

# **UNIVERSITÄTSKLINIKUM HAMBURG-EPPENDORF**

Poliklinik für Hör-, Stimm- und Sprachheilkunde  
Leitung: Dr. med. Christina Pflug

## **Die Pin-Up Glottoplasty – Eine Machbarkeitsstudie**

### **Dissertation**

zur Erlangung des Grades eines Doktors der Medizin  
an der Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg

vorgelegt von:

Almut Nießen  
aus Heidelberg

Hamburg 2018

**Angenommen von der  
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg am: 26.06.2018**

**Veröffentlicht mit Genehmigung der  
Medizinischen Fakultät der Universität Hamburg**

**Prüfungsausschuss, der/die Vorsitzende: Prof. Dr. Markus Hess**

**Prüfungsausschuss, zweite/r Gutachter/in: PD Dr. Adrian Münscher**

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung .....	4
1.1 Medialisierung der stillstehenden Stimmlippe - ein Überblick über Geschichte und Methoden .....	4
1.2 Lateralisierung der stillstehenden Stimmlippe - ein Überblick über Geschichte und Methoden .....	9
1.3 Anatomie und Physiologie des Kehlkopfes .....	11
1.3.1 Aufbau des Larynx - Stützgerüst und Gelenke.....	11
1.3.2 Muskeln des Larynx .....	13
1.3.3 Innervation des Larynx.....	16
1.4 Stimmlippenpathologien.....	18
1.5 Grundlagen der Bildgebung mittels DVT (Digitaler Volumentomographie)	20
1.6 Grays Minithyroidotomie .....	20
2. Hypothese und Fragestellung .....	21
3. Material und Methoden .....	22
3.1 Schematische Darstellung der Methode .....	24
3.2 Winkelmessung .....	25
3.3 Fotodokumentation der Methode.....	26
4. Ergebnisse .....	29
4.1 Übersicht über die Ergebnisse .....	30
4.2 Ergebnisse im Detail.....	31
5. Diskussion.....	52
6. Zusammenfassung .....	56
7. English Abstract.....	57
8. Abkürzungsverzeichnis .....	58
9. Abbildungsverzeichnis .....	59
10. Literaturnachweise .....	61
11. Danksagung.....	66
12. Lebenslauf.....	67
13. Eidesstattliche Versicherung .....	69

# 1. Einleitung

## 1.1 Medialisierung der stillstehenden Stimmlippe – ein Überblick über Geschichte und Methoden

Mit der Untersuchung seiner eigenen Stimmlippen wurde zunächst 1855 von dem Opernsänger Garcia (Garcia und Hörberg, 2007) die systematische Untersuchung der Stimmbildung beschrieben. Daraus entwickelten sich schnell die technischen Möglichkeiten für HNO-Ärzte, immer detaillierter Funktionsstörungen der Phonation zu diagnostizieren (Mygind, 1906; Navratil, 1914).

Schon früh wurde als Ursache von Heiserkeit eine Lateralstellung mindestens einer Stimmlippe ausgemacht und erste Versuche zur Therapie durchgeführt.

Über Jahrzehnte war eine Injektion mit Paraffinöl / Hartparaffin Standard (Brünings, 1911). Sogar eine perkutane Injektion, allerdings in direkter Laryngoskopie wurde bereits 1919 von Seiffert vorgeschlagen (Seiffert, 1919).

1915 wurde die erste plastische Operation zur Stimmlippenmedialisierung bei einseitiger Stimmlippen-Lähmung publiziert (Payr, 1915). Hier wurde laryngealer Knorpel aus einem lateralen Fenster entnommen und als Keil zur Medialisierung der Stimmlippe verwendet.

Bereits 1924 berichtete Frazier über Versuche einer Nerven-anastomose mit dem Ramus descendens des N. hypoglossus (Frazier, 1924) zur Reinervation des N. recurrens. Bis heute konnte aber durch verschiedene Anastomosen keine Beweglichkeit, sondern lediglich eine Straffung der Stimmlippen erreicht werden.

1962 stellte G. E. Arnold die Tefloninjektion als Alternative zu dem „inzwischen in der Medizin verpönten Paraffin“ als Mittel zur Stimmlippenmedialisierung vor (Arnold, 1962). Bereits in den Jahren zuvor hatte er zunächst in Wien, später in New York mit diversen anderen Substanzen experimentiert. Unter anderem verwendete er auch Septumknorpel, den er in Gelatine mit der Brünings-Spritze in die Stimmlippe eingebracht hatte (Arnold, 1955). Hierbei scheiterte er aber an der Resorption des

Implantatmaterials.

Tefloninjektionen in die Stimmlippe wurden bis weit in die 90er Jahre des 20. Jahrhunderts routinemäßig zur Stimmlippenmedialisierung durchgeführt (Kasperbauer, 1995); Ende des 20. Jahrhunderts kamen diverse neue Materialien zur Stimmlippenmedialisierung auf den Markt, die teilweise noch immer verwendet werden.

Teflon war ein ideales Material zur dauerhaften Stimmlippenmedialisierung, das leider langfristig zu diversen Problemen führte. Dazu zählen Fremdkörpergranulome und Wanderung des Implantatmaterials.

Sofern eine Entfernung des Teflons aus dem Kehlkopf notwendig ist, stellt diese sich schwierig bis unmöglich dar.

Teflon wird heute nur noch verwendet, wenn Spätreaktionen auf das Material aufgrund der Prognose des Patienten nicht bedacht werden müssen (Kwon und Buckmire, 2004).

Inzwischen ebenfalls kaum noch verwendet, war zwischenzeitlich Kollagen – vom Rind, homolog oder sogar autolog – ein häufig verwendetes injizierbares Material. Weiterhin verwendet werden Gelatine, Calcium-Hydroxylapatit und Hyaluronsäure-Gel, gelegentlich auch Silikone sowie autologes Fett bzw. autologe Faszie (Lisi et al., 2013).

Alle Materialien haben Nachteile (Tigges und Hess, 2015). Autologes Fett muss zunächst gewonnen werden; die notwendige Überinjektion führt zu einer längeren Heiserkeit.

Autologe Faszie ist aufwändig zu gewinnen und schlecht modellierbar.

Hyaluronsäure-Gel wird sehr schnell (nach etwa drei Monaten, selten länger) resorbiert und führt (selten) zu Überempfindlichkeitsreaktionen.

Calcium-Hydroxylapatit wird zwar als nicht-resorbierbares Material geführt, es sind aber meist mehrere Injektionen notwendig, bis es zu einer dauerhaften Medialisierung der Stimmlippe kommt (Tigges ebd., 2015).

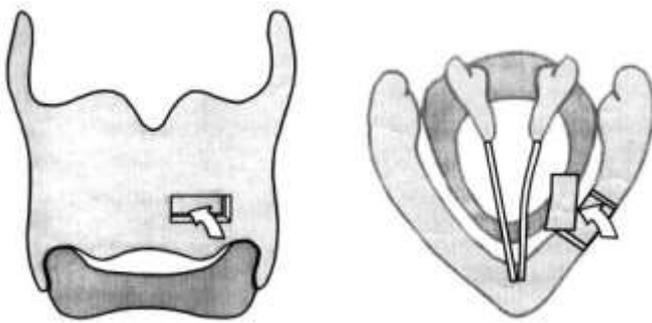
Transorale Injektionen haben den Vorteil, dass sie ambulant und unter Lokalanästhesie schnell durchgeführt werden können. Bei einem Glottisspalt von über 3 mm ist der Augmentationseffekt jedoch in der Regel nicht ausreichend, um

einen suffizienten Glottisschluss zu erzielen. Hier sind andere Techniken zu bevorzugen.

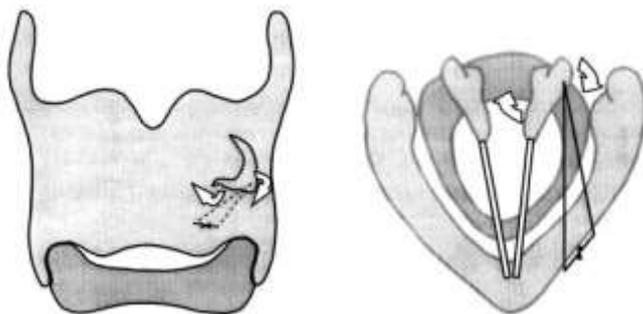
Die heute verwendeten permanenten Medialisierungstechniken für einen weiteren Glottispalt basieren auf der von Isshiki entwickelten Thyreoplastik (Isshiki et al., 1974).

Von den ursprünglich von ihm vorgestellten vier Typen der Thyreoplastik wird hauptsächlich der Typ I angewendet, teilweise auch in Kombination mit einer „Arytenoid Adduction“.

Hierbei wird auf der Seite der stillstehenden Stimmlippe über ein Fenster im Schildknorpel ein Keil lateral des Stimmbandes eingebracht, der dieses – und damit die Stimmlippe – zur Mittellinie hin luxiert (Siehe Abbildung 1, Thyreoplastik Typ I, Abbildung 2, Arytenoid adduction).



*Abbildung 1 Thyreoplastik Typ I (Friedrich et al., 2001)*



*Abbildung 2 Arytenoid adduction (mit Rotation) (Friedrich ebd., 2001)*



*Abbildung 3 Schematische Darstellung einer Thyreoplastik mit Arytenoid Adduction von dorsal (Quelle: Prof. Hess)*

Diese Technik wurde sowohl von Isshiki selbst als auch von diversen anderen Phonochirurgen modifiziert.

Insbesondere wurden neben Silikonkeilen auch andere Materialien (Teflon, Ballon, Keramik) als Implantatmaterialien untersucht (Hoffman et al., 2011; McCulloch und Hoffman, 1998; Sakai et al., 1993).

Die Operation wird häufig unter Vollnarkose durchgeführt, erfordert aber auf jeden Fall ein operatives Setting und eine Analgosedierung.

Vorgefertigte Keile sind kommerziell erhältlich, deren Sitz aber von vielen Operateuren nicht als optimal gesehen wird, weswegen häufig ein Keil aus einem Silikonblock selbst zugeschnitten wird.

Das Zuschneiden eines passgenauen Keils ist zeitaufwändig, weshalb die Operation circa zwei Stunden dauern kann (Rosero et al., 2016).

Gelegentlich ist die Größe des intraoperativ angepassten Keils trotz sorgfältiger Vorbereitung nicht optimal oder er sitzt nicht richtig; dann wird zum Austausch eine erneute Operation notwendig.

Auch wenn die Materialien sich unterscheiden und sich über Jahrzehnte weiterentwickelt haben, sind die Methoden der Stimmlippenmedialisierung im Prinzip seit vielen Jahrzehnten unverändert (Kwon ebd., 2004).

In dieser Arbeit soll nun eine neue Medialisierungsmethode auf ihre Machbarkeit überprüft werden. Angestrebt wird, dass ein größerer Glottisspalt ausgeglichen werden kann und der Effekt permanent anhält. Gleichzeitig soll die vorgestellte Technik weniger invasiv und zeitaufwändig sein.

## 1.2 Lateralisierung der stillstehenden Stimmlippe – ein Überblick über Geschichte und Methoden

Bereits 1939 schrieb King (King, 1939) über die bis dahin erprobten Operationsmethoden zur Behandlung eines beidseitigen Stimmlippenstillstands. Neben einer permanenten Tracheotomie als erfolgreichster – und bis 1922 einziger – Methode (aber „niemand möchte dauerhaft ein Stück Rohrleitung in seiner Luftröhre tragen, im besten Fall ist eine Trachealkanüle lästig“) beschreibt er Versuche von Anastomosierungen mit diversen anderen Nerven.

Daneben berichtet er über Cordotomien oder Cordektomien (Jackson, 1922) mit diversen Modifikationen wegen schlechter stimmlicher Ergebnisse und Dysphagien. Als weitere Möglichkeit beschreibt er Verlagerungen eines Stimmbandes in eine fixierte Lateralstellung.

Kelly berichtet bereits ab 1941 über eine Arytenoidektomie von außen, die er in den Folgejahren mehrfach modifizierte (Kelly, 1941, 1946).

1946 stellte außerdem Woodman seine Methode zur Laterofixation vor: Nach einer Aryresektion wurde ein Faden submukös um den Processus vocalis geschlungen (Woodman, 1946) und am Cornu inferior des Thyroids befestigt.

Thornell berichtete 1948 dann erstmals über einen intralaryngealen Zugang für eine Arytenoidektomie (Thornell, 1948).

In der Folge wurden immer wieder unterschiedliche Versuche zur Reinnervation des Larynx beschrieben, insbesondere ab den 70er Jahren von Tucker, dessen Methode auch von anderen Kliniken übernommen wurde (Applebaum et al., 1979; May et al., 1980; Tucker, 1976, 1977, 1978a, 1978b, 1979, 1982, 1983)

Erst in den 80er Jahren des 20. Jahrhunderts wurde das Repertoire der therapeutischen Möglichkeiten erweitert, als der CO<sub>2</sub>-Laser endoskopisch zur Arytenoidektomie eingesetzt wurde (Ossoff et al., 1984). Die laserchirurgische subtotale Aryresektion ist noch heute eine der bevorzugten Methoden der Glottiserweiterung.

Eine weitere häufig durchgeführte Methode wurde von Lichtenberger 1999 vorgestellt (Lichtenberger, 1999). Diese wird inzwischen bei vermutet reversiblen Stimmlippenstillständen auch passager anstelle einer Tracheotomie eingesetzt.

Lichtenberger hatte ab 1977 im Tierversuch und ab 1981 am Patienten begonnen, eine Stimmlippe mit zwei Fäden nach lateral zu fixieren. Dies erfolgt durch eine direkte Laryngoskopie, bei der ein Faden unterhalb der Stimmlippe nach extralaryngeal geführt und das zweite Fadenende dann oberhalb der Stimmlippe ebenso nach extralaryngeal in die Halsweichteile gebracht wird. Ein zweiter Faden wird dann etwas ventral in gleicher Weise nach außen gebracht. Beide Fäden werden subkutan (über eine Hautinzision) verknotet (Theissing et al., 2006).

Problem aller Methoden ist, dass der Kompromiss zwischen Stimmerhalt und Lateralisierung meist unbefriedigend ist, bei der Methode nach Lichtenberger oft der Faden reißt und bei allen Methoden der Chordektomie, die eine suffiziente Atmung ermöglichen, die Stimme dauerhaft schlecht bleibt.

In dieser Arbeit soll nun als zweites Ziel überprüft werden, ob mit der „Pin-up Glottoplasty“ auch eine suffiziente Lateralisierung der Stimmlippen möglich ist.

## 1.3 Anatomie und Physiologie des Kehlkopfes

### 1.3.1 Aufbau des Larynx – Stützgerüst und Gelenke

Das äußere Gerüst des Kehlkopfes wird aus Schildknorpel (Cartilago thyreoidea) und Ringknorpel (Cartilago cricoidea) gebildet. Im Inneren befinden sich die beiden Stellknorpel (Cartilagine arytaenoideae, Aryknorpel) mit je zwei Nebenknochen (Cartilagine corniculatae Santorini und Cartilagine cuneiformes Wrisbergi) und der Kehldeckel (Cartilago epiglottica, Epiglottis).

Der Schildknorpel ist aus zwei seitlichen Platten zusammengesetzt, die sich vorne in einem bei Männern und Frauen unterschiedlichen Winkel treffen. Dieser beträgt bei Frauen und Kindern beiderlei Geschlechts vor der Pubertät ca. 120° und bei Männern ca. 90°.

Der „Adamsapfel“ des Mannes wird durch den vorderen oberen Anteil dieser Platten gebildet (Prominentia laryngea).

Zum Stützgerüst gehört außerdem als einziger Knochen auch das Os hyoideum (Zungenbein), das über das Ligamentum hyothyroideum mit dem Oberrand des Schildknorpels verbunden ist.

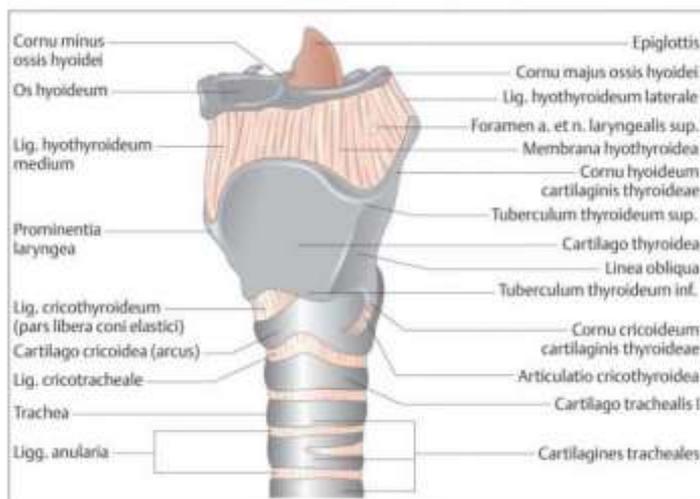


Abbildung 4 Stützgerüst von lateral (Wendler und Appel, 2005)

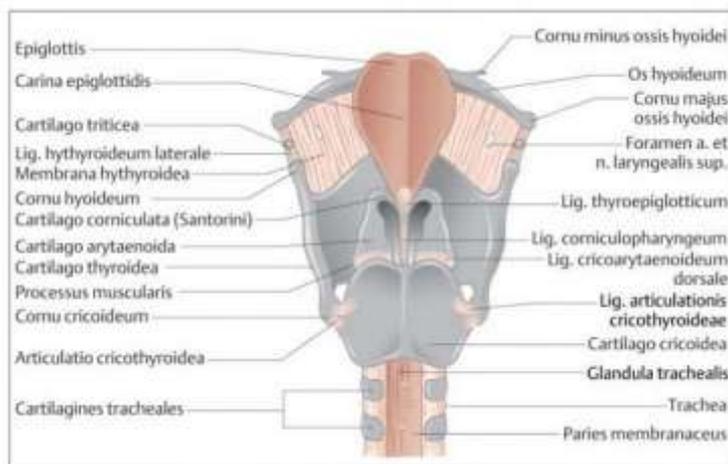


Abbildung 5 Stützgerüst von dorsal (Wendler ebd., 2005)

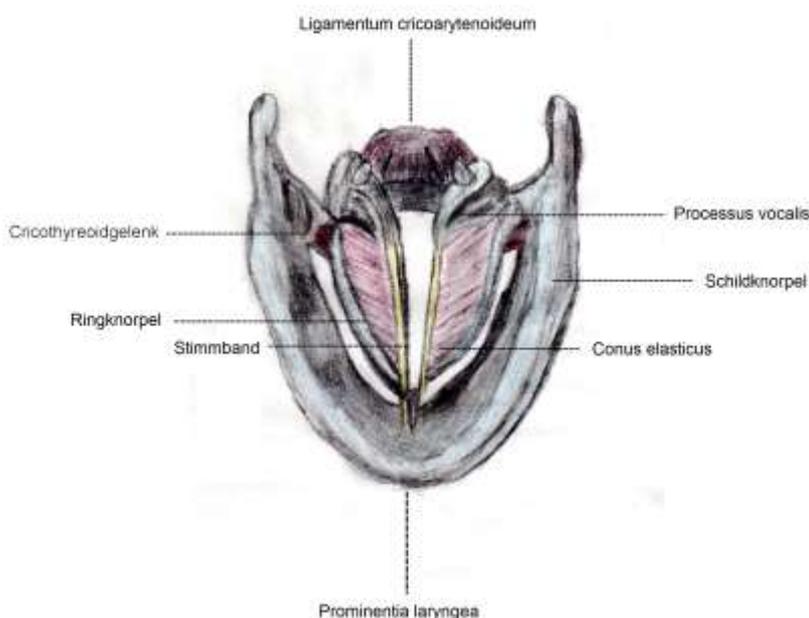


Abbildung 6 Aufbau des Larynxgerüsts von cranial

Zwischen Schild- und Ringknorpel, genauer gesagt zwischen den lateralen Seitenflächen des Ringknorpels und den unteren Hörnern des Schildknorpels liegt auf beiden Seiten das Cricothyroidgelenk (siehe Abbildung 6 Aufbau des Larynxgerüsts von cranial).

