

Aus dem Institut für 3D-Dentalradiologie MESANTIS Berlin

DISSERTATION

**Vergleich von 2D- und 3D-Analysen zur quantitativen
Erfassung von Obstruktionen der posterioren Atemwege
auf Basis der dentalen Volumentomographie**

- Eine klinisch-retrospektive Transversalstudie -

zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae dentariae (Dr. med. dent.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät
Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Zahnärztin Franziska Gorath, geb. Reiß
aus Frankenberg

Datum der Promotion: 05.12.2014

Meinen Eltern und Moritz

INHALTSVERZEICHNIS

1. ZUSAMMENFASSUNG	7
1.1. Zusammenfassung	7
1.2. Summary	8
2. EINLEITUNG	10
2.1. Ursachen und Folgen schlafbezogener Atmungsstörungen	10
2.2. Epidemiologie	15
2.3. Diagnostik	16
2.3.1. Bedeutung der Stufendiagnostik, Polysomnographie (PSG)	16
2.3.2. Bedeutung des seitlichen Fernröntgenbildes (FRS)	18
2.3.3. Bedeutung der Dentalen Volumentomographie (DVT)	20
3. FRAGESTELLUNG	22
4. MATERIAL UND METHODE	24
4.1. Allgemeine Methoden	24
4.1.1. Patientengut	24
4.1.2. DVT-Aufnahmetechnik	24
4.1.3. Auswertungssoftware	25
4.1.4. Messparameter in Relation zur Spina-Ebene	27
4.1.5. Messparameter in Relation zur Frankfurter Horizontalen	27
4.1.6. Statistische Auswertung	27
4.2. Spezielle Methoden	29
4.2.1. Bestimmung der Methodenfehler, Reproduzierbarkeit	29
4.2.1.1. Lineare sagittale Messungen	29
4.2.1.2. Lineare transversale Messungen	31
4.2.1.3. Flächenmessungen	31
4.2.1.4. Gesamtvolumen	32
4.2.1.5. Oberes Teilvolumen	34
4.2.1.6. Unteres Teilvolumen	34

Inhaltsverzeichnis

4.2.2. Korrelationsanalysen linearer Messungen zur Erfassung der posterioren Atemwege	35
4.2.2.1. Länge des posterioren Atemwegs	35
4.2.2.2. Länge des weichen Gaumens	35
4.2.2.3. Relation Länge des weichen Gaumens und Länge des posterioren Atemwegs in Korrelation mit Alter und Geschlecht	36
4.2.2.4. Korrelationsanalysen linearer sagittaler Messungen	36
4.2.3. Flächenmessungen im Bereich der posterioren Atemwege	36
4.2.3.1. Korrelation der axialen Flächen mit den sagittalen Strecken	36
4.2.3.2. Korrelation der axialen Flächen mit den transversalen Strecken	36
4.2.4. Korrelationsanalysen der Volumenmessungen zur Erfassung der posterioren Atemwege	37
4.2.4.1. Gesamtvolumen und sagittale Strecken	37
4.2.4.2. Gesamtvolumen und transversale Strecken	37
4.2.4.3. Gesamtvolumen und Flächenmessungen	37
4.2.4.4. Oberes Teilvolumen und sagittale Strecken	37
4.2.4.5. Oberes Teilvolumen und transversale Strecken	38
4.2.4.6. Oberes Teilvolumen und Flächenmessungen	38
4.2.4.7. Unteres Teilvolumen und sagittale Strecken	38
4.2.4.8. Unteres Teilvolumen und transversale Strecken	38
4.2.4.9. Unteres Teilvolumen und Flächenmessungen	38
5. ERGEBNISSE	39
5.1. Bestimmung der Methodenfehler, Reproduzierbarkeit	39
5.1.1. Lineare sagittale Messungen	39
5.1.2. Lineare transversale Messungen	41
5.1.3. Flächenmessungen	42
5.1.4. Gesamtvolumen	43
5.1.5. Oberes Teilvolumen	44
5.1.6. Unteres Teilvolumen	45
5.2. Korrelationsanalysen linearer Messungen zur Erfassung der posterioren Atemwege	46
5.2.1. Länge des posterioren Atemwegs	47
5.2.2. Länge des weichen Gaumens	50
5.2.3. Relation Länge des weichen Gaumens und Länge des posterioren	

Inhaltsverzeichnis

Atemwegs in Korrelation mit Alter und Geschlecht	53
5.2.4. Korrelationsanalysen linearer Messungen	56
5.3. Flächenmessungen im Bereich der posterioren Atemwege	59
5.3.1. Korrelation der axialen Flächen mit den sagittalen Strecken	59
5.3.2. Korrelation der axialen Flächen mit den transversalen Strecken	61
5.4. Korrelationsanalysen der Volumenmessungen zur Erfassung der posterioren Atemwege	62
5.4.1. Gesamtvolumen und sagittale Strecken	62
5.4.2. Gesamtvolumen und transversale Strecken	63
5.4.3. Gesamtvolumen und Flächenmessungen	64
5.4.4. Oberes Teilvolumen und sagittale Strecken	65
5.4.5. Oberes Teilvolumen und transversale Strecken	67
5.4.6. Oberes Teilvolumen und Flächenmessungen	68
5.4.7. Unteres Teilvolumen und sagittale Strecken	69
5.4.8. Unteres Teilvolumen und transversale Strecken	71
5.4.9. Unteres Teilvolumen und Flächenmessungen	73
6. DISKUSSION	75
6.1. Bestimmung der Methodenfehler, Reproduzierbarkeit	75
6.1.1. Lineare sagittale Messungen	77
6.1.2. Lineare transversale Messungen	78
6.1.3. Flächenmessungen	78
6.1.4. Gesamtvolumen	79
6.1.5. Oberes Teilvolumen	80
6.1.6. Unteres Teilvolumen	80
6.2. Korrelationsanalysen linearer Messungen zur Erfassung der posterioren Atemwege	81
6.2.1. Länge des posterioren Atemwegs	81
6.2.2. Länge des weichen Gaumens	83
6.2.3. Relation Länge des weichen Gaumens und Länge des posterioren Atemwegs in Korrelation mit Alter und Geschlecht	84
6.2.4. Korrelationsanalysen linearer Messungen	84
6.3. Flächenmessungen im Bereich der posterioren Atemwege	85

Inhaltsverzeichnis

6.3.1. Korrelation der axialen Flächen mit den sagittalen Strecken	85
6.3.2. Korrelation der axialen Flächen mit den transversalen Strecken	86
6.4. Korrelationsanalysen der Volumenmessungen zur Erfassung der posterioren Atemwege	86
6.4.1. Gesamtvolumen und sagittale Strecken	86
6.4.2. Gesamtvolumen und transversale Strecken	87
6.4.3. Gesamtvolumen und Flächenmessungen	87
6.4.4. Oberes Teilvolumen und sagittale Strecken	88
6.4.5. Oberes Teilvolumen und transversale Strecken	88
6.4.6. Oberes Teilvolumen und Flächenmessungen	88
6.4.7. Unteres Teilvolumen und sagittale Strecken	89
6.4.8. Unteres Teilvolumen und transversale Strecken	89
6.4.9. Unteres Teilvolumen und Flächenmessungen	89
7. ANHANG	90
7.1. Begriffsdefinitionen	90
7.2. Literaturverzeichnis	93
7.3. Abbildungsverzeichnis	111
7.4. Tabellenverzeichnis	114
7.5. Abkürzungsverzeichnis	117
7.6. Danksagung	118
7.7. Curriculum Vitae	119
7.8. Eidesstattliche Versicherung	120

1. ZUSAMMENFASSUNG

1.1. Zusammenfassung

Einleitung

Das obstruktive Schlafapnoe-Hypopnoe-Syndrom (OSAHS) stellt eine der bedeutendsten schlafbezogenen Atmungsstörungen (SBAS) dar. Es verursacht organische, geistige und soziale Störungen. Die Polysomnographie ist diagnostischer Standard, jedoch teuer, zeitaufwändig und durch die **BUB-Richtlinien** (11/2004) eingeschränkt indiziert. Neuere Studien zeigen wie wichtig es ist, die Ausdehnung der posterioren Atemwege (PAS) in 3-D zu erfassen, um Patienten mit erhöhtem Risiko für eine SBAS rechtzeitig diagnostizieren zu können. Die dentale Volumentomographie (DVT) erreicht verglichen mit der Computertomographie (CT) eine sehr hohe Aufnahmequalität bei stark reduzierter effektiver Strahlendosis.

Methodik

In dieser Studie wurden die Bezugsebenen Spina-Ebene (SP) und Frankfurter Horizontale (FH) zur 2-D und 3-D Vermessung des PAS an 260 DVTs von gesunden 5-69 – Jährigen herangezogen (Software InVivo 5[®]). Alle DVTs wurden für die kieferorthopädische und kieferchirurgische Diagnostik erhoben. Sagittale und transversale Strecken, axiale Flächen, Teil- und Gesamtvolumina auf verschiedenen Höhen des PAS wurden berechnet. Um die Reproduzierbarkeit zu testen, wurden 60 DVTs im Mindestabstand von 38 Tagen vom gleichen Untersucher nochmals vermessen. Zur statistischen Auswertung mit den Programmen SPSS und MATLAB wurden der Methodenfehler δ nach Dahlberg, der Zuverlässigkeitskoeffizient Z nach Houston und der Korrelationskoeffizient ρ nach Spearman herangezogen.

Ergebnisse

Alle Messungen waren mit $Z \geq 0,9962$ sehr gut reproduzierbar. Der variabelste Bereich des PAS ist der Oropharynx (Rachen im Mundbereich). Die transversale Dimension ist enger mit der axialen Fläche auf gleicher Messebene sowie dem Gesamtvolumen assoziiert als die sagittale Dimension. Messungen abhängig von der Unterkiefertangente liefern zwar eine ausreichend gute Reproduzierbarkeit. Allerdings wird der Bereich des Hypopharynx (Rachen im Kehlkopfbereich) in 16,5% der Fälle vollständig weggeschnitten. Die Messmethodik bezogen auf die SP ist zeitaufwändiger als diejenige bezogen auf die FH.

Schlussfolgerung

- Diese Studie liefert erstmalig detaillierte Informationen über die Zusammenhänge zwischen sagittaler, transversaler und axialer Dimension und dem Volumen des PAS Gesunder anhand einer großen, breit gestreuten Stichprobe.
- Zur 3-D Erfassung des PAS sollte eine Methode gewählt werden die den Bereich des Hypopharynx einschließt und nicht abhängig von der Unterkiefertangente ist.
- Die Bezugsebene SP sollte weiter in Bezug auf den Bereich des Kehldeckels und des dritten Halswirbels untersucht werden.
- Da Messungen bezogen auf die FH gute Reproduzierbarkeitswerte liefern, den Bereich der Epiglottis erfassen und einen praktikablen Zeitaufwand bedeuten, können sie zur 3-D Atemwegserfassung empfohlen werden. Sie sollten in weiterführenden Studien an DVTs von Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen mit SBAS und OSAHS angewendet und mit den Ergebnissen Gesunder verglichen werden. Der dritte Halswirbel könnte ein zusätzlicher Messpunkt im Hypopharynx sein.

1.2. Summary

Introduction

The obstructive sleep apnea syndrome (OSAS) is one of the most important sleep-related breathing disorders (SRBD) and causes organic, mental and social dysfunctions. Polysomnography is diagnostic standard but it's expensive, time-consuming and its indication is limited by the **BUB-Guidelines** (11/2004). Recent studies show the importance of 3-D posterior airway space (PAS) evaluation to early identify patients at risk for SRBD. Cone beam computed tomography (CBCT) achieves very high image quality at greatly reduced effective radiation doses compared to computed tomography (CT).

Methods

This study compares the reference planes Frankfurt Horizontal (FH) and the maxillary plane (SP) on the basis of CBCT-scans of 260 healthy 5 - 69 year-olds using the software InVivo 5[®]. The scans were taken for diagnostics in orthodontics and oral and maxillofacial surgery. Distances, area measurements, total and partial volumes at different levels of the PAS were measured. To test reproducibility, 60 CBCT-scans were reinvestigated by the same examiner after a minimum interval of 38 days. Statistic analysis

Summary

was performed by SPSS and MATLAB using the formula for method error δ by Dahlberg, reliability coefficient Z by Houston and the Spearman correlation coefficient ρ .

Results

The reliability for all measurements was very good ($\geq 0,9962$). The oropharynx is the most variable section of the PAS in healthy persons. The transversal diameter is associated more closely with the axial area and total volume than the sagittal diameter at the same measurement level. Even though measurements depending on the tangent to the mandible show sufficient reliability, it cuts off the hypopharynx in 16,5 % of the cases. The measurements in relation to SP were more time-consuming than those in relation to FH.

Conclusion

- For the first time, this study provides detailed information about the relationship between the sagittal, transversal and axial dimension and the volume of the PAS in healthy persons in a broad sample.
- For 2-D and 3-D airway evaluation, a method including the Epiglottis and independent of the tangent to the mandible should be used.
- The SP should be studied regarding the Epiglottis and the third cervical vertebra
- Because measurements in relation to FH show good reliability, assess the region of the Epiglottis and stand for a reasonable amount of time, they can be recommended for 3-D airway evaluation. They should be applied for airway examination in patients with SRBD / OSAS. The third cervical vertebra could be an additional measuring level.

2. EINLEITUNG

2.1. Ursachen und Folgen schlafbezogener Atmungsstörungen

Unter schlafbezogenen Atmungsstörungen (SBAS) versteht man eine Reihe von Erkrankungen die während des Schlafs eine Verschlechterung der Atmung oder Atempausen zur Folge haben. Sie werden in Atmungsstörungen mit und ohne Einengung (Obstruktion) der posterioren Atemwege eingeteilt (Tab.1). Der posteriore Atemweg umfasst den Bereich hinter dem weichen Gaumen, dem Zäpfchen (Uvula) und dem Zungengrund bis zum Kehldeckel (Epiglottis). Aus Gründen der Vollständigkeit werden in Tab.1 auch die SBAS **ohne** Obstruktion der posterioren Atemwege aufgeführt, obwohl im Rahmen dieser Arbeit nicht darauf eingegangen wird.

Tab.1: Über die International Classification of Sleep Disorders (ICSD) hinaus gebräuchliche Einteilung der SBAS [1]

SBAS mit Obstruktion der posterioren Atemwege	SBAS ohne Obstruktion der posterioren Atemwege
<ol style="list-style-type: none"> 1. Upper-Airway-Resistance-Syndrome (UARS) 2. obstruktives Schnarchen 3. obstruktive Apnoe 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Hypoventilation <ol style="list-style-type: none"> a) primär alveolär b) sekundär alveolär 2. zentrale Apnoe

Das **obstruktive Schnarchen** ist durch eine partielle Einengung der posterioren Atemwege im Schlaf mit Schnarchgeräuschen gekennzeichnet. Im Gegensatz zum habituellen Schnarchen ohne Krankheitswert kommt es beim obstruktiven Schnarchen durch teilweises Erschlaffen der Rachenmuskulatur zu einer erhöhten Atemanstrengung und zum Aufwachen (Arousal). Beim **Upper-Airway-Resistance-Syndrome (UARS)** fehlen die Schnarchgeräusche, jedoch ist der Luftstrom auch hier zeitweilig reduziert. Das UARS und obstruktives Schnarchen führen durch partielle Atemwegseinengung zu Sauerstoffmangel und Arousals sowie in der Folge zu Tagesmüdigkeit und Konzentrationsstörungen [1,9,11,15,17]. Die Atemwegseinengung kann eine **Apnoe** (Atemstillstand) oder eine Reduktion des Atemflusses (**Hypopnoe**) verursachen. Die Hypopnoe ist definiert als eine Atemflussverminderung um mindestens 50% des Ausgangswertes

Einleitung

über wenigstens 10 Sekunden. Die Kriterien für eine Apnoe oder Hypopnoe sind weder beim obstruktiven Schnarchen noch beim UARS erfüllt [1].

Im Gegensatz dazu kommt bei der **obstruktiven Schlafapnoe (OSA)** der Atemfluss für mindestens 10 Sekunden bis mehrere Minuten vollständig zum Stillstand. Die OSA tritt häufig zusammen mit Hypopnoen auf. Das Krankheitsbild wird bei vorhandenen Folgesymptomen als **obstruktives Schlafapnoe/Hypopnoe-Syndrom (OSAHS)** bezeichnet. Mit einem Anstieg des kardiovaskulären Risikos muss ab 5 Apnoe- bzw. Hypopnoe-Ereignissen pro Stunde Schlaf gerechnet werden. Der Schweregrad des OSAHS wird durch den **Apnoe-Hypnoe-Index (AHI = 5/h)** ausgedrückt [15]. Die Leitsymptome des OSAHS sind lautes, unregelmäßiges Schnarchen zwischen Apnoen, morgendliche Kopfschmerzen, Antriebslosigkeit und Tagesmüdigkeit mit deutlich erhöhter Unfallneigung im Straßenverkehr („Sekundenschlaf“) [18,19]. Entscheidend für eine Schlafapnoe ist das Unterschreiten des kritischen negativen Drucks (P_{crit}) im Bereich der posterioren Atemwege bei der Einatmung der zum vollständigen Verschluss im Bereich des Rachens (Oropharynx) führt [1,25,33]. P_{crit} liegt bei Gesunden bei etwa -10 cm H₂O und steigt bei OSAHS-Patienten auf positive Werte (+5 cm H₂O) an. Um die nächtlichen Atempausen zu kompensieren, reagiert der Körper in unterschiedlicher Weise. Zunächst entsteht ein Sauerstoffmangel im arteriellen Blut (Hypoxämie) der eine vom Patienten nicht immer bemerkte Weckreaktion (Arousal) hervorruft. Die Folge ist eine Schlafstrukturstörung, die bei Patienten mit OSAHS langfristig kardiale Ischämien, Herzrhythmusstörungen, Herzinsuffizienz, arterielle und pulmonal-arterielle Hypertonie, zerebrale Insulte und Störungen des Fettstoffwechsels, der Gerinnung und des Hormonhaushalts bewirken kann [3,9,26,27,77]. Die nächtliche Hypertonie wird durch einen erhöhten Sympathikotonus und eine durch die Hypoxämie hervorgerufene erhöhte Hormonkonzentration (Endotheline) im Blut verursacht. Je länger die Apnoe und je ausgeprägter die Hypoxämie und die Arousals sind, umso höher ist der Blutdruckanstieg [38,39,43]. Durch die intermittierenden Hypoxämien und Arousals steigt über Ausschüttung des Stresshormons Adrenalin der Glukosespiegel im Blut. Aufgrund dieser Veränderung des Glukosemetabolismus wird das OSAHS auch als Risikofaktor für die Entstehung eines Diabetes mellitus diskutiert [93]. Viele OSAHS-Patienten berichten außerdem von nächtlichem Sodbrennen, welches durch die intrathorakalen Druckschwankungen hervorgerufen wird [20], morgendlicher Heiserkeit, Räuspierzwang und belegter Stimme [21].

Einleitung

Ein erhöhter BMI (Body-Mass-Index) gilt als größter Risikofaktor für ein OSAHS. Der BMI ist eine Maßzahl für die Relation des Körpergewichts [kg] eines Menschen zur Größe zum Quadrat [m²]. Die Risikofaktoren für ein OSAHS an zweiter und dritter Stelle sind fortgeschrittenes Alter und das männliche Geschlecht [28,29,50]. Bei Frauen ohne Hormon-Replacement-Therapie (HRT) nach der Menopause existiert eine höhere Erkrankungsprävalenz für ein OSAHS als bei Frauen mit HRT oder prämenopausal [65]. Zudem sind Rauchen, Alkoholkonsum und Konsum anderer Drogen vor dem Schlafengehen durch einen verminderten Tonus der Rachenmuskulatur mit einer hohen Prävalenz von Schnarchen und einem OSAHS verbunden [50,67]. 1992 untersuchten *Tsuchiya et al.* OSAHS-Patienten mit hohem AHI und niedrigem BMI und fanden heraus, dass diese skelettale Abweichungen aufweisen. Die Gruppe mit niedrigem AHI und hohem BMI wies hingegen atypische Weichgewebsstrukturen auf, so dass von zwei OSAHS-Subtypen gesprochen werden kann: Die OSAHS-Patienten mit erhöhtem BMI bilden mit zwei Drittel die größere Gruppe [66]. Bei einem Drittel verursachen Dignathien wie Rücklage oder Kleinwuchs des Ober- und/oder Unterkiefers mit oder ohne Fehlbisslage eine Einengung des posterioren Atemwegs und fördern so das Auftreten von Apnoen und Hypopnoen während des Schlafs [50,54,55]. In beiden Gruppen trägt ein hoher BMI maßgeblich zu einem hohen AHI bei [58].

Die Untersuchungen zu den Risikofaktoren und den Folgen des OSAHS sind zahlreich [3,9,18-21,26-29,38,39,43,50,65,67,77,93]. Im Gegensatz dazu sind nur sehr wenige Analysen des posterioren Atemwegs besonders in 3-D zu finden. OSAHS-Patienten haben im Gegensatz zu Gesunden eine andere Form der Atemwege, einen geringeren sagittalen Abstand der Atemwegswände und Unterschiede in der Länge des weichen Gaumens [60,71-73,92,117]. Das den posterioren Atemweg umgebende Weichgewebsvolumen und das Zungenvolumen sind bei OSAHS-Patienten signifikant größer als bei Gesunden. Daneben korrelieren Nackenumfang und eine tiefe Zungenbeinlage mit dem Schweregrad des OSAHS [32]. *Ya et al.* fanden 2002 an CT-Aufnahmen gesunder Erwachsener die engste Stelle des posterioren Atemwegs auf Höhe des Oropharynx (Rachen im Mundbereich) [48]. Der größte antero-posteriore Atemwegsdurchmesser ist bei Gesunden mit mandibulärer Prognathie (Unterkiefervorlage) zu finden, gefolgt von normal ausgebildetem Unterkiefer und mandibulärer Retrognathie (Unterkiefernücklage) [69]. OSAHS-Patienten weisen im Vergleich zu Gesunden signifikante Breitenunterschiede des Atemwegs im Bereich des Oro- und Hypopharynx auf (Ra-

chen im Mund- und Kehlkopfbereich) [47]. *Shigeta et al.* fanden heraus, dass die Atemwegslänge bei männlichen Japanern mit steigendem Alter zunimmt und vermuten dadurch eine höhere Kollapsibilität der posterioren Atemwege [56]. Diese Erkenntnisse wurden mithilfe von Magnetresonanztomographien [30], cephalometrischen Auswertungen von Fernröntgenseitenbildern (FRS) [32,45] und CT-Aufnahmen [46,48] gewonnen. An dentalen Volumetomogrammen (DVT) sind diese Untersuchungen noch kaum durchgeführt worden. *Ogawa et al.* vermaßen jeweils 10 DVT-Aufnahmen von Gesunden und OSAHS-Patienten und stellten fest, dass Letztere ein insgesamt kleineres Atemwegsvolumen, kleineren anterior-posterioren Durchmesser und eine kleinere Querschnittsfläche auf Höhe der engsten Stelle des Atemwegs haben. Zudem haben die OSAHS-Patienten einen konkaven oder elliptischen Atemwegsquerschnitt im Vergleich zu dem eher konkav-runden oder quadratischen Querschnitt der Gesunden [60]. Nach Messungen an CT-Bildern in unterschiedlichen Stadien der Atmung durch *Yucel et al.* fand sich bei Patienten mit schwerem OSAHS ($AHI \geq 30$) der signifikant geringste Querschnitt auf Höhe der Uvula (Zäpfchen) bei der Ausatmung [61]. Ob auch Gesunde den geringsten Atemwegsdurchmesser im Bereich des Zäpfchens aufweisen ist bei Erwachsenen anhand von DVT-Aufnahmen noch nicht untersucht.

Trotz der Ähnlichkeiten zum klinischen Krankheitsbild bei Erwachsenen weisen Kinder und Jugendliche mit schlafbezogenen Atmungsstörungen (SBAS) einige Besonderheiten auf [1]. In den meisten Fällen kommen SBAS bei Kindern durch anatomische Anomalien oder durch einen stark verringerten Tonus der Zungengrund- und Rachenmuskulatur zustande [13]. Häufigste Ursache des OSAHS bei Kleinkindern sind allergische Rhinitis (Schnupfen) oder zu große Rachen- und Gaumenmandeln, die je nach Studie im Alter von 2 bis 8 Jahren im Vergleich zur Atemwegsgröße am Größten sind [1,14,23,24,34,62]. *Özdemir et al.* erkannten eine signifikante Korrelation zwischen AHI-Werten und zu großen (hyperplastischen) Rachen- und Gaumenmandeln bei 4–12-jährigen OSAHS-Patienten [59]. *Aboudara et al.* fanden heraus, dass ca. ein Viertel der untersuchten 6-17-Jährigen bemerkenswerte Abweichungen des Atemwegsvolumens bei DVT-Aufnahmen zu vergleichbaren Flächen im Fernröntgenseitenbild (FRS) aufweisen. Obwohl im FRS dieser gesunden Kinder und Jugendlichen keine Einengung des Rachens zu erkennen war, zeigte sich im DVT, dass bis zu 25% des potentiellen Atemwegsvolumens durch Adenoide (Mandeln) eingeengt wird [68]. Aber auch Kinder

Einleitung

mit Fehlbildungen im Bereich des Gesichtsschädels leiden oft an SBAS [34,36]. Dazu gehören z.B. Unter- und Fehlentwicklung des Mittelgesichts (Mittelgesichtshypo- und dysplasie bei Dysostosis craniofacialis), Kieferkleinwuchs (Mikrognathie bei Pierre-Robin-Sequenz) und eine vergrößerte Zunge (Makroglossie bei Trisomie 21). *Iwasaki et al.* zeigten anhand von DVT-Aufnahmen, dass Kinder mit einer Dysgnathie (Fehlbißlage) im Sinne einer Angle-Klasse III (Unterkiefervorlage) einen signifikant größeren und weiteren oropharyngealen Atemweg haben als Kinder mit einer Klasse I-Verzahnung (regelrechte Kieferlage und Verzahnung) [57]. *Oh et al.* fanden 2011 mittels DVT an 60 gesunden 10-13-Jährigen, dass Kinder mit Angle-Klasse-II-Verzahnung verglichen mit Klasse I- und III-Kindern ein kleineres pharyngeales Atemwegsvolumen (allerdings nicht signifikant) und einen zur Frankfurter Horizontalen nach posterior ausgerichteten oberen Atemweg haben [105]. Die Frankfurter Horizontale ist eine Schädelbezugsebene zwischen den äußeren Gehörgängen und den untersten Punkten der knöchernen Augenhöhle (siehe Kap. 3.1.5.). *Oh et al.* raten Kieferorthopäden, bei Diagnose und Therapie von Malokklusionen (Fehlbißen) bei Kindern und Jugendlichen auch die Morphologie der oberen Atemwege zu beachten. Sie vermuten, dass eine Angle-Klasse-II-Verzahnung (Unterkieferrücklage) ein Risikofaktor für eine unerwünschte Gesichtsschädelentwicklung sein könnte [105].

