

**Universitätsklinikum Ulm**

Klinik für Hals-Nasen-Ohrenheilkunde

Direktor:

Prof. Dr. med. G. Rettinger

**Bildanalyse des Naseneingangs: Reproduzierbarkeit und  
Vergleich mit akustischer Rhinometrie und  
Rhinomanometrie**

**Dissertation**

Zur Erlangung des Doktorgrades

der Medizin

der Medizinischen Fakultät der Universität Ulm

von

Diana Fortunata Di Dio

aus Ludwigsburg

2008

Amtierender Dekan: Prof. Dr. Klaus-Michael Debatin

1. Berichterstatter: Prof. Dr. Herbert Riechelmann

2. Berichterstatter: Prof. Dr. Tilman Keck

Tag der Promotion: 24.10.2008

## **Widmung**

Meinen Eltern

Regina Boss & Giuseppe Di Dio

## Inhaltsverzeichnis

|   |                |
|---|----------------|
| <b>Abkürzungsverzeichnis.....</b>                       | <b>III-VII</b> |
| <b>1 Einleitung .....</b>                               | <b>1</b>       |
| 1.1 Wissenschaftlicher Hintergrund .....                | 1              |
| 1.2 Die innere und äußere Nasenklappe .....             | 2              |
| 1.3 Ziele .....   | 4              |
| <b>2 Material und Methoden .....</b>                    | <b>5</b>       |
| 2.1 Studiendesign .....                                 | 5              |
| 2.2 Studienablauf und Probanden .....                   | 5              |
| 2.3 Einschlusskriterien .....                           | 5              |
| 2.4 Ausschlusskriterien .....                           | 6              |
| 2.5 Rhinomanometrie.....                                | 7              |
| 2.5.1 Hintergrund .....                                 | 7              |
| 2.5.2 Durchführung .....                                | 8              |
| 2.6 Akustische Rhinometrie .....                        | 9              |
| 2.6.1 Hintergrund .....                                 | 9              |
| 2.6.2 Durchführung .....                                | 10             |
| 2.7 Ermittlung der Nasenparameter per Fototechnik ..... | 11             |
| 2.7.1 Versuchsaufbau .....                              | 11             |
| 2.7.2 Durchführung .....                                | 12             |
| 2.7.3 Auswertung .....                                  | 13             |
| 2.8 Statistische Methoden.....                          | 17             |
| <b>3 Ergebnisse .....</b>                               | <b>19</b>      |
| 3.1 Ergebnisse der ersten Studienphase .....            | 19             |
| 3.1.1 Reproduzierbarkeit.....                           | 19             |
| 3.1.1.1 Rhinomanometrie .....                           | 19             |
| 3.1.1.2 Akustische Rhinometrie .....                    | 23             |
| 3.1.1.3 Fototechnik .....                               | 26             |
| 3.1.2 Messwerte des Normalkollektivs .....              | 34             |
| 3.1.2.1 Rhinomanometrie .....                           | 35             |
| 3.1.2.2 Akustische Rhinometrie .....                    | 36             |
| 3.1.2.3 Fototechnik .....                               | 37             |
| 3.1.2.4 Korrelationen .....                             | 40             |

|          |   |           |
|----------|---|-----------|
| 3.2      | Ergebnisse der zweiten Studienphase.....  | 41        |
| <b>4</b> | <b>Diskussion.....</b>                    | <b>45</b> |
| 4.1      | Diskussion der ersten Studienphase.....   | 46        |
| 4.1.1    | Rhinomanometrie.....                      | 46        |
| 4.1.2    | Akustische Rhinometrie .....              | 47        |
| 4.1.3    | Fototechnik.....                          | 47        |
| 4.1.4    | Korrelationen.....                        | 49        |
| 4.2      | Diskussion der zweiten Studienphase ..... | 50        |
| <b>5</b> | <b>Zusammenfassung .....</b>              | <b>52</b> |
| <b>6</b> | <b>Literaturverzeichnis.....</b>          | <b>54</b> |
| <b>7</b> | <b>Anhang .....</b>                       | <b>56</b> |
| 7.1      | Abbildungsverzeichnis .....               | 56        |
| 7.2      | Tabellenverzeichnis .....                 | 57        |
| 7.3      | Danksagung.....                           | 58        |
| 7.4      | Lebenslauf .....                          | 59        |

## Abkürzungsverzeichnis

|        |  |
|--------|--|
| ALD    | Abstand der engsten Stelle in der Nase vom Nasenloch, links                |
| ALQ    | Nasenquerschnitt links   |
| ALV    | Nasenvolumen links   |
| ARD    | Abstand der engsten Stelle in der Nase vom Nasenloch, rechts               |
| ARQ    | Nasenquerschnitt rechts  |
| ARV    | Nasenvolumen rechts  |
| b n    | Breite der Nase  |
| b ne   | Breite des Naseneingangs   |
| Dist.  | Distanz  |
| DRL    | Rhinomanometrie links, Differenz inspiratorisch-expiratorisch [ml/s]       |
| DRR    | Rhinomanometrie rechts, Differenz inspiratorisch-expiratorisch [ml/s]      |
| f n-e  | Fläche Naseneingang  |
| f nf-i | Fläche äußere Nasenklappe  |
| f nk   | Fläche innere Nasenklappe  |
| FBL    | Differenz Breite linker Naseneingang [cm], (Diff. left nostril width [cm]) |

|         |  |
|---------|--|
| FBLF    | Breite linker Naseneingang inspiratorisch, (Left nostril width insp.[cm])                                  |
| FBLN    | Breite linker Naseneingang [cm], (Left nostril width [cm])   |
| FBR     | Differenz Breite rechter Naseneingang [cm], (Diff. right nostril width [cm])                               |
| FBRF    | Breite rechter Naseneingang inspiratorisch, (Right nostril width insp.[cm])                                |
| FBRN    | Breite rechter Naseneingang [cm], (Right nostril width [cm])   |
| FFL     | Differenz Fläche linker Naseneingang [cm <sup>2</sup> ], (Diff. left nostril area sqcm])                   |
| FFLF/NL | Fläche linker Naseneingang inspiratorisch [cm <sup>2</sup> ], (Left nostril area insp. [sqcm]) / Nasenloch |
| FFLN/NL | Fläche linker Naseneingang [cm <sup>2</sup> ], (Left nostril area [sqcm]) / Nasenloch                      |
| FFR     | Differenz Fläche rechter Naseneingang [cm <sup>2</sup> ],(Diff. right nostril area[sqcm])                  |
| FFRF/NL | Fläche rechter Naseneingang inspiratorisch [cm <sup>2</sup> ], (Right nostril area insp.[sqcm])            |
| FFRN/NL | Fläche rechter Naseneingang [cm <sup>2</sup> ], (Right nostril area [sqcm])                                |
| FHLN    | Differenz Höhe linker Naseneingang [cm], (Diff. left nostril height [cm])                                  |
| FHLF    | Höhe linker Naseneingang inspiratorisch [cm],(Left nostril height insp.[cm])                               |

|      |   |
|------|---|
| FHLN | Höhe linker Naseneingang [cm], (Left nostril height [cm])   |
| FHR  | Differenz Höhe rechter Naseneingang [cm], (Diff. right nostril height [cm])                             |
| FHRF | Höhe rechter Naseneingang inspiratorisch [cm], (Right nostril height insp. [cm])                        |
| FHRN | Höhe rechter Naseneingang [cm], (Right nostril height [cm])   |
| FIL  | Differenz Fläche innere Nasenklappe links [cm <sup>2</sup> ], (Diff. inner alar area left [sqcm])       |
| FILF | Fläche innere Nasenklappe links inspiratorisch [cm <sup>2</sup> ], (Inner alar area left insp.[sqcm])   |
| FILN | Fläche innere Nasenklappe links [cm <sup>2</sup> ], (Inner alar area left [sqcm])                       |
| FIR  | Differenz Fläche innere Nasenklappe rechts [cm <sup>2</sup> ], (Diff. inner alar area right[sqcm])      |
| FIRF | Fläche innere Nasenklappe rechts inspiratorisch [cm <sup>2</sup> ], (Inner alar area right insp.[sqcm]) |
| FIRN | Fläche innere Nasenklappe rechts [cm <sup>2</sup> ], (Inner alar area right [sqcm])                     |
| FKL  | Differenz Fläche äußere Nasenklappe links [cm <sup>2</sup> ], (Diff. outer valve area left [sqcm])      |
| FKLF | Fläche äußere Nasenklappe links inspiratorisch [cm <sup>2</sup> ], (Outer valve area left insp. [sqcm]) |
| FKLN | Fläche äußere Nasenklappe links [cm <sup>2</sup> ], (Outer valve area left [sqcm])                      |



|         |   |
|---------|---|
| FKR     | Differenz Fläche äußere Nasenklappe rechts [cm <sup>2</sup> ], (Diff. outer vlave area right [sqcm])      |
| FKRF    | Fläche äußere Nasenklappe rechts inspiratorisch [cm <sup>2</sup> ], (Outer valve area right insp. [sqcm]) |
| FKRN    | Fläche äußere Nasenklappe rechts [cm <sup>2</sup> ], (Outer valve area right [sqcm])                      |
| FMB     | Differenz der Breite der Nase [cm], (Diff. total base width [cm])   |
| FMBF    | Breite der Nase inspiratorisch [cm], (Total base width insp. [cm])  |
| FMBN    | Breite der Nase [cm], (Total base width [cm])   |
| FMH     | Differenz der Höhe der Nase [cm], (Diff. total base height [cm])  |
| FMHF    | Höhe der Nase inspiratorisch [cm], (Total base height insp. [cm])   |
| FMHN    | Höhe der Nase[cm], (Total base height[cm])  |
| h n     | Höhe der Nase   |
| h ne    | Höhe des Naseneingangs  |
| insp.   | Inspiratorisch  |
| MCA tot | Abstand der engsten Stelle in der Nase vom Nasenloch, total   |
| NK      | Nasenklappe   |
| NL      | Nasenloch   |

## Abkürzungsverzeichnis

---

|       |                            |
|-------|----------------------------|
| norm. | Normal                     |
| ns    | nicht signifikant          |
| p     | Druck                      |
| Pa    | Pascal                     |
| REL   | Flow expiratorisch links   |
| RER   | Flow expiratorisch rechts  |
| RFT   | Flow total                 |
| RL    | Flow inspiratorisch links  |
| RMM   | Rhinomanometrie            |
| RR    | Flow inspiratorisch rechts |
| RSL   | Resistance links           |
| RSR   | Resistance rechts          |
| RST   | Resistance total           |
| tot.  | Total                      |

# 1 Einleitung

Die Hauptaufgabe der nasalen Atemwege besteht in der Gewährleistung eines ungehinderten Gasaustausches zwischen Lunge und Außenluft. Außerdem stellt die Nase einen zusätzlichen Strömungswiderstand dar, welcher den Lungendruck erhöht und atemphysiologisch von großer Bedeutung ist.

## 1.1 Wissenschaftlicher Hintergrund

Für die Strömungstechnik allgemein als relevant gelten mehrere Abschnitte im Inneren der Nase [3] [8] :

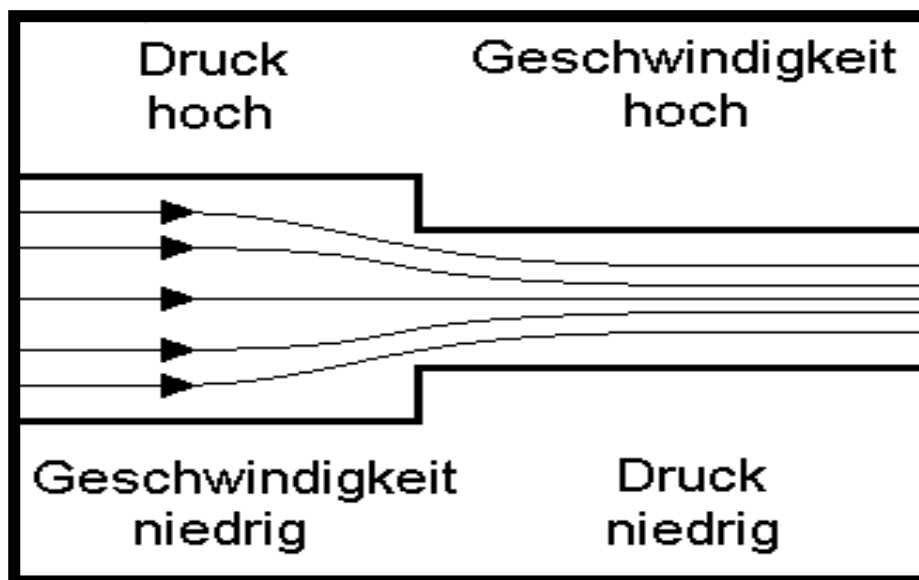
Zum einen der Querschnitt des vorderen Nasenlochs sowie die innere Nasenklappe, ein funktionell besonders wichtiger Abschnitt. Die Region direkt hinter der inneren Nasenklappe fungiert durch den steilen Öffnungswinkel als Diffusor, bewirkt eine Verlangsamung der Strömungsgeschwindigkeit und begünstigt damit Turbulenzen in der strömenden Luftsäule. Der sich daran anschließende mittlere Nasenabschnitt besitzt einen variablen Gesamtströmungsquerschnitt von 10-30 cm<sup>2</sup> und wird durch die Nasenmuscheln und die Nasengänge gebildet.

In einer (idealen) Strömung in einem Rohr ist normalerweise der Gesamtdruck an jeder Stelle konstant. Der Gesamtdruck besteht aus der Summe des statischen und dynamischen Druckes. Die Gleichung von Bernoulli [12] stellt dies dar:

$$p(\text{gesamt}) = p(\text{statisch}) + p(\text{dynamisch})$$

Mit Erhöhung der Strömungsgeschwindigkeit nimmt auch der dynamische Druck zu. Da aber der Gesamtdruck konstant bleibt, nimmt in Folge der statische Druck ab. Dies ist besonders bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten der Fall und führt zu einem statischen Unterdruck. Dies bedeutet, dass in der Nase an engen Stellen zum Beispiel an der inneren Nasenklappenregion, der statische Druck kleiner ist als an weiten. Vor allem bei der forcierten Inspiration kann dies zu einer Verengung oder sogar zu einem Kollaps der Nasenflügel führen und damit die

Nasenatmung erschweren [13]. Prädestiniert dafür sind Patienten mit von Natur aus schon engen Nasenklappen oder eng stehenden Nasenflügeln. Bei diesen Patienten kann dieser Unterdruck zu einem Kollaps beziehungsweise Nasenflügelansaugphänomen führen.



**Abbildung 1: Gesetz von Bernoulli, Zusammenhang von Druck und Strömungsgeschwindigkeit.**

## 1.2 Die innere und äußere Nasenklappe

In der medizinischen Praxis und Klinik stellt die Behinderung der normalen physiologischen Nasenatmung ein häufiges Problem dar. Eine behinderte oder erschwerte Nasenatmung stellt für den Menschen zwar normalerweise keine Lebensbedrohung dar, dennoch hat ihre Störung erhebliche Auswirkungen. Nicht nur auf die spezifisch nasale Funktion sondern auch auf das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit allgemein. Für die meisten Patienten und viele Chirurgen ist die nasale Obstruktion ein Synonym für Septumdeviation oder die Hypertrophie der unteren Nasenmuschel [9]. Darüber hinaus sind aber auch angeborene und traumatische sowie degenerative Veränderungen ausschlaggebend. Genauso kann der Grund für die behinderte Nasenatmung aber auch an den Nasenklappen liegen. Eine altersbedingte Degeneration der Nasenknorpel oder Erschlaffung des umgebenden Gewebes, ebenso eine zu breite Columella-Basis oder die Position

und Mobilität der Nasenflügel können die Einengung oder das Ansaugphänomen im Bereich der Nasenklappen herbeiführen [14].