Diese beiden Gelenke ermöglichen über eine drehende Scharnierbewegung eine Annäherung des Ringknorpels an den Schildknorpel entlang einer transversalen Achse und damit eine vermehrte Spannung der Stimmlippen. Diese sind zwischen Schild- und Ringknorpel verspannt. (Siehe Abbildung 7 Bewegungsschema der Larynxgelenke von medial).

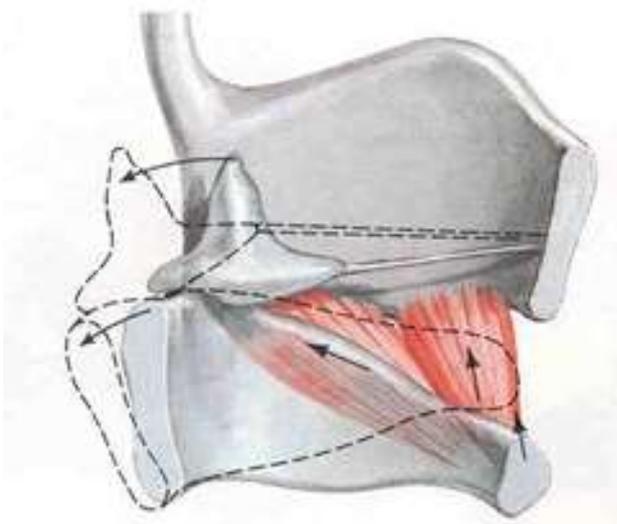


Abbildung 7 Bewegungsschema der Larynxgelenke von medial (Quelle: HSS UKE)

Zwischen Aryknorpeln und Ringknorpelplatte (Lamina cartilaginosa cricoidea, dem „Siegel“) liegen die Cricoarytenoidgelenke, die sich bei Phonation in einer Kipp-Gleit-Bewegung gegeneinander bewegen; damit ist eine Bewegung nach mediolateral möglich, die die Stimmlippenab- und -adduktion vermittelt. Die Gelenkkapsel wird durch das Ligamentum cricoarytenoideum verstärkt.

### 1.3.2 Muskeln des Larynx

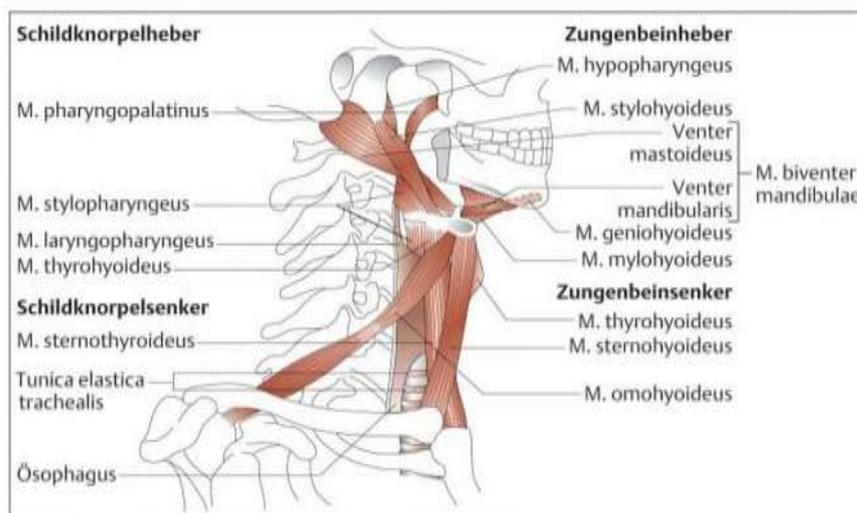


Abbildung 8 Muskelgürtung des Kehlkopfes ((Wendler ebd., 2005) nach Lanz und Wachsmuth)

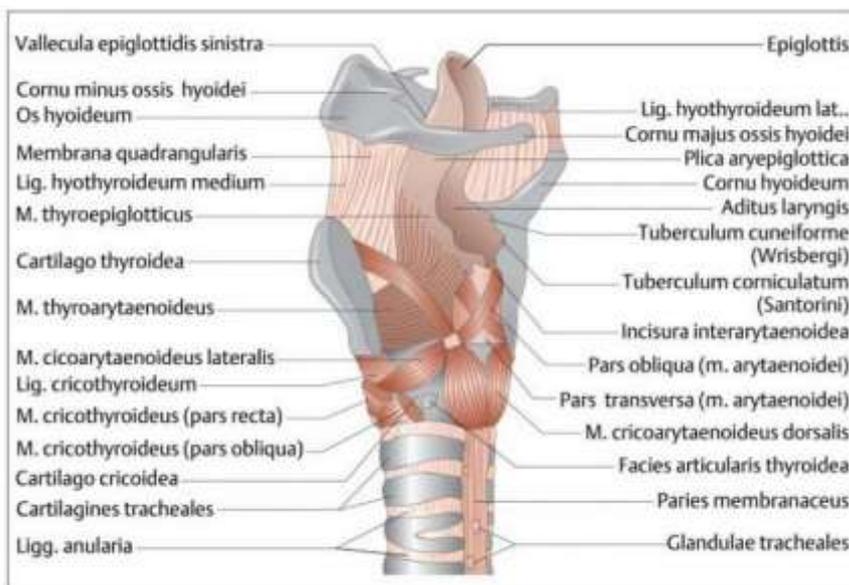


Abbildung 9 Larynxmuskulatur (Wendler ebd., 2005)

Die Kehlkopfmuskulatur hat mehrere Funktionen. Zum einen veranlasst sie im Rahmen des Schluckens die Larynxelation über Zungenbeinheber und -senker sowie Schildknorpelheber und -senker. Diese äußeren Muskeln dienen auch für die Phonation als Hilfsmuskeln.

Zum anderen verändern die für die Phonation wesentlichen Binnenmuskeln den Raum zwischen den Stimmlippen. Sie erweitern oder verengen den Glottisspalt und verändern die Stimmlippenform, indem sie den Spannungszustand der Stimmlippen regulieren.

Diese Binnenmuskeln werden in drei Gruppen eingeteilt: Abduktoren (M. cricoarytaenoideus dorsalis – einziger Öffner), Adduktoren (M. cricoarytaenoideus lateralis, M. arytaenoideus und M. vocalis) und Tensoren (M. vocalis, M. cricothyroideus, M. cricopharyngeus).

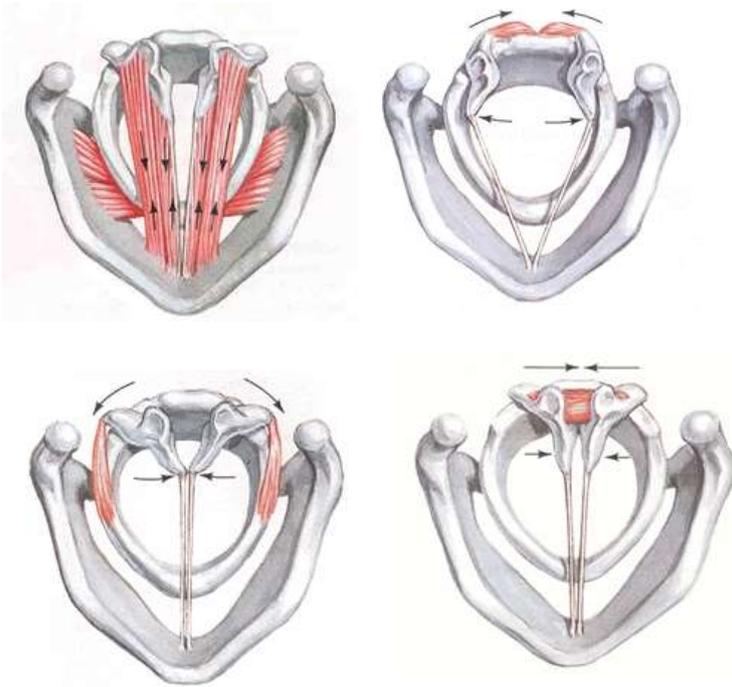


Abbildung 10 Schematische Darstellung der Funktionen der einzelnen Muskeln - von oben links nach unten rechts: *M. vocalis*, *M. cricoarytaenoideus dorsalis*, *M. cricoarytaenoideus lateralis*, *M. arytaenoideus* (Quelle: HSS UKE)

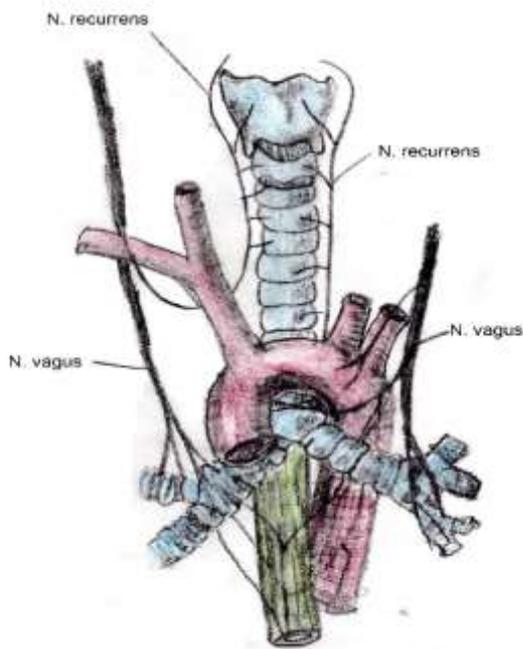


Abbildung 11 Normaler Stimmlippenbefund in Respiration und Phonation (Quelle: HSS UKE)

### 1.3.3 Innervation des Larynx

Die sensible und motorische Innervation des Larynx entstammt dem Nervus vagus. Diese erfolgt durch dessen Äste, die Nn. laryngei superior und inferior (N. recurrens). Der N. laryngeus superior zweigt sich auf in einen Ramus internus, der die Schleimhaut des Kehlkopfes bis zur Glottisebene sensibel versorgt, und einen Ramus externus, der den M. cricothyreoideus für die Grobspannung der Stimmlippen innerviert.

Der N. recurrens versorgt alle inneren Kehlkopfmuskeln motorisch, außerdem sensibel die subglottische Schleimhaut.



*Abbildung 12 Verlauf des N. vagus und des N. recurrens im Bereich des oberen Mediastinums*

Probleme bereitet der N. recurrens bei Halsoperationen, weil er parallel zum N. vagus cervical wieder zurück nach cranial läuft. Er umschlingt links den Aortenbogen und rechts die Arteria subclavia.

Daher besteht bei jedem Eingriff im unteren Halsbereich die Gefahr, den N. recurrens zumindest einseitig zu verletzen und dadurch nachhaltige Stimmprobleme zu verursachen.

Zu diesen Operationen zählen insbesondere Eingriffe an der Schilddrüse, aber auch Operationen an der Wirbelsäule mit ventralem Zugang und Eingriffe in den Halsweichteilen. Auch kardiologische Eingriffe, die den Aortenbogen mitbetreffen, bergen ein gewisses Risiko. Bei diesen Operationen, ebenso wie bei Eingriffen an den oberen Lungenlappen und Bronchien, ist auch der N. vagus selbst gefährdet.

## 1.4 Stimmlippenpathologien

Es gibt unterschiedliche Pathologien, die zu einer Dysphonie oder auch zu Atemwegsbehinderungen führen können. Neben Pathologien, die normalerweise keine Stimmlippenmedialisierung oder -lateralisierung erfordern (Ödeme, Polypen, Granulome, Fehlbildungen, Zysten, Phonationsverdickungen), sind hier in erster Linie bösartige Neubildungen zu nennen.

Stimmlippenkarzinome können durch ihre Entfernung Stimmlippendefekte oder -stillstände verursachen, die wiederum durch eine Glottisinsuffizienz zu Heiserkeit führen.

Bei Glottisinsuffizienz kann hier gelegentlich auch eine Medialisierungsoperation der Stimmlippen notwendig werden.

Wie bereits weiter oben angeführt, sind diese üblicherweise einem einseitigen Stillstand (Abbildung 13) der Stimmlippen vorbehalten, die glottiserweiternden Eingriffe beidseitigen Stillständen.



Abbildung 13 Stillstand rechts in Phonations- und Inspirationsstellung (Quelle: HSS UKE)

Rosen und Simpson (Rosen und Simpson, 2008a) zitieren für die Ursachen von Stimmlippenstillständen die Arbeit von Benninger und modifizieren dessen Zahlen:

- 24.7% nicht-laryngeale Tumoren
- 23.9% iatrogen durch chirurgische Traumen
- 19.6% idiopathisch
- 11.1% nicht-chirurgische Traumen
- 7.9% neurologisch
- 7.5% Intubation
- 4.3% thorakales Aortenaneurysma
- 1.1% Lungen- oder mediastinale Tuberkulose

Der Vollständigkeit halber sei angemerkt, dass Unterfütterungen mit resorbierbaren Materialien auch für den Presbylarynx in Frage kommen, um einen vollständigen Stimmlippenchluss wieder möglich zu machen (Siehe Abbildung 14).



*Abbildung 14 Presbylarynx: Stimmlippe vor und nach Unterfütterung (Quelle: UKE HSS)*

## 1.5 Grundlagen der Bildgebung mittels DVT (Digitaler Volumentomographie)

Bereits seit Mitte der 70er Jahre wurde an der dreidimensionalen Rekonstruktion körpereigener Strukturen mittels Computertomographie (CT) gearbeitet (Herman und Liu, 1977). Bereits seit Ende der 50er Jahre des 20. Jahrhunderts wurde im konventionellen Tomogramm versucht, Strukturen dreidimensional darzustellen (König und Von Leden, 1963; Teschendorf, 1959). Seit Anfang der 1980er Jahre wurde die 3D-Darstellung mit Hilfe des CT einfacher. Ende der 1990er Jahre kam die digitale Volumentomographie (englisch: Cone Beam Computed Tomography, abgekürzt CBCT) auf den Markt, nachdem bereits 1990 die ersten Machbarkeitsstudien durchgeführt worden waren (Kudo und Saito, 1990). Die Strahlenbelastung durch ein DVT ist zwar gegenüber einem CT deutlich geringer, es kann allerdings bisher nur im Kopf-Hals-Bereich verwendet werden. Das DVT ermöglicht neben dreidimensionalen Bildern verzerrungsfreie Darstellungen jeder Ebene der aufgenommenen Strukturen. Dies war in dieser Arbeit besonders wichtig, da damit die untersuchten Kehlköpfe auf Schädigungen durch die Medialisierung bzw. Lateralisierung sowie der Sitz der Nadel in jeder Ebene überprüft werden konnte.

Im Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf wird für die Untersuchung an Patienten das DVT-Gerät Accuitomo der Firma Morita aus Japan verwendet.

## 1.6 Grays Minithyroidotomie

Die Minithyroidotomie (Rosen und Simpson, 2008b), die Gray entwickelt hat, ist eigentlich nicht für eine relevante Medialisierung vorgesehen. Sie soll in direkter Mikrolaryngoskopie durchgeführt werden. Dafür wird ein 2-3 cm langer horizontaler Hautschnitt über dem Schildknorpel geführt, um dann eine 22G Nadel durch den Schildknorpel auf die Höhe der Stimmlippen in die vordere Kommissur einzustecken. Die korrekte Nadelposition wird durch einen Assistenten mit 0°-Optik überwacht und ggf. durch den Operateur in der Position korrigiert. Erst danach wird die korrekte Position auf dem Schildknorpel markiert. Das Bohrloch wird dann ca. 3-5 mm lateral der Mittellinie mit einem 3 mm-Bohrer auf der gleichen Höhe geführt bis knapp vor dem Durchbruch durch den Knorpel. Die Knorpelreste werden dann mit einer Mastoid-Kürette entfernt, um keine Verletzung des Weichteilgewebes durch den Bohrer zu verursachen.

## 2. Hypothese und Fragestellung

Es soll an 20 humanen, nicht konservierten Kehlkopfpräparaten nachgewiesen werden, dass die „Pin-Up Glottoplasty“ machbar ist, ohne mit der Nadel die Schleimhaut zu penetrieren.

Zusätzlich soll untersucht werden, welche anatomischen Bereiche bei einer Medialisierung bzw. Lateralisierung der Stimmlippe mittels einer Nadel Probleme verursachen. Wir hielten insbesondere den Bereich zwischen Processus vocalis und Ringknorpel für penetrationsgefährdet.

Außerdem soll geklärt werden, in welchem Umfang eine Medialisierung bzw. Lateralisierung auf diese Weise möglich ist, indem im DVT die Winkel zwischen maximaler Medialisierung und Lateralisierung der Stimmlippen gemessen werden.

Die Hypothese ist, dass hiermit eine leicht und schnell durchzuführende Methode besteht, um Stimmlippen bei einseitigem Stillstand zu medialisieren bzw. bei beidseitigem Stillstand zu lateralisieren.

### 3. Material und Methoden

Mittels humanen Kehlköpfen aus dem Institut für Rechtsmedizin (Püschel, 2016) sollte untersucht werden, ob sich über eine Minithyroidotomie nach Gray (Rosen ebd., 2008b) und Einführen einer 21G-Nadel in die Stimmlippe eine Medialisierung bzw. Lateralisierung der Stimmlippen erreichen lässt. Dabei sollte die Schleimhaut nicht nach endolaryngeal penetriert werden, um laryngeale Infektionen zu verhindern. Diese Nadel soll im Ringknorpel verankert werden. Sitz der Nadel und eine mögliche Verletzung der Schleimhaut wird visuell und röntgenologisch in mehreren Dimensionen im DVT kontrolliert.

Das Vorhaben wurde von der zuständigen Ethikkommission genehmigt (Bearbeitungsnummer PV 4236).

Um den vermuteten Problembereich der Methode – den Bereich zwischen Proc. vocalis und Ringknorpel – möglichst bei unterschiedlichen Altersgruppen und Geschlechtern analysieren zu können, wurden 20 Kehlköpfe jeweils linksseitig untersucht. Dabei wurde darauf geachtet, dass möglichst unterschiedliche Altersgruppen mit einem Schwerpunkt im Bereich älterer Kehlköpfe untersucht wurden, da wir vermuteten, dass sich bei einem Presbylarynx die Insertion der Nadel ohne Schleimhautverletzung schwieriger gestalten dürfte.