Kinder, die dem Passivrauchen ausgesetzt sind, haben ein höheres Risiko für habituelles Schnarchen [24]. Das männliche Geschlecht stellt bei Kindern im Gegensatz zu Erwachsenen jedoch keinen Risikofaktor für ein OSAHS dar [62]. Das OSAHS bewirkt bei Kindern das Cor pulmonale (lat. „Lungenherz“), neurokognitive Entwicklungsverzögerungen und Gedeihstörungen in Form von mangelnder Gewichtszunahme. Diese Kinder haben auch ein signifikant erhöhtes Risiko für schlechte Schulleistungen [3,22,35,64]. Außerdem kann bei betroffenen Kindern vermehrtes Schwitzen, eine Enuresis nocturna (nächtliches Einnässen), ADHS (Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung), erschwerte morgendliche Erweckbarkeit und längerer Mittagsschlaf beobachtet werden [36]. Bei Kindern mit mildem OSAHS und bei Erwachsenen mit lange existierendem schweren Krankheitsbild wurden zudem signifikant höhere Werte für einige proinflammatorische Zytokine (Entzündungsmediatoren) gefunden [31]. Alle diese Folgen verdeutlichen die Notwendigkeit einer frühen Erkennung und Behandlung des OSAHS. Untersuchungen von Obstruktionen der posterioren Atemwege sind oft nur anhand von zweidimensionalen Fernröntgenseitenbildern durchgeführt worden, so dass laterale

Einengungen nicht entdeckt werden konnten [91,94,158]. DVT-Studien zur dreidimensionalen Atemwegsausdehnung sowie Flächen- und Volumenbestimmungen gibt es bisher nur sehr wenige. Zudem hatten die in der Literatur gefundenen Arbeiten ein sehr kleines Patientenkollektiv (n=29-91). Allein die Studie von *Chiang et al.* [155] weist mit n=387 höhere Fallzahlen auf als die vorliegende Studie (n=260). Allerdings untersuchten *Chiang et al.* nur Kinder zwischen 8 und 18 Jahre. Die vorliegende Arbeit widmet sich erstmals Kindern, Jugendlichen und Erwachsenen (5-69 Jahre) gleichermaßen. Einige Autoren propagieren Messungen bezogen auf die Okklusionsebene sowie Ober- und Unterkieferebene / Mandibularlinie [91,92,94,124,125], andere fordern Messungen des weichen Gaumens und der Uvula [92,130-133] und wieder andere Autoren empfehlen die Frankfurter Horizontale als Bezugsebene [46,105,134]. Diese breit angelegte dreidimensionale Analyse der posterioren Atemwege könnte wichtige Erkenntnisse zur Reproduzierbarkeit und klinischen Anwendbarkeit von Atemwegsmessungen bezogen auf die Bezugsebenen Spina-Ebene (SP) und Frankfurter Horizontale (FH) liefern. Zudem könnte die Atemwegsausdehnung in allen drei Dimensionen in verschiedenen Altersgruppen besser verstanden werden um pathologische Veränderungen anhand eines DVT früh erkennen zu können.

2.2. Epidemiologie

Das obstruktive Schlafapnoe-Syndrom stellt eine der bedeutendsten schlafbezogenen Atmungsstörungen dar und betrifft zwischen 10 und 15% der Erwachsenen mittleren Alters. Obwohl das Krankheitsbild schon lange bekannt ist, wurden die ersten epidemiologischen Daten erst vor ca. 19 Jahren in den USA erhoben. In der Allgemeinbevölkerung beträgt die Prävalenz des OSAHS mit Tagesmüdigkeit zwischen 2 und 5 % bei Frauen und 3 und 7 % bei Männern [7,8,10,12,16,50,106]. Die Prävalenz steigt mit zunehmendem Alter und erreicht ein Maximum in der Bevölkerung nach dem 60. Lebensjahr [49]. Je nach Studie sind Männer 2-8 Mal häufiger betroffen als Frauen [28,50,51,63,106]. Man kann von einer weltweit verbreiteten Krankheit unabhängig vom Entwicklungsstand der Länder ausgehen da sich die Krankheitsprävalenz in Nordamerika, Europa, Australien und Asien nicht sehr unterscheidet. Obwohl die asiatische Bevölkerung weniger fettleibig ist als die Europäische oder Nordamerikanische, weisen Asiaten bei gleichem BMI, Alter und Geschlecht höhere Schweregrade des OSAHS auf. Ursache dafür sind vermutlich Unterschiede der Gesichtsschädelmerkmale wie z.B.

Rücklage des Unterkiefers und Tief- und Rücklage des Zungenbeins die zu einer Verengung des posterioren Atemwegs führen können [50,52,53]. Ca. 40 % der OSAHS-Patienten haben einen dolichofazialen Gesichtsschädeltyp („langes Gesicht“) oder Unterkieferfehlbildungen. Diese Merkmale spielen besonders bei nicht adipösen OSAHS-Patienten eine Rolle [1,70]. 50 % der Betroffenen haben eine arterielle Hypertonie und 20 % eine manifeste pulmonal-arterielle Hypertonie (Bluthochdruck im Lungenblutkreislauf). Da gleichzeitig 30 % aller Hypertoniker eine obstruktive Schlafapnoe aufweisen und eine starke Korrelation zwischen der Schwere der SBAS und der Schwere der Hypertonie besteht, wird die OSA vom National Institute of Health und der Deutschen Hochdruckliga als eigenständiger Risikofaktor für die Entstehung einer arteriellen Hypertonie angesehen [37,38,39,40,41,42,106].

2.3. Diagnostik

2.3.1. Bedeutung der Stufendiagnostik, Polysomnographie (PSG)

Ziel der sogenannten Stufendiagnostik ist es, mit möglichst geringem Aufwand festzustellen, ob eine behandlungsbedürftige Erkrankung vorliegt. Die Stufendiagnostik-Richtlinien über die Bewertung ärztlicher Untersuchungs- und Behandlungsmethoden, kurz **BUB-Richtlinien** (11/2004), legen die eingeschränkte Indikation der Polysomnographie wie unten folgt fest. Sie gelten nicht für Patienten mit neurologisch-psychiatrischen Schlafstörungen und für Kinder [6,7]. Nur bei Patienten mit schweren Schlafstörungen, bei denen ambulant auch bei wiederholten Messungen keine ausgeprägte Atmungsstörung festgestellt werden kann, soll die Diagnostik laut der Richtlinie des gemeinsamen Bundesausschusses der Ärzte und Krankenkassen (Vorsitzender Dr. jur. Hess) „in einer geeigneten Einrichtung“ erfolgen.

§ 3 Stufendiagnostik (BUB-Richtlinie vom 10.11.2004) [6]

Stufe 1:

Anamnese und gegebenenfalls Fremdanamnese des Schlaf-/Wachverhaltens sowie differenzierte anamnestische Abklärung einer möglichen Dyssomnie unter Einbeziehung standardisierter Fragebögen zur Tagesschläfrigkeit (z.B. Epworth Sleepiness Scale) und gegebenenfalls weiterer Testverfahren.

Stufe 2:

Klinische Untersuchung, insbesondere im Hinblick auf endokrinologische, Stoffwechsel-

oder Herz-Kreislauf-Erkrankungen, Ventilationsstörungen sowie neurologische und psychiatrische Krankheiten.

Stufe 3:

Ergeben die diagnostischen Maßnahmen nach Stufe 1 und Stufe 2 die typischen anamnestischen und klinischen Symptome und Befunde einer schlafbezogenen Atmungsstörung, so soll die weitere differentialdiagnostische Abklärung durch eine kardiorespiratorische **Polygraphie** (notwendige Ableitungsparameter siehe § 7 Abs. 1 dieser Richtlinie) während einer mindestens 6-stündigen Schlafphase erfolgen.

Stufe 4:

Eine kardiorespiratorische **Polysomnographie** kann nur dann als ergänzende Diagnostik durchgeführt werden, wenn trotz sorgfältiger klinisch-anamnestischer Abklärung einschließlich Durchführung geeigneter Testverfahren und der nach Stufe 3 durchgeführten Polygraphie keine Entscheidung möglich ist, ob eine Therapie mittels CPAP (kontinuierlicher positiver Atemwegsdruck) oder anderer Verfahren notwendig ist.

Wenn anhand der Untersuchungen in Stufe 1 und 2 ein Verdacht auf eine obstruktive Schlafapnoe besteht, wird zunächst eine ambulante nächtliche Funktionsdiagnostik mit einem tragbaren Schreiber durchgeführt (**Polygraphie**) [1,6,7]. Neueste Studienergebnisse weisen zwar auf eine gute Vergleichbarkeit ambulanter Polygraphiegeräte mit der stationären Polysomnographie hin [78,81,89]. Die Diagnosestellung schlafbezogener Atmungsstörungen allein aufgrund der Polygraphie ist aber auf Patienten ohne gleichzeitig vorliegende andere Schlafstörungen und ohne komorbide Erkrankungen zu begrenzen, wie systematische Reviews und Metaanalysen zeigen [106,107,108].

Stufen 1-3 dienen der Klärung, ob erfolgversprechende ambulante Behandlungsmöglichkeiten wie Behandlung der Grundkrankheiten, Gewichtsreduktion, Änderung der Schlafposition oder Sauerstofftherapie bei zentralen Atmungsstörungen zur Verfügung stehen oder ob eine nasale Überdrucktherapie (z. B. continuous positive airway pressure, CPAP) erforderlich ist. Bei Patienten, bei denen schon polygraphisch eine schwere SBAS diagnostiziert werden kann und keine Alternativen zur apparativen Therapie zur Verfügung stehen, ist eine **Polysomnographie** nur erforderlich, wenn später unter einer effektiven Behandlung klinische Zeichen eines nicht erholsamen Schlafes fortbestehen und die Ursachen nicht anders abgeklärt werden können [1,6,7,10,12,106].

Tab.2: Entsprechend der S3-Leitlinie „Nicht erholsamer Schlaf/Schlafstörungen“ der Deutschen Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM) empfohlene Parameter für **die Polysomnographie (PSG)** [106]

Funktion	Parameter	Technik
Schlaf	EEG, EOG, EMG	Elektroden
Atmung	Atemfluss Atmungsanstrengung Sauerstoffsättigung Kohlendioxid Schnarchen	Staudruck, Thermistor Induktionsplethysmographie SpO ₂ tc pa CO ₂ Mikrofon
Kardial	EKG	Elektroden
Bewegung	EMG M.tibialis Körperposition Video	Elektroden Lagesensor Videokamera

Die Polysomnographie ist teuer und zeitaufwändig und kann daher nicht als routinemäßiges Screeningverfahren angewendet werden. Die **BUB-Richtlinien** (11/2004) legen die eingeschränkte Indikation der Polysomnographie fest.

Bei Patienten mit leichter (AHI=5-20/h) bis mittelschwerer Schlafapnoe (AHI=20-40/h) und bei Ablehnung oder Versagen einer CPAP-Therapie können zahnärztliche Maßnahmen wie **Unterkieferprotrusionsschienen (UPS)** zum Einsatz kommen, was schon von *Paskow et al.* 1991 empfohlen wurde [106,109,110,126,128,129]. Die Behandlung erfolgt durch schlafmedizinisch fortgebildete Zahnmediziner. Nach individuellen Abformungen der Kiefer werden zweiteilige, labortechnisch hergestellte Schienensysteme empfohlen. Je nach Untersuchung gelingt bei 35-40 % der behandelten Patienten mit leichtem bis mittelgradigem OSAHS eine komplette Reduktion der Atmungsstörung (AHI \leq 5/h) sowie des systolischen Blutdrucks bei OSAHS-Patienten mit Hypertonie (Bluthochdruck) [106,111,112,116,119,127].

2.3.2. Bedeutung des seitlichen Fernröntgenbildes (FRS)

Seit über 70 Jahren gibt es seitliche Fernröntgenbilder in der Zahnmedizin. Das FRS ist eine laterolaterale zweidimensionale Schädelprofilaufnahme mit annähernd parallelem Strahlengang (Abb.1). Der Abstand zwischen Strahlenquelle und Röntgenfilm beträgt 1,5 m und der Abstand zwischen Kopf und Röntgenfilm ist möglichst gering. Die Auf-

Einleitung

nahmedauer beträgt 12 s. Weichgewebefilter ermöglichen das Erkennen der Haut (Gesichtsprofil) bei gleichzeitiger Darstellung des röntgenopaken Knochens. Bei Berücksichtigung der aktuellen ICRP-Kriterien von 2007 beträgt die effektive Dosis für ein Fernröntgenseitenbild 5,6 μSv nach Ludlow et al. 2008 [159]. Eine Übersicht zur Strahlenexposition der bildgebenden Verfahren bietet Tab.3.

Obwohl eine Reihe von Studien den diagnostischen Nutzen einer FRS-Aufnahme bezüglich OSAHS deutlich herausstellen konnte, fordern die Stufendiagnostik-Richtlinien (BUB-Richtlinien 11/2004) das FRS als zusätzliches diagnostisches Werkzeug nicht [25,32,33,45,47,53-55,60,68,69,71-73,91,94,113-117,124,125,130,132,133,146,148].



Abb.1: Typisches Fernröntgenseitenbild (FRS)

Analysen von FRS-Aufnahmen konnten Daten zur Lokalisation von Obstruktionen in der Sagittalebene liefern. Demnach haben OSAHS-Patienten insgesamt eine geringere sagittale Distanz mit der kleinsten Querschnittsfläche meist unterhalb der Okklusionsebene (Kaubebene), Unterschiede in der Länge des weichen Gaumens und eine andere Form der posterioren Atemwege [60,71-73,92,117]. *Aboudara et al.* entdeckten 2009, dass 6-17 -Jährige mit ähnlicher Atemwegsausdehnung im FRS bemerkenswert unterschiedliche Atemwegsvolumina im DVT aufwiesen und kamen zu dem Schluss, dass die DVT zur Atemwegevaluation besser geeignet ist als das FRS [68]. Neuere Studien

zeigen, dass die FRS-Analyse die komplexe dreidimensionale Form der posterioren Atemwege nicht vollständig erfassen kann und als bildgebende Methode aufgrund der fehlenden dritten Dimension nicht geeignet ist [57,68,74,79,120-123]. Wenige Autoren fordern das FRS aber dennoch um Prädiktoren für ein OSAHS erkennen zu können [91,113-115].

2.3.3. Bedeutung der Dentalen Volumentomographie (DVT)

Die dentale Volumentomographie (DVT) ist mittlerweile zum Standard in der Kieferorthopädie und Oralchirurgie geworden [156,157] und hält zunehmend Einzug in die schlafmedizinische Diagnostik [68,135-142]. Die komplexe Form der posterioren Atemwege ist dadurch mit geringster Strahlenbelastung in allen drei Dimensionen erfassbar (Tab.3, Abb.2) [5,79,80,82,149-152]. Die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit quantitativer Messungen an DVT-Aufnahmen ist durch zahlreiche Arbeiten in den letzten Jahren hinreichend belegt [83,85,86,143-148]. Bisher existieren noch wenige systematische Untersuchungen zur lateralen und sagittalen Ausdehnung sowie zu axialen Flächen und Volumenbestimmungen des posterioren Atemwegs. Diese Arbeit stellt erstmalig eine Methodik vor, in der die oben genannten Parameter aller drei Dimensionen Berücksichtigung finden und hat zum Ziel klare Empfehlungen für die Vermessung der posterioren Atemwege aussprechen zu können.

Bei der 1998 eingeführten dentalen Volumentomographie (DVT), engl. Cone beam computed tomography (CBCT), wird ein Volumen mittels eines dreidimensionalen kegelförmigen Strahlenbündels erfasst. Die Röntgenröhre, die einen kegelförmigen, meist gepulsten Röntgenstrahl aussendet, und ein gegenüberliegender Bildsensor rotieren einmal um 360 Grad um einen liegenden, sitzenden oder stehenden Patienten. Mithilfe eines Programms zur digitalen Bildverarbeitung wird aus den aufgenommenen Einzelprojektionen eine dreidimensionale Volumengrafik erzeugt die aus sogenannten Voxel besteht. Die DVT ist zurzeit im Bereich des Kopfes möglich. Damit lässt sich die DVT in der Zahnmedizin, Oralchirurgie, Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie und Hals-Nasen-Ohren-Heilkunde anwenden. Da DVT-Datensätze in der modernen Kieferorthopädie, Kieferchirurgie, Funktionsdiagnostik und Implantologieplanung auf der Basis von rechtfertigenden Indikationen zunehmend in der klinischen Diagnostik erhoben werden, sind sie für eine Analyse der posterioren Atemwege ohnehin vorhanden [87].

Je nach gewähltem Field of View (FOV, Bildausschnitt) und Voxelgröße ist eine effekti-

Einleitung

ve Patientendosis von 34 - 67 μSv möglich („MESANTIS *line*“) [84]. Nach den aktuellen Richtlinien der International Classification on Radiological Protection (ICRP) von 2007 ergibt sich für strahlenhygienische DVT-Scanner eine effektive Dosis von 56 - 61 μSv .

Tab.3: Übersicht Strahlenexposition der bildgebenden Verfahren [4,84,153, 154,159]. FRS=Fernröntgenseitenbild, PSA=Panoramaschichtaufnahme, DVT=Dentale Volumentomographie, CT=Computertomographie

Bildgebendes Verfahren	Effektive Patientendosis	Entspricht ca.
Zahnfilm	1,8 - 5 μSv	
FRS	4,5 - 5,6 μSv	1,1 Zahnfilmen
PSA	15 - 25 μSv	5 Zahnfilmen
DVT	34 - 61 μSv	2,5 PSA
CT	150 - 350 μSv	6 DVT

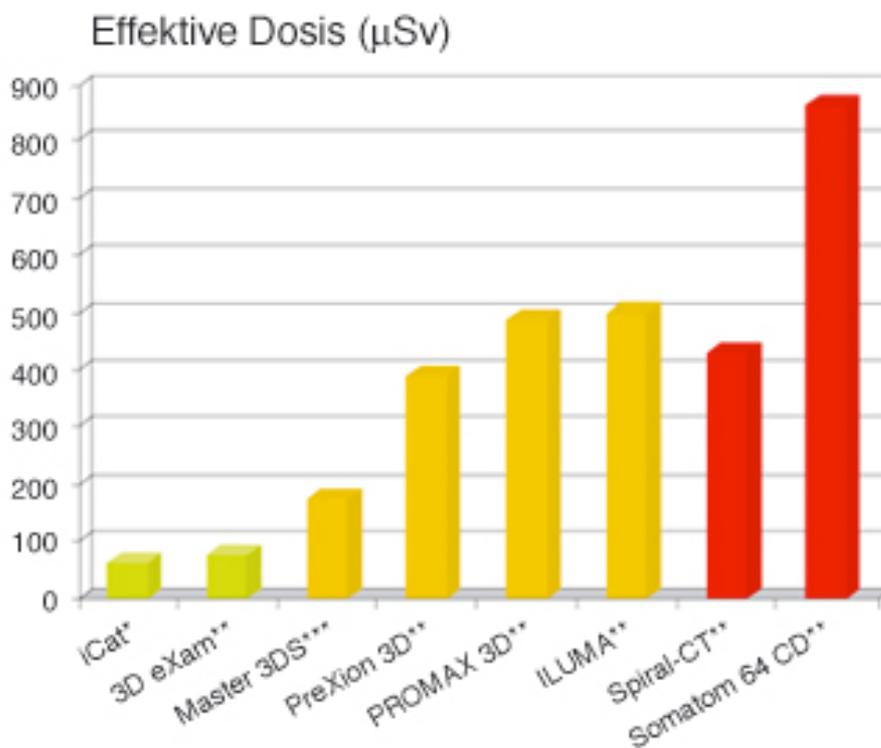


Abb.2: Vergleich effektiver Dosen verschiedener DVT-Scanner (grün,gelb) mit CT-Scannern (rot) nach der International Classification on Radiological Protection (ICRP)

3. FRAGESTELLUNG

Das OSAHS weist bei Kindern und Erwachsenen eine hohe Prävalenz auf und geht mit schweren Folgen für Gesundheit und Entwicklung einher. Neuere Studien zeigen wie wichtig es ist, statt nur der zweidimensionalen auch die dreidimensionale Ausdehnung der posterioren Atemwege zu erfassen, um Patienten mit einem erhöhten Erkrankungsrisiko frühzeitig erkennen zu können [57,68,74,79,120-123]. Untersuchungen von Obstruktionen der posterioren Atemwege sind bisher anhand von Fernröntgenseitenbildern (FRS) durchgeführt worden, so dass laterale Einengungen nicht entdeckt werden konnten. Die DVT bietet erstmals die Möglichkeit mit stark reduzierter effektiver Strahlendosis Atemwegsobstruktionen in 3-D erkennen zu können. Hinzu kommt, dass fast alle in der Literatur gefundenen Arbeiten ein wesentlich kleineres Patientenkollektiv untersuchten (n=29-91) als die vorliegende Studie (n=260). Allein die Studie von *Chiang et al.* 2012 [155] weist mit n=387 höhere Fallzahlen auf, berücksichtigt aber nur Kinder von 8-18 Jahre. Diese Studie untersucht erstmals Kinder und Erwachsene (5-69 Jahre) gleichermaßen. Es gibt für die Analyse der posterioren Atemwege in der Literatur zahlreiche Empfehlungen zu Bezugsebenen und Messmethoden. Einige Autoren propagieren Messungen bezogen auf die Spina-Ebene (SP), Okklusionsebene oder Ober- und Unterkieferebene/Mandibularlinie [91,92,94,124,125]. Andere fordern Messungen des weichen Gaumens und der Uvula [92,130-133] und wieder andere empfehlen die Frankfurter Horizontale (FH) als Bezugsebene [46,105,134]. Diese Arbeit stellt sich der Frage, ob die SP oder die FH als Bezugsebene für die Vermessung der posterioren Atemwege als eine weiterführende Methode nach erfolgter schlafmedizinischer Anamnese geeignet und praktikabel ist. Neben der Reproduzierbarkeit soll getestet werden, ob o.g. Bezugsebenen unterschiedliche Messergebnisse bedingen. Wäre das der Fall, würde das bedeuten, dass viele Studienergebnisse nicht vergleichbar wären und Obstruktionen der posterioren Atemwege je nach Methode unterschiedliche Lokalisation aufweisen. Folgende Hypothesen sollen geprüft werden:

1. Bestimmung der Methodenfehler, Reproduzierbarkeit

- 1.1. Lineare sagittale Messungen
- 1.2. Lineare transversale Messungen
- 1.3. Flächenmessungen

Aufgabenstellung

- 1.4. Gesamtvolumen
 - 1.5. Oberes Teilvolumen
 - 1.6. Unteres Teilvolumen
- 2. Korrelationsanalysen linearer Messungen zur Erfassung der posterioren Atemwege**
- 2.1. Die Länge des posterioren Atemwegs korreliert *weder* mit dem Alter *noch* mit dem Geschlecht der Patienten
 - 2.2. Die Länge des weichen Gaumens korreliert *weder* mit dem Alter *noch* mit dem Geschlecht der Patienten
 - 2.3. Die Relation zwischen Länge des weichen Gaumens und Länge des posterioren Atemwegs korreliert *nicht* mit dem Alter und Geschlecht der Patienten
 - 2.4. Sagittale Messungen korrelieren *nicht* mit transversalen Messungen der gleichen Ebene
- 3. Flächenmessungen im Bereich der posterioren Atemwege**
- 3.1. Axiale Flächen korrelieren *nicht* mit den sagittalen Strecken der gleichen Messebene
 - 3.2. Axiale Flächen korrelieren *nicht* mit den transversalen Strecken der gleichen Messebene
- 4. Korrelationsanalysen der Volumenmessungen zur Erfassung der posterioren Atemwege**
- 4.1. Das Gesamtvolumen korreliert mit den vier sagittalen Strecken
 - 4.2. Das Gesamtvolumen korreliert *nicht* mit den vier transversalen Strecken
 - 4.3. Das Gesamtvolumen korreliert *nicht* mit den vier Flächenmessungen
 - 4.4. Das obere Teilvolumen korreliert mit den vier sagittalen Strecken
 - 4.5. Das obere Teilvolumen korreliert *nicht* mit den vier transversalen Strecken
 - 4.6. Das obere Teilvolumen korreliert *nicht* mit den vier Flächenmessungen
 - 4.7. Das untere Teilvolumen korreliert mit den vier sagittalen Strecken
 - 4.8. Das untere Teilvolumen korreliert *nicht* mit den vier transversalen Strecken
 - 4.9. Das untere Teilvolumen korreliert *nicht* mit den vier Flächenmessungen

4. MATERIAL UND METHODE

4.1. Allgemeine Methoden

4.1.1. Patientengut

Im 3D-Röntgeninstitut MESANTIS® Berlin wurden 260 dentale Volumentomogramme (DVT) vermessen, die wegen rechtfertigender Indikationen im kieferorthopädischen, kieferchirurgischen, implantologischen oder funktionsdiagnostischen Fachbereich im Zeitraum von September 2006 bis Februar 2010 aufgenommen wurden. Ausgewählt wurden nur DVTs, auf denen der gesamte obere Atemweg einschließlich der Basis der Epiglottis (Kehldeckel) zu sehen war und die Patienten geschlossene Lippen und bilateralen Zahnkontakt in habitueller Okklusion (gewöhnheitsmäßiges Zusammenbeißen der Zähne) aufwiesen. Das Alter der Patienten lag zum Aufnahmezeitpunkt zwischen 5 und 69 Jahre und betrug im Durchschnitt 30,4 Jahre. 130 Patienten waren männlichen, 130 weiblichen Geschlechts. Das Durchschnittsalter der männlichen Patienten betrug 29,81 Jahre in einem Bereich von 5 bis 65 Jahren, das der weiblichen 30,97 Jahre und umfasste einen Bereich von 6 bis 69 Jahren. Es wurde in drei Altersgruppen aufgeteilt (Tab.4). Da zu den Hochrisikopatienten für ein OSAHS Männer über 50 Jahre zählen [28,29,49,50,51,63], wurde das Patientengut dementsprechend eingeteilt.