Die Tatsache, dass in der Nase eine Klappe vorhanden ist wurde schon sehr früh von Mink beschrieben. Er benutzte in diesem Zusammenhang das Wort Klappe für den engsten Bereich innerhalb der Nase [16]. Dieser Bereich wird heute als innere Nasenklappe angesehen und wird durch den freien Rand des Seitenknorpels und die angrenzende Nasenscheidewand gebildet [5]. Über diesen Bereich ist in der Literatur schon einiges bekannt. Die innere Nasenklappe ist die engste Stelle in der Nase [1]. Sie liegt etwa 1,5 cm vom vorderen Nasenloch entfernt und ihre Fläche beträgt im Durchschnitt 0,5 cm<sup>2</sup> [7],[20],[18],[22]. Doch einige Autoren beschreiben noch eine weitere Klappe als für den nasalen Atemstrom wichtig, die äußere Nasenklappe. Sie wird gebildet vom caudalen Ende des Naseneingangs, des seitlichen Schenkels des Flügelknorpels und dessen äußeren und inneren geweblichen Anteilen [15]. Über diesen Bereich existieren in der Literatur noch einige Unklarheiten. Es ist bekannt, dass dieser Bereich zwar kein physiologisch angelegter Regler der Strömungsverhältnisse in der Nase ist aber bei Patienten mit Nasenflügelansaugphänomen gewinnt dieser Bereich an Bedeutung. So ist der laterale Flügelknorpel als der labilste Teil des Nasengerüsts, obwohl er nicht der engste Abschnitt im Naseninneren ist, ausschlaggebend beim Kollaps der Nasenflügel [23]. Wobei es für die Therapie der behinderten Nasenatmung, die auf den Klappenbereich zurückfällt, trotzdem wichtig ist zu unterscheiden ob die innere oder die äußere Klappe ursächlich ist. So betrifft bei der so genannten Spannungsnase die Verengung die innere Klappe, wobei bei mangelnder Festigkeit der Nasenflügel eher die äußere Klappe betroffen ist. Außerdem ist die Erfassung der Planimetrie der Nase wichtig um nach Operationen das Ergebnis objektivieren zu können.

Die Unterscheidung und richtige Einordnung der Ursache der Verengung, beziehungsweise des Kollapses unterliegt bis heute leider dem Untersucher und ist damit sehr subjektiv. Auch die objektive Darstellung des Operationsergebnisses nach beispielsweise einer Batten Graft Operation der Nasenflügel, ist im Moment noch nicht befriedigend möglich.

Mit der hier beschriebenen Methode wurden mehrere Größen an der Nase, unter anderem auch die äußere Nasenklappe, planimetrisch vermessen und für diesen Bereich damit erstmals Normalwerte erhalten.

### **1.3 Ziele**

Mit dieser Arbeit wurden mehrere Fragestellungen verfolgt. Ein Ziel ist es, eine neue Messmethode zur objektiven Beurteilung, im Besonderen der Nasenklappenregion, zu entwickeln und zu evaluieren.

Normalwerte sollen für Gesunde bei normaler Atmung und bei forcierter Inspiration planimetrisch festgelegt werden. Außerdem sollen die jeweiligen Veränderungen bei normaler Atmung und bei forcierter Inspiration dargestellt werden. Gleichzeitig soll herausgefunden werden, mit welchen Parametern man am besten das Ansaugphänomen der Nasenflügel darstellen kann, um zum Beispiel in Zukunft nach einer Batten Graft Operation das Maß der Minderung des Nasenkollapses postoperativ zu objektivieren. Darüber hinaus soll die Reliabilität erprobt und der Grad der Korrelation mit der anterioren Rhinomanometrie und der akustischen Rhinometrie festgestellt werden.

Ein weiteres Ziel stellen die Erfassung und der Vergleich der Querschnittsverhältnisse der inneren Nasenklappe und des äußeren Nasenlochs bei Gesunden und bei Patienten mit engen Nasenklappen und/oder Nasenflügelansaugphänomen in Ruheatmung und forcierter Inspirationsstellung dar.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Studiendesign**

Es handelte sich um eine monozentrische, prospektive klinische Studie, die in zwei Studienphasen durchgeführt wurde. Das Projekt lag zuvor der Ethikkommission der Universität Ulm zur Beratung vor. Gegen die Durchführung der Versuche bestanden aus ethischen Gesichtspunkten keine Bedenken.

### **2.2 Studienablauf und Probanden**

Die Studie wurde in zwei Phasen geplant und durchgeführt. In der ersten Studienphase wurden bei 30 gesunden Probanden an drei Tagen im Abstand von mindestens vier Tagen jeweils eine anteriore Rhinomanometrie und eine akustische Rhinometrie durchgeführt. Des Weiteren wurde wiederum an allen drei Tagen die Nase planimetrisch vermessen. In der zweiten Studienphase wurden an zehn gesunden Probanden und an zehn Patienten mit engen Nasenklappen und/oder Nasenflügelansaugphänomen eine anteriore Rhinomanometrie sowie die planimetrische Vermessung der Nase durchgeführt. Außerdem wurden die Probanden und Patienten zu nasal bedingten Befindlichkeitsstörungen befragt und untersucht.

### **2.3 Einschlusskriterien**

Einschlusskriterien für beide Studienphasen:

- Kaukasier
- Alter zwischen 18 und 65 Jahren
- Einverständnis bei vollständiger Information

Spezielle Einschlusskriterien in der ersten Studienphase und für die zehn gesunden Probanden in der zweiten Studienphase:

- Nasengesunde ohne wahrnehmbare Nasenatmungsbehinderung

Spezielle Einschlusskriterien für die zehn Patienten in der zweiten Studienphase:

- Patienten mit Nasenflügelansaugphänomen oder engen Nasenklappen, die eine Nasenatmungsbehinderung realisieren und wenigstens über eines der folgenden Symptome in den letzten vier Tagen klagten:
  - verstopfte Nase
  - trockener Hals und/oder Rachen
  - nächtliche Mundatmung mit Schnarchen
  - Schlafstörungen mit Tagesmüdigkeit

## **2.4 Ausschlusskriterien**

Allgemeine Ausschlusskriterien waren folgende:

- Relevante Septumdeviation
- Nasenmuschelhyperplasie
- Privityismus
- Chronische Erkrankungen der Nasennebenhöhlen
- Akute Erkrankungen von Nase und Nasennebenhöhlen in den letzten sechs Wochen
- Operationen im Bereich der Nase und Nasennebenhöhlen in den letzten zwölf Monaten
- Akute und chronische Erkrankungen der unteren Atemwege
- Schwangerschaft oder Stillzeit



## 2.5 Rhinomanometrie

### 2.5.1 Hintergrund

Um die strömungsphysikalischen Größen der nasalen Atemwege messtechnisch zu erfassen hat sich in der Praxis die Rhinomanometrie durchgesetzt [17]. Sie wird besonders in der Rhinologie [2] und Allergologie [4] eingesetzt.

Damit die Atemluft durch die Nase strömen kann benötigt man eine Druckdifferenz zwischen dem Außenraum und dem Nasopharynx, den transnasalen Druck. Ist der äußere Druck größer als der Druck im Nasopharynx so wird eingeatmet. Ist er kleiner wird ausgeatmet [13]. Bei der Rhinomanometrie wird gleichzeitig der Volumenstrom (Flow) gemessen. Darunter versteht man das Volumen, welches pro Zeiteinheit durch die Nase strömt. Es wird gleichzeitig der nasale Volumenstrom (Flow) auf einer Seite und die Druckdifferenz zwischen Nasopharynx und Außenluft auf der anderen Nasenseite gemessen. Da der transnasale Druck bei normaler Nasenatmung meist 150 Pascal beträgt, haben wir für unsere Berechnungen den Volumenstrom (Flow) im Rhinogramm bei transnasaler Druckdifferenz von 150 Pascal [ml/sec] genommen. Eine weitere Messgröße, die angegeben wird, ist der nasale Widerstand (Resistance). Er errechnet sich wie folgt:

$Resistance = \text{transnasale Druckdifferenz} / \text{Flow}$

Bekannt sind die anteriore und posteriore Rhinomanometrie. Mittels einer Sonde im Nasopharynx (posteriore Rhinomanometrie) ist die Registrierung der Druckdifferenz direkt möglich, sowie indirekt über ein nach außen abgedichtetes Nasenloch, in dem sich nach Verschluss derselbe Druck wie im Nasenrachenraum einstellt (anteriore Rhinomanometrie). Da die posteriore Methode von den Patienten wegen der auftretenden Würgereize als sehr unangenehm empfunden wird und durch die unwillkürliche Bewegung im Bereich des Gaumens teilweise erhebliche Druckschwankungen entstehen, haben wir die anteriore Methode gewählt.

### 2.5.2 Durchführung

Bei 30 Probanden wurde in der ersten Studienphase an drei Tagen im Abstand von mindestens vier Tagen eine anteriore Rhinomanometrie angefertigt. In der zweiten Phase wurde sie jeweils bei zehn Gesunden und bei zehn Patienten mit engen Nasenklappen und/oder Nasenflügelansaugphänomen einmalig durchgeführt. Die Ergebnisse wurden ausgewertet, evaluiert, auf ihre Reproduzierbarkeit und Validität geprüft und mit den in der Literatur vorhandenen Werten verglichen.

Es wurde das Gerät Rhinomanometer 300 der Firma Atmos benutzt. Die Messdaten wurden in Y/t-Schreibweise auf dem LC-Display dargestellt und als Rhinogramm (Atemzange) mit Hilfe eines Thermoprinters ausgedruckt. Ein geräteinternes Datenverarbeitungsverfahren, die computer aided rhinomanometry, unterstützte die Eliminierung von Messartefakten. Die Atemmaske, eine Nase-Mund-Maske, wurde mit Hilfe von Messschläuchen mit dem Rhinomanometer verbunden und der Volumenstrom, Flow in [ml/sec] erfasst. Gleichzeitig wurde über ein im anderen Nasenloch festgemachten Druckadapter die Druckdifferenz zwischen Nasopharynx und Außenluft registriert. Wobei keine Nasenadapter benutzt wurden, sondern der Druckadapterschlauch wurde mit Hilfe von Klebestreifen an der Nase befestigt. Somit konnte ohne Veränderung der äußeren Nasenform gemessen werden. Der Proband wurde gebeten, drei komplette Atemzüge zu vollziehen, woraus dann der Mittelwert errechnet wurde. Außerdem wurde der Widerstand, Resistance, in [Pa\*ml/sec] errechnet, wobei alle Angaben sowohl getrennt für das rechte und linke Nasenloch als auch total ermittelt wurden. Außerdem wurde die Differenz zwischen expiratorischem und inspiratorischem Flow [ml/sec] für rechts und links betrachtet. Die Dokumentation erfolgte in Zahlen und graphisch. Die Untersuchung wurde ohne abschwellende Nasentropfen und nach angemessener Akklimatisation des Probanden an die Raumluftverhältnisse durchgeführt.



**Abbildung 2: Versuchsaufbau Rhinomanometrie**

## **2.6 Akustische Rhinometrie**

### **2.6.1 Hintergrund**

Bei der akustischen Rhinometrie handelt es sich um ein schnelles, objektives und nicht invasives Messverfahren, mit dessen Hilfe man die Geometrie der Nasenhaupthöhle darstellen kann. Da sie weder schmerzhaft noch unangenehm ist und nur wenige Sekunden dauert, kann sie sehr gut in fast allen Fällen eingesetzt werden.

Von Jackson und Mitarbeiter wurde 1977 ein Modell entwickelt, um Querschnitte in den tiefen Atemwegen berechnen zu können, die akustische Rhinometrie.

In die Rhinologie eingeführt haben diese Methode Hilberg und Mitarbeiter [10], [11]. Sie stellt heute eine effektive Ergänzung der Diagnostik nasaler Probleme dar. Mit ihrer Hilfe wurde der Erfolg nach Durchführung einer Septumplastik bei Septumdeviation belegbar [21]. Der Einfluss lokaler Applikation abschwellender Nasensprays- oder tropfen sowie Allergene ließ sich nachweisen [19]. Außerdem gelang es mit der akustischen Rhinometrie, neue Erkenntnisse im Zusammenhang mit dem nasalen Zyklus zu gewinnen. In der Fachliteratur nimmt die akustische Rhinometrie also einen festen Platz ein. Sie ist ein statisches Verfahren, bei dem die räumlichen Ausdehnungen und Volumina berechnet werden. Das Prinzip liegt in der Messung der Reflexion eines akustischen Signals. Das von uns gewählte

System nutzt hierzu ein fortlaufendes Breitbandgeräusch. Die Messsonde ist durch ein anatomisch angepasstes Zwischenstück mit dem Nasenloch verbunden. Dabei muss der Adapter so an der Nase anliegen, dass keine Luft entweichen kann. Das in der Messsonde eingebaute Mikrofon nimmt dabei das Sendesignal und das reflektierte Signal auf und es wird die Differenz zwischen dem ausgestoßenen und dem reflektierten Geräuschen mit Hilfe eines Datenprogrammes analysiert, und zwar von einem digitalen Signalprozessor 20-mal pro Sekunde mit Hilfe der modernen Transducer Technologie, bei einer Geschwindigkeit der Lautstärke von 340 m/sec.

Das Ergebnis der rhinometrischen Messungen wird graphisch in Form einer Kurve illustriert und in Zahlen angegeben, wobei meist eine Kurve mit drei Engstellen entsteht. Die engste Stelle ist dabei normalerweise 1,5 cm vom Naseneingang nach proximal hin lokalisiert und wird allgemein mit der inneren Nasenklappe gleichgesetzt, wobei die Genauigkeit der Messungen bei Erwachsenen, Herstellerangaben nach, bis durchschnittlich 5,5 cm aufwärts in die Nase reicht.

### **2.6.2 Durchführung**

Bei 30 Probanden wurde in der ersten Studienphase an drei Tagen im Abstand von mindestens vier Tagen eine akustische Rhinometrie angefertigt. Die Ergebnisse wurden ausgewertet, evaluiert, auf ihre Reproduzierbarkeit und Validität geprüft und mit den in der Literatur vorhandenen Werten verglichen.

Für die akustische Rhinometrie wurde das Gerät RhinoScan benutzt. Die Messanordnung bestand aus einem akustischen Signalgeber am unteren Ende der Messsonde. Nach erfolgter Kalibrierung wurde auf die Messsonde ein anatomisch geformter Nasenadapter aufgesetzt, der einen schalldichten Verschluss der zu messenden Nasenhöhle möglich machte, ohne dabei den Naseneingang zu verformen oder die hier gegebenen Querschnitte zu verändern. Über ein in der Messsonde befindliches Mikrofon wurden aufgenommene und ausgesendete Signale über ein Acoustic Transducer (Wandler) auf den Personalcomputer weitergeleitet. Die Systemsoftware von RhinoScan steuerte hierbei die Messvorgänge.

Nach angemessener Akklimatisation des Probanden an die Raumluftverhältnisse wurde die Messung je dreimal für das rechte Nasenloch als auch für das linke durchgeführt. Daraus errechnete der Computer dann den Mittelwert. Berechnet wurden der Abstand der engsten Stelle in der Nase vom Nasenloch in cm, der Nasenquerschnitt in  $\text{cm}^2$  und das Volumen in  $\text{cm}^3$ . Die Dokumentation erfolgte graphisch und in Zahlen und wurde mit Hilfe eines Druckers ausgedruckt. Es wurden wiederum keine Schleimhaut abschwellende Mittel benutzt.



**Abbildung 3: Versuchsaufbau akustische Rhinometrie**

## 2.7 Ermittlung der Nasenparameter per Fototechnik

### 2.7.1 Versuchsaufbau

Um zu vergleichbaren Messergebnissen zu kommen wurde ein fester Versuchsaufbau entwickelt und montiert. Dabei befand sich die Digitalkamera fest installiert auf einer dafür entwickelten Halterung. Wobei die Möglichkeit der Feineinstellung der Position durch Verschieben an zwei Stellen mittels Plastikknäuf (ein seitlicher und ein vorderer) gegeben war. Mit Hilfe eines Kamerakabels wurde die Kamera mit einem Bildschirm verbunden, so konnte das zu machende Bild betrachtet werden und der Nasensteg in die Mitte des Bildschirms ausgerichtet werden. Zu diesem Zweck befand sich in der Mitte des Bildschirms eine vorgezeichnete vertikale Linie. Diese Linie sollte dann mit der Linie, die sich auf der Kinnhalterung befand eine Durchgehende ergeben und

Idealerweise mittig durch die Nase laufen, d.h. vertikal durch den Nasensteg hindurch. Der Kamera gegenüber befand sich, wiederum fest mit der Unterlage verschraubt, eine Kinn-Stirn-Ablage. Diese gewährleistete, dass der Proband seinen Kopf nicht stark bewegen konnte und er sich bei allen Bildern an derselben Stelle befand. Als optimal erwies sich ein Kamerawinkel von  $\alpha = 70^\circ$  und eine Entfernung der Kamera vom vorderen Plastikknopf von 11 cm. Daraus ergab sich, dass sich die Nase des Probanden ungefähr 24,5 cm weg von der Linse der Kamera befand und ein Abstand von der Nase zum vorderen Plastikknopf von ungefähr 23 cm entstand.