Die Kehlköpfe wurden zunächst nativ im DVT untersucht und dann wie bei einer Minithyroidotomie nach Gray (Rosen ebd., 2008b) mit einem ca. 2 mm großen Bohrloch versehen. In Vorversuchen wurde an vier Kehlköpfen zunächst überprüft, ob die Methode überhaupt technisch machbar und eine Untersuchung im DVT möglich war. Dabei stellten wir fest, dass bei einer Nadelposition, wie sie Gray vorsieht, die gewünschte Lage des Stichkanals nicht zu erreichen ist. Bohrungen auf Stimmlippenhöhe führten nicht zu einer befriedigenden Fixation. Deshalb wurden in den hier dokumentierten Untersuchungen die Bohrungen sukzessive höher durchgeführt. Daraus resultiert letztendlich die Empfehlung, die Bohrung ca. 4 mm oberhalb der von Gray empfohlenen Ebene durchzuführen; es soll nach „Auffädeln“ der Stimmlippe der Aryknorpel mitgefasst und die Nadelspitze dann im Ringknorpel verankert werden. Die dafür notwendige schräge Nadelführung bei gleichzeitig möglichst kleiner anteriorer Bohrung lässt sich nur durch eine höhere Position des Bohrlochs erreichen.

Spätere Vergleiche der nativen DVT-Aufnahmen mit den Untersuchungen von Friedrich (Friedrich und Lichtenegger, 1997) führten zu einem Referenzpunkt für die Insertion, der in der Mitte einer geraden Linie zwischen der Incisura laryngis und dem Unterrand des Schildknorpels liegt. Das Bohrloch sollte dann 3-5 mm lateral auf der gewünschten Seite liegen. Gegebenenfalls könnte, wie von Gray vorgeschlagen, die exakte Position nochmals durch Insertion einer Nadel an der vorderen Kommissur und endoskopische Kontrolle deren Lage gesichert und daraufhin angepasst werden.

Nach maximaler Lateralisierung der einen Stimmlippe wurde dann erneut für jeden Larynx ein DVT durchgeführt, um den Winkel zwischen der typischen postmortalen Median- oder Paramedianstellung und der maximalen Lateralisierung zu messen.

Nach dann über den gleichen Stichkanal mit etwas veränderter Fixation erfolgter maximaler Medialisierung der Stimmlippe wurde erneut ein DVT durchgeführt und anschließend sowohl die Winkel zwischen maximaler Lateralisierung und Medialisierung als auch zwischen der jeweiligen Extremposition und der nativen Position bestimmt (Siehe Abb. 17).

In den DVT-Aufnahmen wurde dann der Sitz der Nadel im Schildknorpel jeweils für die Medialisierung und die Lateralisierung kontrolliert.

### 3.1 Schematische Darstellung der Methode

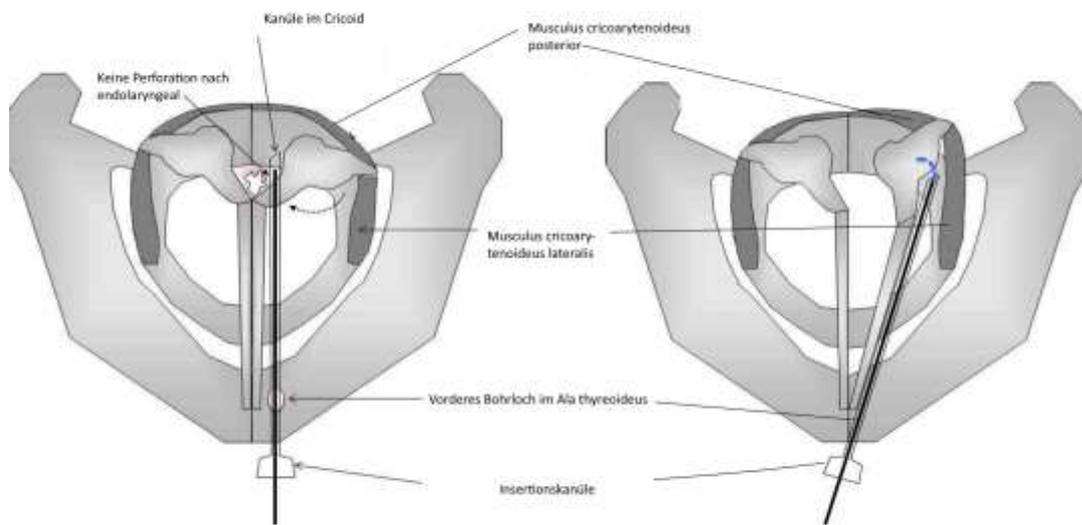


Abbildung 15 Medialisierung (linke Abbildung) und Lateralisierung (rechte Abbildung) schematisch von cranial (Quelle: Prof. Hess)

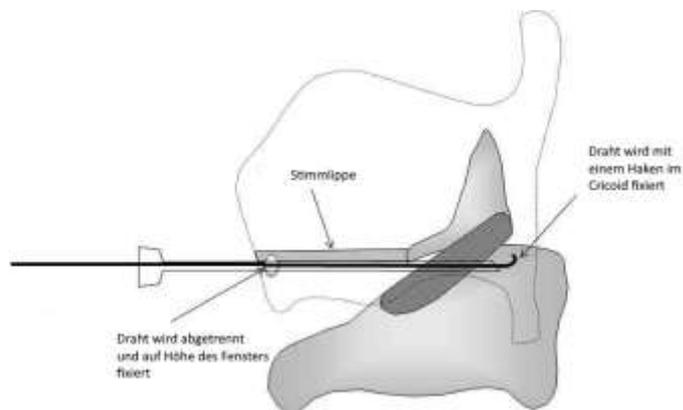


Abbildung 16 Schema von lateral (Quelle: Prof. Hess)

### 3.2 Winkelmessung

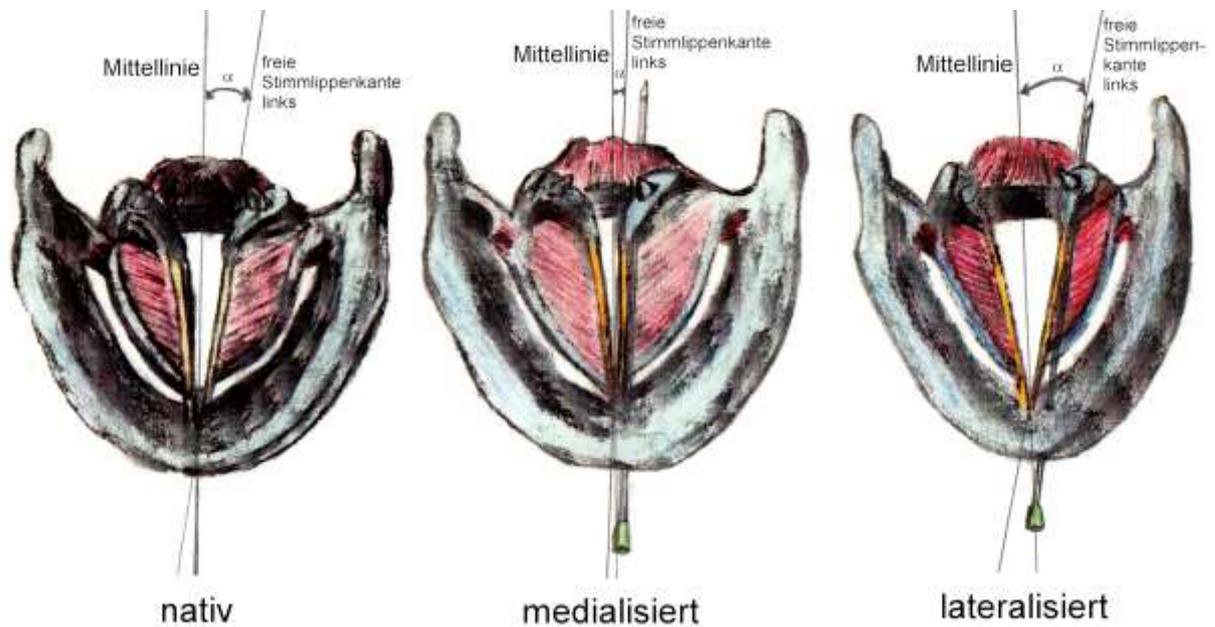


Abbildung 17 Darstellung der Winkelmessung

Wie in Abb. 17 an einem gezeichneten Kehlkopf veranschaulicht, wurde für die Winkelmessung im DVT die Mittellinie der Glottis von anterior nach posterior aufgesucht sowie eine Linie von der vorderen Kommissur entlang der freien Stimmlippenkante gezogen. Der Winkel zwischen diesen beiden Linien (in Abb. 17 als  $\alpha$  bezeichnet) wurde mit dem Bearbeitungsprogramm des DVT-Geräts gemessen. Die korrekte Schicht der Messung wurde durch die Nadelposition festgelegt, die über die komplette Länge der Stimmlippe angeschnitten war.

Dies ist auch für jeden einzelnen Kehlkopf weiter unten mit Screenshots aus dem Programm dokumentiert.

### 3.3 Fotodokumentation der Methode:



Abbildung 18 Kehlkopf nativ von ventral



Abbildung 19 Kehlkopf nativ von dorsal

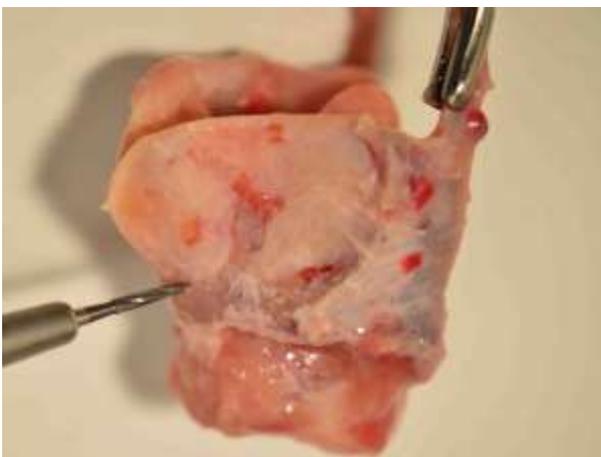


Abbildung 20 Position des 2 mm Bohrlochs



Abbildung 21 nochmals aus anderer Perspektive an einem weiteren Larynx



Abbildung 22 Einführen der 21G-Nadel in das Bohrloch (durch die Perspektive ist der leicht von oben kommende Winkel nicht zu erkennen)

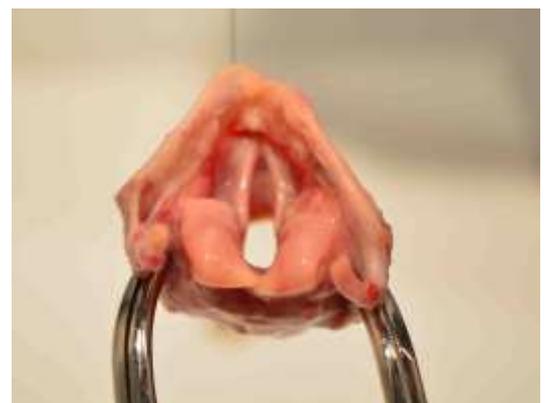


Abbildung 23 „Auffädeln“ der Stimmlippe lateral des Stimmbandes unter Mitnahme des Aryknorpels und ohne Perforation nach endolaryngeal



*Abbildung 24 Die Stimmrippe ist „aufgefädelt“ und die Nadel im Ringknorpel fixiert*



*Abbildung 25 Blick von lateral*



*Abbildung 26 und kaudal*



*Abbildung 27 Nadel von posterior*



*Abbildung 28 Über gleichen Zugang, Stimmrippe nun lateralisiert*



*Abbildung 29 Verlauf der Nadel in der Stimmrippe entlang des freipräparierten Stimmbandes*



*Abbildung 30 Blick von rechts auf das medialisierte linke Stimmband, restliches Stimmlippengewebe bds. entfernt.*



*Abbildung 31 Blick von dorso-cranial auf die anatomischen Strukturen des gleichen Kehlkopfes, Nadel parallel zum linken Stimmband*



*Abbildung 32 Auf diesem Bild ist die notwendige Nadelführung leicht von cranial nach caudal gut zu erkennen.*

## 4. Ergebnisse

Aus Messungen im DVT wurde festgelegt, dass eine Insertion weniger als 2 mm unterhalb des Cricoid-Oberrandes wahrscheinlich nicht dauerhaft fixiert werden kann, da hier der Knorpel zu dünn wird. In Tabelle 1 sind die Kehlköpfe, bei denen das Cricoid komplett verfehlt wurde, mit „x“ markiert. Diese und die Werte, die unter 2 mm liegen, sind außerdem grau hinterlegt, davon ausgehend, dass eine Nadel, die in dem sehr dünnen gerundeten oberen Bereich des Ringknorpels eingestochen ist, nicht dauerhaft halten kann.

Wie aus dem Boxplot (Abbildung 33) gut zu ersehen ist, ergibt sich ein signifikanter Unterschied im Winkel zwischen den Stimmlippen zwischen Medialisierung und Lateralisierung; beide unterscheiden sich wiederum deutlich von der ursprünglichen nativen Stellung. Die Methode eignet sich also am Leichenkehlkopf sowohl zur Medialisierung als auch zur Lateralisierung der Stimmlippen.

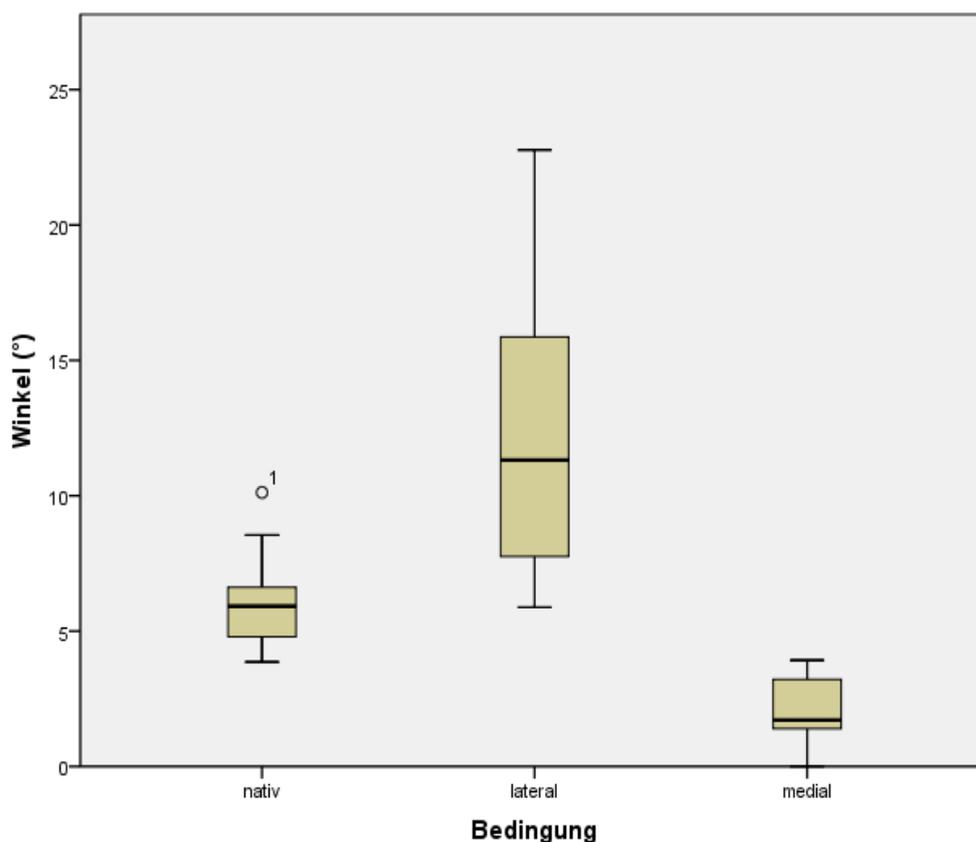


Abbildung 33 Boxplot der Ergebnisse, mit 1 markiert ein einzelner Larynx, dessen Öffnungswinkel nativ deutlich größer war als der Durchschnitt.

#### 4.1. Übersicht über die Ergebnisse

Geschlecht, Alter (in Jahren)	Dicke des Cricoids lateralisiert (mm)	Dicke des Cricoids medialisiert (mm)	Winkel nativ (°)	Winkel lateralisiert (°)	Winkel medialisiert (°)
M 54	5.89	3.21	10.1	8.8	2.2
M 58	2.72	2.94	5.5	5.9	1.7
M 73	5.81	Nicht gemessen*	7.0	9.8	Nicht gemessen*
M 67	4.59	0.38	4.7	7.4	3.8
M 78	4.13	x	3.9	12.2	1.6
W 72	3.06	2.19	6.9	17.6	1.5
W 85	x	3.9	5.1	8.4	3.4
W 87	2.94	2.25	4.7	7.3	2.0
W 55	1.3	3.22	5.9	10.4	0.9
W 75	4.94	2.09	8.6	16.6	0.3
M 80	2.06	4.72	4.5	6.6	3.9
M 46	4.64	3.5	5.3	12.8	3.1
M 51	5.29	3.25	5.9	7.3	1.3
W 45	x	3.42	5.9	15.3	3.9
M 34	3.6	3.78	4.9	22.8	3.4
M 41	4.13	x	6.1	13.3	2.0
M 71	x	x	6.0	8.1	1.5
W 43	2.98	1.16	6.3	16.3	1.7
M 61	x	1.62	7.7	14.4	1.0
M 80	3.9	1.72	3.9	20.7	0

*Tabelle 1 Ergebnisse der Messungen, Winkelmessung nativ, lateralisiert, medialisiert (gerundet; 1 Pixel entspricht 0.1 Winkelgraden). In grau: Insertion im Cricoid zu hoch.*

*\* Gewebe zu zerstört für Medialisierung, wegen einer Coniotomie schwer zu vergleichen.*

## 4.2. Ergebnisse im Detail

### **Kehlkopf 1, männlich, 54 Jahre (Nr. 605)**

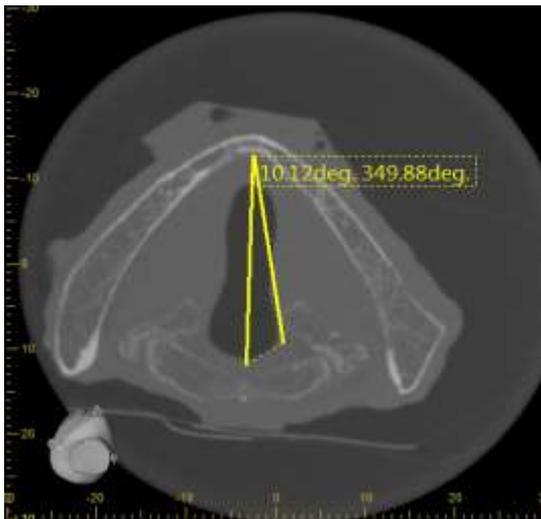
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: 3,21 mm