Tab.4: Übersicht zur Altersverteilung der Stichprobe (n = 260)

Gruppe	Alter	weiblich	männlich	gesamt
1	5 – 17	50	50	100
2	18 – 49	50	50	100
3	50 – 69	30	30	60
gesamt		130	130	260

4.1.2. DVT-Aufnahmetechnik

Die Daten zur 3D-Schädelrekonstruktion wurden von MESANTIS® mit Hilfe des MESANTIS *line* (Fa. Imaging Sciences International Inc., Hatfield, USA) angefertigt. Diese Sonderedition gibt es nur innerhalb des MESANTIS®-Netzwerkes. Der Scanner besteht aus einem Kegelstrahl-Volumentomographen und einem Panorama-Dentalbildgebungssystem. Bei einer Scanzeit von minimal 4,8 und maximal 26,9 Sekunden (davon 4,8 - 9,8 Sekunden Strahlenexpositionszeit) rekonstruiert die systemeigene Software die

Schnittbilder in 30 - 60 Sekunden (Tab.5). Die in dieser Studie vermessenen DVTs wurden mit einer Voxelgröße von 0,25 mm, 0,3 mm oder 0,4 mm bei einer Höhe des Field of View (FOV) von 13 cm, 17 cm oder 21 cm angefertigt.

Tab.5: Effektive Patientendosis i-CAT-System® [5]

Untersuchung	effektive Dosis (ohne Speicheldrüse)	effektive Dosis (mit Speicheldrüse)
Scanzeit 20 Sekunden	61,1 µSv	101,5 µSv
Hintergrundstrahlung	3 mSV/Jahr, ~ 8 µSv/Tag	3 mSV/Jahr, ~ 8 µSv/Tag

4.1.3. Auswertungssoftware

Die Rekonstruktionen der Schnittbilder aus den Rohdatensätzen und sämtliche Messungen erfolgten mit der Software InVivo® Version 5 (Anatomage®, San Jose, CA, USA). InVivo 5® ist eine dreidimensionale Planungssoftware die neben den Bereichen Implantatplanung, Segmentchirurgie-Planung, Parodontologie, Endodontie und Kiefergelenksdiagnostik auch für die Atemwegsbeurteilung, Weichgewebstdarstellung, Volumenwiedergabe und Volumenberechnung genutzt werden kann (Abb.3).



Abb.3: Überblick von links oben nach rechts unten: axiale, sagittale, koronale Schnittbilder und knöcherne 3-D-Übersicht der Software InVivo® 5

Technische Anwendung:

Die Scandaten des DVT werden auf einem Datenträger gesichert und in das DICOM-Format konvertiert (Digital Imaging and Communications in Medicine). Dieses kann per CD oder Fernübertragung an den Behandler geschickt und von einem PC mit folgenden Systemvoraussetzungen und dafür geeigneter Software (z.B. InVivo 5[®] oder einer Viewer-Software) gelesen und bearbeitet werden:

Empfohlene technische Voraussetzungen für ein Desktop-System [90]:

- Intel Core 2 E8500 Prozessor (3GHz)
- Arbeitsspeicher 2 GB RAM
- Festplatte mit 100 GB (7.500 RPM SATA)
- NVidia GeForce 8800 Grafikkarte (256 MB RAM)
- Auflösung 1280 x 1024, Bildschirmdiagonale 19 Zoll
- Windows XP wird empfohlen, aber auch Windows 7, Vista, 2000 werden unterstützt
- InVivo 5[®] Software

InVivo 5[®] bereitet die Datensätze auf und bietet zweidimensionale Ansichten in sagittaler, axialer und koronaler Ebene sowie 3-D-Ansichten des Knochens, der Zähne, der oberen Atemwege (auch gemeinsame Darstellung mit dem Knochen) und der Weichgewebe des Gesichts. Alle Optionen verfügen über Messinstrumente für Punktdefinitionen, Strecken, Flächeninhalte, Volumenberechnung, Schneiden, Zoomen, beliebiges Drehen und Ausrichten und eine manuelle Helligkeits- und Kontrasteinstellung. Der Untersucher kann entsprechend der Voxelgröße (bis zu 0,125 mm), die gleichzeitig die Maximalauflösung bestimmt, die Schichtbilder frei wählen. Die erstellte Planung ist jederzeit maßstabsgetreu ausdrückbar.

In vorliegender Studie sollte mittels dentaler Volumentomographie (DVT) anhand zweier Methoden die Ausdehnung des oberen Atemwegs in allen drei Dimensionen erfasst und das Gesamtvolumen sowie oberes und unteres Teilvolumen berechnet werden. Jede der Messmethoden hat eine andere Bezugsebene. Beide Methoden sollten miteinander verglichen werden.

4.1.4. Messparameter in Relation zur Spina-Ebene

Die **Spina-Ebene (SP)** ist definiert als eine Ebene die begrenzt ist durch einen anterioren Punkt, die Spina nasalis anterior (SNA), und einen posterioren Punkt, die Spina nasalis posterior (SNP). Vereinfacht kann die Spina-Ebene als Gaumenebene bezeichnet werden. Die Messparameter in Relation zur Spina-Ebene zu setzen entspricht u.a. Empfehlungen von *Hinz und Heise* 2008 und *Chiang et al.* 2012 [91,155]. Diese Methode wurde mit einem Teil des Vorgehens bei *Shigeta et al.* 2009 [92] kombiniert. Die Messungen in Relation zur Spina-Ebene betragen ca. 55 Minuten pro Datensatz.

4.1.5. Messparameter in Relation zur Frankfurter Horizontalen

Die **Frankfurter Horizontale (FH)** ist definiert als Ebene zwischen Porion (höchster Punkt des Foramen acusticum externum, äußerer knöcherner Gehörgang) und Orbitale (unterster Punkt des Infraorbitalrandes, knöcherner Augenhöhlenrand). Sie wurde als Bezugsebene u.a. von *Shigeta et al.* 2008 und *Oh et al.* 2011 empfohlen [46,105]. Auch diese Methode wurde mit einem Teil des Vorgehens bei *Shigeta et al.* 2009 [92] kombiniert. Die Messungen bezogen auf die FH dauerten pro Datensatz ca. 40 Minuten.

4.1.6. Statistische Auswertung

Insgesamt wurden pro Patient 36 unterschiedliche Messungen im Bereich der oberen Atemwege durchgeführt. Bei einer Patientenzahl von $n = 260$ und 36 Messungen pro Patient ergaben sich 9360 Messungen. Die deskriptive und explorative Datenanalyse der Messergebnisse erfolgte mit den Programmen SPSS (SPSS IncTM, IBM PASW Statistics 18, 2009) und MATLAB (R2009a, The MathWorks IncTM) für Windows und Macintosh, wobei MATLAB für die graphischen Darstellungen gewählt wurde. Aus den vorliegenden 9360 Messdaten wurden nach Altersgruppe und Geschlecht unterteilt die jeweiligen Minima, Maxima, Mediane, Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet.

Für die in Kapitel 2 formulierten Hypothesen musste ein Signifikanzniveau festgelegt werden. Dieses gibt an, mit welcher Irrtumswahrscheinlichkeit die Nullhypothese (*kein* Zusammenhang zwischen den Variablen) abgelehnt werden kann. Das Signifikanzniveau liegt in einem Wertebereich zwischen 0 und 1. Ein Wert von 0,000 bedeutet, dass die Alternativhypothese mit einer Wahrscheinlichkeit von 100% angenommen wird. Um verlässliche Ergebnisse zu erreichen, sollte das Signifikanzniveau höchstens 5% betragen. Für diese Studie wurde ein Signifikanzniveau von 5% festgelegt. Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit wurden folgende Tests verwendet:

Methodenfehler nach Dahlberg

Die Formel für den Methodenfehler δ nach Dahlberg (Dahlberg 1949) beschreibt die Genauigkeit der Messungen und entspricht der Standardabweichung des Mittelwerts. Wenn $\delta=0$ ist, dann gibt es keinen Messfehler. Die Formel lautet:

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{2nm} \sum_{i=1}^n d_i^2}$$

d_i = Standardabweichung der Messergebnisse der Einzelmessungen
bzw. Patienten

n = Anzahl der untersuchten Patienten

m = Anzahl der Messwiederholungen

Zuverlässigkeitskoeffizient nach Houston

Für die Berechnung des Zuverlässigkeitskoeffizienten Z nach Houston (Houston 1983) ist der Methodenfehler nach Dahlberg notwendig. Er trifft eine Aussage über die Wiederholbarkeit der Messungen. Z liegt in einem Wertebereich zwischen 0 und 1. Je näher der berechnete Wert an 1 liegt, desto zuverlässiger ist die Variable. Ab $Z=0,90$ ist eine klinisch akzeptable Genauigkeit gegeben.

$$Z = 1 - \frac{\delta^2}{\sigma^2}$$

σ = Varianz (Maß für die Abweichung einer Zufallsvariablen von ihrem Erwartungswert)

Um die Messergebnisse untereinander zu vergleichen wurden die Medianwerte ermittelt. Sortiert man Messwerte nach ihrer Größe, so ist der Median der Wert, der in der Mitte liegt. Er halbiert eine Verteilung und ist im Gegensatz zum arithmetischen Mittel robuster gegenüber Extremwerten.

Korrelationskoeffizient ρ nach Spearman

Der Korrelationskoeffizient ρ nach Spearman ist ein parameterfreies Maß für Korrelationen, also ein relativer Wert. Er misst, wie gut eine beliebige Funktion den Zusammenhang zwischen zwei Variablen beschreiben kann, ohne irgendwelche Annahmen über die Wahrscheinlichkeitsverteilung der Variablen zu machen. Er ist robust gegenüber Extremwerten. Liegt der Korrelationskoeffizient ρ nach Spearman zwischen 0,5 und 1, gibt es einen geringen bis starken Zusammenhang zwischen zwei Variablen.

4.2. Spezielle Methoden

4.2.1. Bestimmung der Methodenfehler, Reproduzierbarkeit

Zur Bestimmung der Reproduzierbarkeit wurden die Messungen für beide Bezugsebenen an 60 DVTs im Mindestabstand von 38 Tagen vom gleichen Untersucher wiederholt. Es wurden die Medianwerte der Messdifferenzen zwischen erster Messung und Wiederholungsmessung untersucht.

4.2.1.1. Lineare sagittale Messungen

Parallel zu **SP** (Spina-Ebene) wurde mithilfe des Programms InVivo 5[®] die sagittale Ausdehnung des posterioren Atemwegs auf Höhe folgender Punkte gemessen (Abb.4):

- Spina-Ebene (SP), Ebene zwischen vorderem und hinterem Nasendorn
- Spitze des Zäpfchens (Uvula)
- vorderer, unterer Punkt des zweiten Halswirbels (2.HW)
- Parallele zu SP auf Höhe des Schnittpunkts der Unterkiefertangente (UT) mit der Vorderwand des oberen Atemwegs (UT_{SP}).
- Verlängerung der Unterkiefertangente (UT_V) nach *Hinz und Heise* [91]

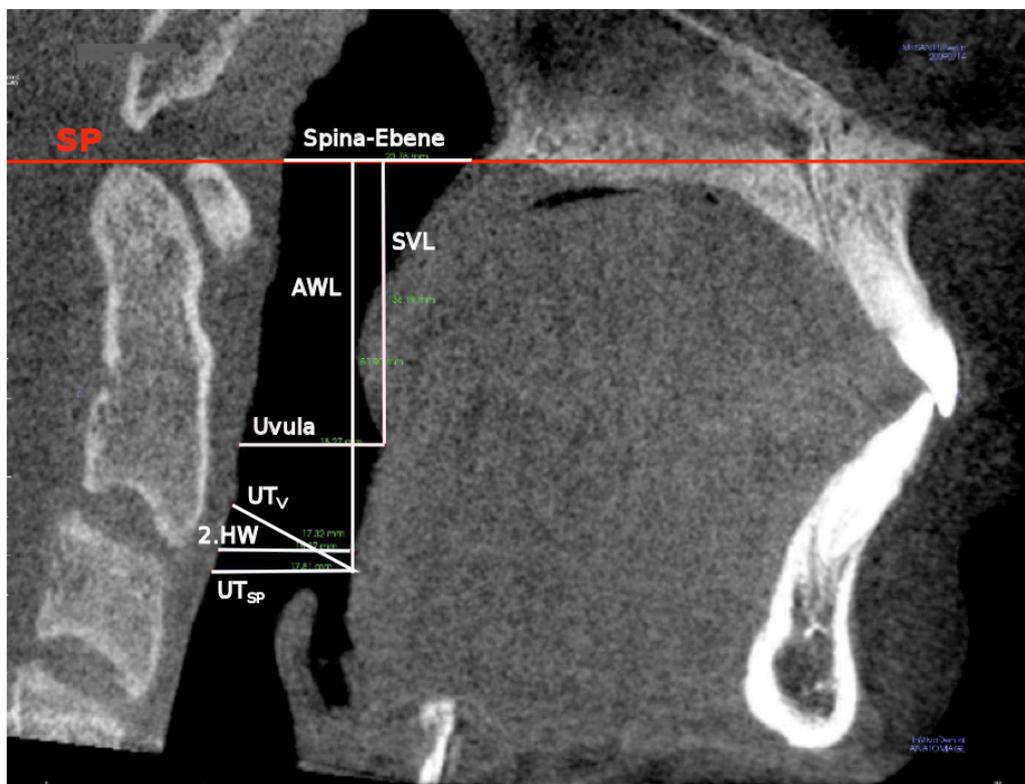


Abb.4: Streckenmessungen in Relation zur **Spina-Ebene (SP)** im Sagittalschnitt. Die Linien sind zur Veranschaulichung verstärkt.

Parallel zu **FH** (Frankfurter Horizontale) wurde mithilfe des Programms InVivo 5[®] die sagittale Ausdehnung sowie axiale Fläche des oberen Atemwegs auf Höhe folgender Punkte gemessen (Abb.5):

- Spina nasalis posterior (SNP), hinterer Nasendorn
- Uvulaspitze (Spitze des Zäpfchens)
- vorderer, unterer Punkt des zweiten Halswirbels (2.HW)
- unterster Punkt des Recessus (Falte) an der Basis der Epiglottis (Kehlideckel)

Zusätzlich wurde bezogen auf die SP und FH die Länge des weichen Gaumens (soft velum length, SVL) und die Länge des oberen Atemwegs (airway length, AWL) als Orthogonale zu FH bzw. SP ermittelt (modifiziert nach *Shigeta et al.* 2009 [92]).



Abb.5: Sagittalansicht der Streckenmessungen in Relation zur **Frankfurter Horizontalen (FH)**. Die Linien sind zur Veranschaulichung verstärkt.

Anhand des Methodenfehlers δ nach Dahlberg und des Zuverlässigkeitskoeffizienten Z nach Houston sollten bei beiden Methoden die vier sagittalen Streckenmessungen auf Reproduzierbarkeit überprüft werden. Eine akzeptable Reproduzierbarkeit wurde für $Z \geq 0,950$ angenommen.

4.2.1.2. Lineare transversale Messungen

Entsprechend den vier sagittalen Messebenen in Abb. 4 und 5 wurde bezogen auf die SP und FH jeweils der größte transversale Atemwegsdurchmesser bestimmt. Mithilfe der Formel für den Methodenfehler nach Dahlberg und des Zuverlässigkeitskoeffizienten nach Houston sollten die vier transversalen Streckenmessungen beider Methoden auf Reproduzierbarkeit überprüft werden. Abb. 6 und 7 zeigen bezogen auf die SP beispielhaft transversale Streckenmessungen (unterer linker Ausschnitt). Eine akzeptable Reproduzierbarkeit wurde für $Z \geq 0,950$ festgelegt.

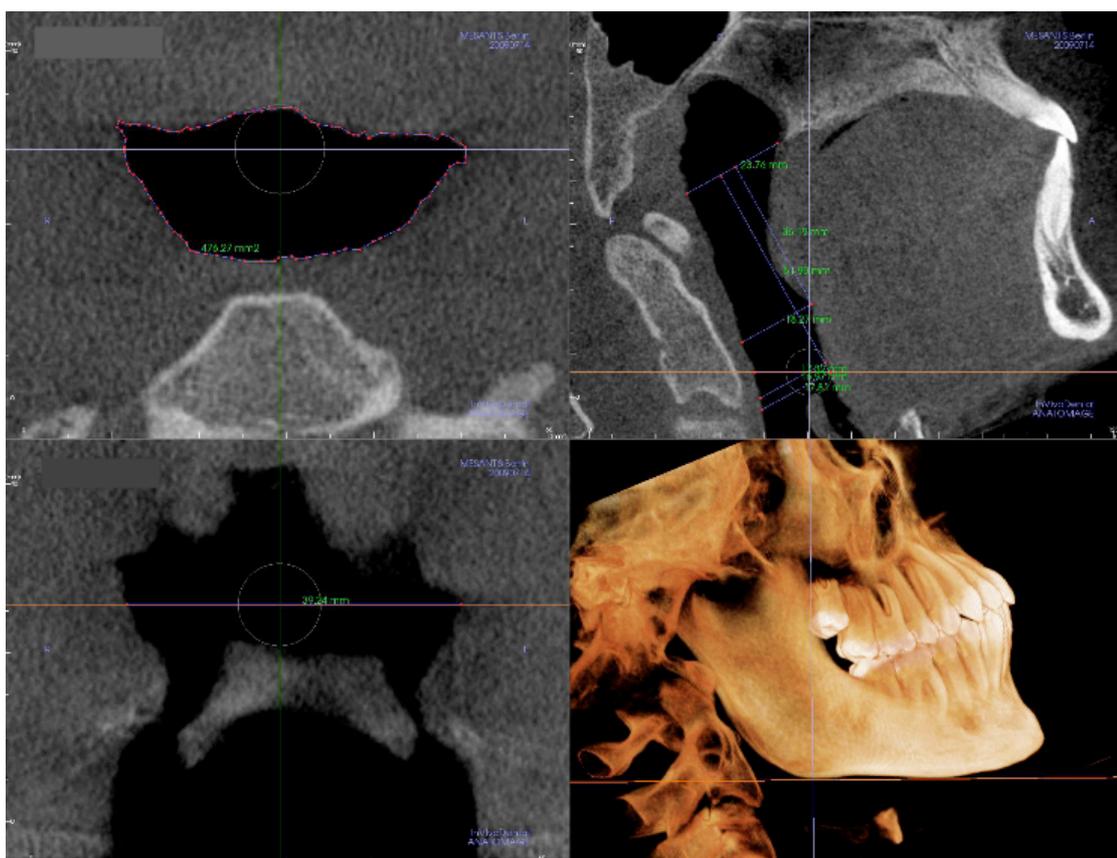


Abb.6: Strecken- und Flächenmessungen bezogen auf die SP, Ansicht „Sections“ auf Höhe der verlängerten Unterkiefertangente (UT_V) mit Zusatzansicht „3D Volume“ (unten rechts). Links oben ist die axiale Fläche zu sehen, links unten die dazugehörige transversale Atemwegsausdehnung. Rechts oben die Darstellung der sagittalen Streckenmessungen.

4.2.1.3. Flächenmessungen

Ebenfalls entsprechend den vier sagittalen Messebenen in Abb. 4 und 5 wurde bezogen auf die SP und FH jeweils die dazugehörige axiale Fläche vom Untersucher manuell gekennzeichnet und von InVivo 5[®] berechnet. Axiale Flächenmessungen sind bei-

spielhaft in Abb. 6 und 7 zu sehen (oberer linker Ausschnitt). Die vier axialen Flächenmessungen beider Methoden sollten anhand der Formel nach Dahlberg und des Zuverlässigkeitskoeffizienten nach Houston auf Reproduzierbarkeit überprüft werden. Eine gute Reproduzierbarkeit wurde bei $Z \geq 0,950$ angenommen.

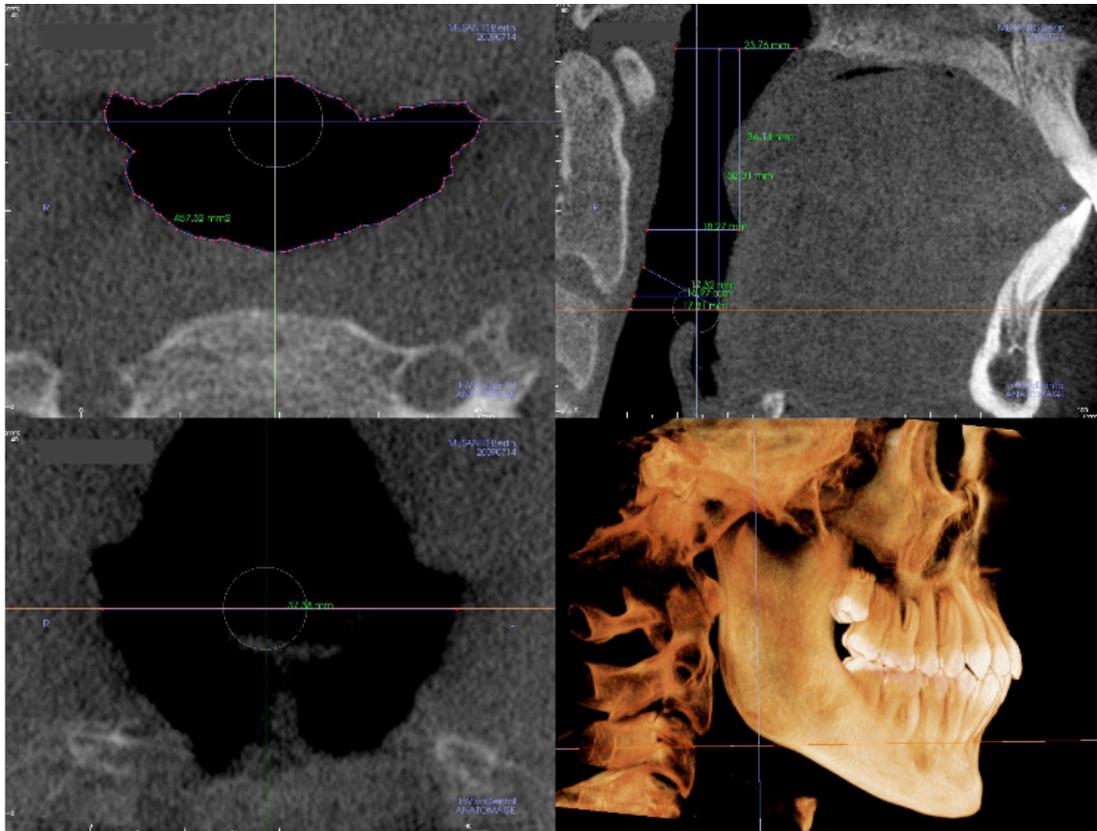


Abb.7: Strecken- und Flächenmessungen bezogen auf die **SP**, Ansicht „Sections“ auf Höhe der Parallele zu SP am Schnittpunkt der Unterkiefertangente mit dem Atemweg (UT_{SP}). Links oben ist die axiale Fläche zu sehen, links unten die dazugehörige transversale Atemwegsausdehnung. Rechts oben die Darstellung der sagittalen Streckenmessungen.

4.2.1.4. Gesamtvolumen

Für die Begrenzung des Gesamtvolumens wurde bei jeder der beiden Methoden jeweils die oberste und unterste sagittale Messebene herangezogen (Abb.4 und 5). Wie in Abb.8 und 9 zu sehen, wurde anschließend bei jeder Methode das Gesamtvolumen durch manuelles virtuelles Wegschneiden der umgebenden Weichgewebe isoliert und von InVivo 5[®] berechnet. Anhand der Formeln nach Dahlberg und Houston sollte das Gesamtvolumen bei beiden Methoden auf Reproduzierbarkeit überprüft werden. Eine akzeptable Reproduzierbarkeit wurde für $Z \geq 0,950$ angenommen.