$\sinus \alpha = \text{Gegenkathete} / \text{Hypotenuse}$

$\sinu \alpha = 23 \text{ cm} / 24,5 \text{ cm}$

$\Rightarrow \alpha = 70^\circ (69,8\dots)$

### 2.7.2 Durchführung

Wir untersuchten wiederum dieselben 30 nasengesunden Probanden der ersten Studienphase an drei unterschiedlichen Tagen sowie die zehn gesunden Probanden und die zehn Patienten mit engen Nasenklappen und/oder Nasenflügelansaugphänomen der zweiten Studienphase. Dabei wurde jeweils ein Foto mit der Kamera Canon Digital IXUS 40 in normaler Respirationsstellung sowie in forcierter Inspirationsstellung aufgenommen.

Der Proband/Patient wurde gebeten, dem Prüfer gegenüber Platz zu nehmen und seinen Kopf auf der Kinn-Stirn-Ablage zu platzieren. Daraufhin richtete der Prüfer die Kamera und den Probanden so aus, dass der Nasensteg des Probanden und die beiden vorgezeichneten Linien an Bildschirm und Kinnablage eine ineinander übergehende Linie ergaben. Dem Probanden wurde ein roter Punkt von unten an der Nase fixiert. Dieser Punkt hatte einen Durchmesser von einem cm und diente später als Eichpunkt für die Umrechnung von Pixel in cm beziehungsweise  $\text{cm}^2$ .

Des Weiteren wurde nun ein Foto sowohl in normaler Respirationsstellung als auch in forcierter Inspirationsstellung geschossen. Dabei zählte der Prüfer laut bis drei und der Proband hatte die Anweisung bei drei durch die Nase forciert einzuatmen. In diesem Moment wurde dann das Foto ausgelöst. Das Foto wurde

im Anschluss auf den Computer Optiplex GX 620 von der Firma Dell kopiert und hier mit Hilfe des Touchscreen-Bildschirmes Cintiq 21 UX von Wacom bearbeitet.

### 2.7.3 Auswertung

Alle Messungen wurden unter Berücksichtigung der Monitorauflösung (72 Pixel/cm) erst in Pixel gemessen und dann in cm oder cm<sup>2</sup> umgerechnet. Für die Auswertung der Bilder wurde die Bildbearbeitungssoftware Adobe Photoshop CS2 Version 9,0 verwendet.

Vermessen wurden in der ersten Studienphase folgende Größen:

Weißer Linie = Grundlinie

h n = Höhe der Nase

b n = Breite der Nase

h ne = Höhe des Naseneingangs

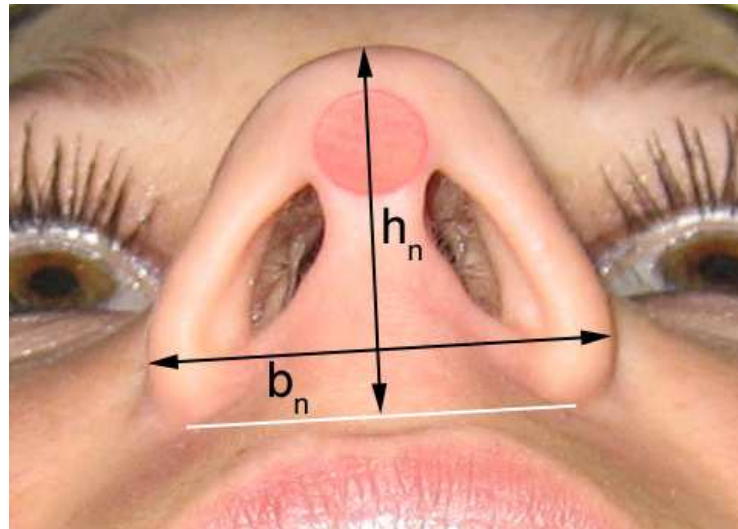
b ne = Breite des Naseneingangs

f n-e = Fläche Naseneingang

f nf-i = Fläche äußere Nasenklappe

f nk = Fläche innere Nasenklappe

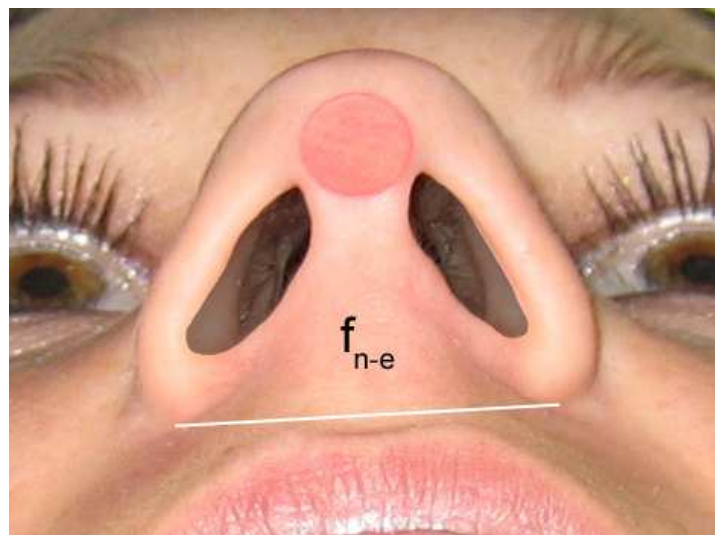
- Maximale Höhe der Nase in Pixel, in normaler Respirationstellung und in forcierter Inspirationsstellung.
- Maximale Breite der Nase in Pixel, in normaler Respirationstellung und in forcierter Inspirationsstellung.



**Abbildung 4: Höhe-Breite Nase**

( $h_n$  = Höhe der Nase,  $b_n$  = Breite der Nase)

- Fläche des rechten Naseneingangs in Pixel, in normaler Respirationsstellung und in forcierter Inspirationsstellung.
- Fläche des linken Naseneingangs in Pixel, in normaler Respirationsstellung und in forcierter Inspirationsstellung.



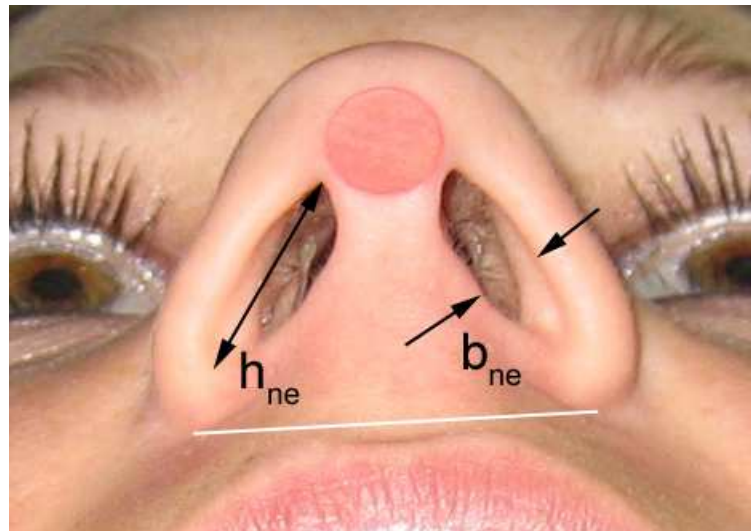
**Abbildung 5: Fläche Naseneingang**

( $f_{n-e}$  = Fläche Naseneingang)

- Maximale Höhe des rechten Naseneingangs in Pixel, in normaler Respirationsstellung und in forcierter Inspirationsstellung.
- Maximale Höhe des linken Naseneingangs in Pixel, in normaler Respirationsstellung und in forcierter Inspirationsstellung.



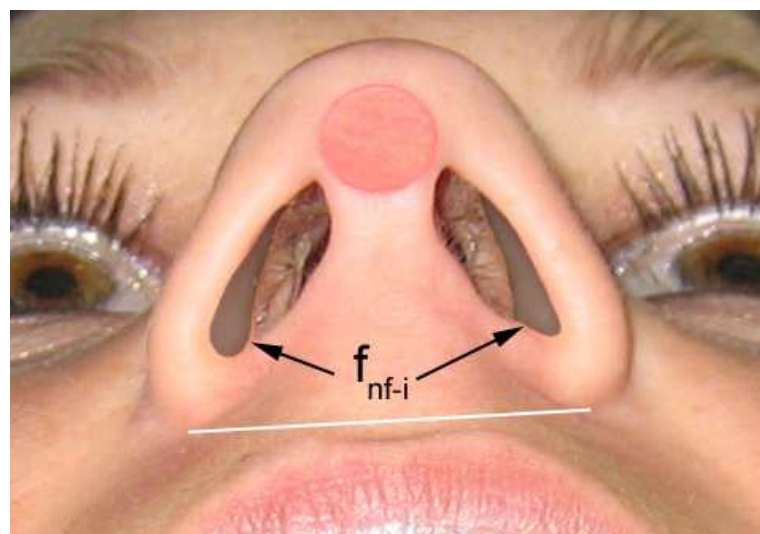
- Maximale Breite des rechten Naseneingangs in Pixel, in normaler Respiationsstellung und in forcierter Inspirationsstellung.
- Maximale Breite des linken Naseneingangs in Pixel, in normaler Respiationsstellung und in forcierter Inspirationsstellung.



**Abbildung 6: Höhe-Breite Naseneingang**

(h ne = Höhe des Naseneingangs, b ne = Breite des Naseneingangs)

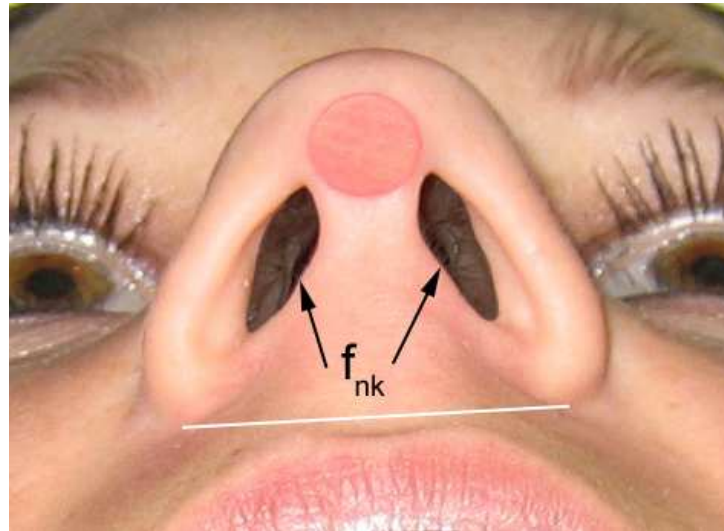
- Fläche äußere Nasenklappe, rechts in Pixel, in normaler Respiationsstellung und in forcierter Inspirationsstellung.
- Fläche äußere Nasenklappe, links in Pixel, in normaler Respiationsstellung und in forcierter Inspirationsstellung.



**Abbildung 7: Äußere Nasenklappe**

(f nf-i = Fläche äußere Nasenklappe)

- Fläche innere Nasenklappe rechts in Pixel, in normaler Respiationsstellung und in forcierter Inspirationsstellung.
- Fläche innere Nasenklappe links in Pixel, in normaler Respiationsstellung und in forcierter Inspirationsstellung.



**Abbildung 8: Innere Nasenklappe**  
(f<sub>nk</sub> = Fläche innere Nasenklappe)

In der zweiten Studienphase wurden folgende Größen vermessen:

- Fläche innere Nasenklappe (NK) rechts in Pixel, in normaler Respiationsstellung und in forcierter Inspirationsstellung.
- Fläche innere Nasenklappe (NK) links in Pixel, in normaler Respiationsstellung und in forcierter Inspirationsstellung
- Fläche des rechten vorderen Nasenlochs (NL) in Pixel, in normaler Respiationsstellung und in forcierter Inspirationsstellung.
- Fläche des linken vorderen Nasenlochs (NL) in Pixel, in normaler Respiationsstellung und in forcierter Inspirationsstellung.

Anhand des roten Eichpunktes wurde zu Beginn jeder Messung zunächst der Durchmesser dieses Punktes in Pixel gemessen. So ergab sich für jedes Bild ein etwas anderer Eichwert um von Pixel in cm oder cm<sup>2</sup> umzurechnen. Mit Hilfe der Bildbearbeitungssoftware Adobe Photoshop CS2 Version 9,0 konnten die Strecken und Flächen ermittelt werden, indem man das gewünschte Areal auf dem Bildschirm nachzeichnete. Dieses Programm war dann in der Lage zu errechnen, wie viele Pixel das jeweils nachgezeichnete Areal besaß. Die Umrechnung von Pixel in cm beziehungsweise in cm<sup>2</sup> erfolgte nach folgenden Formeln:

$$\text{cm} = (1 / \text{Pixel des Eichpunktes}) * \text{Pixel der Strecke}$$

$$\text{cm}^2 = ((1/\text{Pixel des Eichpunktes})^2) * \text{Pixel der Fläche}$$

Alle Daten wurden dann in eine Excel-Tabelle eingegeben und die Statistiken wurden erstellt.

## 2.8 Statistische Methoden

Daten von Rhinomanometrie, akustischer Rhinometrie und Planimetrie der Nasenbasis wurden grafisch auf symmetrisch eingipfelige, glockenförmige Verteilung geprüft und anhand von Mittelwert und Standardabweichung dargestellt. Da es sich um eine rein exploratorische Untersuchung mit multiplen Messungen handelt, wurde auf Angabe eines Signifikanzniveaus verzichtet und es werden lediglich die p-Werte der jeweiligen Tests dargestellt.

Die Test-Retest-Reliabilität wurde mit Cronbach's alpha beschrieben. Häufigkeiten dichotomer Merkmale wurden tabellarisch dargestellt und Häufigkeitsunterschiede mit dem Fischer Yates Test geprüft. Der intraindividuelle Vergleich der genannten Messwerte bei Normalatmung und bei forcierter Inspiration wurde mit dem Vorzeichenrangtest nach Wilcoxon auf Unterschiede geprüft. Unterschiede der

Messwerte von Rhinomanometrie und Planimetrie der Nasenbasis bei Gesunden und Patienten mit inspiratorischem Nasenflügelkollaps wurden mit dem Mann-Whitney-U-Test geprüft. Zur Beschreibung linearer Zusammenhänge zwischen den Ergebnissen der einzelnen Messverfahren wurde Korrelationskoeffizienten nach Pearson verwendet.

## **3 Ergebnisse**

### **3.1 Ergebnisse der ersten Studienphase**

#### **3.1.1 Reproduzierbarkeit**

##### **3.1.1.1 Rhinomanometrie**

Bestimmt wurden in der ersten Studienphase der nasale Flow [ml/sec] inspiratorisch und expiratorisch für rechts (RR/RER), links (RL/REL) und total (RFT) sowie die Resistance [Pa\*ml/sec] für rechts (RSR), links (RSL) und total (RST). Außerdem wurde die Differenz des Flows für die Inspiration und Expiration rechts (DRR) und links (DRL) betrachtet. Wiederum alle Messwiederholungen für Tag 1, Tag 2 und Tag 3.

Anhand der Ergebnisse und der Grafik kann eine Normalverteilung angenommen werden.