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: 5,89 mm

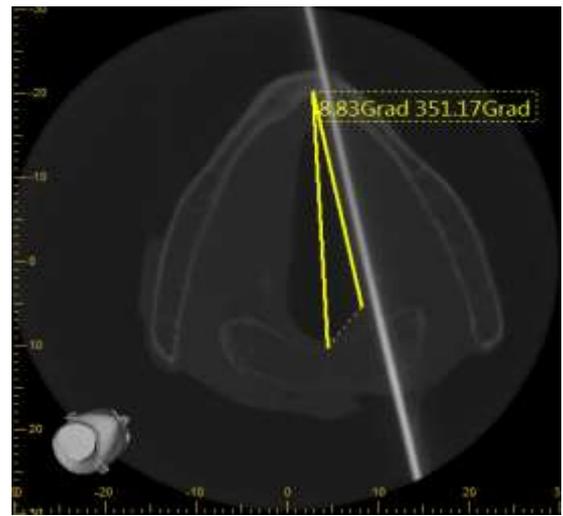
Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ:  $10,1^\circ$

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert  $8,8^\circ$

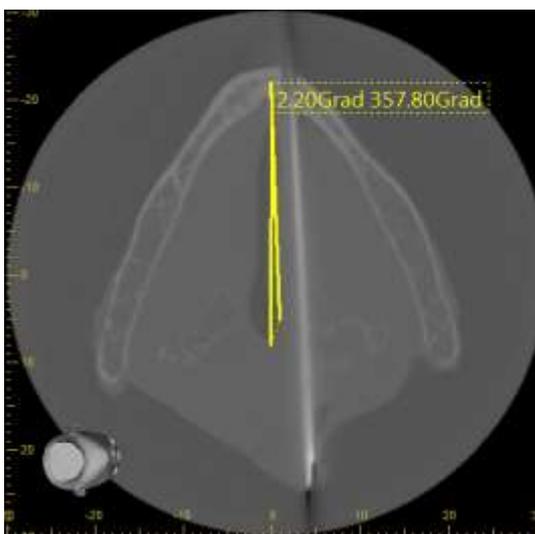
Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert  $2,2^\circ$



*Abbildung 34 Stimmlippen nativ*



*Abbildung 35 Stimmlippen lateralisiert*



*Abbildung 36 Stimmlippen medialisiert*

## Kehlkopf 2, männlich, 58 Jahre (Nr. 394)

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: 2,94 mm

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: 2,72 mm

Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ: 5,5°

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert 5,9°

Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert 1,7°

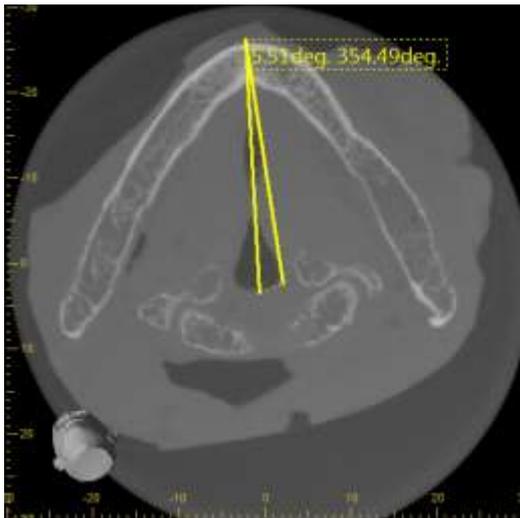


Abbildung 37 nativ

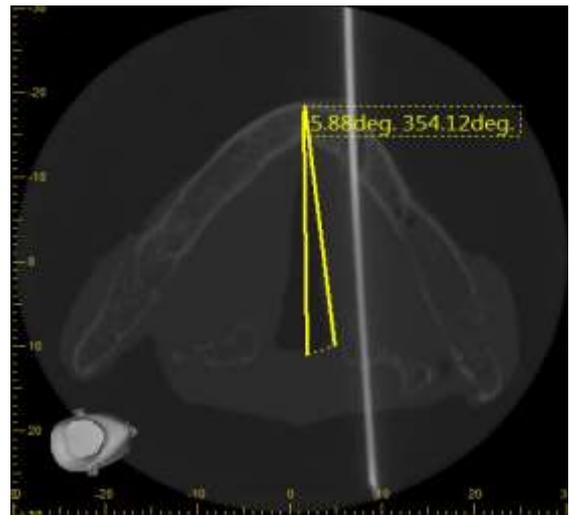


Abbildung 38 lateralisiert

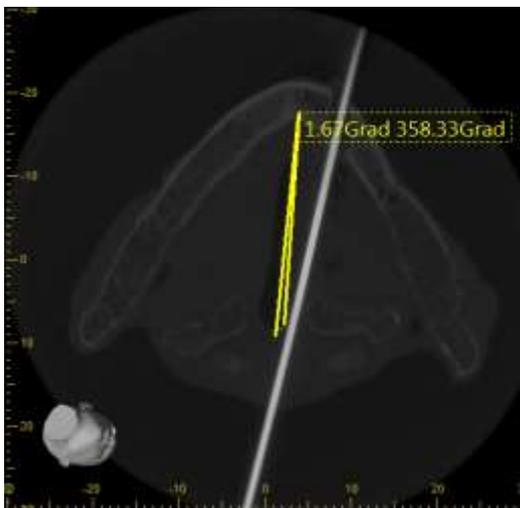


Abbildung 39 medialisiert

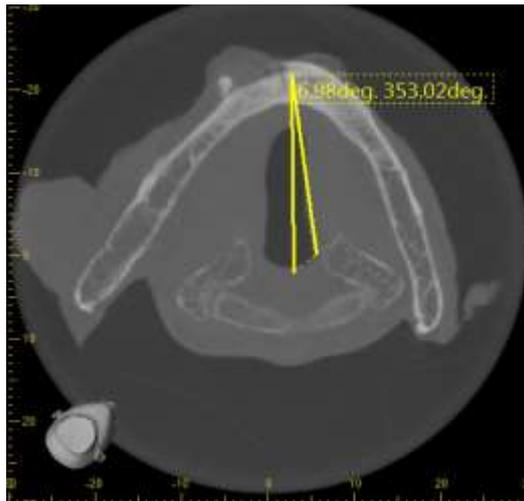
**Kehlkopf 3, männlich, 73 Jahre (Nr. 553) – Z.n. Coniotomie, wg.**

Gewebszerstörung nicht medialisiert

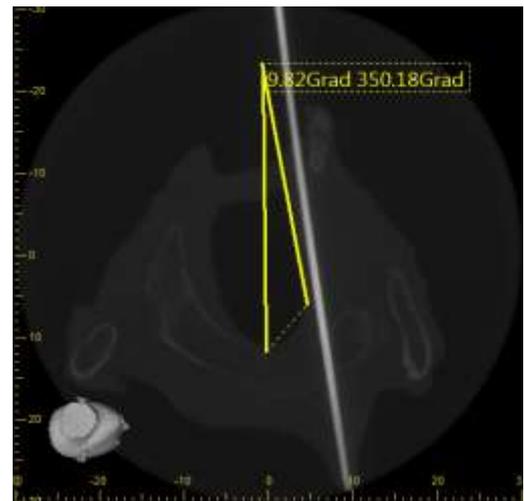
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: 5,81 mm

Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ: 7°

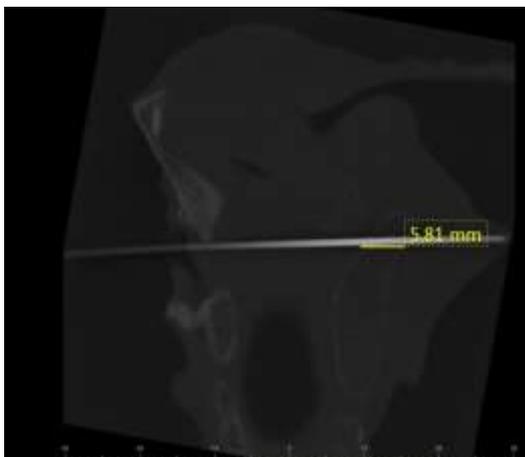
Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert 9,8°



*Abbildung 40 nativ*



*Abbildung 41 lateralisiert*



*Abbildung 42 Dicke Ringknorpel lateralisiert*

**Kehlkopf 4, männlich, 67 Jahre (Nr. 565)**

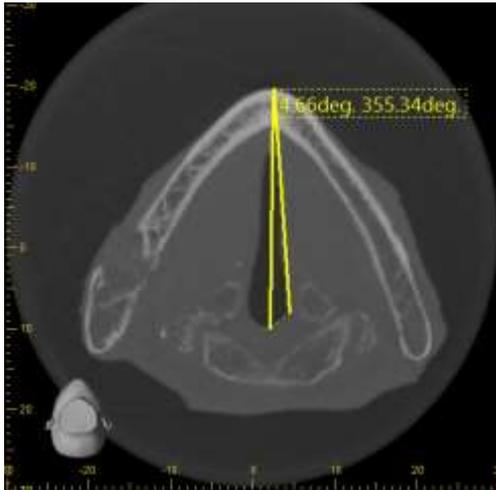
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: 0,38 mm

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: 4,59 mm

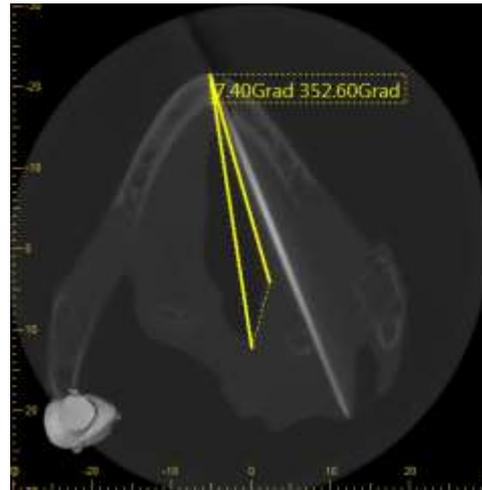
Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ:  $4,7^\circ$

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert  $7,4^\circ$

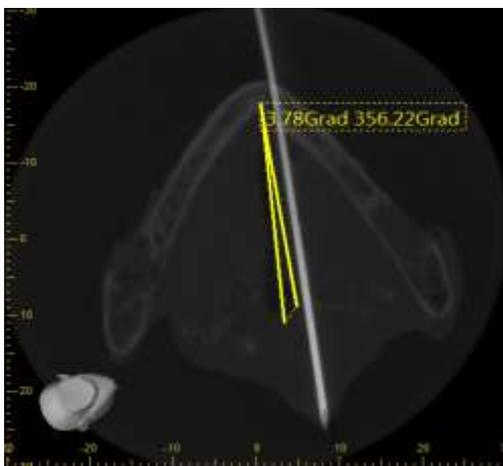
Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert  $3,8^\circ$



*Abbildung 43 nativ*



*Abbildung 44 lateralisiert*



*Abbildung 45 medialisiert*

**Kehlkopf 5, männlich, 78 Jahre (Nr. 568)**

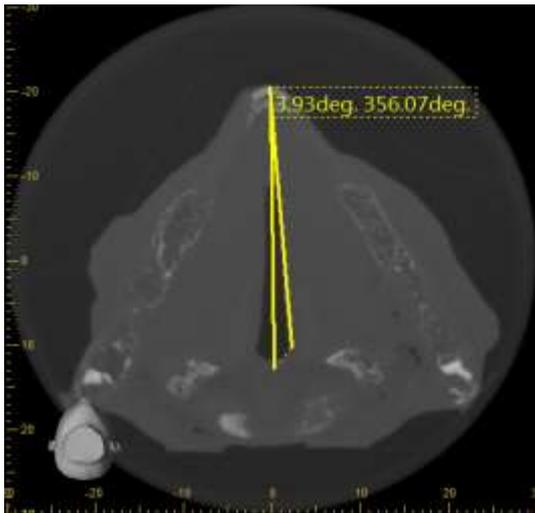
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: Nicht erkennbar

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: 4,13 mm

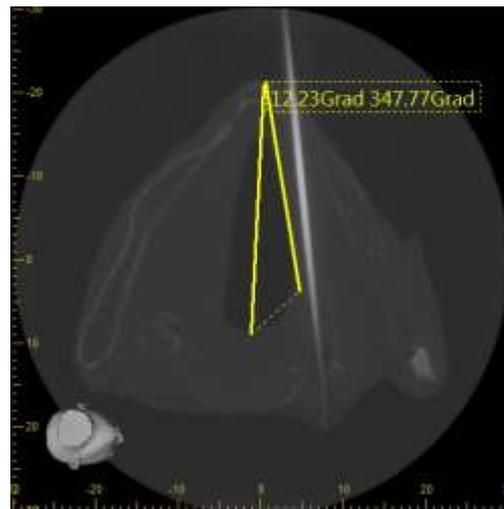
Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ: 3,9°

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert 12,2°

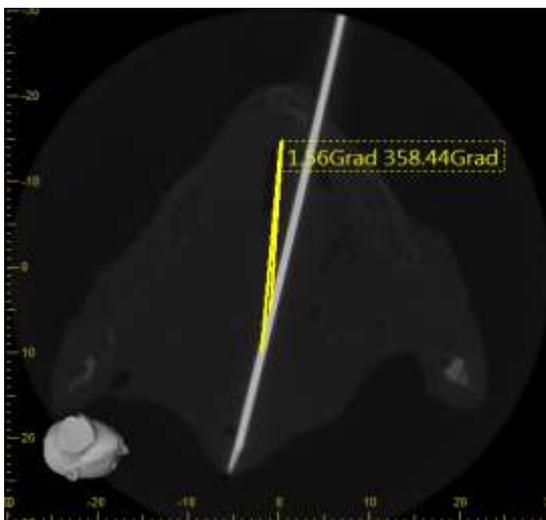
Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert 1,6°



*Abbildung 46 nativ*



*Abbildung 47 lateralisiert*



*Abbildung 48 medialisiert*

**Kehlkopf 6, weiblich, 72 Jahre (Nr. 2086)**

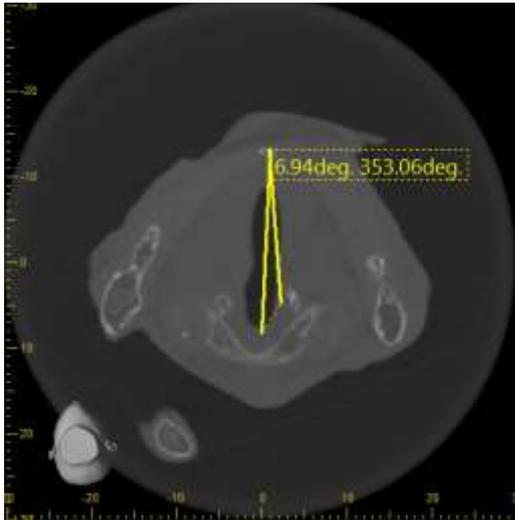
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: 2,19 mm

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: 3,06 mm

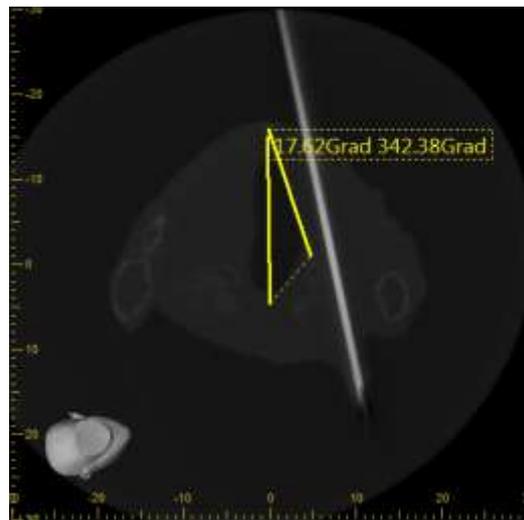
Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ: 6,9°

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert 17,6°

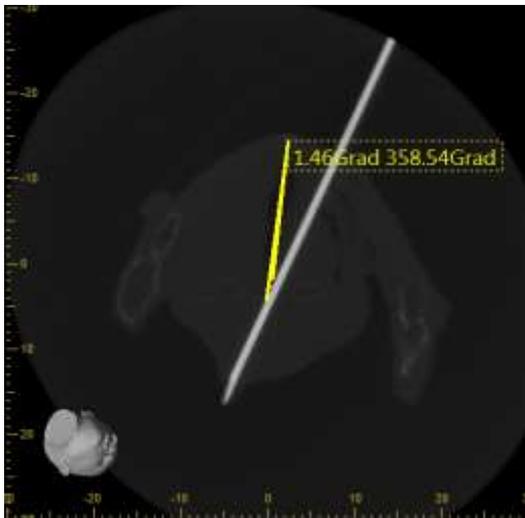
Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert 1,5°



*Abbildung 49 nativ*



*Abbildung 50 lateralisiert*



*Abbildung 51 medialisiert*

**Kehlkopf 7, weiblich, 85 Jahre (Nr. 578)**

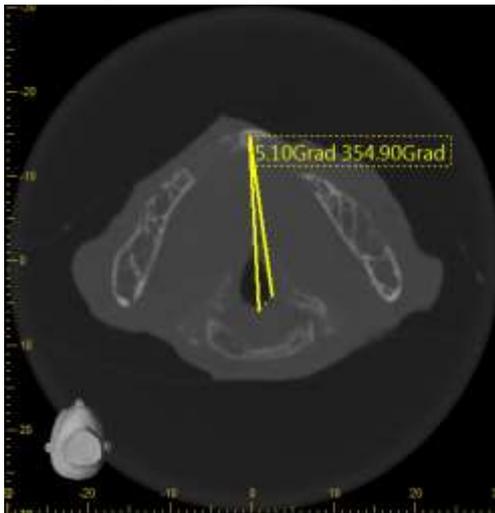
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: 3,9 mm

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: Deutlich zu hoch

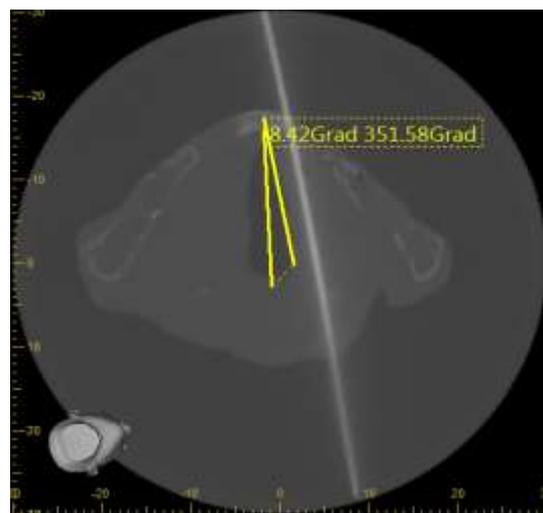
Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ: 5,1°

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert 8,4°

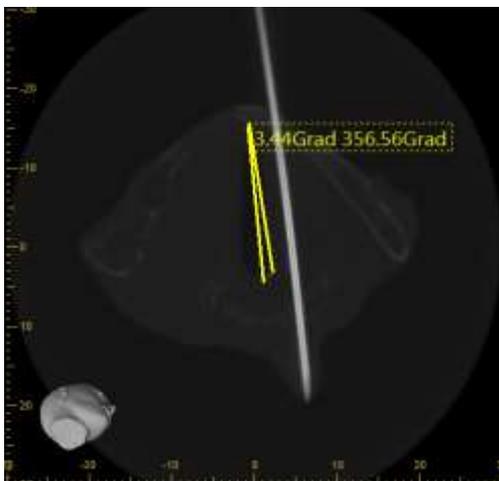
Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert 3,4°