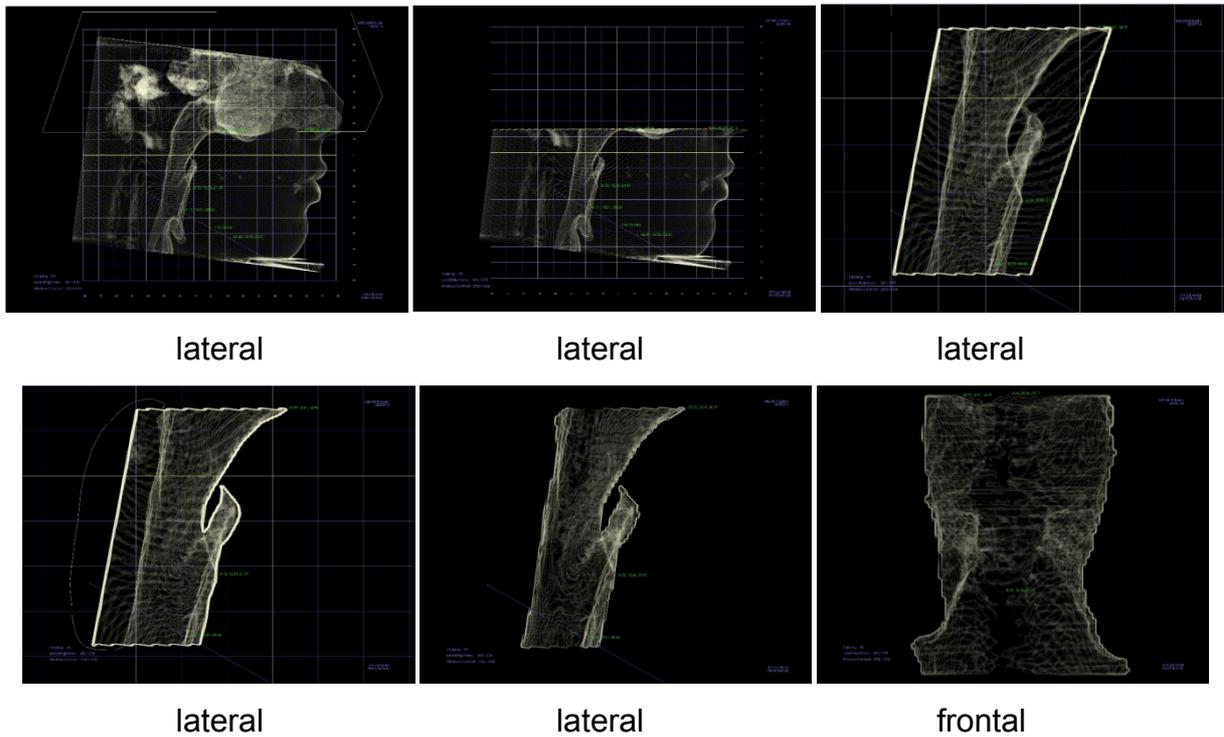


Abb.8: Grob (obere Reihe) und fein (untere Reihe) ausgeschnittenes gesamtes Atemwegsvolumen von lateral und frontal in Relation zur **SP**

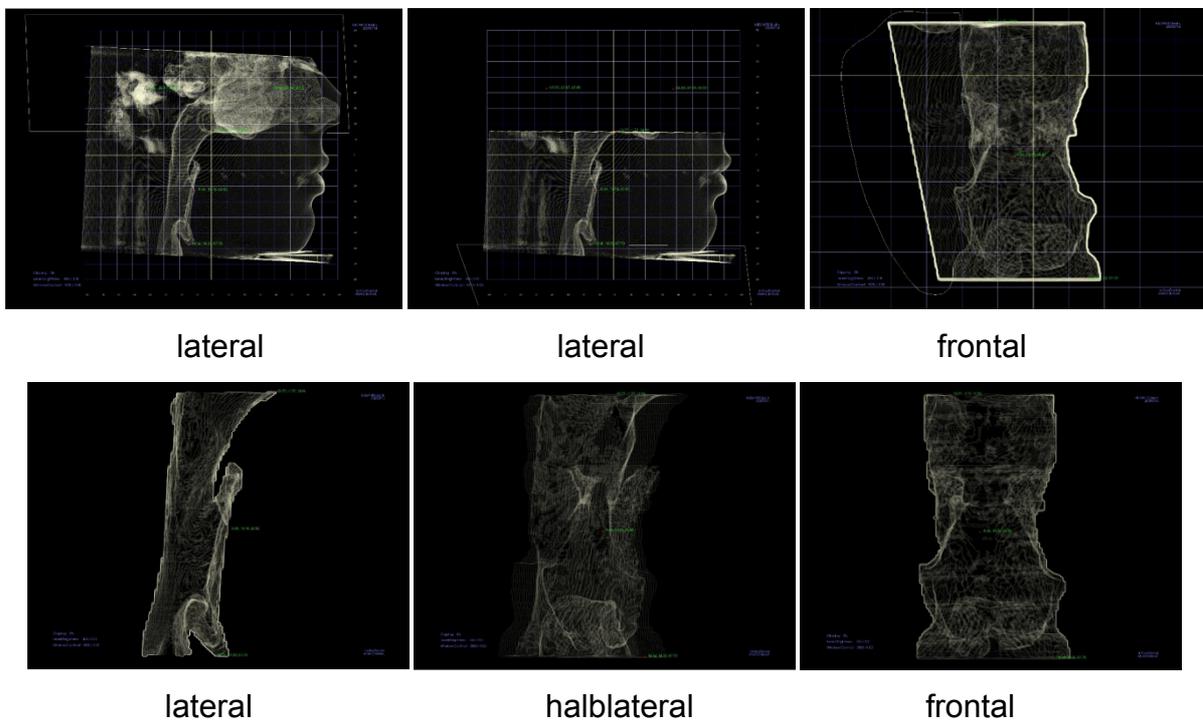


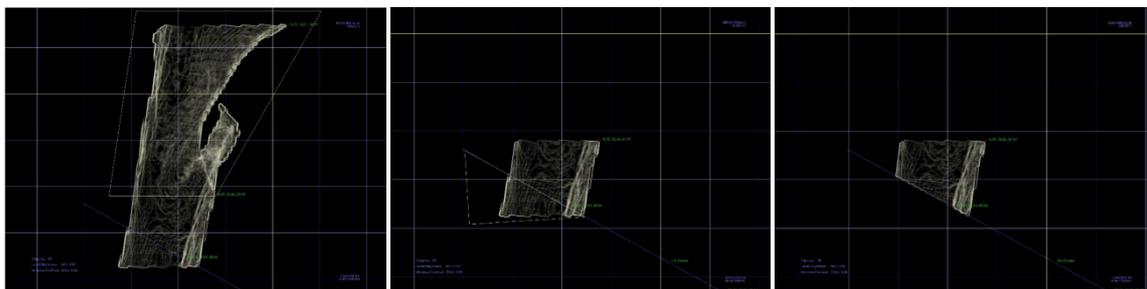
Abb.9: Grob (obere Reihe) und fein (untere Reihe) ausgeschnittenes gesamtes Atemwegsvolumen in Relation zur Frankfurter Horizontalen (**FH**)

4.2.1.5. Oberes Teilvolumen

Ebenfalls mithilfe der Formel nach Dahlberg und des Zuverlässigkeitskoeffizienten nach Houston sollte der Methodenfehler des jeweils oberen Teilvolumens beider Methoden eruiert werden (Abb. 11 und 12). Bezogen auf die SP bzw. die FH erfolgte die Trennung zwischen oberem und unterem Volumen durch die sagittale Strecke auf Höhe der Uvula. Eine akzeptable Reproduzierbarkeit wurde für $Z \geq 0,950$ festgelegt.

4.2.1.6. Unteres Teilvolumen

Die Reproduzierbarkeit für die unteren Teilvolumina beider Methoden sollte ebenfalls anhand der Formel für den Methodenfehler nach Dahlberg und des Zuverlässigkeitskoeffizienten nach Houston geprüft werden. Da bei den Messungen bezogen auf die Spina-Ebene das untere Volumen einmal durch die Unterkiefertangente und einmal durch eine Parallele zur Spina-Ebene begrenzt war, wurden hier zwei untere Teilvolumina gemessen (siehe Abb.10 und 11). Eine akzeptable Reproduzierbarkeit wurde auch hier für $Z \geq 0,950$ festgelegt.



Gesamtvolumen unteres Volumen kaudal unteres Volumen kaudal
 von UT_{SP} begrenzt von UT_V begrenzt

Abb.10: Unteres Volumen in Relation zur Spina-Ebene (SP) von lateral

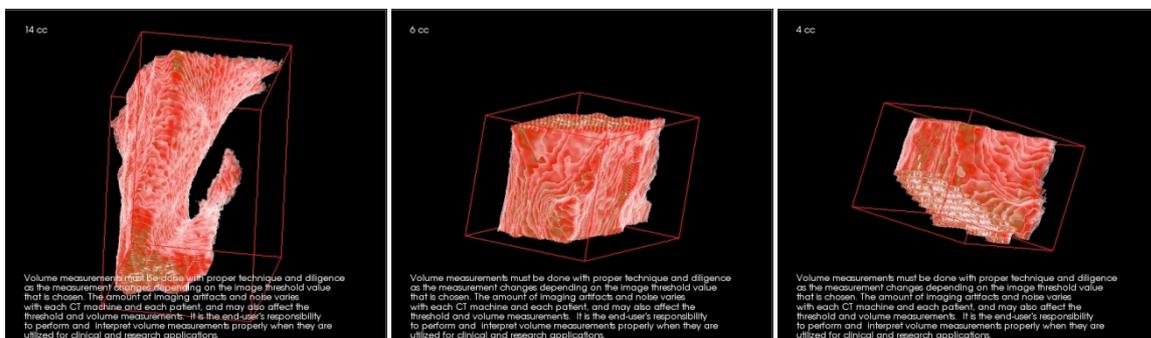
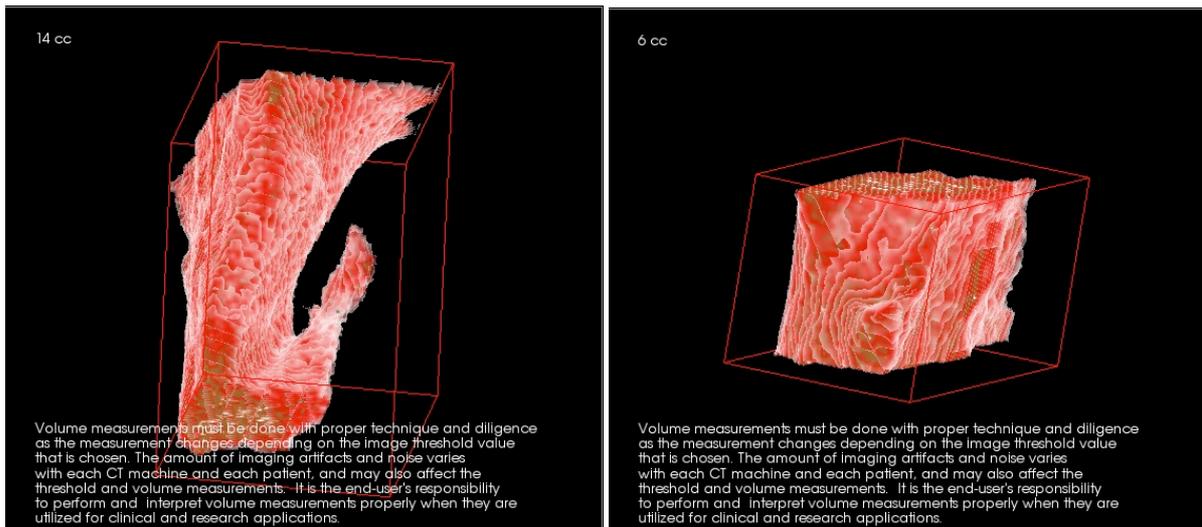


Abb.11: Berechnetes oberes Volumen (links) und untere Volumina (Mitte und rechts) in Relation zur Spina-Ebene (SP)



oberes Volumen

unteres Volumen

Abb.12: Berechnetes oberes Volumen (links) und unteres Volumen (rechts) in Relation zur Frankfurter Horizontalen (**FH**)

4.2.2. Korrelationsanalysen linearer Messungen zur Erfassung der posterioren Atemwege

4.2.2.1. Länge des posterioren Atemwegs

Um herauszufinden, ob die Atemwegslänge abhängig von Alter und Geschlecht ist, wurden für beide Methoden die Korrelationskoeffizienten ρ nach Spearman und die p-Werte ermittelt. Das Patientengut wurde entsprechend 3.1.1. in männlich, weiblich und in drei Altersgruppen aufgeteilt. Die Nullhypothese lautete: "Die Länge des posterioren Atemwegs korreliert *weder* mit dem Alter *noch* mit dem Geschlecht der Patienten." Das Signifikanzniveau wurde auf $p = 0,05$ festgelegt.

4.2.2.2. Länge des weichen Gaumens

Es sollte eine Abhängigkeit zwischen dem Alter der Patienten und der Länge des weichen Gaumens bei beiden Methoden geprüft werden. Außerdem wurde eine Abhängigkeit zwischen der Länge des weichen Gaumens und dem Geschlecht der Patienten geprüft. Dazu wurden die Korrelationskoeffizienten ρ nach Spearman und die p-Werte ermittelt. Das Signifikanzniveau lag bei $p = 0,05$. Die Nullhypothese lautete: "Die Länge des weichen Gaumens korreliert *weder* mit dem Alter *noch* mit dem Geschlecht der Patienten." Das Patientengut wurde entsprechend 3.1.1. in männlich und weiblich und in drei Altersgruppen aufgeteilt.

4.2.2.3. Relation Länge des weichen Gaumens und Länge des oberen Atemwegs in Korrelation mit Alter und Geschlecht

Nachdem bei beiden Methoden die Werte für die Länge des weichen Gaumens mit den Messwerten für die Atemwegslänge ins Verhältnis gesetzt worden waren, wurde geprüft, ob und wie sich dieses Verhältnis mit steigendem Alter und Geschlecht der Patienten ändert. Dazu wurde die Stichprobe entsprechend 3.1.1. in männlich und weiblich und in drei Altersgruppen aufgeteilt und es wurden die Korrelationskoeffizienten ρ nach Spearman und die p-Werte ermittelt. Das Signifikanzniveau lag bei $p = 0,05$. Die Nullhypothese lautete: „Die Relation zwischen Länge des weichen Gaumens und Länge des posterioren Atemwegs korreliert *nicht* mit dem Alter und Geschlecht der Patienten.“ Eine Darstellung der Messtrecken für die Atemwegslänge (AWL) und die Länge des weichen Gaumens (SVL) ist in Abb.4 und 5 zu finden.

4.2.2.4. Korrelationsanalysen linearer sagittaler Messungen

Um zu prüfen, ob die sagittale Ausdehnung des Atemwegs mit der transversalen Ausdehnung zusammenhängt, wurden mithilfe des Korrelationskoeffizienten ρ nach Spearman die sagittalen mit den transversalen Messwerten der gleichen Ebene bei beiden Methoden korreliert. Bei einem Signifikanzniveau von $p = 0,05$ lautete die Nullhypothese: „Sagittale Messungen im Bereich der oberen Atemwege korrelieren *nicht* mit transversalen Messungen der gleichen Ebene“. Die sagittalen Messwerte beider Bezugsebenen sind in Abb.4 und 5, die transversalen in Abb.6 und 7 dargestellt.

4.2.3. Flächenmessungen im Bereich der posterioren Atemwege

4.2.3.1. Korrelation der axialen Flächen mit den sagittalen Strecken

Mithilfe des Korrelationskoeffizienten nach Spearman wurde der Zusammenhang zwischen dem sagittalen Durchmesser des Atemwegs und der axialen Fläche auf gleicher Ebene für beide Bezugsebenen geprüft. Die Nullhypothese lautete: „Axiale Flächen korrelieren *nicht* mit den sagittalen Strecken der gleichen Messebene.“ Das Signifikanzniveau wurde auf $p = 0,05$ festgelegt.

4.2.3.2. Korrelation der axialen Flächen mit den transversalen Strecken

Ob es einen Zusammenhang zwischen der transversalen Ausdehnung des Atemwegs und den Flächenmessungen auf gleicher Ebene gibt, wurde bei beiden Methoden anhand des Korrelationskoeffizienten nach Spearman getestet. Die Nullhypothese lautete:

„Axiale Flächen korrelieren *nicht* mit den transversalen Strecken der gleichen Mess-ebene.“ Das Signifikanzniveau lag bei $p = 0,05$. Eine Ansicht der axialen Flächen ist in Abb.4 und 5 zu finden.

4.2.4. Korrelationsanalysen der Volumenmessungen zur Erfassung der posterioren Atemwege

4.2.4.1. Gesamtvolumen und sagittale Strecken

Mithilfe des Korrelationskoeffizienten nach Spearman wurde ein Zusammenhang zwischen dem Gesamtvolumen des Atemwegs und den vier sagittalen Streckenmessungen für beide Methoden geprüft. Bei einem Signifikanzniveau von $p = 0,05$ lautete die Nullhypothese: „Das dreidimensionale Gesamtvolumen korreliert mit den vier sagittalen Strecken.“

4.2.4.2 Gesamtvolumen und transversale Strecken

Ob es einen Zusammenhang zwischen dem Gesamtvolumen und dem transversalen Durchmesser des Atemwegs gibt, wurde bei beiden Methoden anhand des Korrelationskoeffizienten nach Spearman getestet. Die Nullhypothese lautete: „Das dreidimensionale Gesamtvolumen korreliert *nicht* mit den vier transversalen Strecken.“ Das Signifikanzniveau wurde auf $p = 0,05$ festgelegt.

4.2.4.3. Gesamtvolumen und Flächenmessungen

Mithilfe des Korrelationskoeffizienten nach Spearman wurde ein Zusammenhang zwischen dem Gesamtvolumen des Atemwegs und den vier axialen Flächenmessungen für beide Methoden geprüft. Die Nullhypothese lautete: „Das dreidimensionale Gesamtvolumen korreliert *nicht* mit den vier Flächenmessungen.“ Das Signifikanzniveau lag bei $p = 0,05$. Die Gesamtvolumina beider Bezugsebenen sind in Abb.8 und 9 dargestellt.

4.2.4.4. Oberes Teilvolumen und sagittale Strecken

Um zu prüfen, ob die sagittale Ausdehnung des Atemwegs mit der Größe des oberen Teilvolumens zusammenhängt, wurden die entsprechenden Messwerte bei beiden Methoden mithilfe des Korrelationskoeffizienten nach Spearman getestet. Die Nullhypothese lautete: „Das obere Teilvolumen korreliert mit den vier sagittalen Strecken.“ Das Signifikanzniveau wurde auf $p = 0,05$ festgelegt.

4.2.4.5. Oberes Teilvolumen und transversale Strecken

Ob es einen Zusammenhang zwischen dem oberen Teilvolumen und dem transversalen Durchmesser des Atemwegs gibt, wurde bei beiden Methoden anhand des Korrelationskoeffizienten nach Spearman getestet. Die Nullhypothese lautete: „Das obere Teilvolumen korreliert *nicht* mit den vier transversalen Strecken.“ Das Signifikanzniveau wurde auf $p = 0,05$ festgelegt.

4.2.4.6. Oberes Teilvolumen und Flächenmessungen

Mithilfe des Korrelationskoeffizienten nach Spearman wurde ein Zusammenhang zwischen dem oberen Teilvolumen des Atemwegs und den vier axialen Flächenmessungen für beide Methoden geprüft. Die Nullhypothese lautete: „Das obere Teilvolumen korreliert *nicht* mit den vier Flächenmessungen.“ Das Signifikanzniveau lag bei $p = 0,05$.

4.2.4.7. Unteres Teilvolumen und sagittale Strecken

Um zu prüfen, ob die sagittale Ausdehnung des Atemwegs mit der Größe des unteren Teilvolumens zusammenhängt, wurden die entsprechenden Messwerte bei beiden Methoden mithilfe des Korrelationskoeffizienten nach Spearman getestet. Bei einem Signifikanzniveau von $p = 0,05$ lautete die Nullhypothese: „Das untere Teilvolumen korreliert mit den vier sagittalen Strecken.“ Eine Ansicht der oberen und unteren Teilvolumina für beide Bezugsebenen ist in Abb.10-12 zu finden.

4.2.4.8. Unteres Teilvolumen und transversale Strecken

Ob es einen Zusammenhang zwischen dem unteren Teilvolumen und dem transversalen Durchmesser des Atemwegs gibt, wurde bei beiden Methoden anhand des Korrelationskoeffizienten nach Spearman getestet. Die Nullhypothese lautete: „Das untere Teilvolumen korreliert *nicht* mit den vier transversalen Strecken.“ Das Signifikanzniveau wurde auf $p = 0,05$ festgelegt.

4.2.4.9. Unteres Teilvolumen und Flächenmessungen

Mithilfe des Korrelationskoeffizienten nach Spearman wurde ein Zusammenhang zwischen dem unteren Teilvolumen des Atemwegs und den vier axialen Flächenmessungen für beide Methoden geprüft. Die Nullhypothese lautete: „Das untere Teilvolumen korreliert *nicht* mit den vier Flächenmessungen.“ Das Signifikanzniveau wurde auf $p = 0,05$ festgelegt.

5. ERGEBNISSE

5.1. Bestimmung der Methodenfehler, Reproduzierbarkeit

Hier zunächst eine Beschreibung der in den folgenden Tabellen und Abbildungen verwendeten Abkürzungen und Bezeichnungen (siehe auch Abb. 4 und 10):

SP	Spina-Ebene; Ebene zwischen vorderem und hinterem Nasendorn (PNS), vereinfacht Gaumenebene
FH	Frankfurter Horizontale; Ebene zwischen dem höchstem Punkt des äußeren, knöchernen Gehörgangs (Porion) und dem untersten Punkt des knöchernen Augenhöhlenrandes (Orbita)
PNS	Spina nasalis posterior (hinterer Nasendorn)
Uvula	Spitze des Zäpfchens (Uvula)
2.HW	unterster, vorderster Punkt des zweiten Halswirbels
Basis Epiglottis	unterster Punkt der Falte (Recessus) an der Basis des Kehldeckels (Epiglottis)
UT_{SP}	Ebene parallel zur SP am Schnittpunkt der Unterkiefertangente mit der Vorderwand des Atemwegs
UT_V	Verlängerung der Unterkiefertangente durch den Atemweg
SVL	Länge des weichen Gaumens (soft velum length): Orthogonale zur SP bzw. FH zwischen PNS und Uvulaspitze
AWL	Länge des Atemwegs (airway length): bei Messungen bezogen auf SP die Orthogonale zwischen SP und UT _{SP} , bei Messungen bezogen auf FH die Orthogonale zwischen FH und Basis der Epiglottis

5.1.1. Lineare sagittale Messungen

Zur Untersuchung der Reproduzierbarkeit wurden die Messungen beider Methoden an 60 DVTs im Mindestabstand von 38 Tagen vom gleichen Untersucher wiederholt. Bei Messungen bezogen auf die Spina-Ebene (SP) betrug die Messdifferenz der sagittalen Strecken zwischen erster Messung und Wiederholungsmessung zwischen 0,04 mm und -0,16 mm. Bei den Messungen bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH) waren Messdifferenzen zwischen 0,01 mm und -0,22 mm zu finden. Das negative Vorzeichen zeigt an, bei welchen Variablen die zweite Messung im Mittel größer war als die Erste (Tab. 6). Die Werte für den Methodenfehler δ nach Dahlberg betragen minimal 0,0034

Ergebnisse

(0,34%) und maximal 0,0215 (2,15%). Der Zuverlässigkeitskoeffizient Z nach Houston war methodenunabhängig für alle Variablen mit $Z \geq 0,9962$ (99,62%) sehr hoch (Tab.7). In Relation zur FH gab es keinen Messwert der von der Unterkiefertangente abhängig war und in Relation zur SP gab es keine Variable auf Höhe der Epiglottis.

Tab. 6: Tabellarische Darstellung der Mediane der Differenzen zwischen erster und zweiter Messung zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit für die sagittalen Variablen. Die größte Messdifferenz resultierte bei der Atemwegslänge (AWL) bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH).

Variablen	SP sagittal [mm]	FH sagittal [mm]
SP / PNS	0,10	-0,14
Uvula	0,04	0,07
2.HW	0,06	0,01
UT _{SP}	0,10	
UT _V	0,11	
Basis Epiglottis		-0,04
SVL	-0,16	-0,13
AWL	0,10	-0,22

Tab. 7: Tabellarische Darstellung der Methodenfehler δ nach Dahlberg und der Zuverlässigkeitskoeffizienten Z nach Houston für die sagittalen Variablen in Relation zur SP und zur FH. Unabhängig von der gewählten Methode war die Reproduzierbarkeit bei allen Variablen sehr gut.

Variablen	δ sagittal	Z sagittal
SP	0,0067	0,9994
SP Uvula	0,0167	0,9981
SP 2.HW	0,0179	0,9985
SP UT _{SP}	0,0111	0,9992
SP UT _V	0,0064	0,9997
SP SVL	0,0074	0,9993
SP AWL	0,0034	0,9998
FH PNS	0,0126	0,9987
FH Uvula	0,0215	0,9977

Ergebnisse

FH 2. HW	0,0147	0,9989
FH Basis Epiglottis	0,0140	0,9988
FH SVL	0,0177	0,9962
FH AWL	0,0094	0,9983

5.1.2. Lineare transversale Messungen

Die Differenzen der transversalen Medianwerte bezogen auf SP betragen zwischen 0,27 mm und -0,01 mm, bezogen auf die FH zwischen -0,04 mm und -0,35 mm. Aus den durchgehend negativen Differenzen bei Messungen in Relation zur FH lässt sich schließen dass die Werte für die Wiederholungsmessungen bezogen auf die FH im Mittel etwas größer als die der ersten Messung waren (Tab.8). Der Methodenfehler δ nach Dahlberg betrug minimal 0,0070 (0,7%) und maximal 0,0155 (1,55%). Der Zuverlässigkeitskoeffizient Z war für beide Methoden mit $Z \geq 0,9975$ (99,75%) sehr hoch (Tab.9).

Tab.8: Tabellarische Darstellung der Mediane der Differenzen zwischen erster und zweiter Messung zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit für die transversalen Variablen. Die durchgehend negativen Differenzen bei Messungen in Relation zu FH zeigen an, dass die Wiederholungsmessungen hier im Mittel etwas größer als bei der ersten Messung waren.

Variablen	SP transversal [mm]	FH transversal [mm]
SP / PNS	-0,01	-0,35
Uvula	0,08	-0,07
2.HW	0,15	-0,12
UT_{SP}	0,27	
UT_V	-0,08	
Basis Epiglottis		-0,04

Tab. 9: Tabellarische Darstellung der Methodenfehler δ nach Dahlberg und der Zuverlässigkeitskoeffizienten Z nach Houston für die transversalen Variablen in Relation zur Spina-Ebene und zur Frankfurter Horizontalen. Die Variablen zeigten methodenunabhängig sehr gute Reproduzierbarkeit.

Ergebnisse

Variablen	δ transversal	Z transversal
SP	0,0087	0,9989
SP Uvula	0,0083	0,9996
SP 2.HW	0,0082	0,9995
SP UT _{SP}	0,0070	0,9996
SP UT _V	0,0089	0,9994
FH PNS	0,0155	0,9981
FH Uvula	0,0095	0,9995
FH 2. HW	0,0077	0,9995
FH Basis Epiglottis	0,0133	0,9975

5.1.3. Flächenmessungen

Die Messdifferenzen der Flächenmessungen bezogen auf die SP betragen zwischen 5,18 und 0,21 mm². Bezogen auf die FH waren Messdifferenzen zwischen -7,55 und 1,22 mm² zu finden (Tab. 10). Messungen bezogen auf die FH hatten überwiegend geringere Messdifferenzen als solche bezogen auf die SP. Der Methodenfehler δ nach Dahlberg betrug zwischen 0,0090 (0,9%) und 0,0284 (2,84%). Die Zuverlässigkeitskoeffizienten waren für beide Methoden mit $Z \geq 0,9978$ (99,78%) sehr hoch (Tab.11).