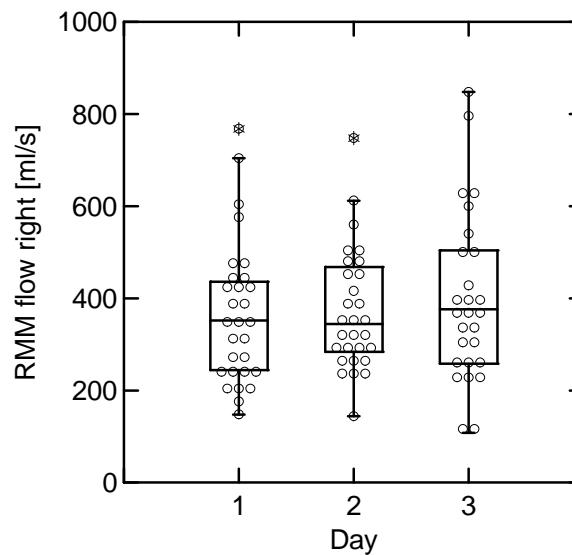
Zur Beurteilung der Reliabilität wurde in der ersten Studienphase auf das Cronbach`s alpha zurückgegriffen.

**Tabelle 1: Rhinomanometrie, Mittelwert und Standardabweichung**

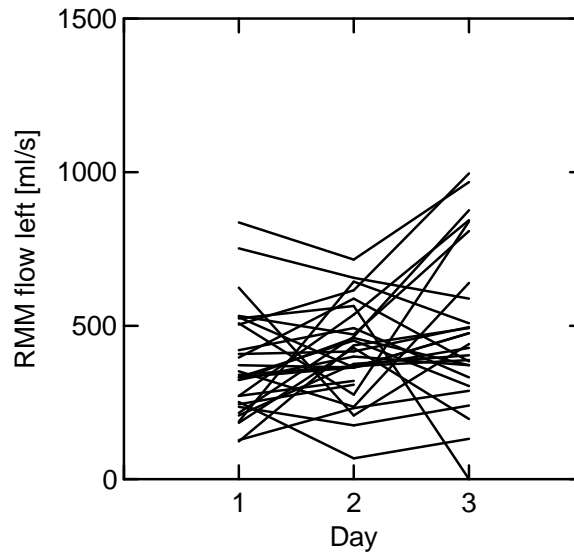
|     | Tag1              | Tag2              | Tag3              | Cronbach`s<br>alpha |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|
| RR  | 369.66<br>±151.06 | 371.45<br>±132.10 | 397.78<br>±185.57 | 0.1                 |
| RER | 335.17<br>±104.87 | 333.93<br>±102.10 | 364.26<br>±130.77 | 0.5                 |
| RL  | 370.07<br>±174.87 | 413.79<br>±153.68 | 492.15<br>±255.40 | 0.6                 |
| REL | 338.10<br>±152.92 | 361.25<br>±112.07 | 460.74<br>±168.93 | 0.7                 |
| RFT | 739.72<br>±202.67 | 785.24<br>±216.54 | 889.93<br>±261.44 | 0.4                 |
| RSR | 0,47<br>±0.19     | 0,45<br>±0.17     | 0.47<br>±0.28     | 0.4                 |
| RSL | 0.50<br>±0.26     | 0.45<br>±0.37     | 0.37<br>±0.21     | 0.6                 |
| RST | 0.22<br>±0.07     | 0.20<br>±0.07     | 0.18<br>±0.10     | 0.6                 |
| DRR | 34.48<br>±76.92   | 24.07<br>±38.53   | 33.52<br>±87.89   | -0.2                |
| DRL | 31.97<br>±44.84   | 51.75<br>±66.24   | 31.41<br>±191.65  | 0.3                 |

(RR Flow inspiratorisch rechts, RER Flow expiratorisch rechts, RL Flow inspiratorisch links, REL Flow expiratorisch links, RFT Flow total, RSR Resistance rechts, RSL Resistance links, RST Resistance total, DRR Rhinomanometrie rechts, Differenz inspiratorisch-expiratorisch [ml/s], DRL Rhinomanometrie links, Differenz inspiratorisch-expiratorisch [ml/s])

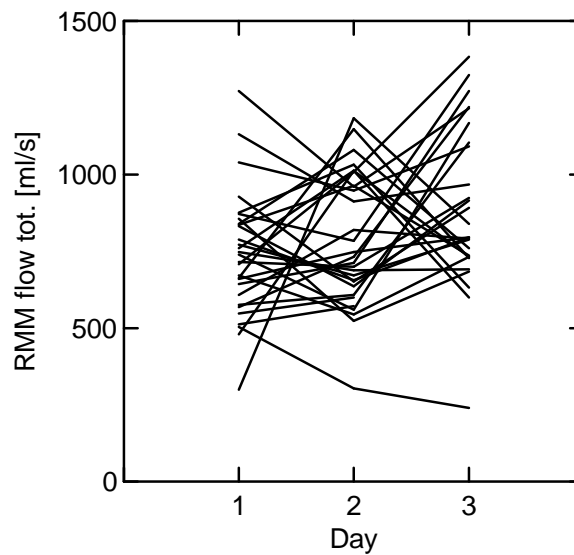
Im Gesamtkollektiv zeigten sich die Messungen als konsistent, wobei intraindividuell erhebliche Schwankungen festzustellen waren. Sowohl bei den Messungen zum Flow rechts und links als auch beim Flow total. Außerdem war ein Trend nach oben zu beobachten (Abb.: 9, 10, 11).



**Abbildung 9: Graphische Darstellung der Rhinomanometriewerte für Tag1, Tag2 und Tag3.** Abszisse = Tage, Ordinate = Höhe der Rhinomanometriewerte (Flow). (RMM = Rhinomanometrie)



**Abbildung 10: Graphische Darstellung der Reproduzierbarkeit der Rhinomanometriewerte mit Trend nach oben für Tag1, Tag2 und Tag3.** Abszisse = Tage, Ordinate = Höhe der Rhinomanometriewerte (Flow). (RMM = Rhinomanometrie)



**Abbildung 11: Graphische Darstellung der Reproduzierbarkeit der Rhinomanometriewerte mit intraindividuellen Schwankungen für Tag1, Tag2 und Tag3.** Abszisse = Tage, Ordinate = Höhe der Rhinomanometriewerte (Flow). (RMM = Rhinomanometrie, tot. = total)



### 3.1.1.2 Akustische Rhinometrie

Berechnet wurden, jeweils für rechts und links, der Abstand der engsten Stelle in der Nase vom Nasenloch in cm (ARD/ALD), der Nasenquerschnitt in cm<sup>2</sup> (ARQ/ALQ) und das Volumen in cm<sup>3</sup> (ARV/ALV). Sowie der Abstand der engsten Stelle total (MCA tot).

Anhand der Ergebnisse kann, außer für die Distanz, von einer Normalverteilung ausgegangen werden.

Bei der Distanz kam es zu einem Deckeneffekt.

Die Werte für die MCA tot waren relativ konsistent, wobei die Ergebnisse für die Distanz nicht sehr konsistent waren und einen Trend nach unten aufwiesen. Verwendet wurden alle Messwiederholungen.

Zur Beurteilung der Reliabilität wurde wiederum das Cronbach`s alpha herangezogen.

**Tabelle 2: Akustische Rhinometrie. Mittelwert und Standardabweichung von Querschnitt, Volumen, MCA tot.**

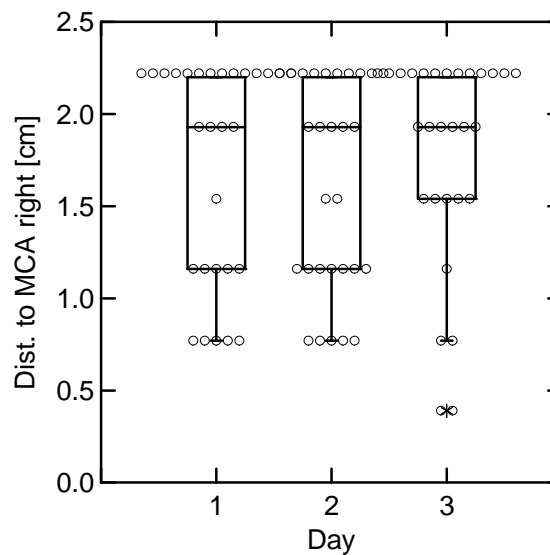
|         | Tag1          | Tag2          | Tag3          | Cronbach`s<br>alpha |
|---------|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| ARQ     | 0.61<br>±0.13 | 0.62<br>±0.15 | 0.55<br>±0.16 | 0.8                 |
| ARV     | 1.98<br>±0.28 | 2.02<br>±0.32 | 1.87<br>±0.33 | 0.8                 |
| ALQ     | 0.58<br>±0.16 | 0.60<br>±0.15 | 0.54<br>±0.12 | 0.8                 |
| ALV     | 1.96<br>±0.33 | 1.99<br>±0.30 | 1.89<br>±0.29 | 0.9                 |
| MCA tot | 1.20<br>±0.24 | 1.21<br>±0.26 | 1.09<br>±0.23 | 0.8                 |

(ARQ Nasenquerschnitt rechts, ARV Nasenvolumen rechts, ALQ Nasenquerschnitt links, ALV Nasenvolumen links, MCA tot Abstand der engsten Stelle in der Nase vom Nasenloch, total )

**Tabelle 3: Akustische Rhinometrie. Median der Distanz.**

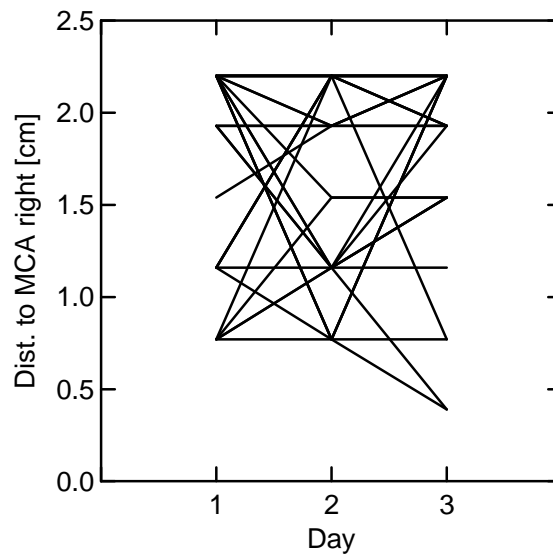
|     | Tag1                | Tag2             | Tag3             | Cronbach`s alpha |
|-----|---------------------|------------------|------------------|------------------|
| ARD | 1.93<br>(1.16;2.20) | 1.93 (1.16;2.20) | 1.93 (1.54;2.20) | 0.5              |
| ALD | 1.93<br>(1.16;2.20) | 1.54 (1.16;2.20) | 1.54 (0.77;2.00) | 0.7              |

(ARD Abstand der engsten Stelle in der Nase vom Nasenloch rechts, ALD Abstand der engsten Stelle in der Nase vom Nasenloch, links)

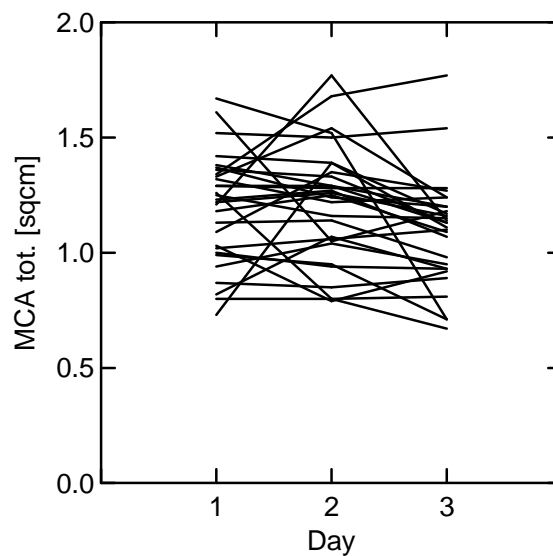


**Abbildung 12: Graphische Darstellung der Distanz für Tag1, Tag2 und Tag3 mit Deckeneffekt.** Abszisse = Tage, Ordinate = Distanzwerte.

(Dist. to MCA right = Abstand der engsten Stelle in der Nase vom Nasenloch rechts)



**Abbildung 13: Graphische Darstellung der Reproduzierbarkeit der Distanz rechts für Tag1, Tag2 und Tag3.** Abszisse = Tage, Ordinate = Distanzwerte. (Dist. to MCA right Abstand der engsten Stelle in der Nase vom Nasenloch rechts)



**Abbildung 14: Graphische Darstellung der Reproduzierbarkeit der Distanz total für Tag1, Tag2 und Tag3.** Abszisse = Tage, Ordinate = Distanzwerte. (MCA tot, Abstand der engsten Stelle in der Nase vom Nasenloch total)

### 3.1.1.3 Fototechnik

Betrachtet wurden alle Messwiederholungen folgender Parameter für die Nasenbasis.

FMHN Höhe der Nase [cm], (Total base height [cm])

FMHF Höhe der Nase inspiratorisch [cm], (Total base height insp. [cm])

FMBN Breite der Nase [cm], (Total base width [cm])

FMBF Breite der Nase inspiratorisch [cm], (Total base width insp. [cm])

**Tabelle 4: Nasenbasis. Mittelwert und Standardabweichung**

|      | Tag1          | Tag2          | Tag3          | Cronbach`s<br>alpha |
|------|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| FMHN | 3.23<br>±0.21 | 3.22<br>±0.26 | 3.22<br>±0.22 | 1.0                 |
| FMHF | 3.20<br>±0.23 | 3.23<br>±0.27 | 3.21<br>±0.23 | 0.9                 |
| FMBN | 4.29<br>±0.33 | 4.28<br>±0.34 | 4.29<br>±0.35 | 1.0                 |
| FMBF | 4.15<br>±0.37 | 4.19<br>±0.44 | 4.16<br>±0.53 | 0.9                 |

(FMHN Höhe der Nase [cm], (Total base height [cm]), FMHF Höhe der Nase inspiratorisch [cm], (Total base height insp. [cm]), FMBN Breite der Nase [cm], (Total base width [cm]), FMBF Breite der Nase inspiratorisch [cm], (Total base width insp. [cm]))

Betrachtet wurden alle Messwiederholungen folgender Parameter für den rechten Naseneingang.

FFRN Fläche rechter Naseneingang [cm<sup>2</sup>], (Right nostril area [sqcm])

FFRF Fläche rechter Naseneingang inspiratorisch [cm<sup>2</sup>], (Right nostril area insp. [sqcm])

FHRN Höhe rechter Naseneingang [cm], (Right nostril height [cm])

FHRF Höhe rechter Naseneingang inspiratorisch [cm], (Right nostril height insp. [cm])

FBRN Breite rechter Naseneingang [cm], (Right nostril width [cm])

FBRF Breite rechter Naseneingang inspiratorisch, (Right nostril width insp.[cm])

**Tabelle 5: Rechter Naseneingang. Mittelwert und Standardabweichung**

|      | Tag1              | Tag2              | Tag3              | Cronbach`s alpha |
|------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|
| FFRN | 4403.5<br>±801.30 | 4398.2<br>±919.29 | 4572.6<br>±830.94 | 0.9              |
| FFRF | 0.86<br>±0.17     | 0.86<br>±0.18     | 0.87<br>±0.16     | 0.9              |
| FHRN | 1.66<br>±0.17     | 1.64<br>±0.20     | 1.64<br>±0.19     | 0.9              |
| FHRF | 1.64<br>±0.20     | 1.62<br>±0.22     | 1.61<br>±0.23     | 0.9              |
| FBRN | 0.69<br>±0.12     | 0.67<br>±0.11     | 0.69<br>±0.10     | 0.9              |
| FBRF | 0.63<br>±0.15     | 0.63<br>±0.16     | 0.62<br>±0.17     | 0.9              |

(FFRN Fläche rechter Naseneingang [cm<sup>2</sup>], (Right nostril area [sqcm]), FFRF Fläche rechter Naseneingang inspiratorisch [cm<sup>2</sup>], (Right nostril area insp. [sqcm]), FHRN Höhe rechter Naseneingang [cm], (Right nostril height [cm]), FHRF Höhe rechter Naseneingang inspiratorisch [cm], (Right nostril height insp. [cm]), FBRN Breite rechter Naseneingang [cm], (Right nostril width [cm]), FBRF Breite rechter Naseneingang inspiratorisch, (Right nostril width insp.[cm]))

Betrachtet wurden alle Messwiederholungen folgender Parameter für den linken Naseneingang.