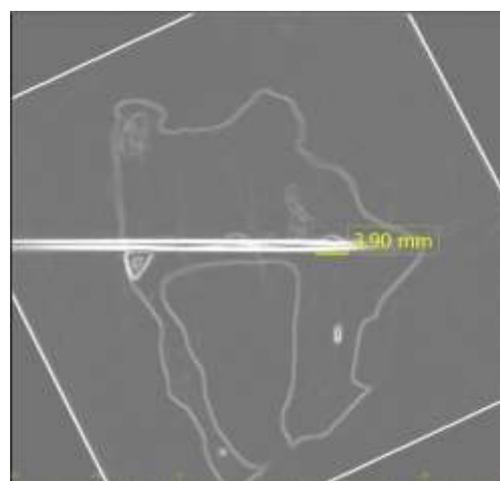
*Abbildung 52 nativ*



*Abbildung 53 lateralisiert*



*Abbildung 54 medialisiert*



*Abbildung 55 Ringknorpeldicke medialisiert  
(mit „Edge“ zur Schärfung der Konturen)*

**Kehlkopf 8, weiblich, 87 Jahre (Nr. 548)**

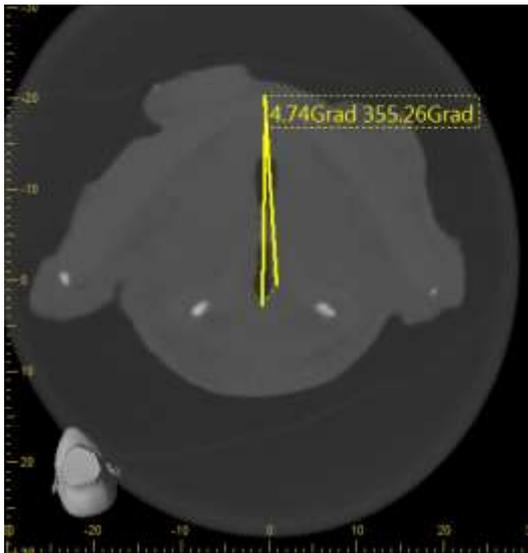
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: 2,25 mm

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: 2,94 mm

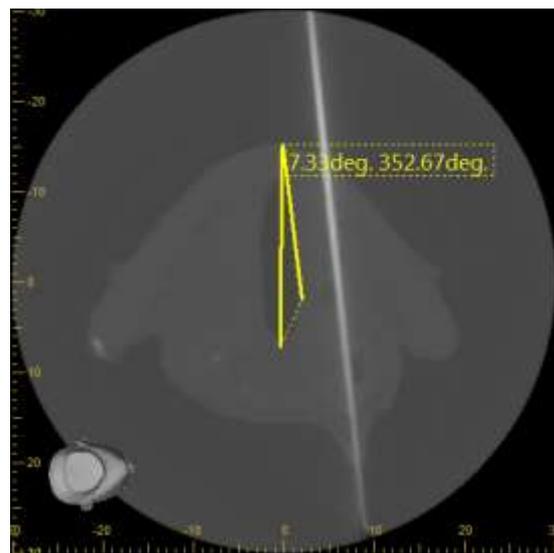
Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ: 4,7°

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert 7,3°

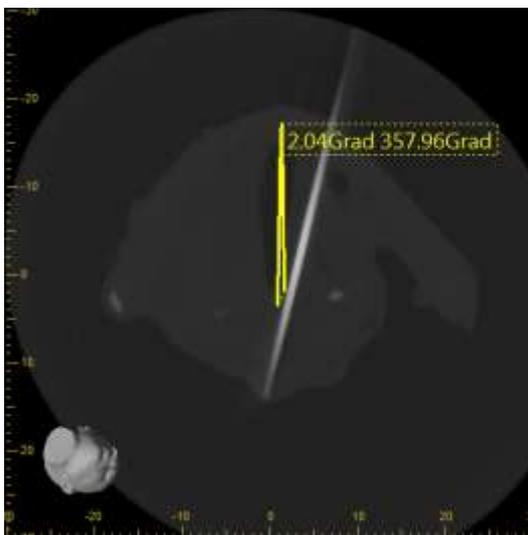
Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert 2°



*Abbildung 56 nativ*



*Abbildung 57 lateralisiert*



*Abbildung 58 medialisiert*

**Kehlkopf 9, weiblich, 55 Jahre (Nr. 445)**

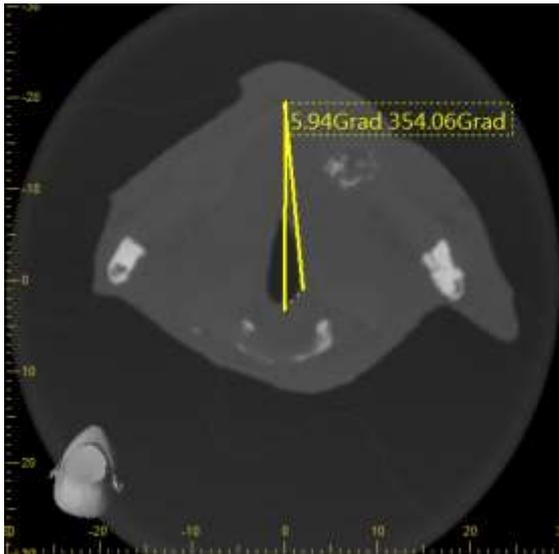
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: 3,22 mm

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: Nicht erkennbar

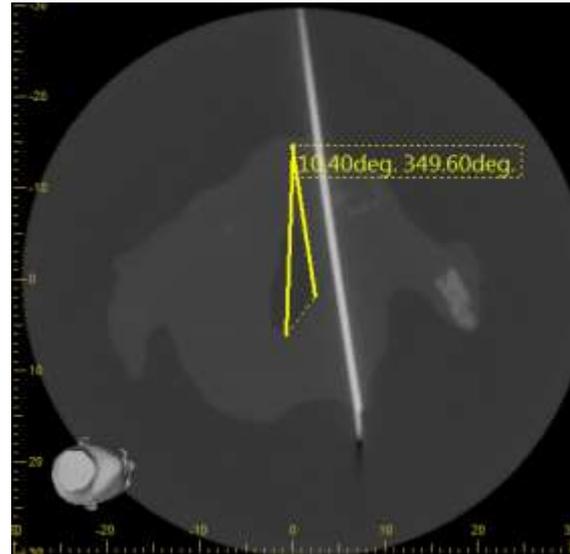
Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ: 5,9°

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert 10,4°

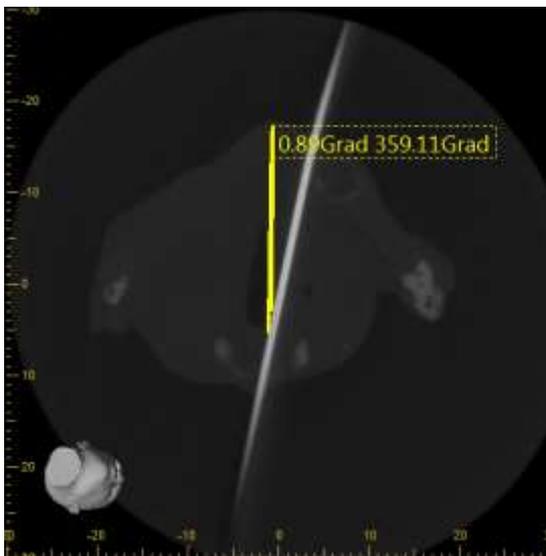
Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert 0,9°



*Abbildung 59 nativ*



*Abbildung 60 lateralisiert*



*Abbildung 61 medialisiert*

**Kehlkopf 10, weiblich, 75 Jahre (Nr. 470)**

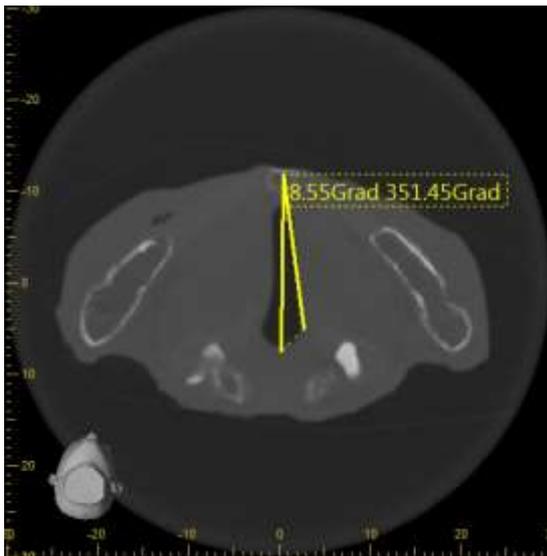
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: 2,09 mm

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: 4,94 mm

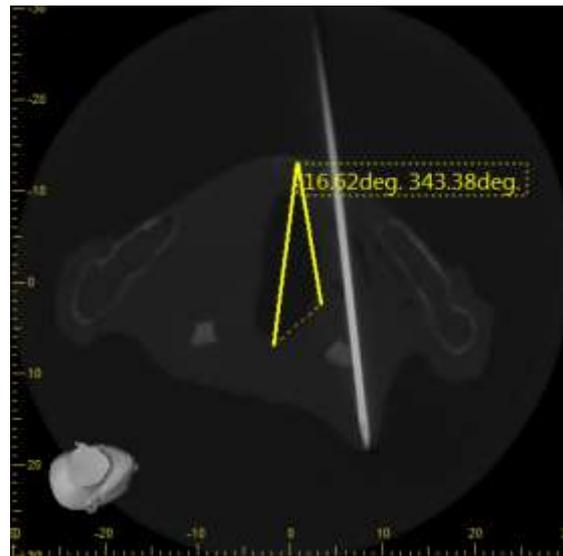
Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ: 8,6°

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert 16,6°

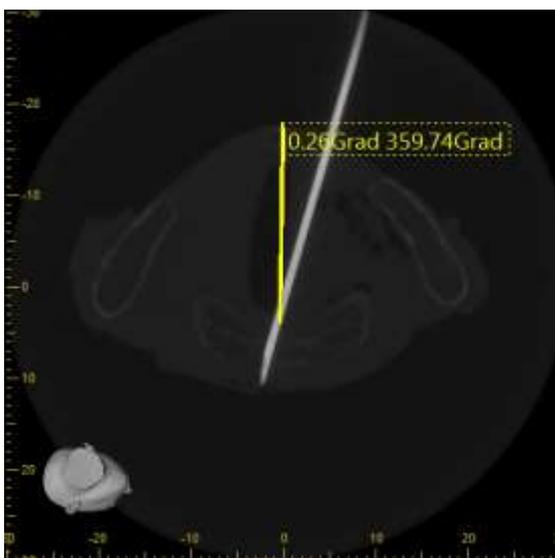
Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert 0,3°



*Abbildung 62 nativ*



*Abbildung 63 lateralisiert*



*Abbildung 64 medialisiert*

**Kehlkopf 11, männlich, 80 Jahre (Nr. 598)**

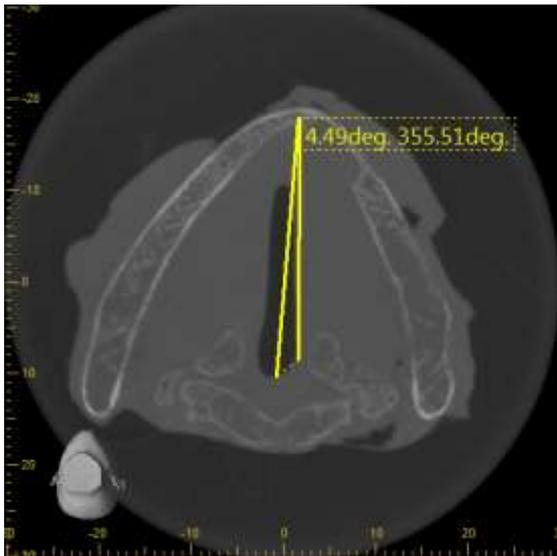
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: 4,72 mm

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: 2,06 mm

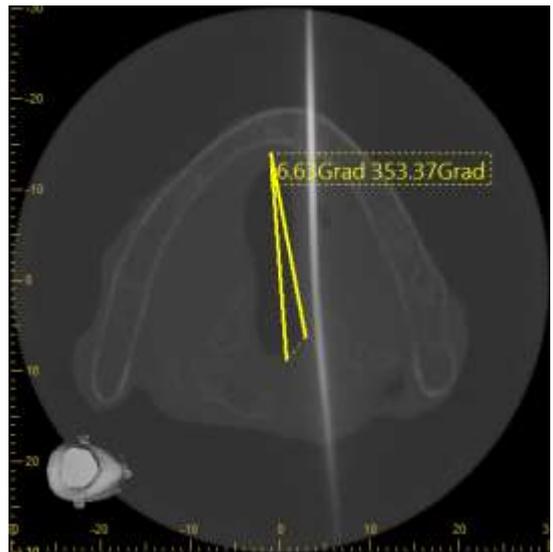
Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ: 4,5°

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert 6,6°

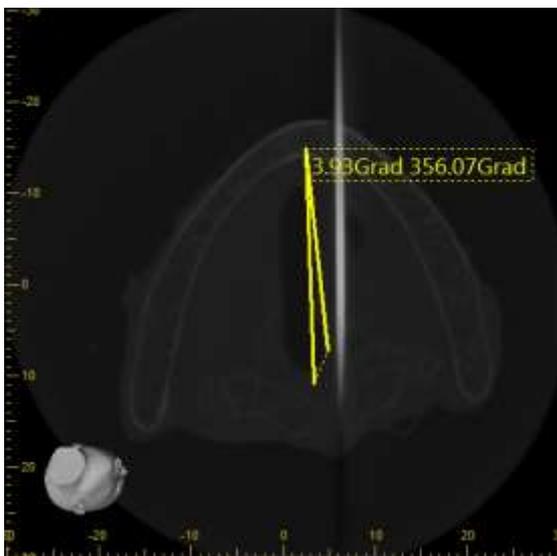
Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert 3,9°



*Abbildung 65 nativ*



*Abbildung 66 lateralisiert*



*Abbildung 67 medialisiert*

**Kehlkopf 12, männlich, 46 Jahre (Nr. 589)**

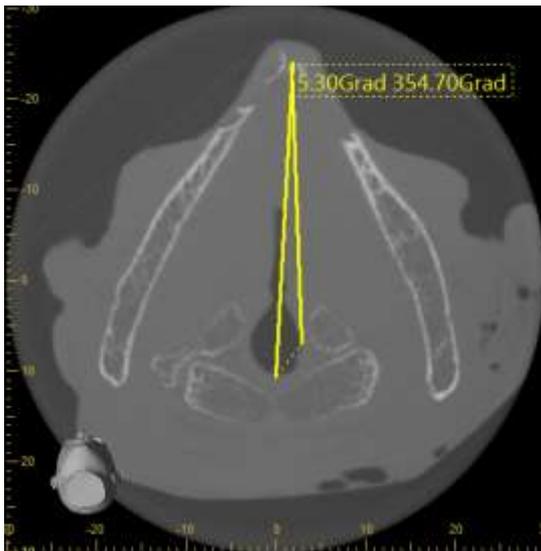
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: 3.5 mm

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: 4,64 mm

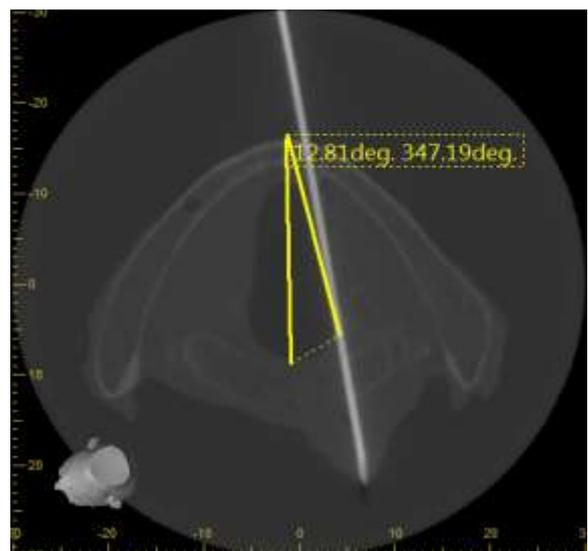
Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ: 5,3°

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert 12,8°

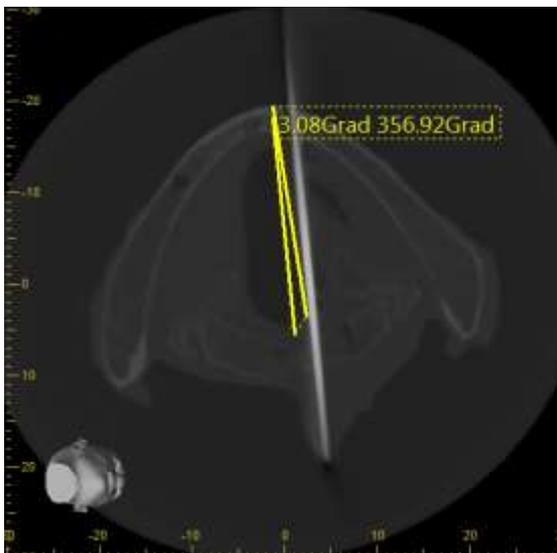
Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert 3,1°



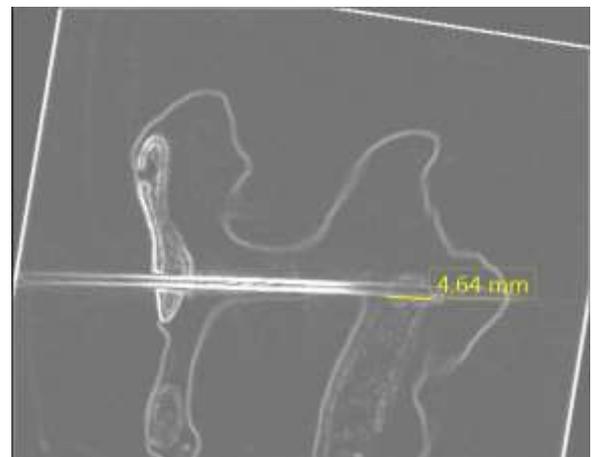
*Abbildung 68 nativ*



*Abbildung 69 lateralisiert*



*Abbildung 70 medialisiert*



*Abbildung 71 Dicke Ringknorpel lateralisiert  
(Bild mit „Edge“ nachbearbeitet)*