Tab.10: Tabellarische Darstellung der Mediane der Differenzen zwischen erster und zweiter Messung zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit für die axialen Variablen. Messungen bezogen auf die FH hatten überwiegend geringere Messdifferenzen als solche bezogen auf die Spina-Ebene (SP).

Variablen	SP axial [mm ²]	FH axial [mm ²]
SP / PNS	0,51	-7,55
Uvula	3,78	1,22
2.HW	3,90	1,59
UT _{SP}	5,18	
UT _V	0,21	
Basis Epiglottis		1,68

Tab.11: Tabellarische Darstellung der Methodenfehler δ nach Dahlberg und der Zuverlässigkeitskoeffizienten Z nach Houston für die axialen Variablen in Relation zur SP und FH. Die Variablen waren methodenunabhängig sehr gut reproduzierbar.

Variablen	δ axial	Z axial
SP	0,0272	0,9985
SP Uvula	0,0284	0,9986
SP 2.HW	0,0102	0,9997
SP UT_{SP}	0,0094	0,9998
SP UT_V	0,0097	0,9998
FH PNS	0,0279	0,9978
FH Uvula	0,0214	0,9991
FH 2. HW	0,0090	0,9998
FH Basis Epiglottis	0,0215	0,9984

5.1.4. Gesamtvolumen

Bezogen auf die Spina-Ebene (SP) war das Gesamtvolumen nach oben (kranial) begrenzt durch SP selbst sowie die vorderen, hinteren und seitlichen Atemwegswände. Nach unten (kaudal) war das gemessene Gesamtvolumen einmal begrenzt durch die verlängerte Unterkiefertangente (UT_V) und ein andermal durch eine Ebene parallel zu SP am Schnittpunkt der Unterkiefertangente mit der Vorderwand des Atemwegs (UT_{SP}). Auf diese Weise entstanden für die Gesamtvolumina der Methode SP zwei Messwerte pro Patient. Die Medianwerte der Differenzen zwischen erster und zweiter Messung betragen für das Gesamtvolumen des posterioren Atemwegs bezogen auf die SP $102,50 \text{ mm}^3$ (UT_{SP}). War das Gesamtvolumen von der verlängerten Unterkiefertangente (UT_V) begrenzt, betrug die Messdifferenz im Median $101,00 \text{ mm}^3$.

Bezogen auf die FH war das Gesamtvolumen nach oben (kranial) begrenzt durch FH selbst sowie die vorderen, hinteren und seitlichen Atemwegswände. Nach unten (kaudal) war das gemessene Gesamtvolumen begrenzt von einer Parallele zu FH durch die Basis der Epiglottis. Bezogen auf die FH gab es also keinen Messwert der von der Unterkiefertangente abhängig war. In Relation zur FH zeigte sich die größte Messdifferenz für das Gesamtvolumen mit $143,00 \text{ mm}^3$ (Tab.12). Der Methodenfehler δ nach Dahlberg betrug minimal 0,0095 (0,95%, bezogen auf die FH) und maximal 0,0184 (1,84%, be-

Ergebnisse

zogen auf die SP). Der Zuverlässigkeitskoeffizient war für beide Methoden mit $Z \geq 0,9994$ (99,94%) sehr hoch (Tab.13).

Tab.12: Tabellarische Darstellung der Mediane der Differenzen zwischen erster und zweiter Messung zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit für die Gesamtvolumina. Bei Volumenmessungen bezogen auf die FH gab es geringfügig höhere Messabweichungen.

Gesamtvolumina	SP [mm ³]	FH [mm ³]
begrenzt von UT _{SP}	-102,50	-143,00
begrenzt von UT _V	-101,00	

Tab. 13: Tabellarische Darstellung der Methodenfehler δ nach Dahlberg und der Zuverlässigkeitskoeffizienten Z nach Houston für die Gesamtvolumina in Relation zur SP und zur FH. Der Methodenfehler war beim Gesamtvolumen bezogen auf die FH etwas kleiner und die Zuverlässigkeitskoeffizienten waren für beide Methoden sehr hoch.

Gesamtvolumina	δ	Z
SP begrenzt von UT _{SP}	0,0184	0,9994
SP begrenzt von UT _V	0,0162	0,9995
FH	0,0095	0,9998

5.1.5. Oberes Teilvolumen

Oberes und unteres Teilvolumen des Atemwegs wurde je nach Methode durch eine Parallele zur Spina-Ebene (SP) bzw. zur Frankfurter Horizontalen (FH) durch die Uvulaspitze getrennt. Die Differenzen der Medianwerte zwischen erster und zweiter Messung für das obere Teilvolumen bei Messungen bezogen auf die SP betragen 116,50 mm³. Bezogen auf die FH betrug die größte Messdifferenz für das obere Teilvolumen 105,50 mm³. Der Methodenfehler δ nach Dahlberg war beim oberen Teilvolumen bezogen auf die Spina-Ebene mit 0,0215 (2,15%) etwa 20% größer als bei jenem bezogen auf die FH (1,8%, Tab.14). Die Reproduzierbarkeit war für beide Methoden mit $Z \geq 0,9992$ (99,92%) sehr hoch (Tab.15).

Ergebnisse

Tab.14: Tabellarische Darstellung der Mediane der Differenzen zwischen erster und zweiter Messung zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit für die oberen Teilvolumina. Das obere Teilvolumen bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH) wies geringere Messdifferenzen auf.

Obere Teilvolumina	SP [mm ³]	FH [mm ³]
	-116,50	-105,50

Tab. 15: Tabellarische Darstellung der Methodenfehler δ nach Dahlberg und der Zuverlässigkeitskoeffizienten Z nach Houston für die Gesamtvolumina in Relation zur SP und FH. Die Zuverlässigkeitskoeffizienten waren für beide Methoden sehr hoch.

Obere Teilvolumina	δ	Z
SP	0,0215	0,9992
FH	0,0180	0,9995

5.1.6. Unteres Teilvolumen

Je nach Methode wurde das untere Teilvolumen nach oben (kranial) durch eine Parallele zur Spina-Ebene (SP) bzw. zur Frankfurter Horizontalen (FH) durch die Uvulaspitze getrennt. Bezogen auf SP war das untere Teilvolumen nach unten (kaudal) einmal begrenzt durch die verlängerte Unterkiefertangente (UT_V) und ein andermal durch eine Ebene parallel zu SP am Schnittpunkt der Unterkiefertangente mit der Vorderwand des Atemwegs (UT_{SP}). Auf diese Weise entstanden für die unteren Teilvolumina der Methode SP zwei Messwerte pro Patient. Bei Methode FH war die obere Begrenzung eine Parallele zu FH durch die Uvulaspitze und die untere Begrenzung eine Parallele zu FH durch die Basis der Epiglottis. Die Messdifferenzen bezogen auf die SP betragen 8,50 mm³ für das untere Teilvolumen, das von der verlängerten Unterkiefertangente begrenzt war (UT_V), und -0,50 mm³ für das von UT_{SP} begrenzte untere Teilvolumen. Bei Messungen bezogen auf die FH betrug die mittlere Messdifferenz für das untere Teilvolumen 11,00 mm³ (Tab. 16). Der Methodenfehler δ nach Dahlberg bezogen auf die SP betrug zwischen 0,0202 und 0,1153 (2,02% - 11,53%). Die Zuverlässigkeitskoeffizienten waren für beide Methoden mit $Z \geq 0,9962$ (99,62%) sehr hoch (Tab.17).

Tab.16: Tabellarische Darstellung der Mediane der Differenzen zwischen erster und zweiter Messung zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit für die unteren Teilvolumina. Bei Messungen des unteren Teilvolumens bezogen auf die FH gab es geringfügig höhere Messabweichungen.

Untere Teilvolumina	SP [mm ³]	FH [mm ³]
begrenzt von UT _{SP}	-0,50	-11,00
begrenzt von UT _V	8,50	

Tab. 17: Tabellarische Darstellung der Methodenfehler δ nach Dahlberg und der Zuverlässigkeitskoeffizienten Z nach Houston für die Gesamtvolumina in Relation zur SP und FH. Der Methodenfehler für das von der verlängerten Unterkiefertangente begrenzte Teilvolumen (UT_V) war viermal größer als jener für das untere Teilvolumen bezogen auf die FH. Die Zuverlässigkeitskoeffizienten waren für beide Methoden sehr hoch.

Untere Teilvolumina	δ	Z
SP begrenzt von UT _{SP}	0,0275	0,9994
SP begrenzt von UT _V	0,1153	0,9962
FH	0,0202	0,9993

5.2. Korrelationsanalysen linearer Messungen zur Erfassung der posterioren Atemwege

In vorliegender Studie sollte mittels dentaler Volumentomographie (DVT) anhand zweier Bezugsebenen die Ausdehnung des oberen Atemwegs in allen drei Dimensionen erfasst und das Gesamtvolumen sowie oberes und unteres Teilvolumen berechnet werden. Eine Bezugsebene war die Spina-Ebene (SP, Gaumenebene), die andere die Frankfurter Horizontale (FH, Ebene zwischen äußerem Gehörgang und knöchernem unterem Augenrand). Die Messergebnisse beider Ebenen sollten miteinander verglichen werden. Zusätzlich wurde die Länge des weichen Gaumens (soft velum length, SVL) und des oberen Atemwegs (Atemwegslänge, AWL) als Orthogonale zu den beiden Bezugsebenen SP bzw. FH ermittelt. Die bildliche Darstellung der Messparameter findet sich in Kapitel 3.1.4. und 3.1.5. (Abb.4 und 5). Das Signifikanzniveau wurde auf p

Ergebnisse

= 0,05 festgelegt. Erläuterungen zum Korrelationskoeffizienten ρ nach Spearman und dem Zuverlässigkeitskoeffizienten Z nach Houston sind in Kapitel 3.1.6. zu finden. Die Korrelationskoeffizienten wurden folgendermaßen klassifiziert: Eine sehr starke Korrelation wurde für $\rho > 0,9$, eine starke Korrelation für ρ zwischen 0,8 und 0,9 und eine schwache Korrelation für $\rho < 0,8$ angenommen. Nachfolgend die Ergebnisbeschreibung entsprechend der Fragestellung aus Kapitel 2:

5.2.1. Länge des posterioren Atemwegs

Bezogen auf die FH betrug die Atemwegslänge bei männlichen Patienten minimal 37,26 mm bis maximal 87,74 mm ($\pm 10,35$), bei weiblichen Patienten 37,08 mm bis 73,72 mm ($\pm 7,33$). In Relation zur SP war der Atemweg männlicher Patienten 23,01 mm bis 60,16 mm lang ($\pm 7,07$), bei weiblichen Patienten 22,77 mm bis 50,93 mm ($\pm 5,50$). Betrachtet man die Medianwerte für die Atemwegslänge, so war der Atemweg der Männer bezogen auf die SP 4,54 mm länger ($m = 41,52$ mm, $w = 36,98$ mm) und bezogen auf die FH 9,28 mm länger als bei den Frauen ($m = 67,47$ mm, $w = 58,19$ mm). Bei Messungen der Atemwegslänge (AWL) bezogen auf die FH waren die Messwerte methodenbedingt insgesamt höher als bei jenen bezogen auf die SP (Abb.13).

Der Korrelationskoeffizient ρ nach Spearman war bei Messungen in Relation zur FH in nahezu jeder Gruppe höher als der entsprechende Wert für Messungen in Relation zur Spina-Ebene (Tab.18). Bezogen auf die Spina-Ebene gab es keinen oder einen nur schwachen Zusammenhang zwischen Atemwegslänge und Alter. Eine hochsignifikante, starke Korrelation zwischen Atemwegslänge und Alter fand sich nur bezogen auf die FH in der Gruppe der 5 – 17 –jährigen Jungen mit $\rho = 0,861$ ($p = 0,000$). Bezogen auf die SP war der Zusammenhang mit $\rho = 0,707$ schwach. Bei gleichaltrigen Mädchen gab es bezogen auf die FH mit $\rho = 0,693$ und bezogen auf die SP mit $\rho = 0,523$ eine schwache Korrelation ($p = 0,000$). Mit steigendem Alter stieg in dieser Altersgruppe somit auch die Länge des Atemwegs. Bei den 50 – 65 –jährigen Männern korrelierte die Atemwegslänge bezogen auf die FH mit $\rho = -0,382$ ($p = 0,037$) gering signifikant negativ mit dem Alter (Tab.18, Abb.14 und 15). Je älter die Männer waren, desto kürzer war also die gemessene Atemwegslänge bezogen auf die FH.

Die Nullhypothese „Die Länge des oberen Atemwegs korreliert weder mit dem Alter noch mit dem Geschlecht der Patienten“ wird also für die Kinder bezogen auf FH und SP und für die 50 – 65 –jährigen Männer bezogen auf die FH abgelehnt. Für diese

Ergebnisse

Gruppen wird die Alternativhypothese „Die Länge des oberen Atemwegs korreliert mit dem Alter und mit dem Geschlecht der Patienten“ mit $p = 0,000$ bzw. $p = 0,037$ angenommen.

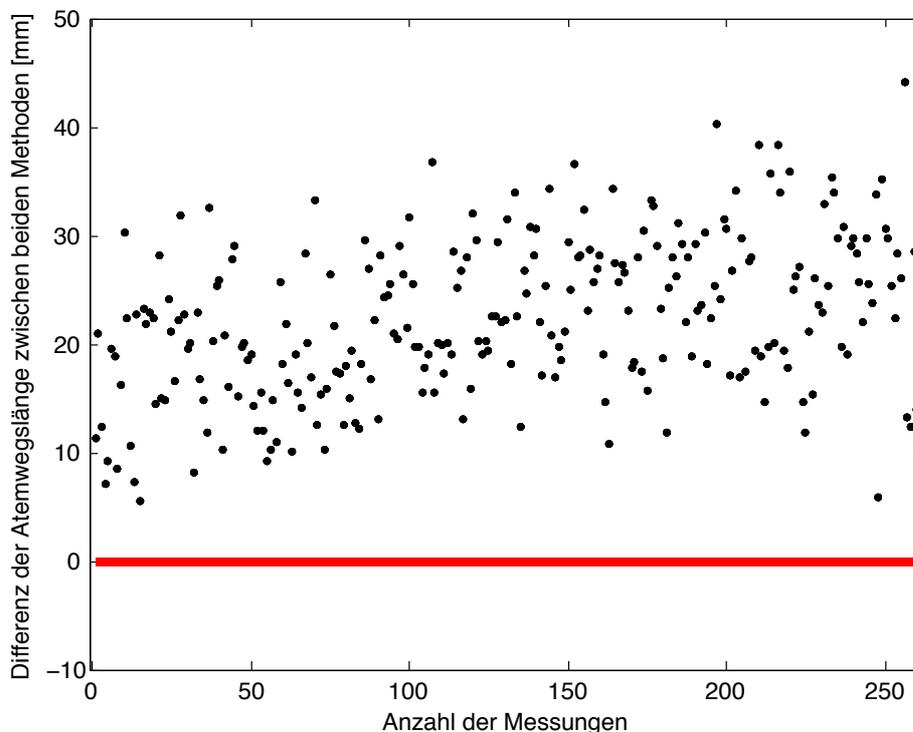


Abb.13: Graphische Darstellung der Messdifferenzen für die Atemwegslänge zwischen beiden Methoden. Die Atemwegslänge bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH) war methodenbedingt länger.

Tab. 18: Tabellarische Darstellung des Korrelationskoeffizienten ρ nach Spearman und der p-Werte für die Atemwegslänge bei beiden Methoden für alle Altersgruppen und beide Geschlechter. Die Atemwegslänge in Relation zur FH korrelierte insgesamt stärker positiv oder negativ und häufiger signifikant mit dem Alter als die Atemwegslänge in Relation zur SP.

Alter in Jahren / Geschlecht	ρ SP AWL	p-Wert SP AWL	ρ FH AWL	p-Wert FH AWL
5-69 weiblich und männlich	0,392	0,000	0,566	0,000
5-17 weiblich und männlich	0,597	0,000	0,775	0,000
18-49 weiblich und männlich	0,014	0,887	0,030	0,764
50-69 weiblich und männlich	0,160	0,221	0,349	0,006
5-69 weiblich	0,314	0,000	0,556	0,000
5-17 weiblich	0,523	0,000	0,693	0,000
18-49 weiblich	-0,037	0,797	0,147	0,310
50-69 weiblich	0,133	0,484	-0,055	0,774

Ergebnisse

5-69 männlich	0,523	0,000	0,647	0,000
5-17 männlich	0,707	0,000	0,861	0,000
18-49 männlich	0,160	0,267	0,134	0,355
50-69 männlich	-0,110	0,563	-0,382	0,037

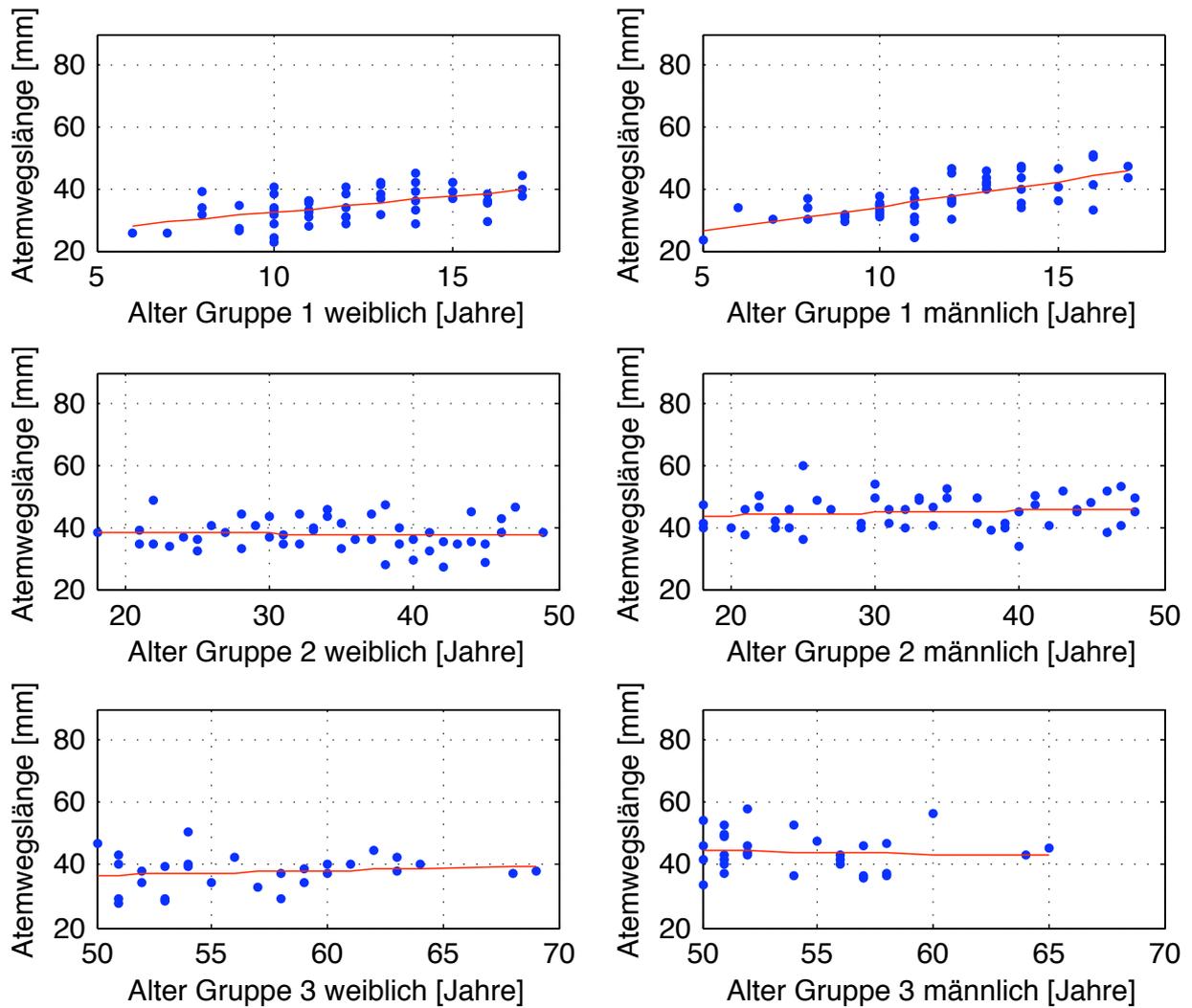


Abb.14: Graphische Darstellung der Atemwegslänge bezogen auf die **Spina-Ebene (SP)** nach Altersgruppen und Geschlecht aufgeteilt. Mit zunehmendem Alter stieg in der Gruppe der 5-17-jährigen Jungen und Mädchen hochsignifikant aber schwach die Länge des Atemwegs. Die Linien stellen lineare Näherungen der Funktionen dar, die durch die Patientendatensätze (Punkte) beschrieben werden.

Ergebnisse

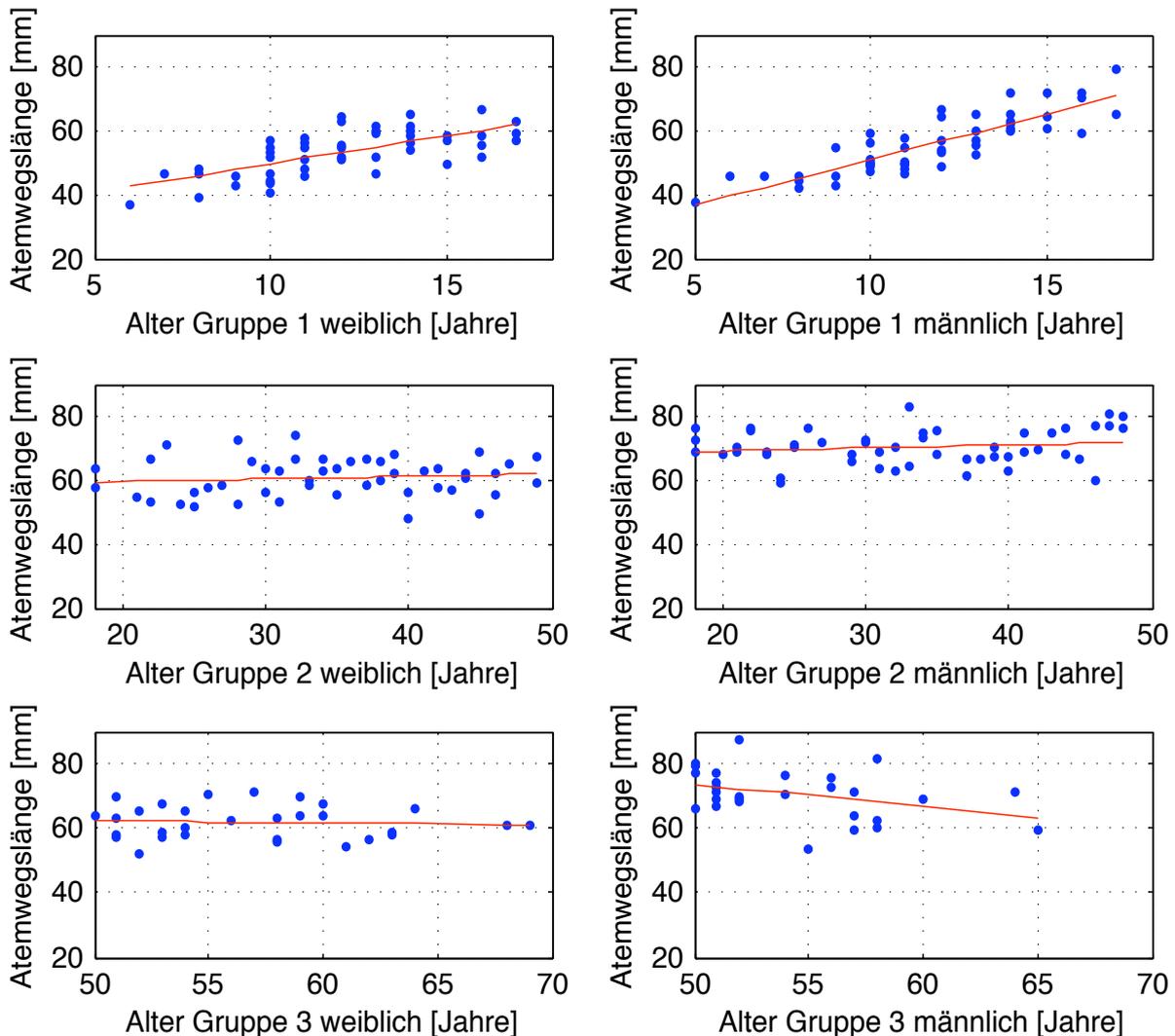


Abb.15: Graphische Darstellung der Atemwegslänge bezogen auf die **Frankfurter Horizontale (FH)** nach Altersgruppen und Geschlecht aufgeteilt. Mit zunehmendem Alter stieg in der Gruppe der 5-17-jährigen Jungen hochsignifikant positiv die Länge des Atemwegs. Je älter die 50-69-jährigen Männer waren, desto signifikant kürzer war die gemessene Atemwegslänge bezogen auf die FH. Die Linien stellen lineare Näherungen der Funktionen dar, die durch die Patientendatensätze (Punkte) beschrieben werden.

5.2.2. Länge des weichen Gaumens

Bezogen auf die FH betrug die Länge des weichen Gaumens bei männlichen Patienten 20,17 mm bis 56,37 mm ($\pm 6,77$) und bei weiblichen 30,31 mm bis 43,12 mm ($\pm 4,54$). In Relation zur SP war der weiche Gaumen männlicher Patienten 17,93 mm bis 51,10 mm

Ergebnisse

lang ($\pm 6,78$) und bei weiblichen Patienten 19,93 mm bis 41,50 mm ($\pm 4,48$). Betrachtet man die Medianwerte für die Gaumenlänge, so war der weiche Gaumen der Männer bezogen auf die SP 4,97 mm länger ($m = 36,81$ mm, $w = 31,84$ mm) und bezogen auf die FH 4,81 mm länger als bei den Frauen ($m = 36,62$ mm, $w = 31,81$ mm).