FFLN Fläche linker Naseneingang [cm<sup>2</sup>], (Left nostril area [sqcm])

FFLF Fläche linker Naseneingang inspiratorisch [cm<sup>2</sup>], (Left nostril area insp. [sqcm])

FHLN Höhe linker Naseneingang [cm], (Left nostril height [cm])

FHLF Höhe linker Naseneingang inspiratorisch [cm], (Left nostril height insp. [cm])

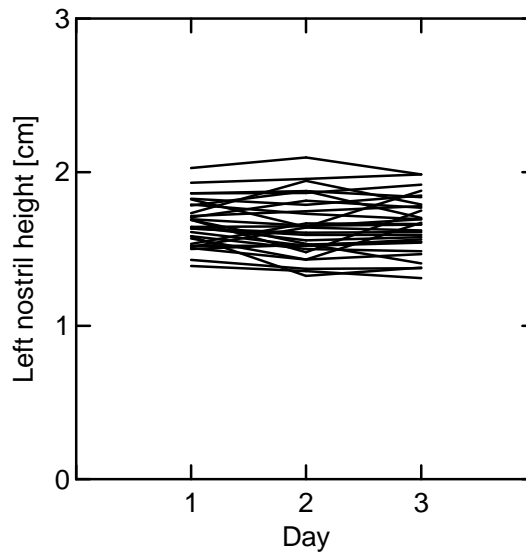
FBLN Breite linker Naseneingang [cm], (Left nostril width [cm])

FBLF Breite linker Naseneingang inspiratorisch, (Left nostril width insp.[cm])

**Tabelle 6: Linker Naseneingang. Mittelwert und Standardabweichung**

|      | Tag1          | Tag2          | Tag3          | Cronbach`s<br>alpha |
|------|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| FFLN | 0.88<br>±0.20 | 0.84<br>±0.20 | 0.84<br>±0.20 | 1.0                 |
| FFLF | 0.78<br>±0.23 | 0.79<br>±0.25 | 0.74<br>±0.27 | 0.9                 |
| FHLN | 1.67<br>±0.15 | 1.64<br>±0.20 | 1.66<br>±0.18 | 0.9                 |
| FHLF | 1.68<br>±0.19 | 1.67<br>±0.19 | 1.65<br>±0.20 | 0.9                 |
| FBLN | 0.68<br>±0.16 | 0.67<br>±0.15 | 0.66<br>±0.14 | 1.0                 |
| FBLF | 0.60<br>±0.18 | 0.61<br>±0.17 | 0.58<br>±0.18 | 0.9                 |

((FFLN Fläche linker Naseneingang [cm<sup>2</sup>], (Left nostril area [sqcm]), FFLF Fläche linker Naseneingang inspiratorisch [cm<sup>2</sup>], (Left nostril area insp. [sqcm]), FHLN Höhe linker Naseneingang [cm], (Left nostril height [cm]), FHLF Höhe linker Naseneingang inspiratorisch [cm], (Left nostril height insp. [cm]), FBLN Breite linker Naseneingang [cm], (Left nostril width [cm]), FBLF Breite linker Naseneingang inspiratorisch, (Left nostril width insp.[cm]))



**Abbildung 15: Graphische Darstellung der Reproduzierbarkeit der Höhe des linken Naseneingangs für Tag1, Tag2 und Tag3.** Abszisse = Tage, Ordinate = Höhe linker Naseneingang.

Betrachtet wurden alle Messwiederholungen folgender Parameter für die innere Nasenklappe.

FIRN Fläche innere Nasenklappe rechts [cm<sup>2</sup>], (Inner alar area right [sqcm])

FIRF Fläche innere Nasenklappe rechts inspiratorisch [cm<sup>2</sup>], (Inner alar area right insp. [sqcm])

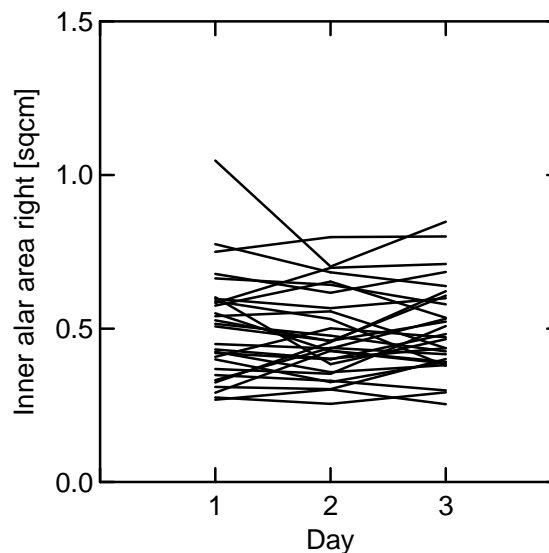
FILN Fläche innere Nasenklappe links [cm<sup>2</sup>], (Inner alar area left [sqcm])

FILF Fläche innere Nasenklappe links inspiratorisch [cm<sup>2</sup>], (Inner alar area left insp. [sqcm])

**Tabelle 7: Innere Nasenklappe. Mittelwert und Standardabweichung**

|      | Tag1          | Tag2          | Tag3          | Cronbach`s<br>alpha |
|------|---------------|---------------|---------------|---------------------|
| FIRN | 0.50<br>±0.18 | 0.48<br>±0.14 | 0.50<br>±0.15 | 0.9                 |
| FIRF | 0.46<br>±0.15 | 0.47<br>±0.19 | 0.47<br>±0.19 | 0.9                 |
| FILN | 0.47<br>±0.18 | 0.45<br>±0.16 | 0.47<br>±0.17 | 1.0                 |
| FILF | 0.44<br>±0.17 | 0.45<br>±0.21 | 0.43<br>±0.23 | 0.9                 |

(FIRN Fläche innere Nasenklappe rechts [cm<sup>2</sup>], (Inner alar area right [sqcm]), FIRF Fläche innere Nasenklappe rechts inspiratorisch [cm<sup>2</sup>], (Inner alar area right insp. [sqcm]), FILN Fläche innere Nasenklappe links [cm<sup>2</sup>], (Inner alar area left [sqcm]), FILF Fläche innere Nasenklappe links inspiratorisch [cm<sup>2</sup>], (Inner alar area left insp. [sqcm]))



**Abbildung 16: Graphische Darstellung der Reproduzierbarkeit der Fläche der inneren Nasenklappe rechts für Tag1, Tag2 und Tag3.** Abszisse = Tage, Ordinate = Fläche innere Nasenklappe.



Betrachtet wurden alle Messwiederholungen folgender Parameter für die äußere Nasenklappe.

FKRN Fläche äußere Nasenklappe rechts [cm<sup>2</sup>], (Outer valve area right [sqcm])

FKRF Fläche äußere Nasenklappe rechts inspiratorisch [cm<sup>2</sup>], (Outer valve area right insp. [sqcm])

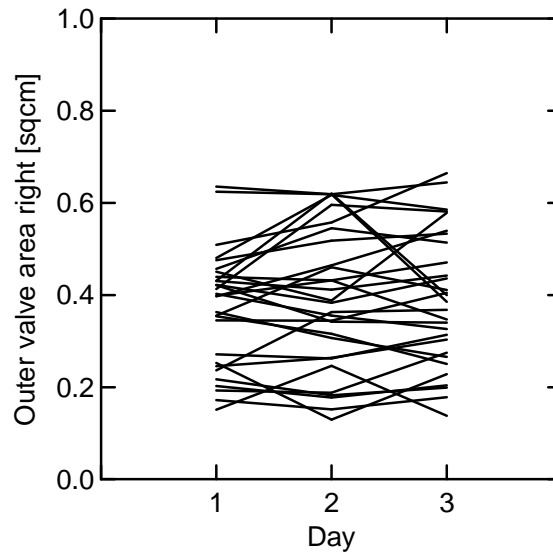
FKLN Fläche äußere Nasenklappe links [cm<sup>2</sup>], (Outer valve area left [sqcm])

FKLF Fläche äußere Nasenklappe links inspiratorisch [cm<sup>2</sup>], (Outer valve area left insp. [sqcm])

**Tabelle 8: Äußere Nasenklappe. Mittelwert und Standardabweichung**

|      | Tag1          | Tag2          | Tag3          | Cronbach`s alpha |
|------|---------------|---------------|---------------|------------------|
| FKRN | 0.37<br>±0.13 | 0.39<br>±0.15 | 0.39<br>±0.15 | 0.9              |
| FKRF | 0.34<br>±0.18 | 0.34<br>±0.17 | 0.34<br>±0.18 | 0.9              |
| FKLN | 0.41<br>±0.14 | 0.40<br>±0.17 | 0.38<br>±0.15 | 0.9              |
| FKLF | 0.35<br>±0.18 | 0.35<br>±0.16 | 0.32<br>±0.16 | 0.9              |

(FKRN Fläche äußere Nasenklappe rechts [cm<sup>2</sup>], (Outer valve area right [sqcm]), FKRF Fläche äußere Nasenklappe rechts inspiratorisch [cm<sup>2</sup>], (Outer valve area right insp. [sqcm]), FKLN Fläche äußere Nasenklappe links [cm<sup>2</sup>], (Outer valve area left [sqcm]), FKLF Fläche äußere Nasenklappe links inspiratorisch [cm<sup>2</sup>], (Outer valve area left insp. [sqcm]))



**Abbildung 17: Graphische Darstellung der Reproduzierbarkeit der Fläche der äußeren Nasenklappe rechts für Tag1, Tag2 und Tag3.** Abszisse = Tage, Ordinate = Fläche äußere Nasenklappe.

Ermittelt wurden außerdem die Differenzen zwischen forcierter Inspirationsstellung und normaler Respirationsstellung (forciert minus normal), aller Messwiederholungen.

FMH Differenz der Höhe der Nase [cm], (Diff. total base height [cm])

FMB Differenz der Breite der Nase [cm], (Diff. total base width [cm])

FFR Differenz Fläche rechter Naseneingang [cm<sup>2</sup>], (Diff. right nostril area [sqcm])

FHR Differenz Höhe rechter Naseneingang [cm], (Diff. right nostril height [cm])

FBR Differenz Breite rechter Naseneingang [cm], (Diff. right nostril width [cm])

FFL Differenz Fläche linker Naseneingang [cm<sup>2</sup>], (Diff. left nostril area [sqcm])

FHL Differenz Höhe linker Naseneingang [cm], (Diff. left nostril height [cm])

FBL Differenz Breite linker Naseneingang [cm], (Diff. left nostril width [cm])

FIR Differenz Fläche innere Nasenklappe rechts [cm<sup>2</sup>], (Diff. inner alar area right [sqcm])

FIL Differenz Fläche innere Nasenklappe links [cm<sup>2</sup>], (Diff. inner alar area left [sqcm])

FKR Differenz Fläche äußere Nasenklappe rechts [cm<sup>2</sup>], (Diff. outer valve area right [sqcm])

FKL Differenz Fläche äußere Nasenklappe links [cm<sup>2</sup>], (Diff. outer valve area left [sqcm])

DRR Rhinomanometrie rechts, Differenz inspiratorisch-expiratorisch [ml/s]

DRL Rhinomanometrie links, Differenz inspiratorisch-expiratorisch [ml/s]

**Tabelle 9: Differenzen, inspiratorisch-expiratorisch. Mittelwert und Standardabweichung**

|     | Tag1           | Tag2           | Tag3           | Cronbach`s alpha |
|-----|----------------|----------------|----------------|------------------|
| FMH | -0.04<br>±0.11 | 0.00<br>±0.12  | -0.01<br>±0.11 | 0.1              |
| FMB | -1.14<br>±0.21 | -0.09<br>±0.22 | -1.14<br>±0.37 | 0.7              |
| FFR | -0.08<br>±0.17 | -0.06<br>±0.19 | -0.09<br>±0.20 | 0.8              |
| FHR | -0.02<br>±0.17 | -0.02<br>±0.09 | -0.03<br>±0.15 | 0.5              |
| FBR | -0.06<br>±0.11 | -0.04<br>±0.12 | -0.07<br>±0.14 | 0.8              |
| FFL | -0.11<br>±0.17 | -0.06<br>±0.18 | -0.11<br>±0.21 | 0.8              |
| FHL | 0.01<br>±0.11  | 0.02<br>±0.12  | -0.01<br>±0.13 | 0.6              |
| FBL | -0.09<br>±0.11 | -0.06<br>±0.12 | -0.08<br>±0.13 | 0.8              |
| FIR | -0.04<br>±0.17 | -0.01<br>±0.10 | -0.03<br>±0.16 | 0.8              |
| FKR | -0.03<br>±0.12 | -0.05<br>±0.13 | -0.05<br>±0.11 | 0.6              |
| FKL | -0.06<br>±0.12 | -0.05<br>±0.12 | -0.07<br>±0.10 | 0.7              |

(FMH Differenz der Höhe der Nase [cm], (Diff. total base height [cm]), FMB Differenz der Breite der Nase [cm], (Diff. total base width [cm]), FFR Differenz

Fläche rechter Naseneingang [cm<sup>2</sup>], (Diff. right nostril area [sqcm]), FHR Differenz  
Höhe rechter Naseneingang [cm], (Diff. right nostril height [cm]), FBR Differenz  
Breite rechter Naseneingang [cm], (Diff. right nostril width [cm]), FFL Differenz  
Fläche linker Naseneingang [cm<sup>2</sup>], (Diff. left nostril area [sqcm]), FHL Differenz  
Höhe linker Naseneingang [cm], (Diff. left nostril height [cm]), FBL Differenz  
Breite linker Naseneingang [cm], (Diff. left nostril width [cm]), FIR Differenz  
Fläche innere Nasenklappe rechts [cm<sup>2</sup>], (Diff. inner alar area right [sqcm]), FKR  
Differenz Fläche äußere Nasenklappe rechts [cm<sup>2</sup>], (Diff. outer valve area right [sqcm]),  
FKL Differenz Fläche äußere Nasenklappe links [cm<sup>2</sup>], (Diff. outer valve area left [sqcm])

Insgesamt ließ sich für alle gemessenen Parameter eine Normalverteilung erkennen.

Die Messergebnisse der Fototechnik stellten sich mit Hilfe des Cronach`s alpha als sehr reliabel dar.

### **3.1.2 Messwerte des Normalkollektivs**

Betrachtet wurden für alle erhobenen Daten die gemittelten Werte der drei Messtage.

Außerdem wurde mit Hilfe des Wilcoxon-Rank-Test der p-Wert für die planimetrisch gewonnenen Daten ermittelt. Mit dessen Hilfe kann eine Aussage über die Signifikanz der Fototechnik als neue Messmethode getroffen werden.