**Kehlkopf 13, männlich, 51 Jahre (Nr. 554)**

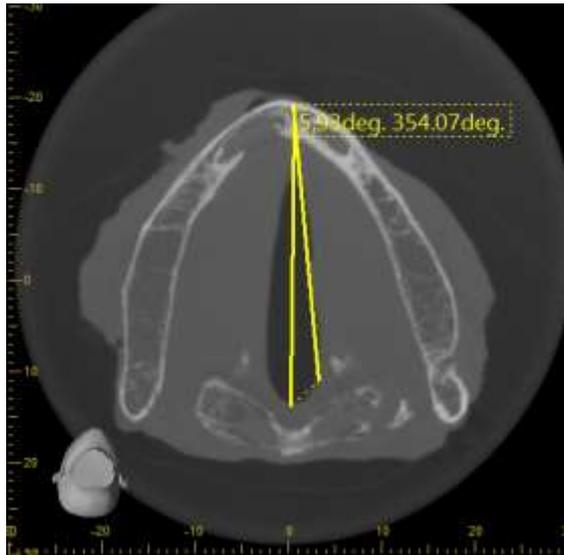
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: 3,25 mm

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: 5,29 mm

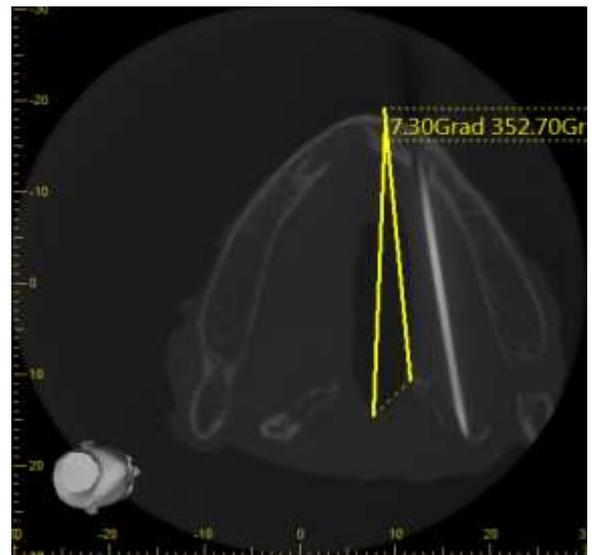
Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ: 5,9°

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert 7,3°

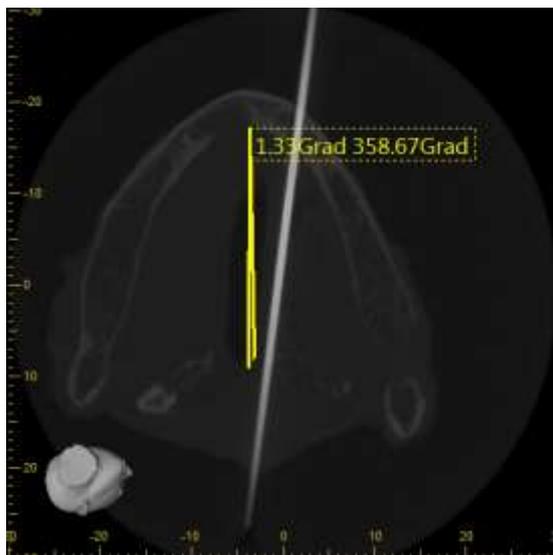
Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert 1.3°



*Abbildung 72 nativ*



*Abbildung 73 lateralisiert*



*Abbildung 74 medialisiert*

**Kehlkopf 14, weiblich, 45 Jahre (Nr. 602)**

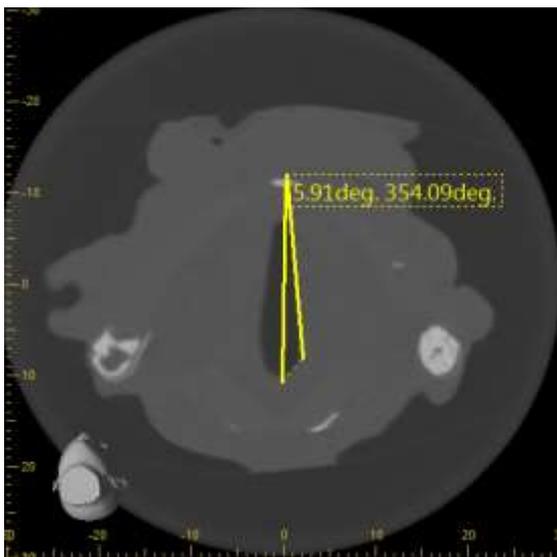
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: 3,42 mm

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: zu hoch

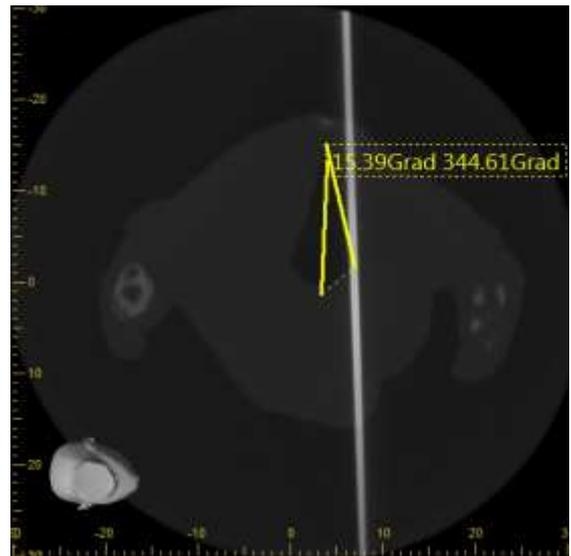
Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ: 5,9°

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert 15,4°

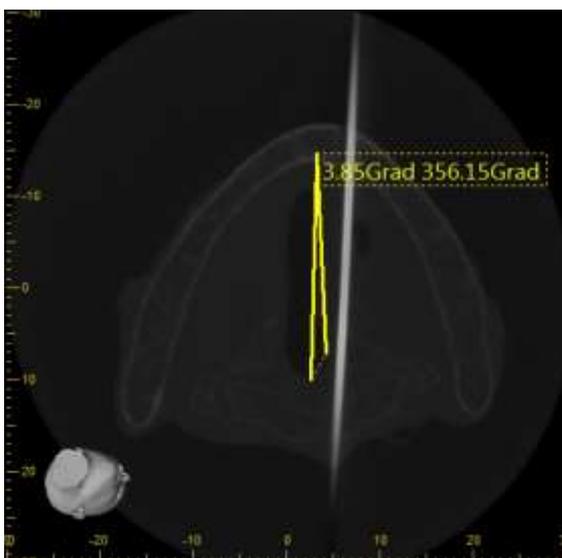
Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert 3,9°



*Abbildung 75 nativ*



*Abbildung 76 lateralisiert*



*Abbildung 77 medialisiert*

**Kehlkopf 15, männlich, 34 Jahre (Nr. 523)**

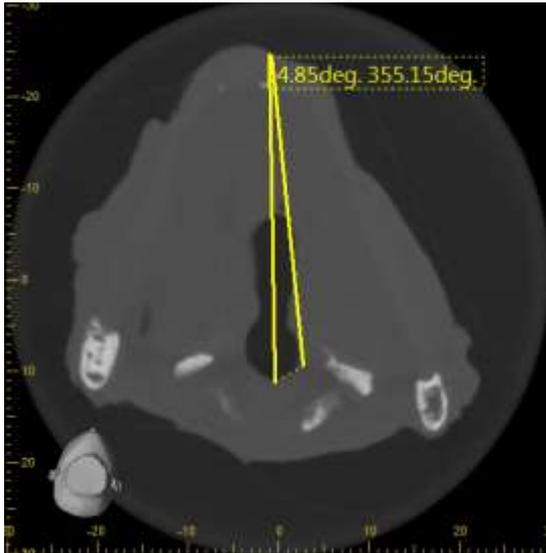
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: 3,78 mm

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: 3,6 mm

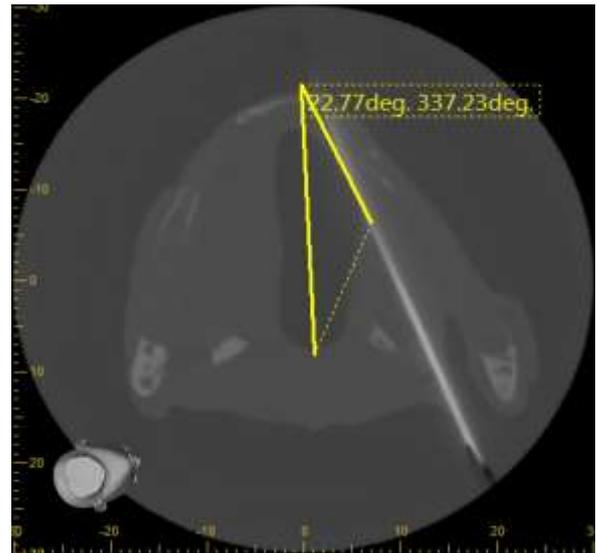
Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ: 4,9°

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert 22,8°

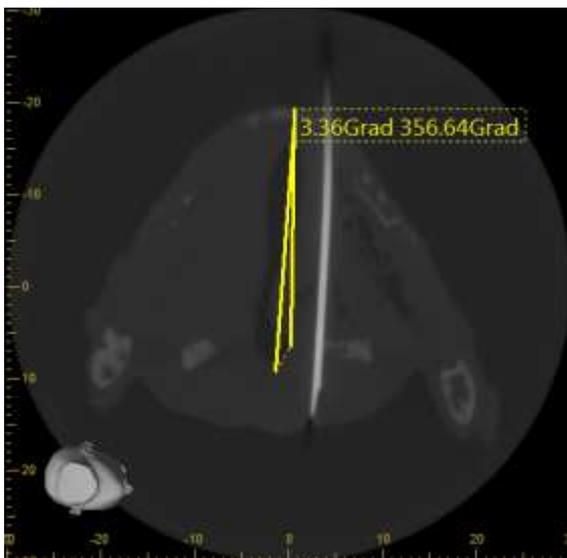
Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert 3,4°



*Abbildung 78 nativ*



*Abbildung 79 lateralisiert*



*Abbildung 80 medialisiert*

**Kehlkopf 16, männlich, 41 Jahre (Nr. 620)**

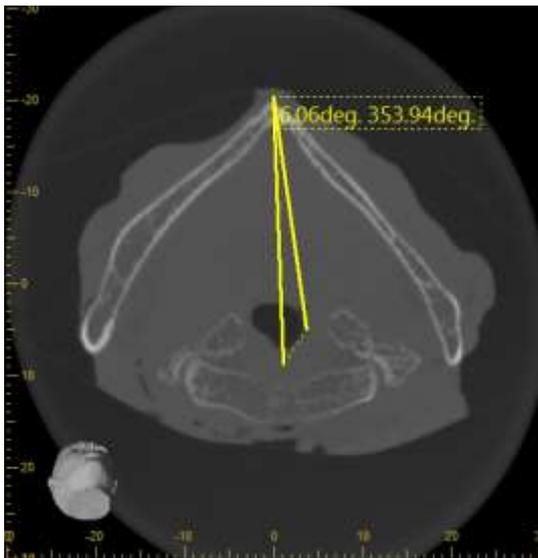
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: zu hoch

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: 4,13 mm

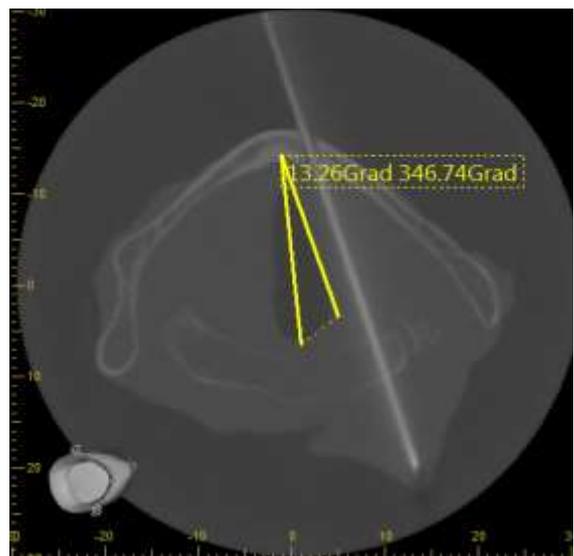
Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ: 6,1°

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert 13,3°

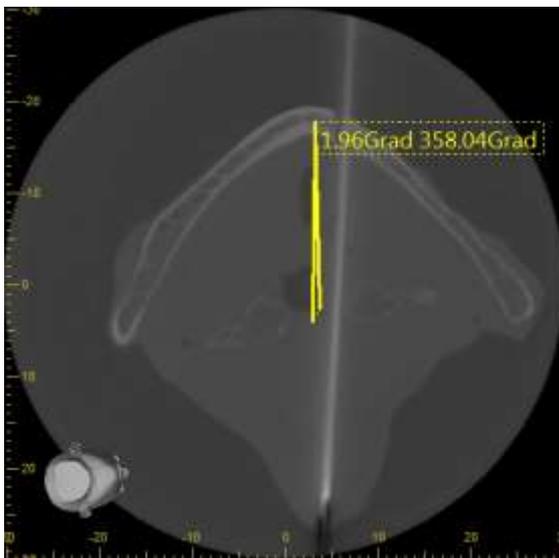
Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert 2°



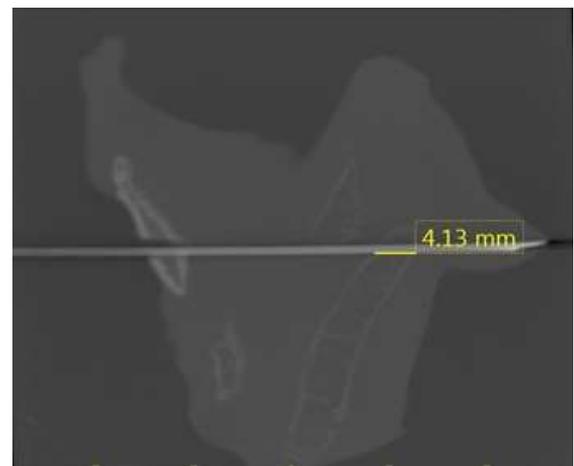
*Abbildung 81 nativ*



*Abbildung 82 lateralisiert*



*Abbildung 83 medialisiert*



*Abbildung 84 Ringknorpeldicke lateralisiert*

**Kehlkopf 17, männlich, 71 Jahre (Nr. 580)**

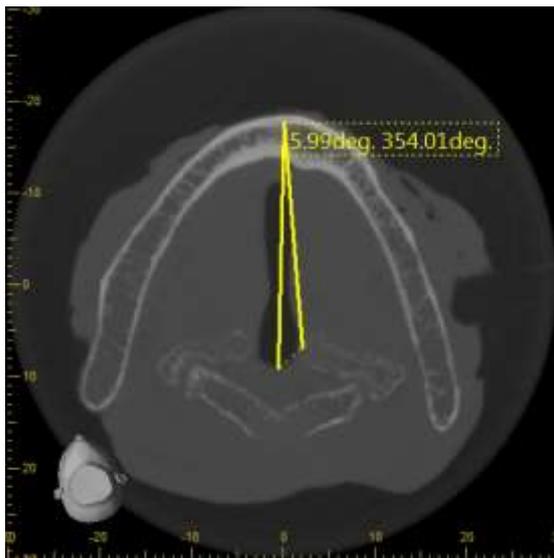
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: zu hoch

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: zu hoch

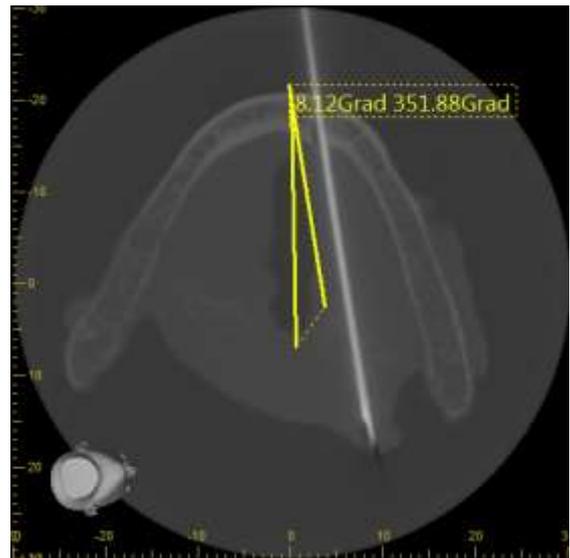
Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ: 6°

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert 8,1°

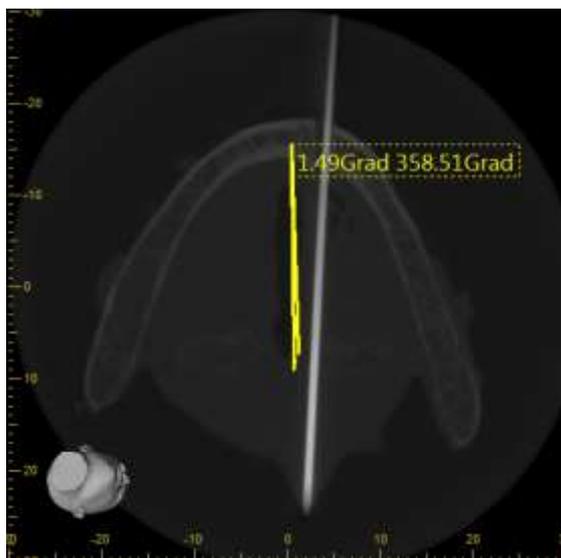
Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert 1,5°



*Abbildung 85 nativ*



*Abbildung 86 lateralisiert*



*Abbildung 87 medialisiert*

**Kehlkopf 18, weiblich, 43 Jahre (Nr. 660)**

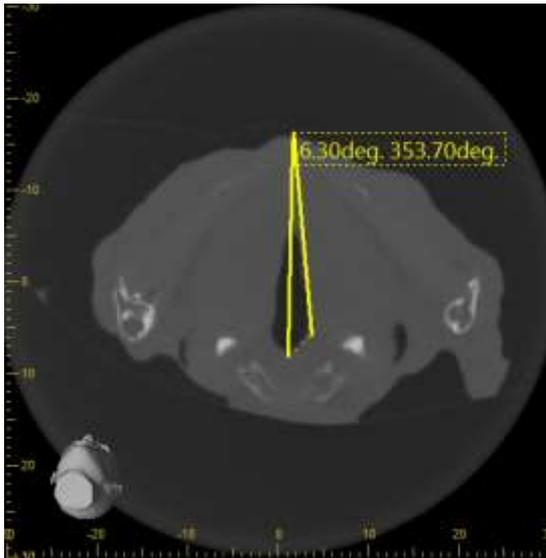
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: 1,16 mm

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: 2,98 mm

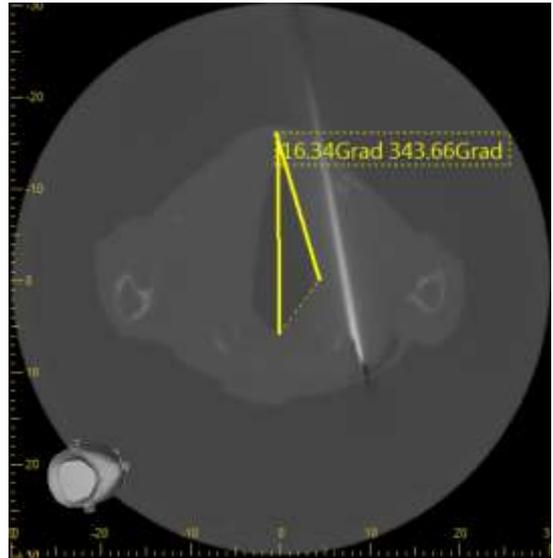
Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ: 6,3°