Eine schwache, signifikant positive Korrelation zwischen Länge des weichen Gaumens und Alter fand sich unabhängig vom Geschlecht bei beiden Methoden in der Gruppe der 5 – 17 -Jährigen mit $p = 0,000$. Mit steigendem Alter stieg somit auch die Länge des weichen Gaumens in dieser Gruppe. Während die Länge des weichen Gaumens methodenunabhängig bei den 18 – 49 -jährigen Männern mit steigendem Alter weiter schwach signifikant mit $p = 0,000$ bzw. $p = 0,002$ zunahm, zeigte sie bei gleichaltrigen Frauen keine signifikante Korrelation mit dem Alter. In der Gruppe der 50 – 69 -jährigen Männer und Frauen existiert bei beiden Methoden ebenfalls keine signifikante Korrelation zwischen der Länge des weichen Gaumens und dem Alter (Tab.19, Abb.16 und 17). Die Nullhypothese „Die Länge des weichen Gaumens korreliert weder mit dem Alter noch mit dem Geschlecht der Patienten“ wird für die Kinder und für die 18 – 49 -jährigen Männer bei beiden Methoden abgelehnt. Die Alternativhypothese „Die Länge des weichen Gaumens korreliert mit dem Alter und dem Geschlecht der Patienten“ wird für diese Gruppen methodenunabhängig mit $p = 0,000$ bzw. $p = 0,002$ angenommen.

Tab. 19: Tabellarische Darstellung des Korrelationskoeffizienten ρ nach Spearman und der p-Werte für die Länge des weichen Gaumens bei beiden Methoden für alle Altersgruppen und beide Geschlechter. Bei den Kindern und den 18 – 49 -jährigen Männern nahm die Länge des weichen Gaumens bei beiden Methoden mit steigendem Alter schwach aber signifikant zu.

Alter in Jahren / Geschlecht	ρ SP SVL	p-Wert SP SVL	ρ FH SVL	p-Wert FH SVL
5-69 weiblich und männlich	0,628	0,000	0,613	0,000
5-17 weiblich und männlich	0,486	0,000	0,533	0,000
18-49 weiblich und männlich	0,200	0,046	0,124	0,220
50-69 weiblich und männlich	-0,179	0,172	-0,110	0,402
5-69 weiblich	0,557	0,000	0,577	0,000
5-17 weiblich	0,608	0,000	0,548	0,000
18-49 weiblich	0,035	0,812	-0,034	0,814
50-69 weiblich	0,051	0,790	0,101	0,594
5-69 männlich	0,766	0,000	0,748	0,000
5-17 männlich	0,588	0,000	0,560	0,000
18-49 männlich	0,564	0,000	0,420	0,002
50-69 männlich	-0,002	0,677	0,079	0,991

Ergebnisse

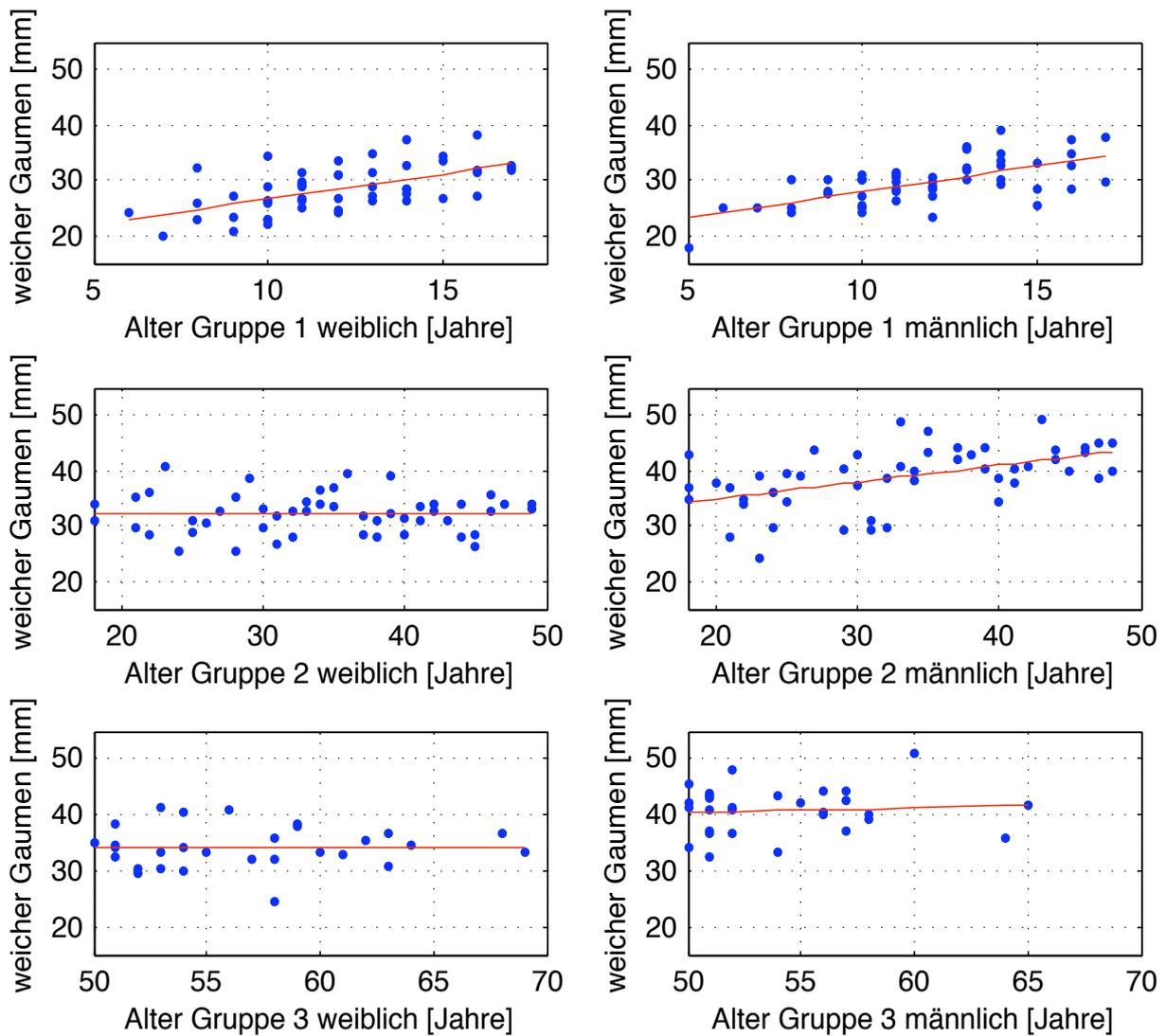


Abb.16: Graphische Darstellung der Länge des weichen Gaumens bezogen auf die **Spina-Ebene (SP)** nach Altersgruppen und Geschlecht aufgeteilt. Bei den Kindern und den 18 – 49 -jährigen Männern nahm die Länge des weichen Gaumens mit steigendem Alter schwach signifikant zu. Die Linien stellen lineare Näherungen der Funktionen dar, die durch die Patientendatensätze (Punkte) beschrieben werden.

Ergebnisse

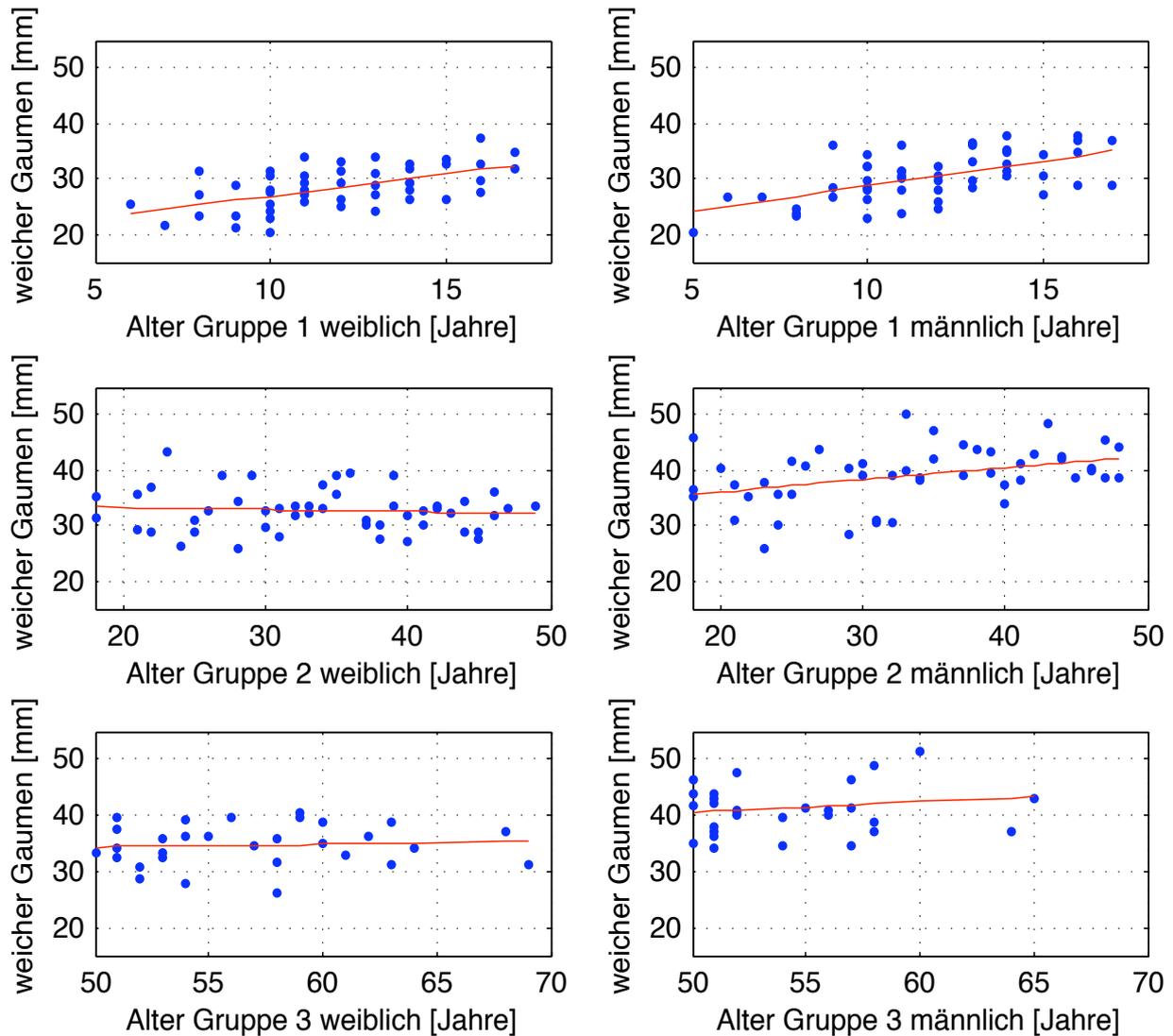


Abb.17: Graphische Darstellung der Länge des weichen Gaumens bezogen auf die **Frankfurter Horizontale (FH)** nach Altersgruppen und Geschlecht aufgeteilt. Wie bei Messungen bezogen auf die SP nahm bei Kindern und 18 – 49 -jährigen Männern die Länge des weichen Gaumens mit steigendem Alter schwach signifikant zu. Die Linien sind lineare Näherungen der Funktionen, die durch die Patientendatensätze beschrieben werden.

5.2.3. Relation Länge des weichen Gaumens und Länge des posterioren Atemwegs in Korrelation mit Alter und Geschlecht

Der Verhältniswert zwischen der Länge des weichen Gaumens und der Länge des oberen Atemwegs bei Messungen in Relation zur Spina-Ebene betrug im Median 0,849 und bei Messungen bezogen auf die Frankfurter Horizontale im Median 0,552. Bezogen auf die Spina-Ebene machte also die Länge des weichen Gaumens knapp 85 % der Länge

Ergebnisse

des Atemwegs aus und bei Messungen bezogen auf die FH etwas mehr als 55 %. Diese Unterschiede sind methodenbedingt.

Bei den 5 - 17 -jährigen Jungen zeigte der negative Korrelationskoeffizienten ρ nach Spearman eine schwache Tendenz zur Abnahme des Gaumen-Atemwegverhältnisses mit steigendem Alter bei Messungen bezogen auf die FH (Tab.20, Abb.18 und 19). Bis auf diese Ausnahme war ein Zusammenhang zwischen dem Alter und dem Gaumen-Atemweg-Verhältnis bei beiden Methoden nicht eindeutig zu erkennen. Die Nullhypothese „Die Relation Länge des weichen Gaumens zur Länge des oberen Atemwegs korreliert *nicht* mit dem Alter und dem Geschlecht der Patienten“ wird mit Ausnahme der 5 - 17 -jährigen Jungen bei Messungen bezogen auf die FH mit $p = 0,000$ bzw. $0,048$ angenommen.

Tab.20: Tabellarische Darstellung der Korrelationskoeffizienten ρ nach Spearman und der p-Werte für das Verhältnis der Länge des weichen Gaumens zur Atemwegslänge beider Methoden nach Altersgruppe und Geschlecht aufgeteilt. Nur bezogen auf die FH und nur bei den Jungen war eine signifikante schwache Korrelation zu verzeichnen.

Verhältnis SVL zu AWL bezogen auf SP und FH	ρ SP	p-Wert SP	ρ FH	p-Wert FH
5-69 weiblich und männlich	0,299	0,000	0,123	0,048
5-17 weiblich und männlich	-0,116	0,251	-0,328	0,001
18-49 weiblich und männlich	0,220	0,028	0,091	0,369
50-69 weiblich und männlich	0,008	0,953	0,235	0,070
5-69 weiblich	0,211	0,016	0,070	0,432
5-17 weiblich	0,020	0,890	-0,200	0,170
18-49 weiblich	0,120	0,406	-0,127	0,378
50-69 weiblich	-0,041	0,829	0,161	0,394
5-69 männlich	0,379	0,000	0,174	0,047
5-17 männlich	-0,299	0,035	-0,504	0,000
18-49 männlich	0,317	0,025	0,306	0,031
50-69 männlich	0,159	0,401	0,407	0,026

Ergebnisse

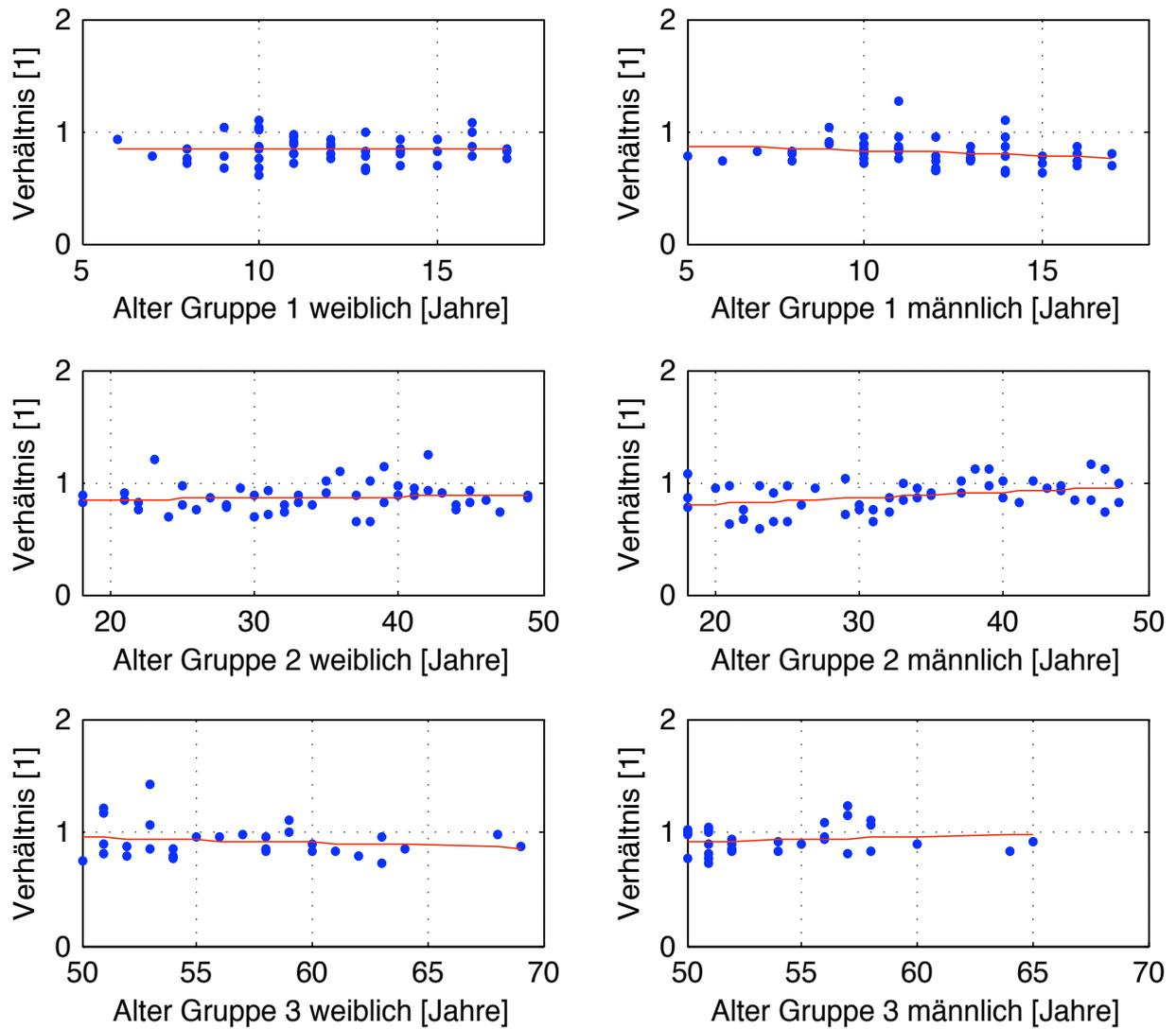


Abb.18: Verhältnis Länge weicher Gaumen zu Atemwegslänge für die **Spina-Ebene (SP)** nach Altersgruppen und Geschlecht aufgeteilt. Bei den Mädchen und Frauen waren keine signifikanten Korrelationen zu verzeichnen. Die Linien stellen lineare Näherungen der Funktionen dar, die durch die Patientendatensätze (Punkte) beschrieben werden.

Ergebnisse

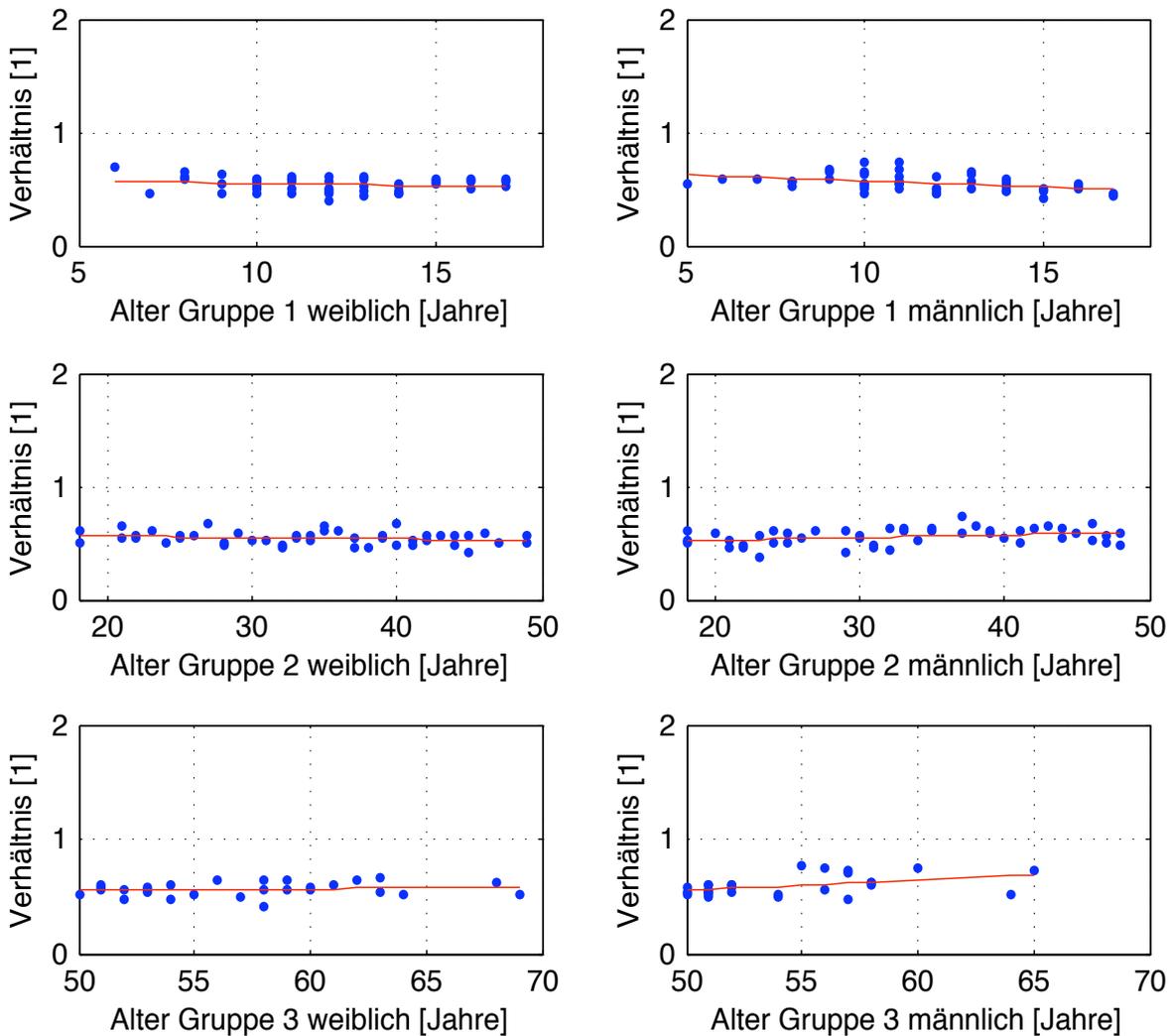


Abb.19: Verhältnis Länge weicher Gaumen zu Atemweglänge für die **Frankfurter Horizontale (FH)** nach Altersgruppen und Geschlecht aufgeteilt. Bei den 5 – 17 -jährigen Jungen war eine Tendenz zur Abnahme des Gaumen-Atemwegverhältnisses mit steigendem Alter bezogen auf die FH zu erkennen. Die Linien sind lineare Näherungen der Funktionen, die durch die Patientendatensätze (Punkte) beschrieben werden.

5.2.4. Korrelationsanalysen linearer Messungen

Zunächst die Ergebnisbeschreibung für die sagittalen und transversalen Atemwegsdurchmesser bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH) und Spina-Ebene (SP) in tabellarischer Form:

Ergebnisse

Tab.21: Tabellarische Darstellung der Minima, Maxima, Medianwerte und der Standardabweichung für die sagittalen Atemwegsdurchmesser bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH) und Spina-Ebene (SP). Der kleinste Atemwegsdurchmesser befand sich im Median bei beiden Bezugsebenen auf Höhe des zweiten Halswirbels (2.HW).

Variable sagittal	Minimum [mm]	Maximum [mm]	Median [mm]	Standardabweichung [mm]
SP	4,35	30,55	19,56	4,52
SP Uvula	3,29	25,13	11,80	3,53
SP 2.HW	1,44	25,20	10,09	3,80
SP UT_{SP}	3,58	23,20	10,35	3,48
SP UT_V	4,17	25,61	11,19	3,58
FH PNS	4,66	30,67	20,25	4,56
FH Uvula	4,32	31,48	11,83	3,76
FH 2. HW	1,92	24,22	10,44	3,66
FH Basis Epiglottis	3,47	25,27	12,28	3,49

Tab.22: Tabellarische Darstellung der Minima, Maxima, Medianwerte und der Standardabweichung für die transversalen Atemwegsdurchmesser bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH) und Spina-Ebene (SP). Der kleinste Atemwegsdurchmesser befand sich im Median bei beiden Bezugsebenen auf Höhe des Zäpfchens (Uvula).

Variable transversal	Minimum [mm]	Maximum [mm]	Median [mm]	Standardabweichung [mm]
SP	16,02	50,46	29,11	5,85
SP Uvula	9,58	53,74	24,68	7,86
SP 2.HW	8,70	49,11	26,03	7,29
SP UT_{SP}	9,05	55,27	26,90	7,07
SP UT_V	9,62	57,06	25,90	7,25
FH PNS	13,58	52,52	29,27	5,97
FH Uvula	9,80	52,40	25,19	7,78
FH 2. HW	10,53	50,14	26,62	7,03
FH Basis Epiglottis	13,47	47,23	32,87	5,88

Ergebnisse

Betrachtet man die Korrelation zwischen dem sagittalen und transversalen Atemwegsdurchmesser bei beiden Methoden, so bestand eine schwache Korrelation auf Höhe der Gaumenebene mit $\rho = 0,574$ für Messungen bezogen auf die SP und mit $\rho = 0,584$ für Messungen bezogen auf die FH. Bei Messungen auf Höhe der Basis der Epiglottis in Relation zur FH bestand ebenfalls eine schwache Korrelation mit $\rho = 0,533$. Kein Zusammenhang zwischen sagittaler und transversaler Atemwegsausdehnung war auf Höhe der Uvula (bezogen auf die SP $\rho = 0,180$, bezogen auf die FH $\rho = 0,165$) und des zweiten Halswirbels (bezogen auf die SP $\rho = 0,200$, bezogen auf die FH $\rho = 0,244$) nachzuweisen. Sagittale Streckenmessungen in Relation zur SP in Verlängerung der Unterkieferantenne wiesen mit $\rho = 0,301$ geringere Werte für Spearman ρ auf als solche parallel zu SP auf gleicher Höhe (UT_{SP} , $\rho = 0,387$).

