraum war so nahezu jeder Umgestaltung und Anpassung an die Fragestellungen zugänglich. Für die Messungen wurden die Einzelteile der Modelle mit *Otoform*<sup>®</sup> schalldicht zusammengefügt. Um reproduzierbare Bedingungen für die Messungen zu schaffen und denkbare Messungenauigkeiten durch die Ankopplung an das Messgerät auszuschließen, wurden für beide Nasenmodelle anatomiegerechte Adaptoren hergestellt, welche wie

bei den Messungen am Kästchenmodell zusätzlich mit Knetmasse abgedichtet wurden.

#### **2.4.1. STANDARDABWEICHUNG MODELL I**

Um einen Überblick über die Reproduzierbarkeit der Messergebnisse zu erhalten, wurden vor jeder durchgeführten Manipulation am Nasenmodell Kontrollmessungen durchgeführt. Vor jedem Experiment wurde das Modell neu an den Nasenadapter angeschlossen, mit Knetmasse abgedichtet und im Ausgangszustand vermessen. Auf diese Weise sollte eine Standardabweichung des Messverfahrens ermittelt werden.

#### **2.4.2. EINFLUSS DES VOLUMENS DER GEGENSEITE UND DER MUNDHÖHLE AUF DAS AR-MESSERGEBNIS**

Am ersten Nasenmodell wurde nochmals der Einfluss der Gegenseite sowie der Mundhöhle auf das Messergebnis der Akustischen Rhinometrie untersucht. Zu diesem Zweck wurden Messreihen mit jeweils verschlossenem Ostium nasale externum, verschlossener Rima oris, dem Verschluss der Gegenseite auf der Höhe der Choane sowie einem Verschluss der Gegenseite in kaudaler Verlängerung des Septums bis zur Wand des Nasopharynx durchgeführt.

#### **2.4.3. EINFLUSS DES DURCHMESSERS UND DER LÄNGE DES NEBENHÖHLENANSCHLUSSES AUF DAS AR-MESSERGEBNIS IM MODELL I**

Im mittleren Nasengang wurde in Höhe des Infundibulum ethmoidale eine Bohrung angelegt. An diese konnte, ähnlich den Kästchenmodellen, eine 25ml-Spritze als Simulation des Sinus maxillaris angeschlossen werden. Der Verbindungskanal zur „Nebenhöhle“ wurde im Durchmesser von 3, 4 und 6 mm und in der Länge von 5, 8 und 12 mm variiert.

#### **2.4.4. EINFLUSS DES NEBENHÖHLENVOLUMENS AUF DAS AR-MESSERGEBNIS IM MODELL I**

Das Modell I wurde parallel zur Variation der Anschlusskanalparameter mit verschiedenen Nebenhöhlenvolumina von 0, 5, 10, 15, 20 und 25 ml sowie unendlichem Volumen akustisch vermessen.

#### **2.4.5. EINFLUSS DES NEBENHÖHLENVOLUMENS AUF DAS AR-MESSERGEBNIS IM MODELL II**

Im zweiten Nasenmodell wurde die Verbindung zur „Nebenhöhle“ im mittleren Nasengang mit einer 6mm-Bohrung versehen. Die Messung des Modells erfolgte nach schalldichter Fixation einer 25ml-Spritze mit den Volumina von 0, 5, 10, 15, 20 und 25 ml sowie unendlichem Volumen.

### **2.5. UNTERSUCHUNGEN AM ANATOMISCHEN PRÄPARAT**

Die Untersuchungen am anatomischen Präparat wurden an einem formalinfixierten Kopfpräparat durchgeführt. Das Präparat wurde freundlicherweise vom Institut für Anatomie der Ernst Moritz Arndt Universität Greifswald zur Verfügung gestellt. Der Schädel wurde in der Sagittalebene paramedian gerade so aufgetrennt, dass die rechte Nasenseite noch durch das knorpelige und knöcherne Septum nasi verschlossen blieb. Sämtliche anderen Weichteile der Schädelseite blieben erhalten. Das Präparat konnte dann mittels AR experimentell vermessen werden.

#### **2.5.1. EINFLUSS DES VOLUMENS DER GEGENSEITE AUF DAS AR-MESSERGEBNIS**

Zur Bestimmung des Einflusses des Volumens der Gegenseite auf die zu vermessende Nasenseite wurde am Nasopharynx eine 100ml-Spritze mit vergrößerter Öffnung angegossen. Der Gegenseiteneffekt wurde dann durch allmähliche Erhöhung des Volumens von 0 ml auf 5, 10, 15, 20, 40, 60, 80, 100 ml bestimmt.