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert 16,3°

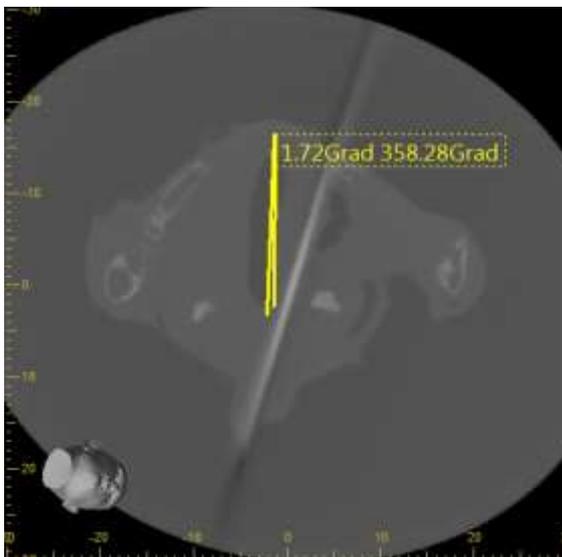
Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert 1,7°



*Abbildung 88 nativ*



*Abbildung 89 lateralisiert*



*Abbildung 90 medialisiert*

**Kehlkopf 19, männlich, 61 Jahre (Nr. 623)**

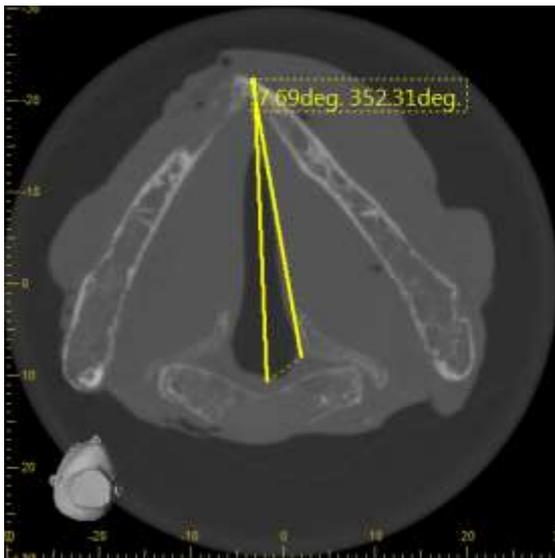
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: 1,62 mm

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: zu hoch

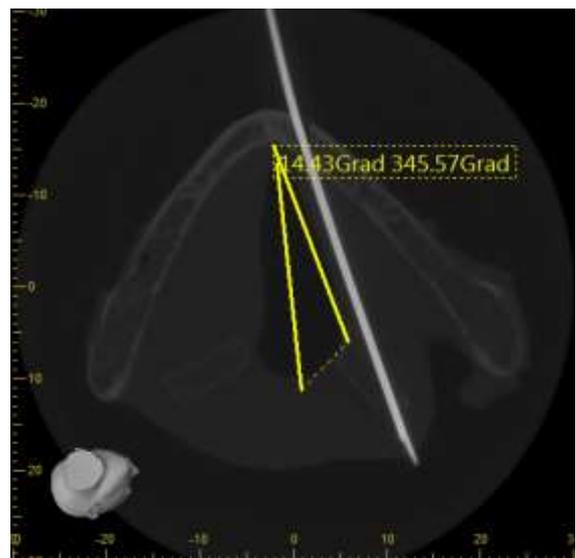
Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ: 7,7°

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert 14,4°

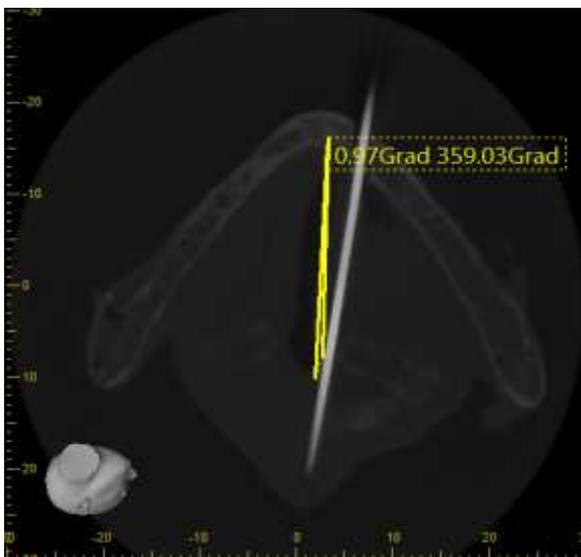
Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert 1°



*Abbildung 91 nativ*



*Abbildung 92 lateralisiert*



*Abbildung 93 medialisiert*

**Kehlkopf 20, männlich, 80 Jahre (Nr. 614)**

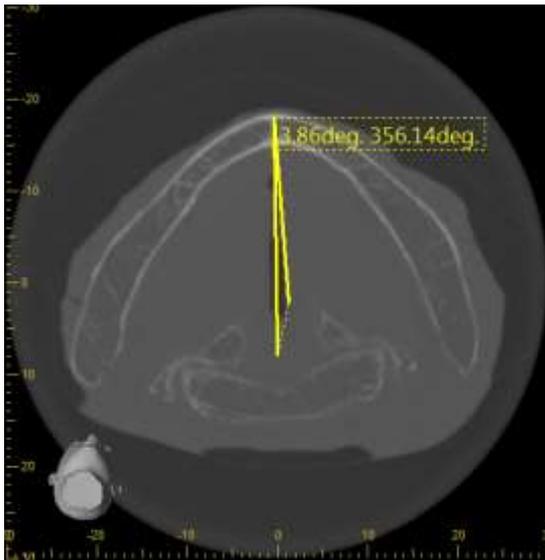
Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: 1,72 mm

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Lateralisierung: 3,9 mm

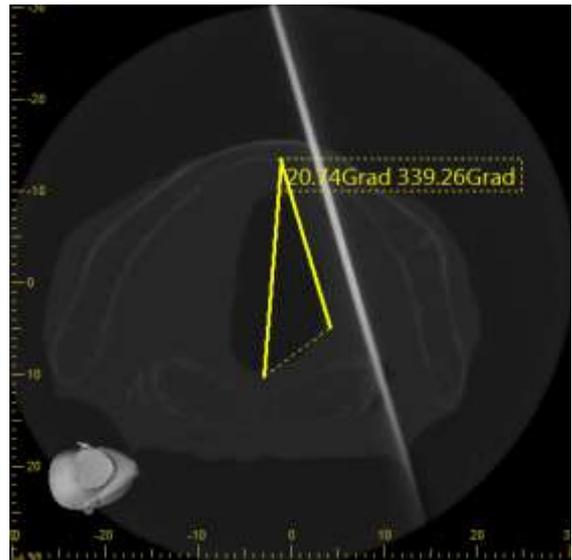
Öffnungswinkel der Stimmlippen nativ: 3,9°

Öffnungswinkel der Stimmlippen lateralisiert 20,7°

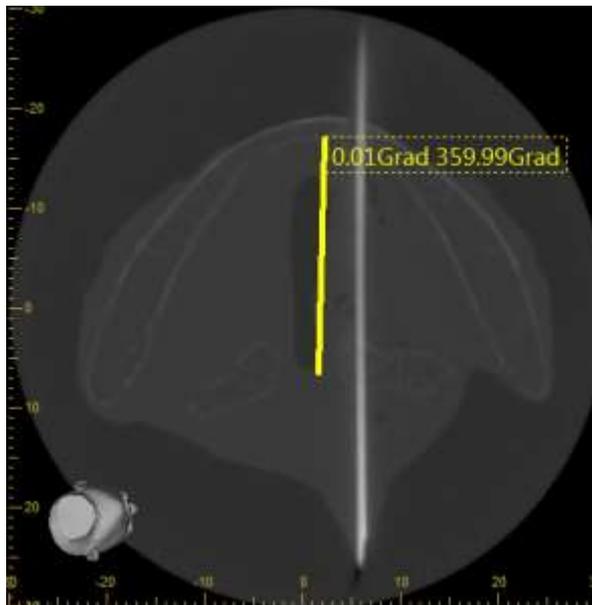
Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert 0°



*Abbildung 94 nativ*



*Abbildung 95 lateralisiert*

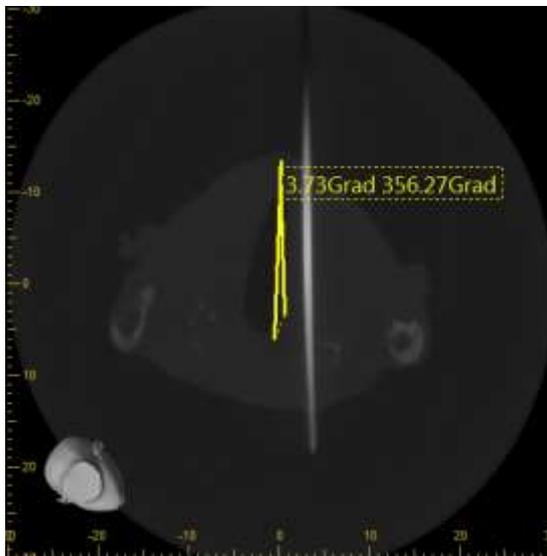


*Abbildung 96 medialisiert*

**Kehlkopf 21, weiblich, 22 Jahre (Keine Nummer, nur medialisiert)**

Dicke des Ringknorpels an der Einstichstelle nach Medialisierung: 3,38 mm

Öffnungswinkel der Stimmlippen medialisiert 3,7°



*Abbildung 97 medialisiert*

## 5. Diskussion

Die Ergebnisse der hier vorgestellten Studie zeigen, dass die „Pin-Up Glottoplasty“ prinzipiell machbar ist. Sie erzielt sowohl bei der Medialisierung als auch bei der Lateralisierung der Stimmlippen befriedigende Ergebnisse.

Die Methode böte diverse Vorteile, wenn sie auch am Patienten durchführbar wäre. Als erstes zu nennen wäre natürlich die Geschwindigkeit, in der sie durchführbar ist; am exzidierten Kehlkopf war mit einiger Übung die Medialisierung und Lateralisierung in acht Minuten möglich. Zum zweiten wäre der benötigte Hautschnitt wesentlich kleiner als bei einer Thyreoplastik, was ja kosmetisch an dieser Lokalisation für Patienten durchaus eine Rolle spielt. Zum dritten ist über die Methode sowohl eine Medialisierung als auch eine Lateralisierung möglich, für den Chirurgen also eine Vereinfachung.

Es gibt allerdings auch gewisse Grenzen, die die Methode aufweist. Dabei ist insbesondere darauf hinzuweisen, dass durch die Führung der Nadel eine Überkorrektur über die Mittellinie hinaus, wie sie teilweise bei Thyreoplastik und bei Unterfütterungen angestrebt wird, prinzipiell nicht möglich ist.

Außerdem ergibt sich aus den hier erhobenen Daten eine Reihe von Fragen, die in weiteren Studien geklärt werden müssen.

Wichtigste Frage wird zukünftig sein, mit welchem Implantatmaterial die Medialisierung der Stimmlippe optimal gelingt, da eine Nadel als endgültige Lösung nicht in Frage kommt. Hier sind diverse Möglichkeiten denkbar. Besonders geeignet erscheint ein Draht aus gewebetauglichem Material, der über die Nadel als Trokar vorgeschoben werden könnte.

Hier wären z.B. Titan, aber auch Materialien mit einem „Formgedächtnis“ wie z.B. die Nickel-Titanlegierung Nitinol möglich (Duerig et al., 1999; El Feninat et al., 2002). Nitinol wird bereits erfolgreich für Stents in der Kardiologie eingesetzt und zeigt dort ermutigende Langzeitergebnisse auch bezüglich der Verträglichkeit. Es existieren jedoch auch Studienergebnisse, die Nickelfreisetzungen aus den Stents nachwiesen (Belohlavek et al., 2013; D'Arrigo et al., 2014; Nayak et al., 2015). Bei Nitinol ist das hohe Allergisierungsrisiko durch Nickel zu beachten (Dararattanaroj et al., 2016); eine allergische Gewebsreaktion im Larynx wäre natürlich höchst kritisch.

Eine weitere Möglichkeit bestünde darin, die Nadel als Trokar und einen nicht auflösenden Faden mit Fixierungsmöglichkeit am posterioren Ende zu verwenden. Dieses Prinzip ist mit einer Harpune vergleichbar. Fraglich ist allerdings, ob ein Faden den mechanischen Kräften standhalten kann, die auf eine medialisierte bzw. lateralisierte Stimmlippe im täglichen Leben einwirken. Damit ein solcher Faden anterior am Schildknorpel fixiert und unter Spannung gehalten werden kann, wäre es denkbar, diesen nach dem Durchstechen auf der ventralen Larynxseite mit einem Crimp (einer quetschbare „Perle“, die das Verrutschen des Fadens verhindert) über einem nicht resorbierbaren Plättchen zu fixieren, welches das Bohrloch verdeckt.

Ein Vorteil bei Verwendung eines Fadens wäre vermutlich, dass die Schwingungsfähigkeit der Stimmlippe weniger eingeschränkt werden würde als durch einen metallischen Gegenstand; die medial des Fremdkörpers „schwingende“ Gewebsmasse zum Larynxlumen hin ist bei dieser Methode vermutlich geringer als bei einer Thyreoplastik nach Isshiki, die ja die komplette Stimmlippe nach median verschiebt. Bei der Pin-up-Methode würde der Fremdkörper parallel zum Stimmband verlaufen und nur dessen geringe Masse wäre medial davon.

Eine weitere wichtige Frage in diesem Zusammenhang ist die Fixierung im Ringknorpel posterior. Angesichts der anatomischen Lage muss die Fixation sicher im Ringknorpel erfolgen und darf diesen nicht perforieren, da eine Schleimhautperforation hier im Bereich des oberen Ösophagusphinkters bzw. proximalen Ösophagus schwerwiegende Komplikationen nach sich ziehen kann. Hier könnte ein Haken, ggf. mit Widerhaken, eine potentielle Lösung darstellen, um den Draht zu fixieren. Letztendlich ist aber noch unklar, ob ein steifer (metallischer) Gegenstand überhaupt im Ringknorpel fixiert werden muss, um einen ausreichenden Stimmlippenschluss zu erreichen. In dieser Arbeit zeigte sich wiederholt, dass auch bei Perforation deutlich oberhalb des Cricoids ein guter Medialisierungswinkel erreicht werden konnte; die Verankerung eines steifen Fremdkörpers im Cricoid ist evtl. gar nicht nötig.

Ein weiterer zu berücksichtigender Aspekt ist auch die Reversibilität des Eingriffs. Treten mögliche Materialunverträglichkeiten auf, müsste eine Entfernung des

Drahtes aus der Stimmlippe ohne größere Schäden möglich sein.

Eine Harpune oder ein im Ringknorpel fixierter Haken erscheint daher problematisch, denn dieser würde die Stimmlippe beim Zurückziehen massiv schädigen.

Ein Lösungsansatz könnte es bei einer passageren Lateralisierung mit dieser Methode daher sein, über einen kleinen Schleimhautschnitt den Faden oder Draht vom Haken abzutrennen und diesen im Ringknorpel zu belassen, während der Rest über das vordere Bohrloch zurückgezogen werden könnte.

Die hier vorgestellte Methode weist eine Lernkurve bei der Implantation der Nadel auf, die sich bereits in unseren Untersuchungen zeigte. Da die sehr kleine Bohrung für die Nadel wenig Spielraum bietet, sollte am besten die optimale Position der Bohrung durch eine präoperative Bildgebung festgelegt werden. Damit könnte auch die passende Länge eines Drahtes bestimmt werden.

Die beste Nadelführung scheint leicht absteigend von cranial nach caudal und parallel lateral des Stimmbandes zu verlaufen. Entgegen unserer anfänglichen Befürchtungen gelingt die Insertion der Nadel auch ohne Schleimhautperforation in das Larynxlumen hinein relativ einfach.

Allerdings zeigte sich in unseren Untersuchungen, dass die posteriore Nadelposition leicht versehentlich zu hoch ist und dadurch die Ringknorpelplatte (Lamina cartilaginosa cricoideae) verfehlt wird, womit das Nadelende im Hypopharynx oder Ösophagus landet.

Bei der Lateralisierung der Stimmlippe durch die Nadel besteht die Gefahr, durch eine zu weite Lateralisierung an der Ringknorpelplatte lateral vorbei zu stechen und im Weichteilgewebe zu landen. Schlimmstenfalls könnte daraus die Verletzung eines Halswirbelkörpers oder eines größeren Gefäßes resultieren.

Dieses Risiko ließe sich reduzieren, indem vor dem Eingriff bereits die notwendige Länge des Drahtes bestimmt und markiert wird.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass die hier vorgestellte neue Methode der Stimmlippenmedialisierung und -lateralisierung vielversprechend ist. Insbesondere die hohe Geschwindigkeit, in der die Medialisierung möglich ist, stellt einen großen Vorteil gegenüber der alternativen Thyreoplastik dar, die etwa zwei Stunden dauern kann (Desuter et al., 2015; Rosero ebd., 2016). Die Präparation, Bohrung und Lateralisierung bzw. Medialisierung am humanen Kehlkopf gelang in unserer Versuchsreihe mit einiger Übung in acht Minuten.

Allerdings müssen noch einige Schwierigkeiten und Hürden gemeistert werden, um diese Methode an Patienten unproblematisch durchführen zu können. Eine präoperative Bildgebung erscheint aus heutiger Sicht unverzichtbar.

Möglicherweise kann eine Weiterentwicklung der hier vorgestellten ersten Studienergebnisse längerfristig eine Methode zur Stimmlippenmedialisierung und -lateralisierung bieten, die vielleicht sogar „office based“ durchgeführt werden kann und damit dem Patienten eine schonende Alternative zu den in der Einleitung beschriebenen derzeit üblichen Methoden bietet.

## 6. Zusammenfassung

Die Prinzipien einer Stimmlippenmedialisierung haben sich in den letzten hundert Jahren kaum verändert. Hier soll eine Machbarkeitsstudie für einen komplett neuen Zugang zur Stimmlippenmedialisierung bzw. -lateralisierung stillstehender Stimmlippen präsentiert werden.

Die Methode wurde an zwanzig unfixierten menschlichen Kehlkopfpräparaten getestet, indem eine 21G-Nadel durch eine anteriore Bohrung im Schildknorpel in die Stimmlippe eingeführt wurde. Diese wurde damit entweder medialisiert oder lateralisiert und hinter dem Proc. vocalis im posterioren Ringknorpel fixiert.

Durch die anteriore und posteriore Fixation der Nadel wird die Stimmlippe in der neuen Lage fixiert.

Die Nadelposition wurde vor und nach der Medialisierung bzw. Lateralisierung sowohl visuell als auch dreidimensional mittels DVT kontrolliert.