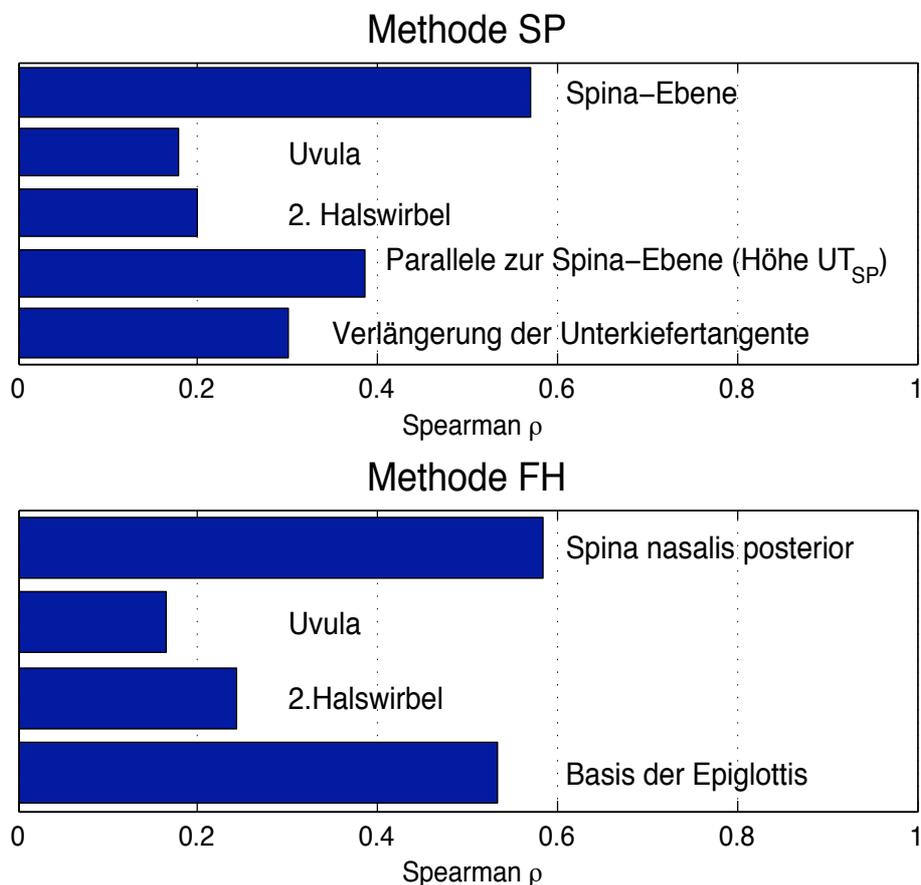


Abb.20: Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die sagittalen und transversalen Streckenmessungen bezogen auf die SP und FH. Ein schwacher Zusammenhang konnte bei beiden Methoden auf Höhe des harten Gaumens und, bezogen auf die FH, auf Höhe des Kehlkopfs (Epiglottis) festgestellt werden.

Ergebnisse

Methodenübergreifend ist also im Bereich des Zäpfchens (Uvula), des zweiten Halswirbels (2.HW) und der Unterkiefertangente kein bis kaum ein Zusammenhang zwischen sagittaler und transversaler Atemwegsausdehnung nachweisbar (Abb.20).

Die p-Werte betragen minimal 0,000 und maximal 0,008. Die Nullhypothese „Sagittale Messungen korrelieren *nicht* mit transversalen Messungen der gleichen Ebene“ kann für Messungen auf Höhe der Uvula, des zweiten Halswirbels und der Unterkiefertangente mit einem Signifikanzniveau von $p \leq 0,008$ angenommen werden. Die Alternativhypothese „Sagittale Messungen korrelieren mit transversalen Messungen der gleichen Ebene“ wird nur für Messungen auf Höhe der Spina nasalis posterior (Gaumenebene) und der Basis der Epiglottis (Kehldeckel) mit einem Signifikanzniveau von $p = 0,000$ angenommen.

5.3. Flächenmessungen im Bereich der posterioren Atemwege

5.3.1. Korrelation der axialen Flächen mit den sagittalen Strecken

Zunächst die Ergebnisbeschreibung für die axialen Flächen bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH) und Spina-Ebene (SP) in tabellarischer Form:

Tab.23: Tabellarische Darstellung der Minima, Maxima, Medianwerte und der Standardabweichung für die axialen Flächen bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH) und Spina-Ebene (SP). Die kleinste axiale Querschnittsfläche befand sich im Median bei beiden Bezugsebenen auf Höhe des Zäpfchens (Uvula).

Variable axial	Minimum [mm²]	Maximum [mm²]	Median [mm²]	Standardabweichung [mm²]
SP	107,02	1931,24	532,42	213,41
SP Uvula	29,46	751,81	233,46	126,40
SP 2.HW	24,29	690,17	236,69	118,39
SP UT_{SP}	58,09	773,12	236,42	122,70
SP UT_V	30,77	837,31	245,07	126,41
FH PNS	29,28	1591,97	550,18	212,81
FH Uvula	30,42	748,06	238,29	126,18
FH 2. HW	57,64	682,28	239,53	118,50
FH Basis Epiglottis	57,89	732,74	298,08	115,60

Ergebnisse

Zwischen axialen und sagittalen Messwerten bestand auf allen Messebenen ein schwacher Zusammenhang mit $\rho \geq 0,540$. Die geringsten Werte für Spearman ρ fanden sich bei beiden Methoden auf Höhe der Uvula und des zweiten Halswirbels (Abb.21), den stärksten Zusammenhang zwischen axialen Flächen und sagittalen Strecken gab es im Bereich des Kehledeckels (Epiglottis) bei Messungen bezogen auf die FH ($\rho = 0,878$). Je größer also der sagittale Atemwegsdurchmesser war, desto größer war auch die gemessene Querschnittsfläche des Atemwegs, insbesondere im Bereich des Kehledeckels. Die Ergebnisse waren mit $p = 0,000$ signifikant.

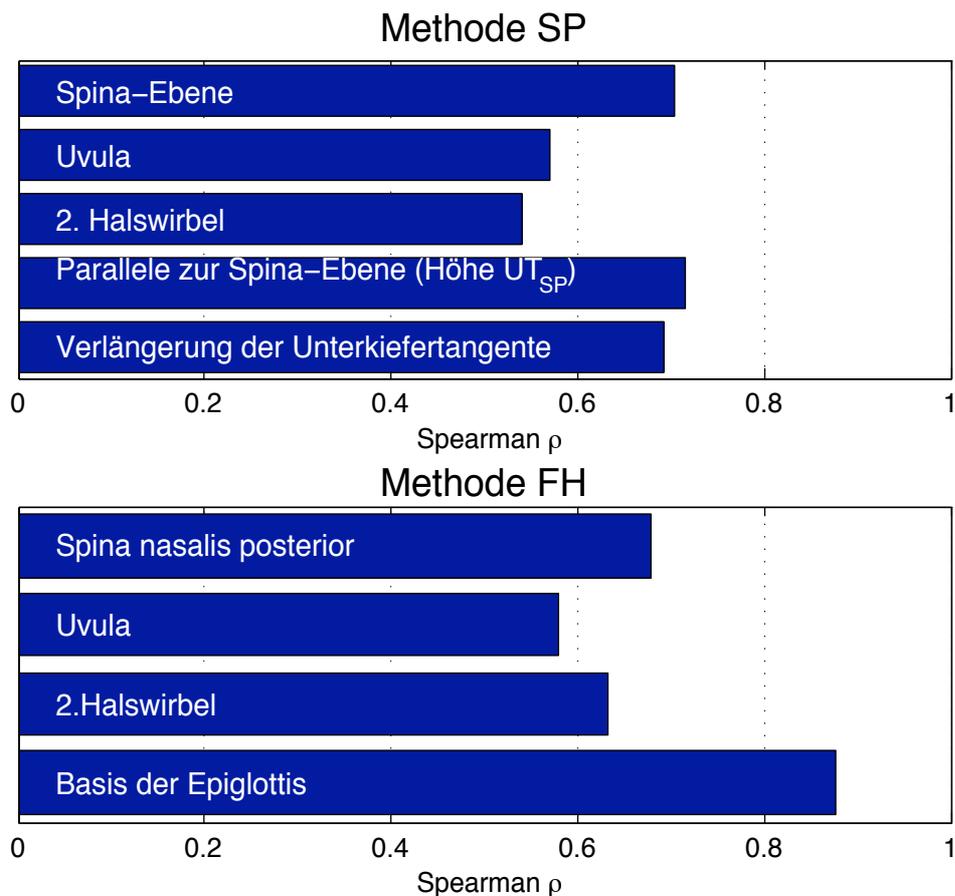


Abb.21: Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die sagittalen Strecken und die Flächenmessungen bezogen auf die SP und FH. Mit Ausnahme der Epiglottis (Kehledeckel) bestand auf allen Messebenen ein schwacher Zusammenhang. Eine starke Korrelation gab es nur im Bereich des Kehledeckels bezogen auf die FH.

Die Nullhypothese „Axiale Flächen korrelieren *nicht* mit den sagittalen Strecken der gleichen Messebene“ wird für alle Variablen abgelehnt. Die Alternativhypothese „Axiale

Ergebnisse

Flächen korrelieren mit den sagittalen Strecken der gleichen Messebene“ wird mit $p = 0,000$ angenommen.

5.3.2. Korrelation der axialen Flächen mit den transversalen Strecken

Zwischen axialen Querschnittsflächen des Atemwegs und transversalen Atemwegsdurchmessern gab es auf allen Messebenen einen starken Zusammenhang mit $\rho \geq 0,691$ (Abb.22). Der geringste Zusammenhang fand sich bei beiden Methoden auf Höhe der Spina nasalis posterior. Die Ergebnisse waren mit $p = 0,000$ signifikant. Je größer also der transversale Atemwegsdurchmesser war, desto größer war auch die gemessene Querschnittsfläche des Atemwegs. Die Nullhypothese „Axiale Flächen korrelieren *nicht* mit den transversalen Strecken der gleichen Messebene“ wird also verworfen. Die Alternativhypothese „Axiale Flächen korrelieren mit den transversalen Strecken der gleichen Messebene“ wird mit $p = 0,000$ für alle Variablen angenommen.

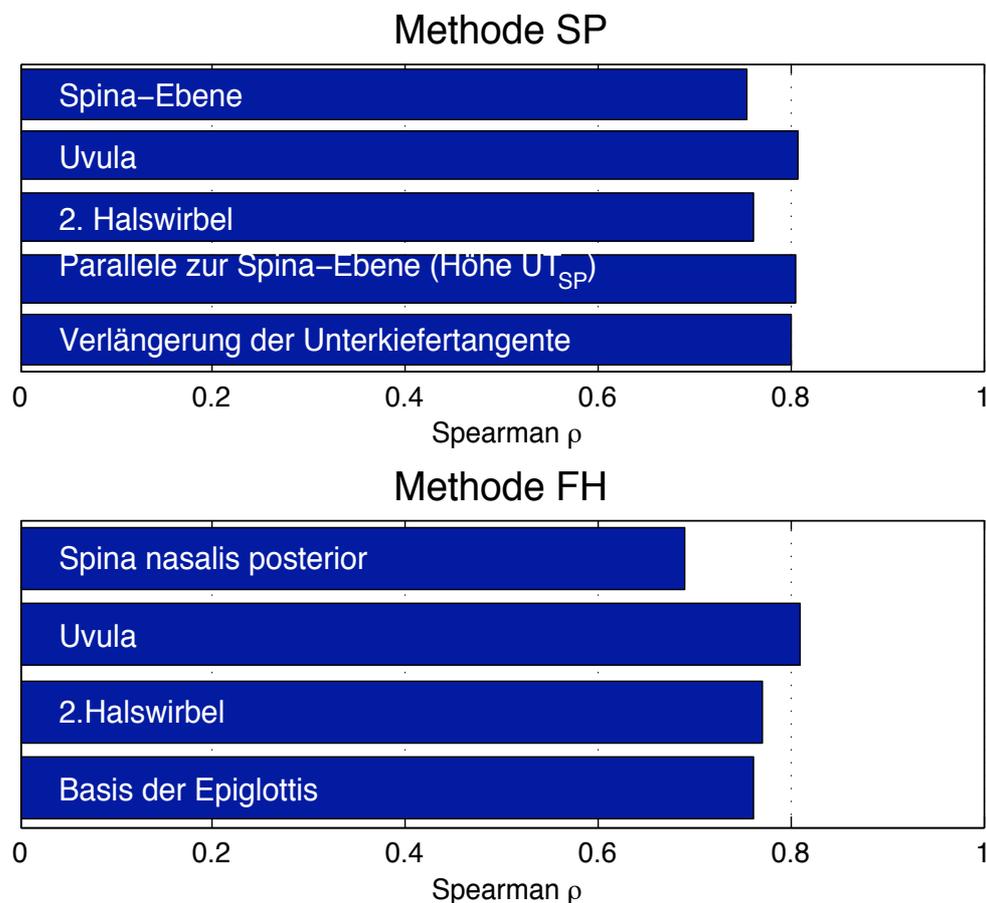


Abb.22: Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die transversalen Strecken und die Flächenmessungen bezogen auf die SP und FH. Es bestand auf allen Messebenen ein schwacher bis starker Zusammenhang.

5.4. Korrelationsanalysen der Volumenmessungen zur Erfassung der posterioren Atemwege

5.4.1. Gesamtvolumen und sagittale Strecken

Zunächst die Ergebnisbeschreibung für das Gesamtvolumen bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH) und Spina-Ebene (SP) in tabellarischer Form:

Tab.24: Tabellarische Darstellung der Minima, Maxima, Medianwerte und Standardabweichung für die Gesamtvolumina bezogen auf die FH und SP. Das größte Atemwegsvolumen resultierte im Median in Relation zur FH.

Gesamtvolumen Bezugsebene	Minimum [mm ³]	Maximum [mm ³]	Median [mm ³]	Standardabweichung [mm ³]
SP begrenzt von UT _{SP}	1501	30074	10602	4934
SP begrenzt von UT _V	1465	30074	9682	4768
FH	1903	55445	14801	8180

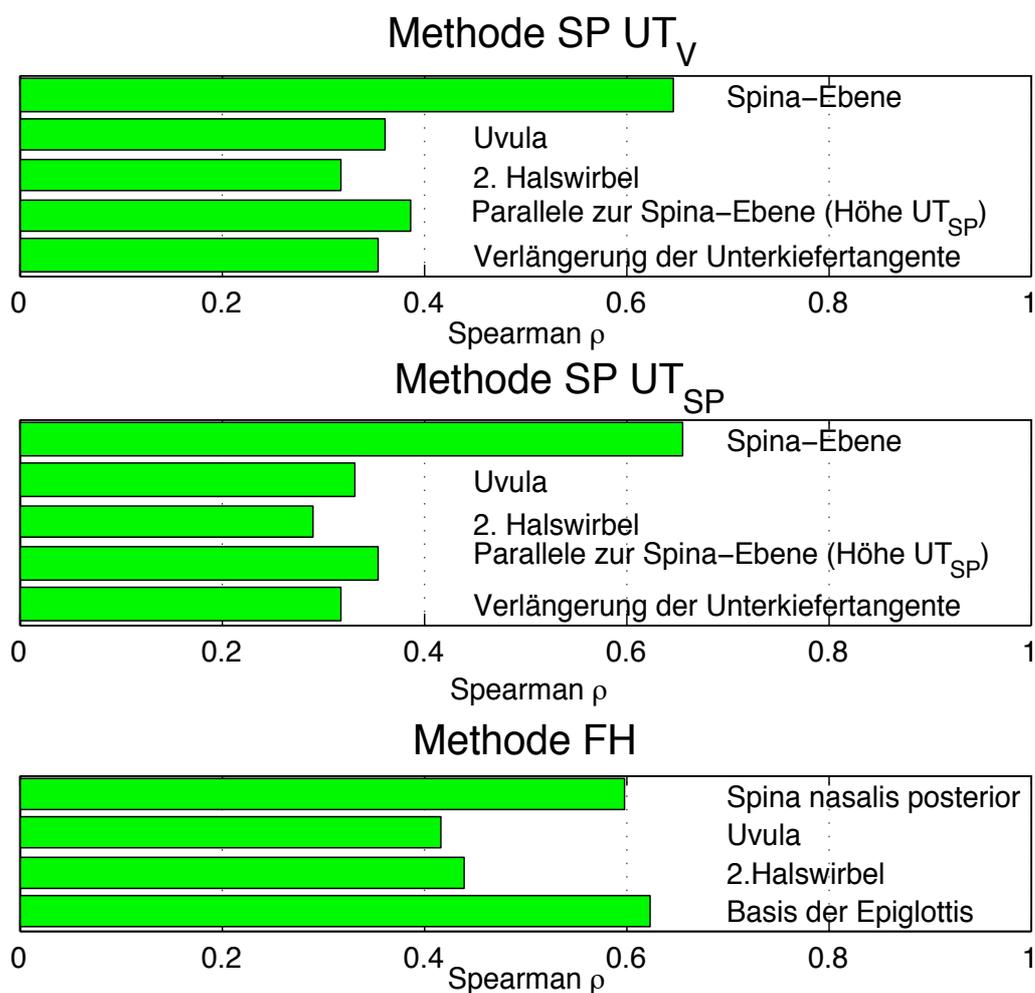


Abb.23: Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die Gesamtvolumina und die sagittalen Strecken beider Methoden. Einen schwachen Zusammenhang gab es bei beiden Methoden auf Höhe des harten Gaumens und, bezogen auf die FH, auf Höhe des Kehldeckels.

Zwischen den sagittalen Streckenmessungen und dem Gesamtvolumen des oberen Atemwegs gab es im Bereich der Uvula, des zweiten Halswirbels und der Unterkiefer-tangente mit Werten für Spearman ρ von 0,292 bis 0,440 keinen Zusammenhang (Abb. 23). Auf Höhe der Spina nasalis posterior bei beiden Methoden sowie der Basis der Epiglottis bei Messungen bezogen auf die FH bestand allerdings ein schwacher Zu-sammenhang mit $\rho \geq 0,599$ (Abb.23). Die Ergebnisse waren mit $p = 0,000$ signifikant.

Die Nullhypothese „Das Gesamtvolumen korreliert mit den vier sagittalen Strecken“ wird für Werte auf Höhe der Spina nasalis posterior und der Basis der Epiglottis angenom-men. Für Werte im Bereich der Uvula, des zweiten Halswirbels und der Unterkiefertan-gente wird die Alternativhypothese „Das Gesamtvolumen korreliert *nicht* mit den vier sagittalen Strecken“ angenommen.

5.4.2. Gesamtvolumen und transversale Strecken

Die transversalen Streckenmessungen korrelierten bei beiden Methoden mit dem Ge-samtvolumen (Abb.24). Der geringste Wert für Spearman ρ fand sich bei Messungen bezogen auf die FH im Bereich der Spina nasalis posterior ($\rho = 0,563$) und der Basis der Epiglottis ($\rho = 0,571$). Bei Messungen bezogen auf die SP waren die geringsten Korrelationswerte auf Höhe des zweiten Halswirbels mit $\rho = 0,584$ bzw. $\rho = 0,596$ fest-zustellen. Die höchsten Werte für Spearman ρ existierten methodenunabhängig im Be-reich der Uvula ($\rho \geq 0,706$). Die Ergebnisse waren mit $p = 0,000$ signifikant.

Die Nullhypothese „Das Gesamtvolumen korreliert *nicht* mit den vier transversalen Strecken“ wird abgelehnt und die Alternativhypothese „Das Gesamtvolumen korreliert mit den vier transversalen Strecken“ wird angenommen.

Ergebnisse

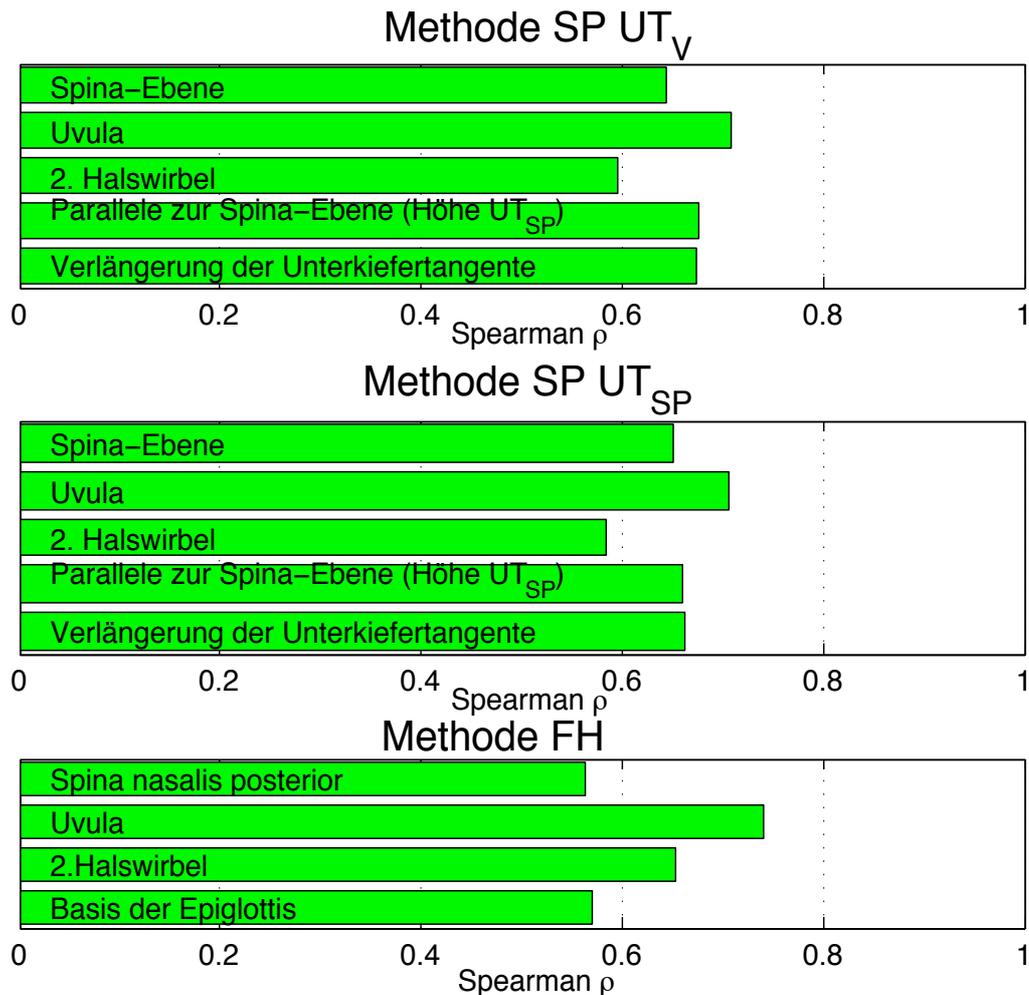


Abb.24: Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die Gesamtvolumina und die transversalen Strecken beider Methoden. Es bestand auf allen Messebenen ein schwacher Zusammenhang. Den methodenunabhängig größten Zusammenhang gab es im Bereich des Zäpfchens (Uvula).

5.4.3. Gesamtvolumen und Flächenmessungen

Die axialen Flächenmessungen korrelierten ebenfalls bei beiden Methoden mit dem Gesamtvolumen (Abb.25). Der geringste Wert für Spearman ρ war bei Messungen bezogen auf die FH auch im Bereich der Spina nasalis posterior ($\rho = 0,637$) und der Basis der Epiglottis ($\rho = 0,695$) zu finden. Bei Messungen bezogen auf die SP waren die geringsten Korrelationswerte auf Höhe des zweiten Halswirbels mit $\rho = 0,624$ bzw. $\rho = 0,651$ festzustellen. Die höchsten Werte für Spearman ρ existierten wiederum bei beiden Methoden im Bereich der Uvula ($\rho \geq 0,807$). Die Ergebnisse waren mit $p = 0,000$ signifikant. Die Nullhypothese „Das Gesamtvolumen korreliert *nicht* mit den vier Flä-

Ergebnisse

chenmessungen“ wird abgelehnt und die Alternativhypothese „Das Gesamtvolumen korreliert mit den vier Flächenmessungen“ wird mit $p = 0,000$ angenommen.

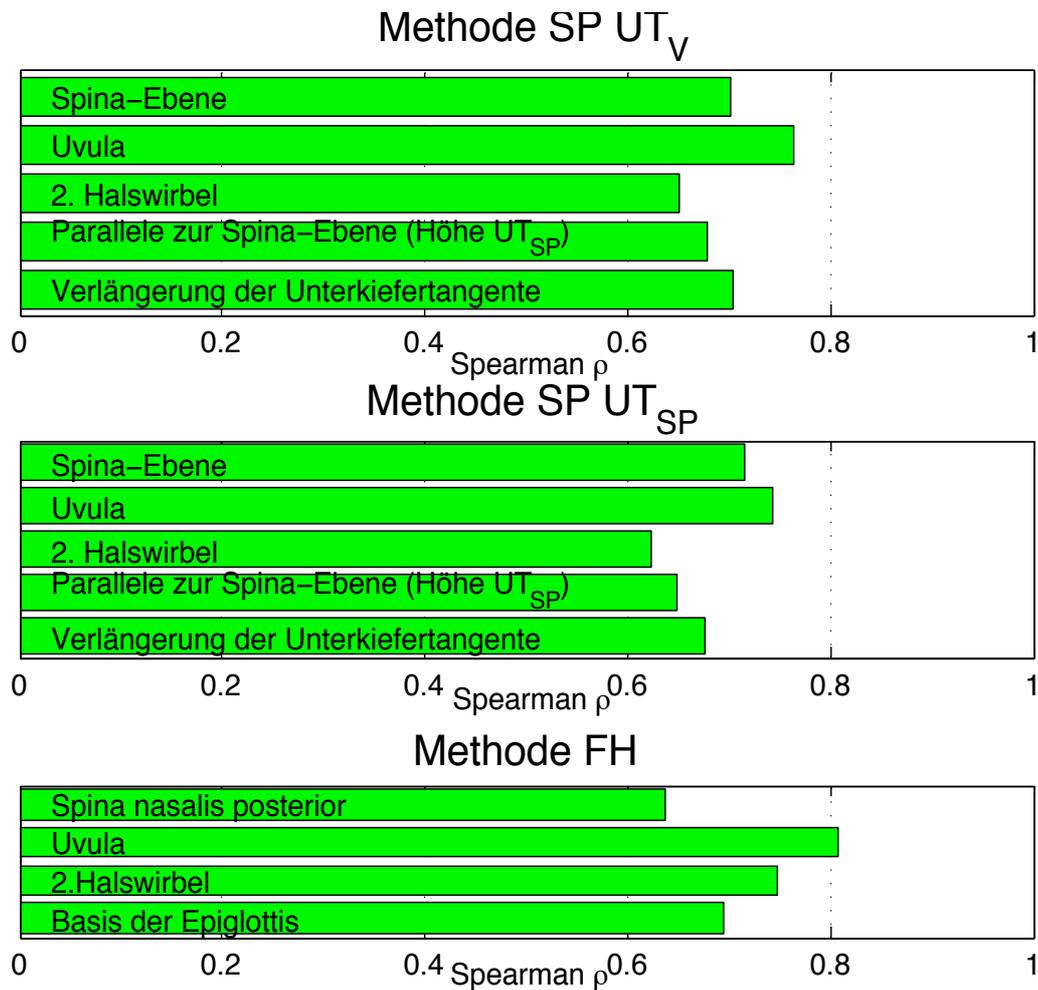


Abb.25: Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die Gesamtvolumina und die Flächenmessungen beider Methoden. Es bestand auf allen Messebenen ein schwacherer Zusammenhang. Den methodenunabhängig größten Zusammenhang gab es wie bei den transversalen Durchmessern im Bereich des Zäpfchens (Uvula).