Es kam zu folgenden Ergebnissen:

### 3.1.2.1 Rhinomanometrie

**Tabelle 10: Rhinomanometrie**

| Mittelwert, Standardabweichung<br>der gemittelten Werte |                |
|---|----------------|
| RR  | 374.44 ±95.84  |
| RER   | 341.33 ±81.00  |
| RL  | 421.35 ±152.83 |
| REL   | 378.55 ±113.50 |
| RFT   | 793.33 ±165.65 |
| RSR   | 0,46 ±0.14     |
| RSL   | 0.43 ±0.16     |
| RST   | 0.20 ±0.06     |
| DRR   | 27.71 ±38.93   |
| DRL   | 43.32 ±63.52   |

(RR Flow inspiratorisch rechts, RER Flow expiratorisch rechts, RL Flow inspiratorisch links, REL Flow expiratorisch links, RFT Flow total, RSR Resistance rechts, RSL Resistance links, RST Resistance total, DRR Rhinomanometrie rechts, Differenz inspiratorisch-expiratorisch [ml/s], DRL Rhinomanometrie links, Differenz inspiratorisch-expiratorisch [ml/s])

### 3.1.2.2 Akustische Rhinometrie

**Tabelle 11: Akustische Rhinometrie. Querschnitt, Volumen, MCA tot**

|         | Mittelwert<br>Standardabweichung |
|---------|----------------------------------|
| ARQ     | 0.59 ±0.12                       |
| ARV     | 1.95 ±0.25                       |
| ALQ     | 0.56 ±0.12                       |
| ALV     | 1.93 ±0.27                       |
| MCA tot | 1.16 ±0.19                       |

(ARQ Nasenquerschnitt rechts, ARV Nasenvolumen rechts, ALQ Nasenquerschnitt links, ALV Nasenvolumen links, MCA tot Abstand der engsten Stelle in der Nase vom Nasenloch, total)

**Tabelle 12: Akustische Rhinometrie, Distanz**

|     | Median           |
|-----|------------------|
| ARD | 1.72 (1.37;2.02) |
| ALD | 1.65 (1.16;2.02) |

(ARD Abstand der engsten Stelle in der Nase vom Nasenloch rechts, ALD Abstand der engsten Stelle in der Nase vom Nasenloch, links)

## 3.1.2.3 Fototechnik

Tabelle 13: Nasenbasis. Mittelwert und Standardabweichung

|           | Normal        | Forciert   | p-Wert |
|-----------|---------------|------------|--------|
| FMHN/FMHF | 3.21<br>±0.22 | 3.20 ±0.22 | 0.586  |
| FMBN/FMBF | 4.28<br>±0.32 | 4.17 ±0.41 | 0.010  |

(FMHN Höhe der Nase [cm], (Total base height [cm]), FMHF Höhe der Nase inspiratorisch [cm], (Total base height insp. [cm]), FMBN Breite der Nase [cm], (Total base width [cm]), FMBF Breite der Nase inspiratorisch [cm], (Total base width insp. [cm]))

Tabelle 14: Rechter Naseneingang. Mittelwert und Standardabweichung

|           | Normal     | Forciert   | p-Wert |
|-----------|------------|------------|--------|
| FFRN/FFRF | 0.85 ±0.16 | 0.78 ±0.21 | 0.018  |
| FHRN/FHRF | 1.63 ±0.18 | 1.61 ±0.20 | 0.229  |
| FBRN/FBRF | 0.68 ±0.09 | 0.63 ±0.14 | 0.003  |

(FFRN Fläche rechter Naseneingang [cm<sup>2</sup>], (Right nostril area [sqcm]), FFRF Fläche rechter Naseneingang inspiratorisch [cm<sup>2</sup>], (Right nostril area insp. [sqcm]), FHRN Höhe rechter Naseneingang [cm], (Right nostril height [cm]), FHRF Höhe rechter Naseneingang inspiratorisch [cm], (Right nostril height insp. [cm]), FBRN Breite rechter Naseneingang [cm], (Right nostril width [cm]), FBRF Breite rechter Naseneingang inspiratorisch, (Right nostril width insp.[cm]))

**Tabelle 15: Linker Naseneingang. Mittelwert und Standardabweichung**

|           | Normal     | Forciert   | p-Wert |
|-----------|------------|------------|--------|
| FFLN/FFLF | 0.84 ±0.19 | 0.76 ±0.23 | 0.006  |
| FHLN/FHLF | 1.64 ±0.18 | 1.65 ±0.19 | 0.441  |
| FBLN/FBLF | 0.67 ±0.14 | 0.59 ±0.16 | 0.001  |

(FFLN Fläche linker Naseneingang [cm<sup>2</sup>], (Left nostril area [sqcm]), FFLF Fläche linker Naseneingang inspiratorisch [cm<sup>2</sup>], (Left nostril area insp. [sqcm]), FHLN Höhe linker Naseneingang [cm], (Left nostril height [cm]), FHLF Höhe linker Naseneingang inspiratorisch [cm], (Left nostril height insp. [cm]), FBLN Breite linker Naseneingang [cm], (Left nostril width [cm]), FBLF Breite linker Naseneingang inspiratorisch, (Left nostril width insp. [cm]))

**Tabelle 16: Innere Nasenklappe. Mittelwert und Standardabweichung**

|           | Normal     | Forciert   | p-Wert |
|-----------|------------|------------|--------|
| FIRN/FIRF | 0.49 ±0.14 | 0.46 ±0.15 | 0.229  |
| FILN/FILF | 0.46 ±0.16 | 0.44 ±0.18 | 0.106  |

(FIRN Fläche innere Nasenklappe rechts [cm<sup>2</sup>], (Inner alar area right [sqcm]), FIRF Fläche innere Nasenklappe rechts inspiratorisch [cm<sup>2</sup>], (Inner alar area right insp. [sqcm]), FILN Fläche innere Nasenklappe links [cm<sup>2</sup>], (Inner alar area left [sqcm]), FILF Fläche innere Nasenklappe links inspiratorisch [cm<sup>2</sup>], (Inner alar area left insp. [sqcm]))



**Tabelle 17: Äußere Nasenklappe. Mittelwert und Standardabweichung**

|           | Normal     | Forciert   | p-Wert |
|-----------|------------|------------|--------|
| FKRN/FKRF | 0.37 ±0.13 | 0.33 ±0.15 | 0.027  |
| FKLN/FKLF | 0.38 ±0.15 | 0.33 ±0.15 | 0.001  |

(FKRN Fläche äußere Nasenklappe rechts [cm<sup>2</sup>], (Outer valve area right [sqcm]), FKRF Fläche äußere Nasenklappe rechts inspiratorisch [cm<sup>2</sup>], (Outer valve area right insp. [sqcm]), FKLN Fläche äußere Nasenklappe links [cm<sup>2</sup>], (Outer valve area left [sqcm]), FKLF Fläche äußere Nasenklappe links inspiratorisch [cm<sup>2</sup>], (Outer valve area left insp. [sqcm]))

**Tabelle 18: Differenzen, inspiratorisch-expiratorisch**

|     | Mittelwert<br>Standardabw. | Prozentuale<br>Veränderung<br>(norm.-forciert) |
|-----|----------------------------|--|
| FMH | -0.01 ±0.06                | -0.31 %  |
| FMB | -1.11 ±0.21                | -2.57 %  |
| FFR | -0.07 ±0.16                | -8.24 %  |
| FHR | -0.02 ±0.08                | -1.23 %  |
| FBR | -0.05 ±0.10                | -7.35 %  |
| FFL | -0.08 ±0.16                | -9.52 %  |
| FHL | 0.01 ±0.08                 | +0.61 %  |
| FBL | -0.07 ±0.09                | -11.94 %                                       |
| FIR | -0.02 ±0.11                | -6.12 %  |
| FIL | -0.02 ±0.10                | -4.35 %  |
| FKR | -0.03 ±0.09                | -10.81 %                                       |
| FKL | -0.05 ±0.08                | -13.16 %                                       |
| DRR | 27.70 ±38.93               | -8.84 %  |
| DRL | 43.32 ±63.52               | -10.16 %                                       |

(FMH Differenz der Höhe der Nase [cm], (Diff. total base height [cm]), FMB Differenz der Breite der Nase [cm], (Diff. total base width [cm]), FFR Differenz Fläche rechter Naseneingang [cm<sup>2</sup>], (Diff. right nostril area [sqcm]), FHR Differenz Höhe rechter Naseneingang [cm], (Diff. right nostril height [cm]), FBR Differenz

Breite rechter Naseneingang [cm], (Diff. right nostril width [cm]), FFL Differenz Fläche linker Naseneingang [cm<sup>2</sup>], (Diff. left nostril area [sqcm]), FHL Differenz Höhe linker Naseneingang [cm], (Diff. left nostril height [cm]), FBL Differenz Breite linker Naseneingang [cm], (Diff. left nostril width [cm]), FIR Differenz Fläche innere Nasenklappe rechts [cm<sup>2</sup>], (Diff. inner alar area right [sqcm]), FIL Differenz Fläche innere Nasenklappe links [cm<sup>2</sup>], (Diff. inner alar area left [sqcm]), FKR Differenz Fläche äußere Nasenklappe rechts [cm<sup>2</sup>], (Diff. outer valve area right [sqcm]), FKL Differenz Fläche äußere Nasenklappe links [cm<sup>2</sup>], (Diff. outer valve area left [sqcm]), DRR Rhinomanometrie rechts, Differenz inspiratorisch-expiratorisch [ml/s], DRL Rhinomanometrie links, Differenz inspiratorisch-expiratorisch [ml/s].)

### 3.1.2.4 Korrelationen

Alle Daten wurden auf ihre untereinander vorhandenen Korrelationen explorativ, mit Hilfe des Pearsonschen Korrelationskoeffizienten, untersucht. Es wurde besonders nach Korrelationen der Planimetrie mit der Rhinomanometrie, nach Korrelationen der Planimetrie mit der akustischen Rhinometrie und nach Korrelationen der Rhinomanometrie mit der akustischen Rhinometrie geforscht. Des Weiteren wurde besonderes Augenmerk auf Korrelationen zwischen den Inspirations-Expirations-Differenzwerten der Planimetrie, mit denen man am besten das Ansaugphänomen messen kann und den Inspirations-Expirations-Differenzwerten der Rhinomanometrie und den anderen Parametern der Planimetrie gelegt.

Relevante Korrelationen ergaben sich bei der Rhinomanometrie für RR/RL (Flow inspiratorisch rechts/links) mit RSR/RSL (Resistance rechts/links), wobei hier eine negative Korrelation von -0.89 auftrat. Es ergaben sich keine Korrelationen zwischen der Rhinomanometrie und der Planimetrie.

Die akustische Rhinomanometrie zeigte folgende Korrelationen: MCA tot (Abstand der engsten Stelle total) korrelierte mit ARQ/ALQ (Nasenquerschnitt rechts/links) zu 0.82/0.81 und mit ARV/ALV (Volumen rechts/links) zu 0.77/0.71. ALV (Volumen links) korrelierte mit ALQ (Nasenquerschnitt links) zu 0.77. Als Korrelation mit den planimetrischen Daten ergab sich ein Zusammenhang zwischen FKL (Differenz Fläche äußere Nasenklappe links) und MCA tot (Abstand der engsten Stelle total) von 0.74.

Zwischen der Rhinomanometrie und der akustischen Rhinometrie kam es zu keinen relevanten Korrelationen.

Bei den Inspirations-Expirations-Differenzwerten der Planimetrie, mit denen man am besten das Ansaugphänomen messen kann, kam es zu folgenden relevanten Korrelationen. FFR (Differenz Fläche rechter Naseneingang) mit FBRF (Breite rechter Naseneingang inspiratorisch) zu 0.70, FFR (Differenz Fläche rechter Naseneingang) mit FMB (Differenz Breite der Nase) zu 0.84, FFL (Differenz Fläche linker Naseneingang) mit FFR (Differenz Fläche rechter Naseneingang) zu 0.85, FFL (Differenz Fläche linker Naseneingang) mit FBR (Differenz Breite rechter Naseneingang) zu 0.80, FBR (Differenz Breite rechter Naseneingang) mit FBRF (Breite rechter Naseneingang inspiratorisch) mit 0.75, FBR (Differenz Breite rechter Naseneingang) mit FFR (Differenz Fläche rechter Naseneingang) zu 0.95, FBL (Differenz Breite linker Naseneingang) mit FFL (Differenz Fläche linker Naseneingang) zu 0.94, FIR (Differenz Fläche innere Nasenklappe rechts) mit FFR (Differenz Fläche rechter Naseneingang) zu 0.83, FIL (Differenz Fläche innere Nasenklappe links) mit FFL (Differenz Fläche linker Naseneingang) zu 0.88, FKL (Differenz Fläche äußere Nasenklappe links) mit FFL (Differenz Fläche linker Naseneingang) zu 0.84.

### **3.2 Ergebnisse der zweiten Studienphase**

Bei zehn gesunden Probanden und bei zehn Patienten mit engen Nasenklappen und/oder Nasenflügelansaugphänomen wurde der inspiratorische, nasale Flow in [ml/sec] gemessen sowie planimetrisch die Querschnittsverhältnisse des vorderen Nasenlochs (NL) und der innere Nasenklappe (NK) vermessen.

Außerdem wurden die Probanden und Patienten zu nasal bedingten Befindlichkeitsstörungen befragt und untersucht.

In Bezug auf allgemeine, rhinologische Parameter unterschieden sich die untersuchten Probanden nicht von den Patienten. Bei den Patienten fand sich gehäuft eine Septumdeviation sowie in allen zehn Fällen enge Nasenklappen und in sechs Fällen ein Nasenflügelansaugphänomen.

**Tabelle 19: Spezielle Grundkonstitution der Probanden und Patienten**

| Parameter                           | Probanden | Patienten | Unterschied<br>p |
|-------------------------------------|-----------|-----------|------------------|
| Neigung zu<br>Erkältungskrankheiten | 0         | 1         | ns               |
| Saisonale Rhinitis                  | 1         | 1         | ns               |
| Perenniale Rhinitis                 | 0         | 1         | ns               |
| Polyposis nasi                      | 0         | 0         | ns               |
| Septumdeviation                     | 0         | 4         | 0,04             |
| Enge Nasenklappe                    | 0         | 10        | < 0,0001         |
| Nasenflügelansaugphänomen           | 0         | 6         | < 0,0001         |

(ns=nicht signifikant)

Während die Probanden über keinerlei nasal bedingte Befindlichkeitsstörungen klagten und anatomisch reguläre Verhältnisse aufwiesen, konnten bei den Patienten mit enger Nasenklappe und Nasenflügelansaugphänomen deutliche Befindlichkeitsstörungen festgestellt werden. Die Ergebnisse listet Tabelle 20.

**Tabelle 20: Nasal bedingte Befindlichkeitsstörungen der Probanden und Patienten**

| Parameter                           | Probanden | Patienten | Unterschied<br>p |
|-------------------------------------|-----------|-----------|------------------|
| Verstopfte Nase                     | 0         | 9         | < 0,0001         |
| Trockener Hals                      | 0         | 8         | 0,0004           |
| Nächtliche<br>Mundatmung/Schnarchen | 0         | 9         | < 0,0001         |
| Schlafstörungen/Tagesmüdigkeit      | 0         | 4         | 0,0054           |

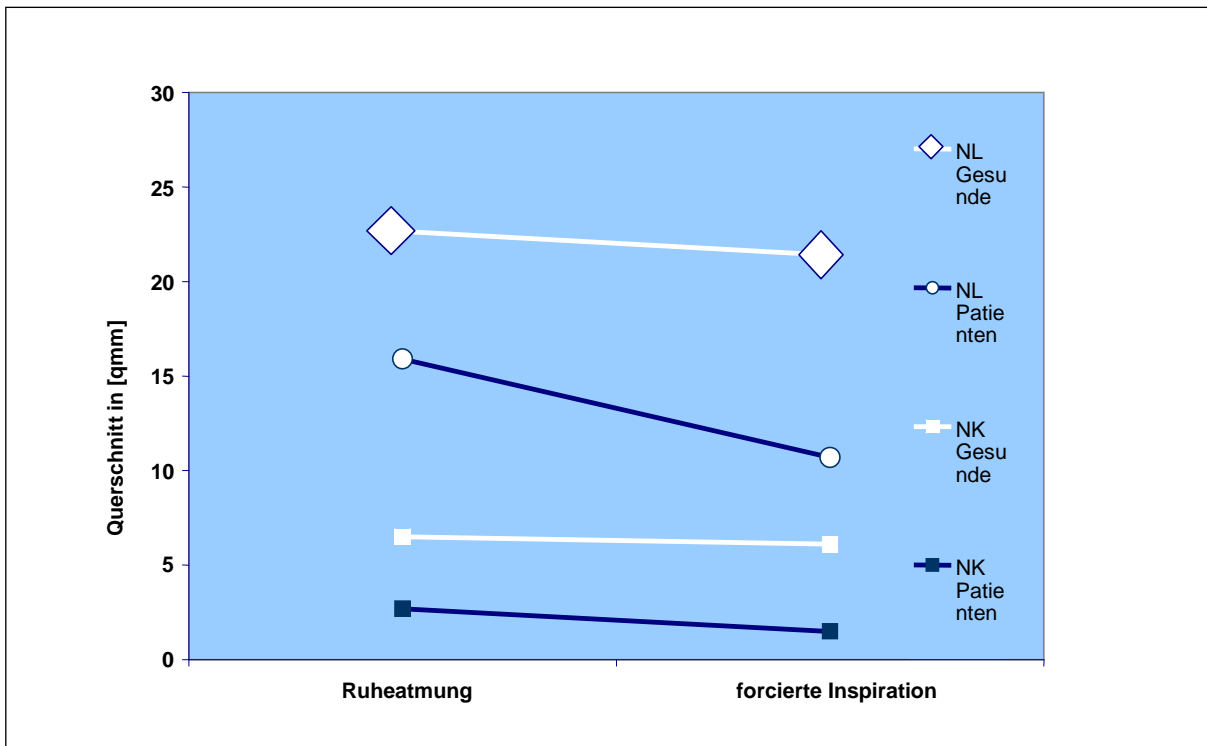
In Bezug auf die Ausgangsparameter unterschieden sich Probanden und Patienten deutlich. Sowohl der Querschnitt des vorderen Nasenloches (NL) wie der Querschnitt der inneren Nasenklappe (NK) war bei den Patienten deutlich kleiner als bei den gesunden Probanden. Tabelle 21 listet die Einzelwerte.