Es ist möglich, eine stillstehende Stimmlippe im Kehlkopfpräparat ohne Schädigung der endolaryngealen Mukosa auf diese Weise entweder zu medialisieren oder zu lateralisieren. Allerdings muss die Position der anterioren Bohrung sorgfältig gewählt werden, um die Nadel posterior in der Lamina des Ringknorpels fixieren zu können. In künftigen Studien müssen geeignete Materialien, die die Nadel in vivo ersetzen können, untersucht werden.

Eine englische Kurzfassung der Arbeit wird in den nächsten Monaten im „Journal of Voice“ erscheinen (Pflug et al., 2017).

## 7. English Abstract

Principles in medializing and lateralizing vocal folds haven't changed a lot in the last decades. We want to present here a completely new approach for medializing and lateralizing immobile vocal folds.

Twenty native human larynges were prepared and a 21G needle inserted into the vocal fold medializing (or, in other cases, lateralizing) it and fixing the needle in the cricoid cartilage posterior of the vocal process. The anterior and posterior fixation points of the needle allow for a stable positioning of the needle which we consider necessary in cases of medialization or lateralization, respectively. The needle position was examined visually as well as three-dimensionally via CBCT.

It is possible to medialize a vocal fold in a cadaveric larynx without mucosa damage, but the position of the frontal drill hole has to be chosen carefully as to be able to fix the needle in the cricoid cartilage at the back.

In future studies suitable materials have to be determined; possible material choices in place of the needle need to be carefully considered.

## 8. Abkürzungsverzeichnis

HSS – Klinik für Hör-, Stimm- und Sprachheilkunde

UKE – Universitätsklinikum Hamburg Eppendorf

M. – Musculus

N. – Nervus

Proc. - Processus

DVT – Digitale Volumentomographie

CT – Computertomographie

## 9. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Thyreoplastik Typ I .....	6
Abbildung 2 Arytenoid adduction (mit Rotation) .....	6
Abbildung 3 Schematische Darstellung einer Thyreoplastik mit Arytenoid Adduction von dorsal .....	7
Abbildung 4 Stützgerüst von lateral .....	11
Abbildung 5 Stützgerüst von dorsal .....	12
Abbildung 6 Aufbau des Larynxgerüsts von cranial.....	12
Abbildung 7 Bewegungsschema der Larynxgelenke von medial.....	13
Abbildung 8 Muskelgürtung des Kehlkopfes.....	13
Abbildung 9 Larynxmuskulatur .....	14
Abbildung 10 Schematische Darstellung der Funktionen der einzelnen Muskeln .....	15
Abbildung 11 Normaler Stimmlippenbefund in Respiration und Phonation.....	15
Abbildung 12 Verlauf des N. vagus und des N. recurrens im Bereich des oberen Mediastinums .....	16
Abbildung 13 Stillstand rechts in Phonations- und Inspirationsstellung.....	17
Abbildung 14 Presbylarynx: Stimmlippe vor und nach Unterfütterung.....	19
Abbildung 15 Medialisierung (rechte Abbildung) und Lateralisierung (linke Abbildung) schematisch von cranial .....	24
Abbildung 16 Schema von lateral .....	24
Abbildung 17 Darstellung der Winkelmessung .....	25
Abbildung 18 Kehlkopf nativ von ventral .....	26
Abbildung 19 Kehlkopf nativ von dorsal .....	26
Abbildung 20 Position des 2 mm Bohrlochs .....	26
Abbildung 21 nochmals aus anderer Perspektive an einem weiteren Larynx .....	26
Abbildung 22 Einführen der 21G-Nadel in das Bohrloch (durch die Perspektive ist der leicht von oben kommende Winkel nicht zu erkennen) .....	26
Abbildung 23 „Auffädeln“ der Stimmlippe lateral des Stimmbandes unter Mitnahme des Aryknorpels und ohne Perforation nach endolaryngeal.....	26
Abbildung 24 Die Stimmlippe ist „aufgefädelt“ und die Nadel im Ringknorpel fixiert ..	27
Abbildung 25 Blick von lateral .....	27
Abbildung 26 und kaudal .....	27
Abbildung 27 Nadel von posterior .....	27
Abbildung 28 Über gleichen Zugang, Stimmlippe nun lateralisiert .....	27

Abbildung 29 Verlauf der Nadel in der Stimmlippe entlang des freipräparierten Stimmbandes .....	27
Abbildung 30 Blick von rechts auf das medialisierte linke Stimmband, restliches Stimmlippengewebe bds. entfernt. ....	28
Abbildung 31 Blick von dorso-cranial auf die anatomischen Strukturen des gleichen Kehlkopfes, Nadel parallel zum linken Stimmband.....	28
Abbildung 32 Auf diesem Bild ist die notwendige Nadelführung leicht von cranial nach caudal gut zu erkennen .....	28
Abbildung 33 Boxplot der Ergebnisse .....	29
Abbildung 34 - 36 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 1 .....	31
Abbildung 37 - 39 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 2 .....	32
Abbildung 40 - 42 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 3 .....	33
Abbildung 43 - 45 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 4 .....	34
Abbildung 46 - 48 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 5 .....	35
Abbildung 49 - 51 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 6 .....	36
Abbildung 52 - 55 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 7 .....	37
Abbildung 56 - 58 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 8 .....	38
Abbildung 59 - 61 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 9 .....	39
Abbildung 62 - 64 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 10 .....	40
Abbildung 65 - 67 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 11 .....	41
Abbildung 68 - 71 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 12 .....	42
Abbildung 72 - 74 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 13 .....	43
Abbildung 75 - 77 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 14 .....	44
Abbildung 78 - 80 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 15 .....	45
Abbildung 81 - 84 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 16 .....	46
Abbildung 85 - 87 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 17 .....	47
Abbildung 88 - 90 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 18 .....	48
Abbildung 91 - 93 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 19 .....	49
Abbildung 94 - 96 DVT-Aufnahmen Kehlkopf 20 .....	50
Abbildung 97 DVT-Aufnahme Kehlkopf 21 .....	51

## 10. Literaturnachweise

- Applebaum, E. L., Allen, G. W. und Sisson, G. A. (1979). Human laryngeal reinnervation: the Northwestern experience. *Laryngoscope*, 89(11), 1784-1787. doi:10.1288/00005537-197911000-00011
- Arnold, G. E. (1955). [Injection of new substances with the Bruning syringe in correction of unilateral recurrent nerve paralysis]. *Arch Ohren Nasen Kehlkopfheilkd*, 167(2-6), 508-510; discussion, 519-521.
- Arnold, G. E. (1962). Vocal rehabilitation of paralytic dysphonia: Ix. technique of intracordal injection. *Archives of Otolaryngology*, 76(4), 358-368. doi:10.1001/archotol.1962.00740050368013
- Belohlavek, J., Belohlavkova, S., Hlubocky, J., Mrazek, V., Linhart, A. und Podzimek, S. (2013). Severe allergic dermatitis after closure of foramen ovale with Amplatzer occluder. *Ann Thorac Surg*, 96(3), e57-59. doi:10.1016/j.athoracsur.2013.01.079
- Brünings, W. (1911). *Über eine neue Behandlungsmethode der Rekkurrenslähmung* (C. Kabitzsch Ed. Vol. 18). Würzburg: A. Stuber's Verlag.
- D'Arrigo, G., Giaquinta, A., Virgilio, C., Davì, A., Pierfrancesco, V. und Veroux, M. (2014). Nickel allergy in a patient with a nitinol stent in the superficial femoral artery. *J Vasc Interv Radiol*, 25(8), 1304-1306. doi:10.1016/j.jvir.2014.03.026
- Dararattanaroj, W., Pootongkam, S., Rojanawatsirivej, N. und Wongpiyabovorn, J. (2016). Patterns and risk factors of causative contact allergens in Thai adult patients with contact dermatitis at King Chulalongkorn Memorial Hospital. *Asian Pac J Allergy Immunol*. doi:10.12932/ap0757
- Desuter, G., Henrard, S., Boucquey, D., Van Boven, M., Gardiner, Q. und Remacle, M. (2015). Learning curve of medialization thyroplasty using a Montgomery™ implant. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 272(2), 385-390. doi:10.1007/s00405-014-3292-z
- Duerig, Pelton und Stoecke. (1999). An Overview of Nitinol Medical Applications. *Materials Science and Engineering a-Structural Materials Properties Microstructure and Processing*, 273, 149-160. doi:Doi 10.1016/S0921-5093(99)00294-4
- El Feninat, F., Laroche, G., Fiset, M. und Mantovani, D. (2002). Shape Memory Materials for Biomedical Applications. *Advanced Engineering Materials*, 4(3),

- 91-104. doi:10.1002/1527-2648(200203)4:3<91::AID-ADEM91>3.0.CO;2-B
- Frazier, C. H. (1924). The Treatment of Paralysis of the Recurrent Laryngeal Nerve by Nerve Anastomosis. *Ann Surg*, 79(2), 161-171.
- Friedrich, G., de Jong, F. I., Mahieu, H. F., Benninger, M. S. und Isshiki, N. (2001). Laryngeal framework surgery: a proposal for classification and nomenclature by the Phonosurgery Committee of the European Laryngological Society. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 258(8), 389-396.
- Friedrich, G. und Lichtenegger, R. (1997). Surgical anatomy of the larynx. *J Voice*, 11(3), 345-355.
- Garcia, M. und Hörberg, M. (2007). *Beobachtungen über die menschliche Stimme: Hörberg*.
- Herman, G. T. und Liu, H. K. (1977). Display of three-dimensional information in computed tomography. *J Comput Assist Tomogr*, 1(1), 155-160.
- Hoffman, M. R., Witt, R. E., McCulloch, T. M. und Jiang, J. J. (2011). Preliminary investigation of adjustable balloon implant for type I thyroplasty. *Laryngoscope*, 121(4), 793-800. doi:10.1002/lary.21431
- Isshiki, N., Morita, H., Okamura, H. und Hiramoto, M. (1974). Thyroplasty as a new phonosurgical technique. *Acta Otolaryngol*, 78(5-6), 451-457.
- Jackson, C. (1922). Ventriculocordectomy: A new operation for the cure of goitrous paralytic laryngeal stenosis. *Archives of Surgery*, 4(2), 257-274. doi:10.1001/archsurg.1922.01110110003001
- Kasperbauer, J. L. (1995). Injectable Teflon for vocal cord paralysis. *Otolaryngol Clin North Am*, 28(2), 317-323.
- Kelly, J. D. (1941). Surgical treatment of bilateral paralysis of the abductor muscles. *Archives of Otolaryngology*, 33(2), 293-304. doi:10.1001/archotol.1941.00660030296010
- Kelly, J. D. (1946). Bilateral paralysis of the abductor muscles of the larynx; arytenoidectomy. *Surg Clin North Am*, 464-476.
- King, B. T. (1939). New and function-restoring operation for bilateral abductor cord paralysis: Preliminary report. *Journal of the American Medical Association*, 112(9), 814-823. doi:10.1001/jama.1939.02800090024005
- Konig, W. F. und Von Leden, H. (1963). A three-dimensional reconstruction of a hemilarynx. *Arch Otolaryngol*, 77, 137-141.
- Kudo, H. und Saito, T. (1990). Feasible cone beam scanning methods for exact reconstruction in three-dimensional tomography. *J Opt Soc Am A*, 7(12), 2169-

2183.

- Kwon, T. K. und Buckmire, R. (2004). Injection laryngoplasty for management of unilateral vocal fold paralysis. *Curr Opin Otolaryngol Head Neck Surg*, 12(6), 538-542.
- Lichtenberger, G. (1999). Reversible immediate and definitive lateralization of paralyzed vocal cords. *Eur Arch Otorhinolaryngol*, 256(8), 407-411.
- Lisi, C., Hawkshaw, M. J. und Sataloff, R. T. (2013). Viscosity of materials for laryngeal injection: a review of current knowledge and clinical implications. *J Voice*, 27(1), 119-123. doi:10.1016/j.jvoice.2012.07.011
- May, M., Lavorato, A. S. und Bleyaert, A. L. (1980). Rehabilitation of the crippled larynx: application of the Tucker technique for muscle-nerve reinnervation. *Laryngoscope*, 90(1), 1-18.
- McCulloch, T. M. und Hoffman, H. T. (1998). Medialization laryngoplasty with expanded polytetrafluoroethylene. Surgical technique and preliminary results. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 107(5 Pt 1), 427-432.
- Mygind. (1906). *Archiv für Laryngologie und Rhinologie*: A. Hirschwald.
- Navratil, E. v. (1914). *Entstehung und Entwicklung der Laryngoskopie*.
- Nayak, R. S., Khanna, B., Pasha, A., Vinay, K., Narayan, A. und Chaitra, K. (2015). Evaluation of Nickel and Chromium Ion Release During Fixed Orthodontic Treatment Using Inductively Coupled Plasma-Mass Spectrometer: An In Vivo Study. *J Int Oral Health*, 7(8), 14-20.
- Ossoff, R. H., Sisson, G. A., Duncavage, J. A., Moselle, H. I., Andrews, P. E. und McMillan, W. G. (1984). Endoscopic laser arytenoidectomy for the treatment of bilateral vocal cord paralysis. *Laryngoscope*, 94(10), 1293-1297.
- Payr. (1915). Plastik am Schildknorpel zur Behebung der Folgen einseitiger Stimmbandlähmung. *DMW - Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 41(43), 1265-1270. doi:10.1055/s-0029-1192223
- Pflug, C., Niessen, A., Muller, F., Precht, C., Nienstedt, J. C. und Hess, M. (2017). Pin-up Glottoplasty: Feasibility Study of a Novel Approach Medializing or Lateralizing Immobile Vocal Folds. *J Voice*. doi:10.1016/j.jvoice.2017.10.010
- Püschel, K. (2016). Teaching and research on corpses. *Rechtsmedizin*, 26(2), 115-119. doi:10.1007/s00194-016-0087-0
- Rosen, C. A. und Simpson, C. B. (2008a). Glottic Insufficiency: Vocal Fold Paralysis, Paresis, and Atrophy *Operative Techniques in Laryngology* (pp. 29). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.

- Rosen, C. A. und Simpson, C. B. (2008b). The Gray Minithyrotomy for Vocal Fold Scar / Sulcus Vocalis *Operative Techniques in Laryngology* (pp. 299-304). Berlin Heidelberg: Springer-Verlag.
- Rosero, E. B., Ozayar, E., Mau, T. und Joshi, G. P. (2016). A sequential anesthesia technique for surgical repair of unilateral vocal fold paralysis. *J Anesth*, 30(6), 1078-1081. doi:10.1007/s00540-016-2231-0
- Sakai, N., Furuta, Y., Nishizawa, N., Koichi, K., Sukanuma, T., Chida, E., Dousaka, Y., Kurihara, H., Matsushima, J. und Inuyama, Y. (1993). Thyroplasty type I with ceramic shim. *Auris Nasus Larynx*, 20(3), 231-237.
- Seiffert, A. (1919). Perkutane Paraffininjektion zur Beseitigung der Folgen einseitiger Stimmbandlähmungen. *Zeitschrift für Laryngologie*, Bd. 8, 233-235.
- Teschendorf, W. (1959). [Progress in diagnosis of lung diseases by tomography in three-dimensional films]. *Dtsch Med Wochenschr*, 84(30), 1330-1333. doi:10.1055/s-0028-1114444
- Theissing, J., Rettinger, G. und Werner, J. A. (2006). *HNO-Operationslehre: Mit allen wichtigen Eingriffen*: Thieme.
- Thornell, W. C. (1948). Intralaryngeal approach for arytenoidectomy in bilateral abductor paralysis of the vocal cords; a preliminary report. *Arch Otolaryngol*, 47(4), 505-508.
- Tigges, M. und Hess, M. (2015). Glottis injection to improve voice function. *HNO*, 63(7), 489-496. doi:10.1007/s00106-015-0029-2
- Tucker, H. M. (1976). Human laryngeal reinnervation. *Laryngoscope*, 86(6), 769-779. doi:10.1288/00005537-197606000-00004
- Tucker, H. M. (1977). Reinnervation of the unilaterally paralyzed larynx. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 86(6 Pt 1), 789-794.
- Tucker, H. M. (1978a). Human laryngeal reinnervation: long-term experience with the nerve-muscle pedicle technique. *Laryngoscope*, 88(4), 598-604.
- Tucker, H. M. (1978b). Selective reinnervation of paralyzed musculature in the head and neck: functioning autotransplantation of the canine larynx. *Laryngoscope*, 88(1 Pt 1), 162-171.
- Tucker, H. M. (1979). Reinnervation of the paralyzed larynx: a review. *Head Neck Surg*, 1(3), 235-242.
- Tucker, H. M. (1982). Nerve-muscle pedicle reinnervation of the larynx: avoiding pitfalls and complications. *Ann Otol Rhinol Laryngol*, 91(4 Pt 1), 440-444.
- Tucker, H. M. (1983). Complications after surgical management of the paralyzed

larynx. *Laryngoscope*, 93(3), 295-298.

Wendler, J. und Appel, H. (2005). *Lehrbuch der Phoniatrie und Pädaudiologie*: Thieme.

Woodman, D. (1946). A modification of the extralaryngeal approach to arytenoidectomy for bilateral abductor paralysis. *Archives of Otolaryngology*, 43(1), 63-65. doi:10.1001/archotol.1946.00680050073011

## 11. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt

Professor Dr. M. Hess für die Überlassung des Themas, die Unterstützung meiner Arbeit und die Diskussionen, die er dazu immer wieder ermöglichte.

Meiner Chefin, Frau Dr. Christina Pflug, die mich sowohl bei den Präparationen tatkräftig unterstützte als auch die diversen Versionen der Doktorarbeit immer wieder gegenlas und hilfreich kommentierte – vielen Dank, Christina für Deine Zeit!

Frank Müller, der bei allen Fragen immer zur Verfügung stand, die Fotos der Präparate mit mir anfertigte und mich auch bei den DVTs immer wieder unterstützte.

Professor Dr. K. Püschel und seinem Team im Institut für Rechtsmedizin für die reibungslose Zusammenarbeit und die Bereitstellung der Kehlkopfpräparate.

Und nicht zuletzt gilt mein Dank meinem Mann Thomas und unseren beiden Kindern, die mittrugen, dass ich mit knapp 50 Jahren noch einen Anlauf für eine Dissertation startete und die knapp drei Jahre auf viel Zeit mit mir verzichtet haben.

## 12. Lebenslauf

Entfällt aus datenschutzrechtlichen Gründen



### 13. Eidesstattliche Versicherung

Ich versichere ausdrücklich, dass ich die Arbeit selbständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und die aus den benutzten Werken wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen einzeln nach Ausgabe (Auflage und Jahr des Erscheinens), Band und Seite des benutzten Werkes kenntlich gemacht habe.

Ferner versichere ich, dass ich die Dissertation bisher nicht einem Fachvertreter an einer anderen Hochschule zur Überprüfung vorgelegt oder mich anderweitig um Zulassung zur Promotion beworben habe.

Ich erkläre mich einverstanden, dass meine Dissertation vom Dekanat der Medizinischen Fakultät mit einer gängigen Software zur Erkennung von Plagiaten überprüft werden kann.

Unterschrift: .....