### **2.5.2. EINFLUSS DES VOLUMENS DES SINUS MAXILLARIS AUF DAS AR-MESSERGEBNIS**

Der Sinus maxillaris des Präparates wurde durch die faziale Kieferhöhlenwand punktiert. Nach Ankopplung eines Silikonschlauches an die Punktionsstelle konnte der Sinus maxillaris in 1ml-Schritten mit Wasser gefüllt und der Naseninnenraum mit der AR gemessen werden. Das Leichenpräparat wurde so gelagert, dass sich das Septum nasi in horizontaler Lage oben befand. Die Messungen wurden abgebrochen, sobald Wasser aus der Kieferhöhle in das Cavum nasi übertrat.

### **2.5.3. EINFLUSS DES VOLUMENS DES SINUS MAXILLARIS NACH INFUNDIBULOTOMIE AUF DAS AR-MESSERGEBNIS**

Am Präparat wurde anschließend endoskopisch endonasal eine Infundibulotomie vollzogen und die Messungen wie unter 2.5.2. beschrieben wiederholt.

## **2.6. UNTERSUCHUNGEN AN VERSUCHSPERSONEN**

An sieben freiwilligen Probanden (Genehmigung der Ethikkommission im Anhang) wurde der Sinus maxillaris über die faziale Kieferhöhlenwand punktiert. Der Eingriff erfolgte in Lokalanästhesie mit gebrauchsfertigem 1%igen Xylocain-Adrenalin-Gemisch. An die Punktionskanüle wurde eine Spritze angeschlossen und das System mit *Otoform*<sup>®</sup> versiegelt. Beide Nasenseiten wurden mit Xylometazolin (*Imidin*<sup>®</sup>, Pharma Wernigerode GmbH) abgeschwollen und nach zehn Minuten die Messungen begonnen. Die Versuchsperson wurde so gelagert, dass sich die punktierte Kieferhöhle unten und das Septum nasi in horizontaler Ebene oben befand. Das Akustische Rhinometer wurde an den Naseneingang schalldicht mit *Otoform*<sup>®</sup> angeschlossen. Die Kieferhöhle wurde 1ml-schrittweise mit angewärmter physiologischer Kochsalzlösung gefüllt und die AR-Messungen durchgeführt, bis

Wasser in den Nasenrachen übertrat. Am Ende des Versuches erfolgte die Entfernung der Messapparatur und der Punktionskanüle.

## **2.7. AUSWERTUNG DER MESSERGEBNISSE**

Die Messdaten wurden in Microsoft Excel<sup>®</sup>-Datentabellen (Microsoft Corp., U.S.A.) konvertiert und waren so einer statistischen Analyse und grafischen Darstellung zugänglich.

Stellen mit plötzlicher Querschnittsflächenänderung werden im Mittel 1 cm entfernt von der tatsächlichen Position der Flächenänderung dargestellt (Theheyden 1993).

Am Übergang vom Adapter zum Modell findet ein plötzlicher Querschnittsflächenwechsel statt. Aus diesem Grunde wurden die Mittelwertberechnungen im Versuch 2.3.2. nur für die Distanz von 1 cm bis 7 cm durchgeführt, da ansonsten ein bekannter Fehler in die Berechnung eingeflossen wäre.

In den weiteren Versuchen wurde jeweils der maximale Flächenzuwachs und dessen Position bei jeder Messung im Vergleich zur Kontrollkurve ermittelt. Zusätzlich wurden der mittlere Flächenzuwachs von der Position des Nebenhöhlenanschlusskanals bis zum Modellende (bei 10 cm) sowie die zugehörige Standardabweichung errechnet. Bei allen Versuchen wurden prozentuale Abweichungen der Messkurve im Vergleich zur Kontrollkurve errechnet, um die relative Flächenänderung darzustellen und somit materialunabhängige Interpretationen zu gestatten.

Um eine systematische Änderung der Messkurven durch die Manipulationen an den Modellen zu erkennen, wurden die jeweils veränderten Parameter mit dem maximalen Flächenzuwachs korreliert und der Korrelationskoeffizient  $r$  berechnet.