**Tabelle 21: Messergebnisse der Planimetrie und Rhinomanometrie (rechts+links)**

| Parameter  | Probanden   | Patienten   | Unterschied<br>p |
|--|-------------|-------------|------------------|
| Querschnitt NK in Ruhe [cm <sup>2</sup> ]            | 0,65 ± 0,21 | 0,27 ± 0,08 | < 0,0001         |
| Querschnitt NL in Ruhe [cm <sup>2</sup> ]            | 2,22 ± 0,61 | 1,59 ± 0,41 | 0,0144           |
| Querschnitt NK forcierte Insp.<br>[cm <sup>2</sup> ] | 0,61 ± 0,19 | 0,15 ± 0,09 | < 0,0001         |
| Querschnitt NL forcierte Insp.<br>[cm <sup>2</sup> ] | 2,06 ± 0,49 | 1,07 ± 0,49 | 0,0002           |
| Nasaler Flow [ml/sec]                                | 957 ± 415   | 895 ± 380   | ns               |

(NK innere Nasenklappe, NL vorderes Nasenloch, Insp. Inspiration)

Durch eine forcierte Inspiration verkleinerte sich der Querschnitt von Nasenklappe (p=0,0044) und Nasenloch (p=0,0019) bei den Patienten deutlich, wohingegen bei den gesunden Probanden keine Querschnittsänderungen verifiziert werden konnten (alle p > 0,2) (Abb.: 18).



**Abbildung 18: Änderung der Querschnittsverhältnisse durch forcierte Inspiration bei Probanden und Patienten**  
(NK = innere Nasenklappe, NL = vorderes Nasenloch)

## 4 Diskussion

Ein Ziel dieser Arbeit war es, eine neue Messmethode zur objektiven Beurteilung der Nasenklappenregion zu entwickeln und zu evaluieren. Planimetrisch sollten Normwerte und deren Veränderungen bei normaler Atemstellung und bei forcierter Inspirationsstellung ermittelt werden. Gleichzeitig sollte herausgefunden werden, mit welchen Parametern man am besten das Ansaugphänomen darstellen kann, um in Zukunft zum Beispiel nach einer Batten Graft Operation das Maß der Minderung des Nasenkollaps postoperativ zu objektivieren. Es sollte die Reproduzierbarkeit und der Grad der Korrelation mit der anterioren Rhinomanometrie und der akustischen Rhinometrie festgestellt werden.

Eingesetzte Methoden waren hierbei die Fototechnik zur planimetrischen Ermittlung der Messdaten, die anteriore Rhinomanometrie und die akustische Rhinometrie. 30 Patienten wurden hierzu, im Abstand von mindestens vier Tagen, an drei unterschiedlichen Tagen untersucht. All dies war Bestandteil der ersten Studienphase. In der zweiten Studienphase wurden an zehn gesunden Probanden und an zehn Patienten mit engen Nasenklappen und/oder Nasenflügelansaugphänomen eine anteriore Rhinomanometrie sowie die planimetrische Vermessung der Nase durchgeführt. Außerdem wurden die Probanden und Patienten zu nasal bedingten Befindlichkeitsstörungen befragt und untersucht. Es sollten die Querschnittsverhältnisse der inneren Nasenklappenregion und des vorderen Nasenlochs bei Gesunden und bei Patienten mit engen Nasenklappen und/oder Nasenflügelansaugphänomen in Ruheatmung und in forcierter Inspirationsstellung erfasst und miteinander verglichen werden.

## 4.1 Diskussion der ersten Studienphase

### 4.1.1 Rhinomanometrie

Bei der anterioren Rhinomanometrie lagen die gemittelten Werte für den nasalen Flow rechts inspiratorisch bei 374[ml/sec] und expiratorisch bei 341[ml/sec]. Für links inspiratorisch bei 421[ml/sec] und expiratorisch bei 379[ml/sec]. Total lag der Flow bei 793[ml/sec]. Für die Resistance ergaben sich folgende Werte, rechts 0.46[Pa\*ml/sec] für links 0.43[Pa\*ml/sec] und total 0.2[Pa\*ml/sec]. Bei der Differenz des Flows für die Inspiration und Expiration lagen die Werte gemittelt für rechts bei 28[ml/sec] und für links bei 43[ml/sec]. Diese von uns ermittelten Werte sind vergleichbar mit Werten aus der Literatur. Es ist auch bekannt, dass bei der Rhinomanometrie eine Normalverteilung üblich ist. Im Gesamtkollektiv stellten sich die Werte als mäßig konsistent dar. Cronbach´s alpha lag im Schnitt bei 0.5. Auch interindividuell kam es zu erheblichen Schwankungen. Bei den Werten für das rechte und linke Nasenloch kann als mögliche Erklärung für die Schwankungen das Argument des Nasenzyklus dienen. Dabei geht man davon aus, dass während eines normalen Nasenzyklus sich die eine Nasenseite in der „arbeitenden“ Phase befindet während die andere Seite ruht [6]. Dies erklärt aber nicht warum der totale Flow auch nicht sehr konsistent war. Da er eigentlich vom Nasenzyklus nicht beeinflusst wird. Außerdem kann man bei den durchgeführten Messungen für den Flow einen Trend nach oben beobachten. Die Werte hatten die Tendenz an Tag 2 höher als an Tag 1 und an Tag 3 höher als an Tag 2 zu sein. Hierbei muss ein eventueller Übungseffekt diskutiert werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich die Rhinomanometrie als Methode, um optimal den Kollaps der Nasenflügel zu messen, nicht eignet. Die nötige Verklebung an den Naseneingängen führt doch zu einer künstlich herbeigeführten Versteifung, die den eigentlichen Kollaps zu einem gewissen Grad verhindert. Die Validität dieser Methode ist für unsere Zwecke somit nicht gegeben. Als weitere mögliche Fehlerquellen kommen Leckagen an der Maske oder Öffnen des Mundes während der Messung in Frage. Außerdem ist die Tatsache, dass das Kriterium Raucher/Nichtraucher in unserer Studie nicht erfasst wurde, kritisch zu beurteilen.



Es ist davon auszugehen, dass das Rauchen einen erheblichen Einfluss auf die Rhinomanometrie hat.

#### **4.1.2 Akustische Rhinometrie**

Bei der akustischen Rhinometrie lagen die Werte gemittelt für den Abstand der engsten Stelle vom Nasenloch für rechts bei 1.72cm und links bei 1.65cm. Der Abstand der engsten Stelle total lag bei 1.16cm. Beim Nasenquerschnitt ergaben sich für rechts 0.59cm<sup>2</sup> und für links 0.56cm<sup>2</sup>. Das Volumen lag für rechts bei 1.95cm<sup>3</sup> und für links bei 1.93cm<sup>3</sup>. Bei der Ermittlung der Distanz bzw. des Abstands der engsten Stelle vom Nasenloch kam es zu einem Deckeneffekt, der durch die Samplingfrequenz des Analog/Digitalwandlers zustande kommt. Die Messmethode kann jeden weiteren Anstieg nach 10ms nicht erfassen, da die Messung jeweils nur 10ms andauert. Die Daten sind also nicht mehr kontinuierlich sondern diskret. Die Betrachtung der Daten weist aber nicht auf relevante Unterschiede hin.

Trotz der recht guten Reliabilität dieser Messmethode, Cronbach's alpha lag zwischen 0.8 und 0.9, eignet sie sich nicht um das Ansaugphänomen optimal darzustellen, da bei der akustischen Rhinometrie nicht geatmet werden darf und es auch somit nie zu einem Kollaps der Nasenflügel kommen kann bzw. keine relevanten Veränderungen am Nasenloch zustande kommen. Als weitere Fehlerquellen kommen Umgebungsgeräusche, Veränderungen am Sitz der Nasensonde und Lecks am Naseneingang in Frage.

#### **4.1.3 Fototechnik**

Anhand unserer Ergebnisse kann man von einer Normalverteilung ausgehen. Normwerte konnten in normaler Respirationsstellung und in forcierter Inspirationsstellung gewonnen werden. Die Fototechnik zeigte eine sehr gute Reliabilität. Cronbach's alpha lag stets zwischen 0.9 und 1.0.

Als die fünf besten Parameter, um das Ansaugphänomen der Nasenflügel bei forcierter Inspiration darstellen zu können, ergab sich an erster Stelle FKL (Differenz Fläche äußere Nasenklappe links [cm<sup>2</sup>]), mit einer Differenz zwischen normaler Respirationsstellung und forcierter Inspirationsstellung von -13,2% und

einem p-Wert für FKLN/FKLF von 0.001. FKR (Differenz Fläche äußere Nasenklappe rechts [cm<sup>2</sup>]) zeigte eine Änderung von normaler Respirationsstellung zu forcierter Inspirationsstellung von -10.8% bei einem p-Wert für FKRN/FKRF von 0.027.

An zweiter Stelle ist zu nennen FBL (Differenz Breite linker Naseneingang [cm]) mit einer Änderung von normaler Respirationsstellung zu forcierter Inspirationsstellung von -11.9% und einem p-Wert für FBLN/FBLF von 0.001. FBR (Differenz Breite rechter Naseneingang [cm]) zeigte eine Änderung von -7.4% bei einem p-Wert für FBRN/FBRF von 0.003.

Als dritter Parameter zeigte sich FFL (Differenz Fläche linker Naseneingang [cm<sup>2</sup>]) mit einer Änderung von normaler Respirationsstellung in forcierte Inspirationsstellung von -9.5% bei einem p-Wert für FFLN/FFLF von 0.006. FFR (Differenz Fläche rechter Naseneingang [cm<sup>2</sup>]) zeigte eine Änderung von -8.2% bei einem p-Wert für FFRN/FFRF von 0.018.

Als viertwichtigster Parameter stellte sich FIR (Differenz Fläche innere Nasenklappe rechts [cm<sup>2</sup>]), mit einer Änderung von normaler Respirationsstellung zu forcierter Inspirationsstellung von -6.1%, dar. Bei einem p-Wert für FIRN/FIRF von 0.229. FIL (Differenz Fläche innere Nasenklappe links [cm<sup>2</sup>]) zeigte eine Änderung von -4.4% bei einem p-Wert für FILN/FILF von 0.106.

Da die p-Werte durchweg klein sind, gehen wir davon aus, dass es statistische Evidenz für einen Unterschied zwischen normaler Respirationsstellung und forcierter Inspirationsstellung gibt. Die Messunterschiede lassen sich also vom Zufall abgrenzen.

Die Tatsache, dass Cronbach`s alpha durchweg zwischen 0.9 und 1.0 lag, spricht für die sehr gute Reliabilität dieser Methode.

Kritisch ist jedoch zu betrachten, dass diese Methode sehr untersucherabhängig ist. Es ist zu befürchten, dass jeder Untersucher ein wenig unterschiedlich die Grenzen, zum Beispiel für die innere oder äußere Nasenklappe, setzt. Was aber wiederum auf die Betrachtung der prozentualen Veränderung von normaler Respirationsstellung zu forcierter Inspirationsstellung keinen Einfluss hat. Ein weiteres Problem stellt die Tatsache dar, dass jede Nase sehr unterschiedlich ist und es deshalb schwer ist überhaupt Normwerte für Höhen, Breiten und Flächen festzulegen. Auch sind anatomische Besonderheiten schwer mit einem Normwert zu erfassen. Zum Beispiel gibt es Nasen, bei denen es durch die forcierte

Inspiration zu einem Art Aufblähen der Nasenflügel kommt anstatt zu einem partiellen Kollaps. Dies bedeutet, dass bei diesen Nasen die prozentuale Veränderung von normaler Respiationsstellung zu forcierter Inspirationsstellung anstatt negativ sogar positiv ausfällt.

#### 4.1.4 Korrelationen

Bei der Betrachtung der Korrelationen ergaben sich keine Korrelationen zwischen Rhinomanometrie und akustischer Rhinometrie. Was darauf hinweist, dass die Form der inneren Nase nicht unbedingt auch mit dem nasalen Flow korrespondiert.

Des Weiteren kam es bei der akustischen Rhinomanometrie zu Korrelationen von MCA tot (Abstand der engsten Stelle total) mit ARQ/ALQ (Nasenquerschnitt rechts/links) zu 0.82/0.81 und mit ARV/ALV (Volumen rechts/links) zu 0.77/0.71. ALV (Volumen links) korrelierte mit ALQ (Nasenquerschnitt links) zu 0.77.

Außerdem kam es bei den Inspirations-Expirations-Differenzwerten der Planimetrie, mit denen man am besten das Ansaugphänomen messen kann, zu mehreren relevanten Korrelationen, die sich zum größten Teil damit erklären lassen, dass es sich dabei um Messungen der Form der Nase handelt und diese ja untereinander korrelieren. Zum Beispiel ist es offensichtlich, dass die Differenz der Fläche des rechten Naseneingangs mit der Breite des rechten Naseneingangs korreliert.

#### *Fazit:*

Über die Rhinomanometrie und die akustische Rhinometrie ist zu sagen, dass diese Messmethoden ihre Berechtigung haben, aber für unsere Fragestellung, also das Erfassen des Ansaugphänomens, nicht geeignet sind.

Bei der Fototechnik hat sich gezeigt, dass Normalwerte für Gesunde bei normaler Atmung und bei forcierter Inspiration sehr gut und mit einer hohen Reliabilität erhoben werden konnten. Außerdem stellte sich heraus, dass die jeweiligen Veränderungen bei normaler Atmung und bei forcierter Inspiration gut darstellbar sind und die Methode geeignet ist, mit bestimmten Parametern das Ansaugphänomen objektiv darzustellen. Anhand der Fototechnik könnte man also in Zukunft, zum Beispiel durch den Vergleich präoperativ zu postoperativ, nach

einer Batten Graft Operation das Maß der Minderung des Nasenkollapses objektivieren. Und damit den Erfolg der Operation quantifizieren.

## 4.2 Diskussion der zweiten Studienphase

Die zehn nasengesunden Probanden unterschieden sich anamnestisch in Bezug auf die von uns abgefragten rhinologischen Parameter wie Neigung zu Erkältungskrankheiten, saisonale Rhinitis, perenniale Rhinitis, Polyposis nasi nicht signifikant von den zehn Patienten mit enger Nasenklappe und/oder Nasenflügelansaugphänomen. Wobei eine stärkere Beeinträchtigung in diesen Bereichen auch zu den Ausschlusskriterien zählte. Auffallend war aber, dass sich bei den Patienten gehäuft eine leichte Septumdeviation zeigte. Dies könnte mitursächlich für eine enge Nasenklappe sein und damit auch für die behinderte Nasenatmung.

Des Weiteren fiel auf, dass kein Proband über nasal bedingte Befindlichkeitsstörungen klagte während alle Patienten deutliche Befindlichkeitsstörungen angaben. Hier ist wiederum die Tatsache zu diskutieren, dass Befindlichkeitsstörungen jeweils zu den Aus- und Einschlusskriterien zählten. Jedoch stellten sich kein Proband mit solchen Befindlichkeitsstörungen und auch kein Patient ohne vor. Es musste somit niemand im Vorfeld ausgeschlossen werden. Es ist also anzunehmen, dass ein signifikanter Zusammenhang besteht zwischen nasal bedingten Befindlichkeitsstörungen und engen Nasenklappen bzw. Nasenflügelansaugphänomen.

Die Tatsache, dass der Querschnitt des vorderen Nasenlochs (NL) sowie der Querschnitt der inneren Nasenklappe (NK) bei den Patienten deutlich kleiner war als bei den nasengesunden Probanden lässt sich anhand der anatomischen Gegebenheiten einleuchtend erklären. Interessanterweise kam es bei den Patienten durch die forcierte Inspiration zu einer deutlicheren Verkleinerung des Querschnitts sowohl des vorderen Nasenlochs (NL) als auch der inneren Nasenklappe (NK) als bei den gesunden Probanden. Dies könnte wiederum mit der Gleichung nach Bernouilli erklärt werden.

$$p(\text{gesamt}) = p(\text{statisch}) + p(\text{dynamisch})$$

Durch die erhöhte Strömungsgeschwindigkeit bei der forcierten Inspiration kommt es besonders an engen Stellen zu einem höheren statischen Unterdruck als an

weiteren Stellen. Dies führt wahrscheinlich an besonders engen Nasenklappen, wie sie die Patienten besitzen, zu einer deutlicheren Verkleinerung des Querschnitts als bei Nasengesunden.

## 5 Zusammenfassung

**Hintergrund:** Mit dieser Arbeit wurden mehrere Fragestellungen zu den anatomischen Verhältnissen der Nase verfolgt. Ein Ziel war es, eine neue Messmethode zur objektiven Beurteilung, der Nasenklappenregion, zu entwickeln und zu evaluieren. Es wurden Normalwerte der Nase für Gesunde bei normaler Atmung und bei forcierter Inspiration planimetrisch festgelegt. Außerdem wurden die jeweiligen Veränderungen von normaler Atemstellung zu forcierter Inspirationsstellung dargestellt, um die Parameter, mit denen man am besten das Ansaugphänomen der Nasenflügel darstellen kann, zu eruieren. Es sollten die Reliabilität und der Grad der Korrelation mit der Rhinomanometrie und der akustischen Rhinometrie untersucht werden.

Ein weiteres Ziel stellten die Erfassung und der Vergleich der Querschnittsverhältnisse der inneren Nasenklappenregion und des vorderen Nasenlochs bei zehn Gesunden und bei zehn Patienten mit engen Nasenklappen und/oder Nasenflügelansaugphänomen dar. Sowie die Erfassung der nasal bedingten Befindlichkeitsstörungen.

**Material und Methoden:** In der ersten Studienphase wurden bei 30 Probanden an drei Tagen eine Rhinomanometrie und eine akustische Rhinometrie angefertigt. Der Naseneingang wurde von unten sowohl bei normaler Respiration als auch in forcierter Inspirationsstellung fotografiert. Die Ergebnisse wurden ausgewertet, evaluiert, auf ihre Reproduzierbarkeit und Validität geprüft. In der zweiten Studienphase wurde an zehn gesunden Probanden und an zehn Patienten mit engen Nasenklappen und/oder Nasenflügelansaugphänomen eine Rhinomanometrie sowie die planimetrische Vermessung der Nase durchgeführt. Außerdem wurden die Probanden und Patienten zu nasal bedingten Befindlichkeitsstörungen befragt und untersucht.

**Ergebnisse: Erste Phase:** Mittels Fototechnik konnten Normwerte und deren Veränderungen in normaler Atemstellung und in forcierter Inspirationsstellung ermittelt werden. Die Fototechnik stellte sich als sehr reliabel dar. Es wurden die besten Parameter zur Erfassung des Ansaugphänomens erarbeitet. Als bester Parameter stellte sich FKL (Differenz Fläche äußere Nasenklappe links [cm<sup>2</sup>]), mit einer Differenz zwischen normaler Respirationsstellung und forcierter Inspirationsstellung von -13,2% und einem p-Wert für FKLN (Fläche äußere

Nasenklappe links zu FKLf (Fläche äußere Nasenklappe links inspiratorisch) von 0.001 heraus. Die Fototechnik stellte sich als geeignete und gut reliable Methode dar. Zusammenfassend kann davon ausgegangen werden, dass sich die Rhinomanometrie als Methode um optimal den Kollaps der Nasenflügel zu messen nicht eignet. Die Verklebung an den Naseneingängen versteift die Naseneingänge so, dass der Kollaps verhindert wird. Bei der akustischen Rhinometrie konnte eine gute Reliabilität festgestellt werden. Sie eignet sich jedoch nicht das Ansaugphänomen optimal darzustellen, da bei der akustischen Rhinometrie nicht geatmet werden darf und es auch nie zu einem Kollaps der Nasenflügel kommt. Außerdem zeigten sich keine besonders erwähnenswerten Korrelationen zwischen der Fototechnik, der Rhinomanometrie und der akustischen Rhinometrie.

*Zweite Phase:* Sowohl Probanden als auch Patienten litten nicht unter Neigung zu Erkältungskrankheiten, saisonale Rhinitis, perenniale Rhinitis oder Polyposis nasi. Wobei bei den Patienten gehäuft eine Septumdeviation als (Mit)Ursache für die behinderte Nasenatmung auffiel. Des Weiteren litt nur die Gruppe der Patienten unter nasal bedingten Befindlichkeitsstörungen. Es besteht somit höchstwahrscheinlich ein Zusammenhang zwischen engen Nasenklappen und/oder Nasenflügelansaugphänomenen und nasal bedingten Befindlichkeitsstörungen. Es konnte außerdem gezeigt werden, dass der Querschnitt des vorderen Nasenlochs (NL) sowie der Querschnitt der inneren Nasenklappe (NK) bei den Patienten deutlich kleiner war als bei den gesunden Probanden und, dass es bei den Patienten durch die forcierte Inspiration zu einer deutlicheren Verkleinerung des Querschnitts sowohl des vorderen Nasenlochs als auch der inneren Nasenklappe kommt als bei den gesunden Probanden.

*Schlussfolgerung:* Die planimetrische Erfassung der Nasenparameter und deren Veränderungen ist mit guter Reliabilität möglich. Parameter, die das Ansaugphänomen darstellen, können planimetrisch vermessen werden und in Zukunft könnte zum Beispiel nach einer Batten Graft Operation der Nasenflügel das Maß der Minderung des Nasenkollaps und damit der Erfolg der Operation postoperativ objektiviert werden. Außerdem konnte gezeigt werden, dass sich die erfassten Parameter nasengesunder Personen von denen der Patienten mit engen Nasenklappen und/oder Nasenflügelansaugphänomenen deutlich unterscheiden.

## 6 Literaturverzeichnis

1. àWengen D.F., *Breathe-Implant: Ein neues Titanimplantat zur Spreizung und Stabilisation der inneren Nasenklappe*. Laryngo-Rhino-Otologie, 2008. **87**: 82-5
2. Bachmann, W., *Clinical functional diagnosis of obstructed nasal respiration*. Hno, 1983. **31**: 320-6
3. Bachmann, W. and U. Legler, *Studies on the structure and function of the anterior section of the nose by means of luminal impressions*, Acta Otolaryngol, 1972, **73**: 433-42
4. Berdel, D. and U. Koch, *The importance of nasal provocation and rhinomanometry*. Laryngol Rhinol Otol, 1981. **60**: 491-5
5. Bloching, M.B., *Störungen der Nasenklappenregion*. Laryngorhinootologie, 2007. **86**: 55-66
6. Clement PA, Gordts F., *Consensus report on acoustic rhinometry and rhinomanometry*. Rhinology, 2005. **43**:169-79
7. Cole P., *The respiratory role of the upper airways: a selective clinical and pathophysiological review*. Mosby Year Book, St Louis 1993
8. Constantian, M.B., *Functional effects of alar cartilage malposition*. Ann Plast Surg, 1993. **30**: 487-99
9. Constantian, M.B., *The incompetent external nasal valve: pathophysiology and treatment in primary and secondary rhinoplasty*. Plast Reconstr Surg, 1994. **93**: 919-31
10. Hilberg, O., *Objective measurement of nasal airway dimensions using acoustic rhinometry: methodological and clinical aspects*. Allergy, 2002. **70**: 5-39
11. Hilberg, O., et al., *Acoustic rhinometry: evaluation of nasal cavity geometry by acoustic reflection*. J Appl Physiol, 1989. **66**: 295-303
12. Horst Kuchling, 2007, Druck in Strömungen, S.163-65, *Taschenbuch der Physik*, Fachbuchverlag, Leipzig
13. Jürgen Eichler, 1988, Grundbegriffe zur Atemströmung, S.17-29, *Einführung in die Technik der Rhinomanometrie- Anwendungen in der Rhinologie und Allergologie*- Quintessenz Verlag-GmbH, Berlin, Chicago, London



14. Meyer, R., B. Jovanovic, and S. Derder, *All about nasal valve collapse*. *Aesthetic Plast Surg*, 1996. **20**: 141-51
15. Millman, B., *Alar batten grafting for management of the collapsed nasal valve*. *Laryngoscope*, 2002. **112**: 574-9
16. Mink, P.J., *Physiologie der oberen Luftwege*. Leipzig, 1920. cited by Uddstromer M.: *Nasal Respiration*. *Acta Otolaryng*, **42**, 1940.
17. Mlynski G., Beule A., *Diagnostik der respiratorischen Funktion der Nase*. HNO - Deutsche Gesellschaft für Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde, Kopf- und Halschirurgie, 2008. **56**: 81-99
18. Roithmann, R., et al., *Acoustic rhinometry in the evaluation of nasal obstruction*. *Laryngoscope*, 1995. **105**: 275-81
19. Roithmann, R., et al., *The role of acoustic rhinometry in nasal provocation testing*. *Ear Nose Throat J*, 1997. **76**: 747-50, 752
20. Shaida, A.M. and G.S. Kenyon, *The nasal valves: changes in anatomy and physiology in normal subjects*. *Rhinology*, 2000. **38**: 7-12
21. Urpegui, A.M., et al., *Evaluation with acoustic rhinometry of surgical results in patients undergoing septoplasty*. *Acta Otorrinolaringol Esp*, 1999. **50**: 34-9
22. Vidyasagar R, Friedman M, Ibrahim H, Bliznikas D, Joseph NJ, *Inspiratory and fixed nasal valve collapse: clinical and rhinometric assessment*. *Am J Rhinol.*, 2005. **16**: 370-74
23. Wexler DB, Davidson TM, *The nasal valve: a review of the anatomy, imaging, and physiology*. *Am J Rhinol*, 2004. **23**: 143-50

## 7 Anhang

### 7.1 Abbildungsverzeichnis

|  |    |
|--|----|
| Abbildung 1: Gesetz von Bernoulli, Zusammenhang von Druck und Strömungsgeschwindigkeit.....  | 2  |
| Abbildung 2: Versuchsaufbau Rhinomanometrie .....  | 9  |
| Abbildung 3: Versuchsaufbau akustische Rhinometrie .....   | 11 |
| Abbildung 4: Höhe-Breite Nase .....  | 14 |
| Abbildung 5: Fläche Naseneingang.....  | 14 |
| Abbildung 6: Höhe-Breite Naseneingang .....  | 15 |
| Abbildung 7: Äußere Nasenklappe.....   | 15 |
| Abbildung 8: Innere Nasenklappe .....  | 16 |
| Abbildung 9: Graphische Darstellung der Rhinomanometriewerte für Tag1, Tag2 und Tag3.....  | 21 |
| Abbildung 10: Graphische Darstellung der Reproduzierbarkeit der Rhinomanometriewerte mit Trend nach oben für Tag1, Tag2 und Tag3. ....                 | 22 |
| Abbildung 11: Graphische Darstellung der Reproduzierbarkeit der Rhinomanometriewerte mit intraindividuellen Schwankungen für Tag1, Tag2 und Tag3. .... | 22 |
| Abbildung 12: Graphische Darstellung der Distanz für Tag1, Tag2 und Tag3 .....   | 24 |
| Abbildung 13: Graphische Darstellung der Reproduzierbarkeit der Distanz rechts für Tag1, Tag2 und Tag3.....  | 25 |
| Abbildung 14: Graphische Darstellung der Reproduzierbarkeit der Distanz total für Tag1, Tag2 und Tag3.....   | 25 |
| Abbildung 15: Graphische Darstellung der Reproduzierbarkeit der Höhe des linken Naseneingangs für Tag1, Tag2 und Tag3.....                             | 29 |
| Abbildung 16: Graphische Darstellung der Reproduzierbarkeit der Fläche der inneren Nasenklappe rechts für Tag1, Tag2 und Tag3.. .....                  | 30 |
| Abbildung 17: Graphische Darstellung der Reproduzierbarkeit der Fläche der äußeren Nasenklappe rechts für Tag1, Tag2 und Tag3.....                     | 32 |

Abbildung 18: Änderung der Querschnittsverhältnisse durch forcierte  
Inspiration bei Probanden und Patienten ..... 44

## 7.2 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Rhinomanometrie, Mittelwert und Standardabweichung..... 20

Tabelle 2: Akustische Rhinometrie. Mittelwert und Standardabweichung von  
Querschnitt, Volumen, MCA tot. .... 23

Tabelle 3: Akustische Rhinometrie. Median der Distanz. .... 24

Tabelle 4: Nasenbasis. Mittelwert und Standardabweichung ..... 26

Tabelle 5: Rechter Naseneingang. Mittelwert und Standardabweichung ..... 27

Tabelle 6: Linker Naseneingang. Mittelwert und Standardabweichung ..... 28

Tabelle 7: Innere Nasenklappe. Mittelwert und Standardabweichung..... 30

Tabelle 8: Äußere Nasenklappe. Mittelwert und Standardabweichung ..... 31

Tabelle 9: Differenzen, inspiratorisch-expiratorisch. Mittelwert und  
Standardabweichung..... 33

Tabelle 10: Rhinomanometrie ..... 35

Tabelle 11: Akustische Rhinometrie. Querschnitt, Volumen, MCA tot..... 36

Tabelle 12: Akustische Rhinometrie, Distanz ..... 36

Tabelle 13: Nasenbasis. Mittelwert und Standardabweichung ..... 37

Tabelle 14: Rechter Naseneingang. Mittelwert und Standardabweichung ..... 37

Tabelle 15: Linker Naseneingang. Mittelwert und Standardabweichung ..... 38

Tabelle 16: Innere Nasenklappe. Mittelwert und Standardabweichung..... 38

Tabelle 17: Äußere Nasenklappe. Mittelwert und Standardabweichung ..... 39

Tabelle 18: Differenzen, inspiratorisch-expiratorisch ..... 39

Tabelle 19: Spezielle Grundkonstitution der Probanden und Patienten ..... 42

Tabelle 20: Nasal bedingte Befindlichkeitsstörungen der Probanden und  
Patienten ..... 42

Tabelle 21: Messergebnisse der Planimetrie und Rhinomanometrie (rechts+links)  
..... 43

### **7.3 Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei Herrn Prof. Dr. med. Herbert Riechelmann für die Vergabe der interessanten Aufgabenstellung und die stets anregende Kritik bei allen Besprechungen bedanken. Herrn Leiacker danke ich für die Unterstützung in allen technischen Fragen. Frau Seil, Frau Reif, Frau Salmen und Frau Möhnle danke ich für ihre stete Geduld und den moralischen Beistand. Frau Franz danke ich für ihren starken Einsatz in allen Lebenslagen. Außerdem danke ich Torsten Will für alles.

## 7.4 Lebenslauf

### PERSÖNLICHE DATEN

|                   |                         |
|-------------------|-------------------------|
| Nachname          | Di Dio                  |
| Vorname           | Diana Fortunata         |
| Geburtsdatum/-ort | 16.10.1978, Ludwigsburg |
| Familienstand     | ledig                   |

### SCHULBILDUNG / AUSBILDUNG

|           |   |
|-----------|---|
| 1985-1989 | Grundschule Esslingen-Pliensauvorstadt                      |
| 1989-1995 | Zollberg-Realschule, Abschluss 1995 mit der Mittleren Reife |
| 1995-1996 | Ballettschule der Oper Leipzig, klassisches Ballett         |
| 1996-1997 | Hochschule der Künste Mannheim, klassischer Tanz            |
| 1997-2000 | John-F.-Kennedy Gymnasium Esslingen, Abschluss: Abitur      |

### STUDIUM

|               |  |
|---------------|--|
| 2000-2007     | Studium der Medizin an der Universität Ulm         |
| 9/2002        | Physikum   |
| 9/2003        | 1. Staatsexamen                                    |
| 9/2003-4/2004 | Università degli Studi Bologna                     |
| 9/2005        | 2. Staatsexamen                                    |
| 6/2007        | 3. Staatsexamen                                    |
| Seit 7/2007   | Assistenzärztin Olgahospital Stuttgart, HNO-Klinik |