5.4.4. Oberes Teilvolumen und sagittale Strecken

Zwischen den sagittalen Streckenmessungen und dem oberen Teilvolumen gab es mit Ausnahme der Messungen im Bereich der Spina nasalis posterior ($\rho \geq 0,679$) keinen Zusammenhang (Abb. 26). Die Nullhypothese „Das obere Teilvolumen korreliert mit den vier sagittalen Strecken“ wird mit Ausnahme der Werte auf Höhe der Spina nasalis posterior verworfen ($p = 0,000$). Mit Ausnahme der Spina nasalis posterior wird die Alter-

Ergebnisse

nativhypothese „Das obere Teilvolumen korreliert *nicht* mit den vier sagittalen Strecken“ mit $p = 0,000$ angenommen.

Tab.25: Tabellarische Darstellung der Minima, Maxima, Medianwerte und der Standardabweichung für die oberen Volumina bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH) und Spina-Ebene (SP). Das größte obere Atemwegsvolumen resultierte im Median in Relation zur FH.

Oberes Teilvolumen Bezugsebene	Minimum [mm ³]	Maximum [mm ³]	Median [mm ³]	Standardab- weichung [mm ³]
SP	1465	30074	8635	4529
FH	1621	32170	8673	4889

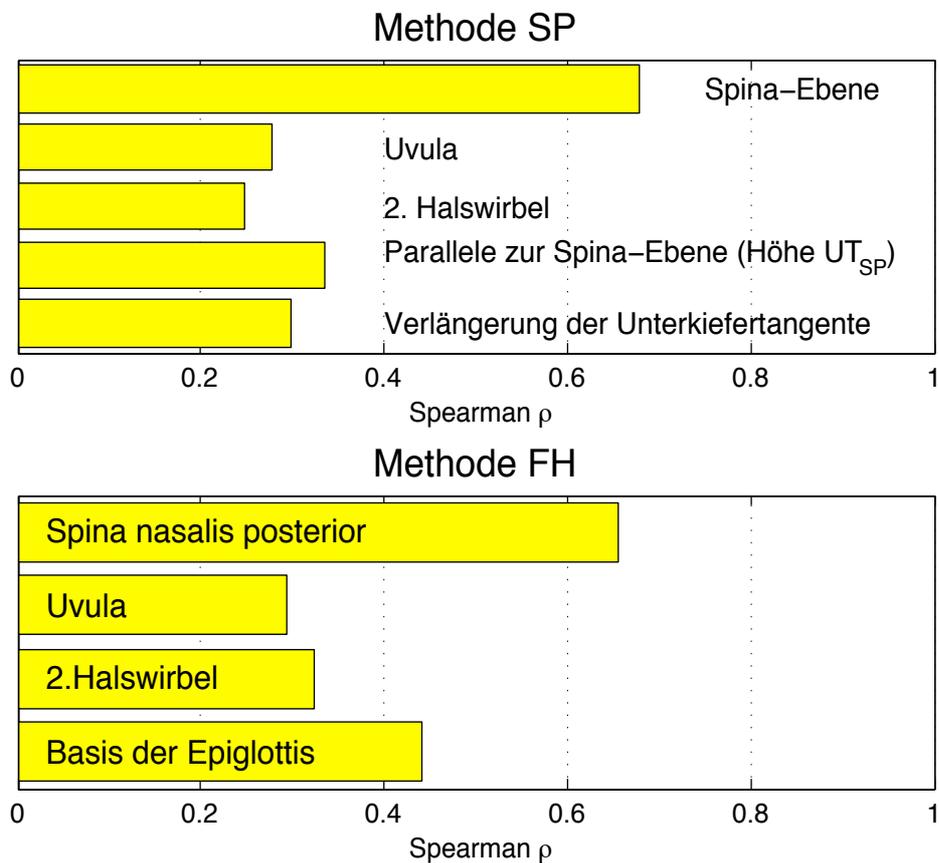


Abb.26: Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die oberen Teilvolumina und die sagittalen Strecken beider Methoden. Nur im Bereich der Gaumenebene gab es einen schwachen Zusammenhang (jeweils oberster Balken).

Ergebnisse

5.4.5. Oberes Teilvolumen und transversale Strecken

Die transversalen Streckenmessungen korrelierten mit Ausnahme der Strecke im Bereich der Basis der Epiglottis ($\rho = 0,436$) bei beiden Methoden schwach mit dem oberen Teilvolumen (Abb.27). Die Werte für Spearman ρ betragen auf allen anderen Messebenen zwischen 0,546 und 0,697.

Die Nullhypothese „Das obere Teilvolumen korreliert *nicht* mit den vier transversalen Strecken“ wird mit Ausnahme der Basis der Epiglottis bei Messungen bezogen auf die FH widerlegt ($p = 0,000$). Es wird die Alternativhypothese „Das obere Teilvolumen korreliert mit den vier transversalen Strecken“ mit $p = 0,000$ angenommen.

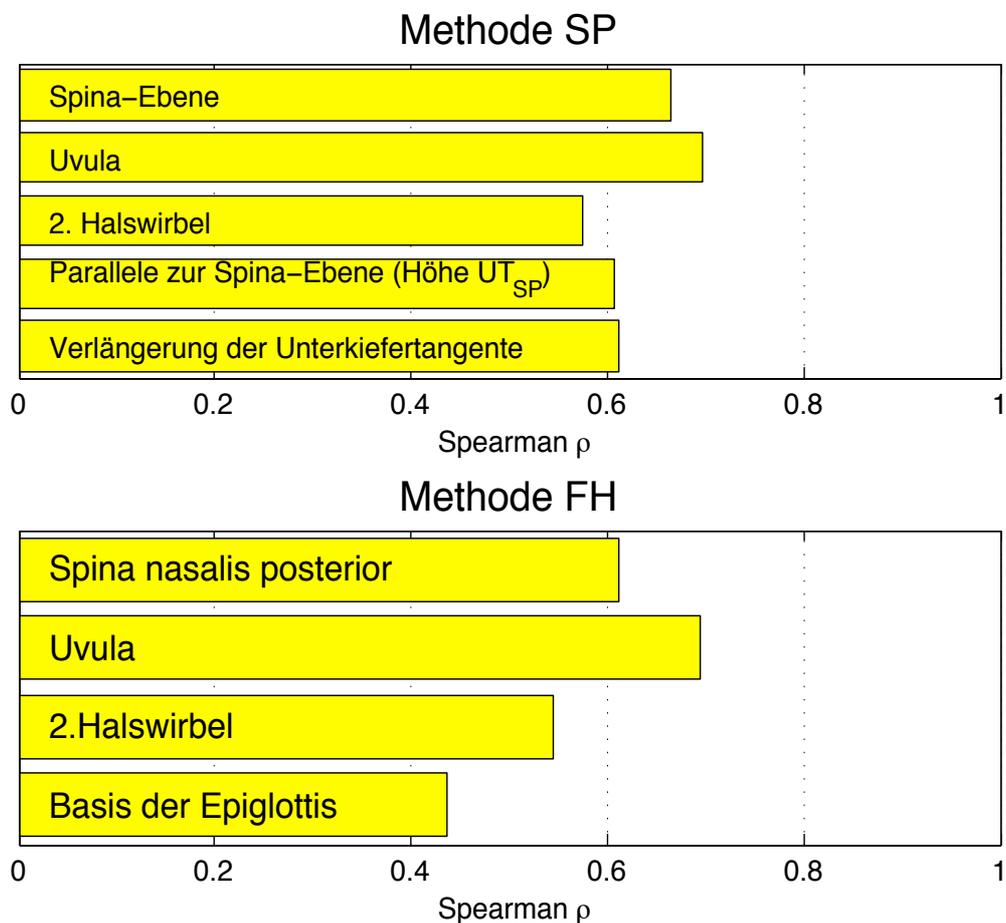


Abb.27: Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die oberen Teilvolumina und die transversalen Strecken beider Methoden. Mit Ausnahme der Strecke im Bereich des Kehledeckels (Epiglottis) gab es auf allen Messebenen besonders auf Höhe des Zäpfchens (Uvula) eine schwache Korrelation.

Ergebnisse

5.4.6. Oberes Teilvolumen und Flächenmessungen

Alle Flächenmessungen korrelierten schwach mit dem oberen Teilvolumen, wobei der Zusammenhang auf Höhe der Basis der Epiglottis bei Messungen bezogen auf die FH mit $\rho = 0,505$ und im Bereich des zweiten Halswirbels mit $\rho = 0,593$ bei Messungen bezogen auf die SP sehr gering war (Abb.28). Höchste Werte für Spearman ρ ergaben sich im Bereich des harten Gaumens ($\rho = 0,733$) und der Uvula ($\rho = 0,715$) bei beiden Bezugsebenen. Die Nullhypothese „Das obere Teilvolumen korreliert *nicht* mit den vier Flächenmessungen“ wird mit $p = 0,000$ abgelehnt, die Alternativhypothese „Das obere Teilvolumen korreliert mit den vier Flächenmessungen“ wird mit $p = 0,000$ angenommen.

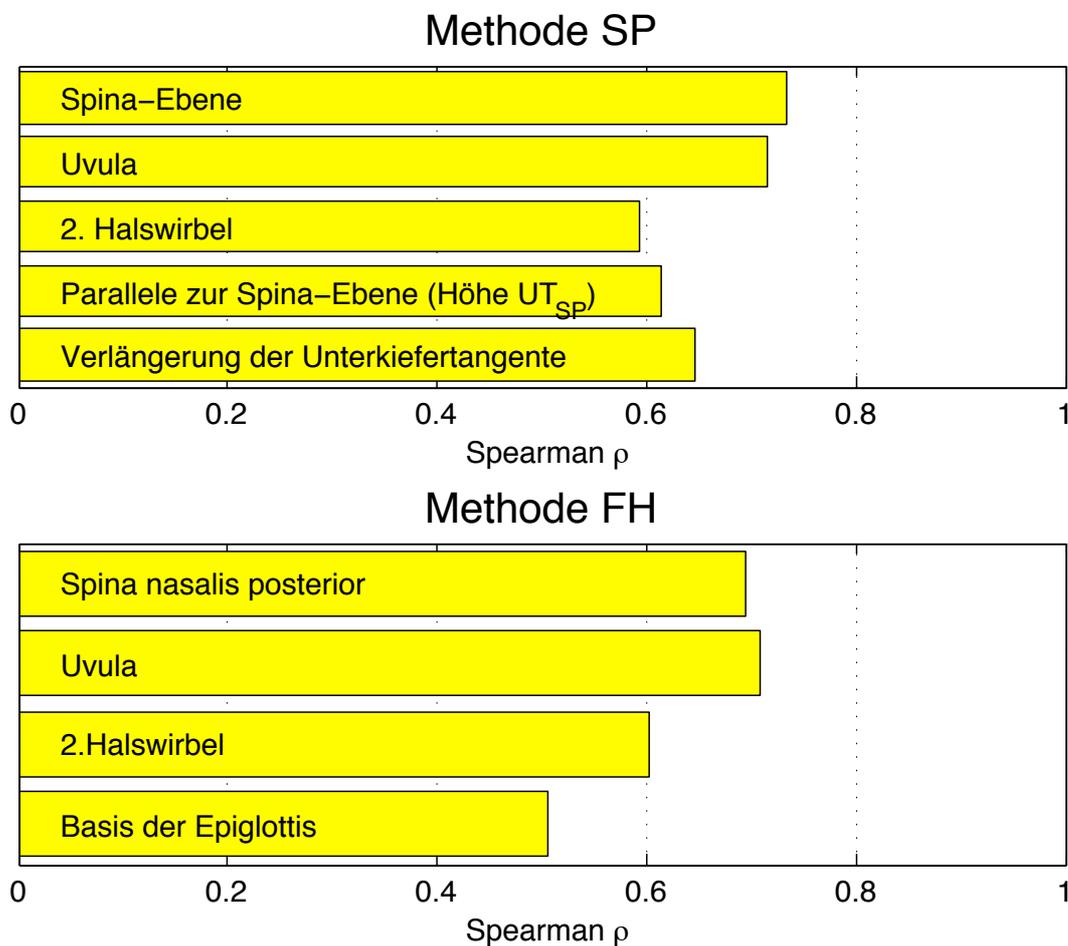


Abb.28: Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die oberen Teilvolumina und die Flächenmessungen beider Methoden. Besonders im Bereich des Gaumens und Zäpfchens gab es unabhängig von der Bezugsebene schwache Korrelationen.

Ergebnisse

5.4.7. Unteres Teilvolumen und sagittale Strecken

Das untere Teilvolumen, das von UT_{SP} begrenzt war, betrug in 34 Fällen null (m:w = 18:16) und das von UT_V begrenzte untere Volumen betrug in 43 Fällen null (m:w = 24:19), siehe Tab.25. Somit wurde bei Messungen bezogen auf die Spina-Ebene in 13,08 % der Fälle das untere Volumen durch die Parallele zur Spina-Ebene auf Höhe des Schnittpunkts der Unterkiefertangente mit dem Atemweg weggeschnitten. Durch die Verlängerung der Unterkiefertangente wurde in 16,5% der Fälle das untere Volumen weggeschnitten. Dies wird in Tab.25 bei den Minimalwerten bezogen auf die SP mit dem Betrag 0 deutlich.

Tab.26: Tabellarische Darstellung der Minima, Maxima, Medianwerte und der Standardabweichung für die unteren Teilvolumina bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH) und Spina-Ebene (SP). Das größte Atemwegsvolumen resultierte im Median in Relation zur FH.

Unteres Teilvolumen Bezugsebene	Minimum [mm ³]	Maximum [mm ³]	Median [mm ³]	Standardab- weichung [mm ³]
SP begrenzt von UT_{SP}	0	7639	1027	1343
SP begrenzt von UT_V	0	6539	547	1065
FH	282	30726	5525	4071

Bezogen auf die SP war das von der Parallele zu SP begrenzte untere Volumen im Median fast zweimal so groß wie das von der verlängerten Unterkiefertangente begrenzte untere Volumen.

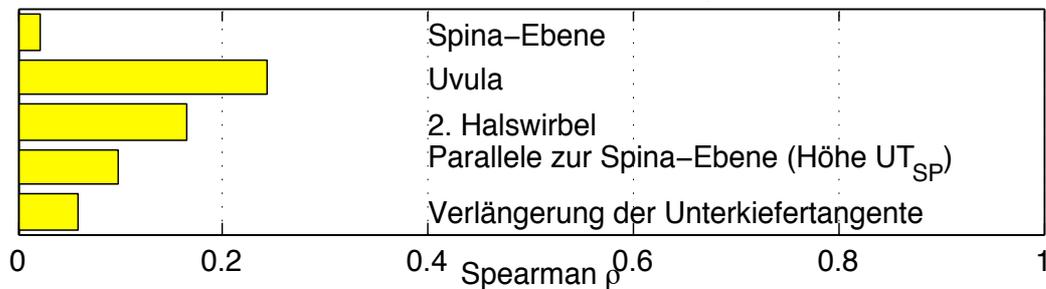
Wie Abbildung 29 zeigt, existierte nur ein schwacher Zusammenhang zwischen dem unteren Teilvolumen und der sagittalen Strecke im Bereich der Basis der Epiglottis ($\rho = 0,726$) bei Messungen bezogen auf die FH. Die Ergebnisse für die Spina-Ebene und die Unterkiefertangente bei Methode SP erfüllten nicht das festgelegte Signifikanzniveau von $p = 0,05$ (Tab.26). Die Nullhypothese „Das untere Teilvolumen korreliert mit den vier sagittalen Strecken“ wird mit Ausnahme des Messwerts auf Höhe der Basis der Epiglottis bei Messungen bezogen auf die FH verworfen. Angenommen wird mit dieser einen Ausnahme die Alternativhypothese „Das untere Teilvolumen korreliert *nicht* mit den vier sagittalen Strecken“.

Ergebnisse

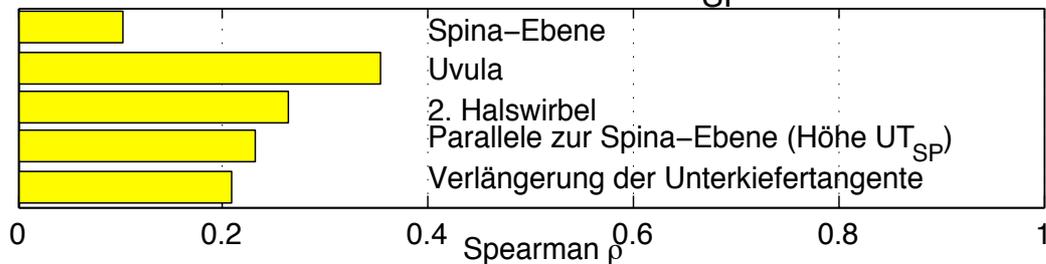
Tab. 27: Tabellarische Darstellung der p-Werte für die Korrelation des unteren Volumens mit den sagittalen Strecken bei Messungen bezogen auf SP. Korrelationen mit dem von der verlängerten Unterkiefertangente begrenzten Volumen entsprachen dem Signifikanzniveau häufig nicht.

Sagittale Variablen/ unteres Volumen be- grenzt von UT_V	p-Wert	Sagittale Variablen/ unteres Volumen be- grenzt von UT_{SP}	p-Wert
SP	0,719	SP	0,098
SP Uvula	0,000	SP Uvula	0,000
SP 2.HW	0,008	SP 2.HW	0,000
SP UT_{SP}	0,116	SP UT_{SP}	0,000
SP UT_V	0,336	SP UT_V	0,001

Methode SP UT_V



Methode SP UT_{SP}



Methode FH

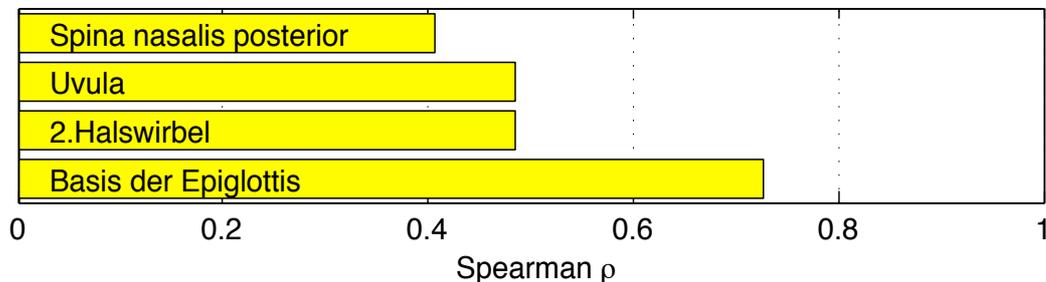


Abb.29: Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die unteren Teilvolumina und die sagittalen Strecken beider Methoden. Nur im Bereich des Kehldeckels (Epiglottis) in Relation zur FH ließ sich eine schwache Korrelation feststellen.

Ergebnisse

Tab. 28: Tabellarische Darstellung der p-Werte für die Korrelation des unteren Volumens mit den sagittalen Strecken bei Messungen bezogen auf FH. Alle Korrelationen waren hochsignifikant.

Sagittale Variablen/ unteres Volumen bezogen auf FH	p-Wert
FH PNS	0,000
FH Uvula	0,000
FH 2. HW	0,000
FH Basis Epiglottis	0,000

5.4.8. Unteres Teilvolumen und transversale Strecken

Zwischen dem unteren Teilvolumen und den transversalen Strecken gab es nur bei Messungen in Relation zur FH einen schwachen Zusammenhang (Abb.30). Hier wiesen die Messwerte eine Korrelation von $\rho \geq 0,612$ auf Höhe des zweiten Halswirbels, der Uvula und der Basis der Epiglottis auf. Die Ergebnisse für die Spina-Ebene, Uvula und den zweiten Halswirbel erreichten das Signifikanzniveau von $p = 0,05$ nicht (Tab.28).

Die Nullhypothese „Das untere Teilvolumen korreliert *nicht* mit den vier transversalen Strecken“ wird für Messungen bezogen auf die SP und die Spina nasalis posterior bei Messungen bezogen auf die FH angenommen. Für Messungen in Relation zur FH wird im Bereich der Uvula, des zweiten Halswirbels und der Basis der Epiglottis die Alternativhypothese „Das untere Teilvolumen korreliert mit den vier transversalen Strecken“ mit $p = 0,000$ angenommen.

Tab. 29: Tabellarische Darstellung der p-Werte für die Korrelation des unteren Volumens mit den transversalen Strecken bei Messungen bezogen auf SP. Korrelationen mit dem von der verlängerten Unterkiefertangente begrenzten Volumen entsprachen häufig nicht dem Signifikanzniveau.

Transversale Variablen/ unteres Volumen be- grenzt von UT_V	p-Wert	Transversale Variablen/ unteres Volumen be- grenzt von UT_{SP}	p-Wert
SP	0,661	SP	0,240
SP Uvula	0,135	SP Uvula	0,003
SP 2.HW	0,246	SP 2.HW	0,006
SP UT_{SP}	0,000	SP UT_{SP}	0,000
SP UT_V	0,000	SP UT_V	0,000

Ergebnisse

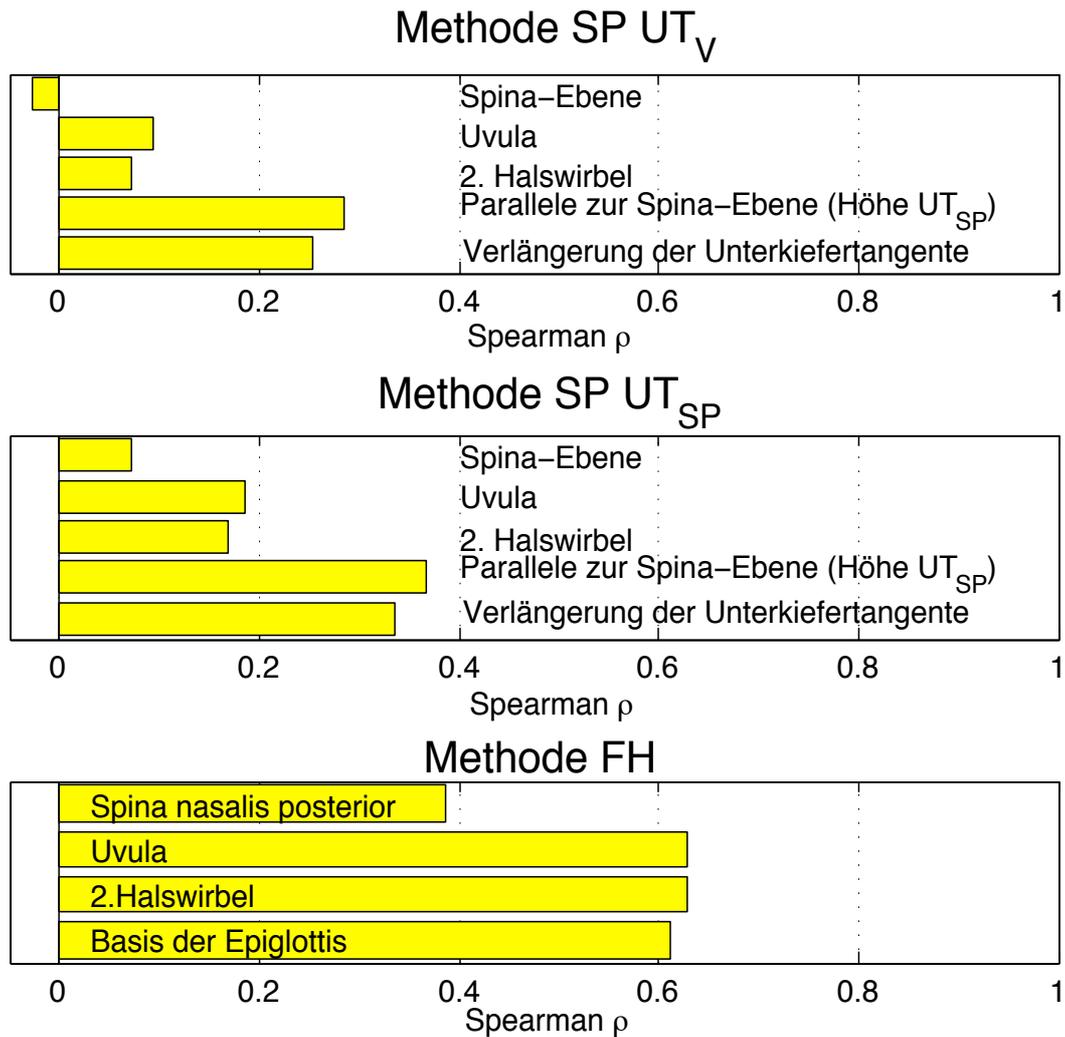


Abb.30: Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die unteren Teilvolumina und die transversalen Strecken beider Methoden. Nur im Bereich des Zäpfchens (Uvula), des zweiten Halswirbels (2.HW) und des Kehldeckels bezogen auf die FH gab es schwache Korrelationen.

Tab. 30: Tabellarische Darstellung der p-Werte für die Korrelation des unteren Volumens mit den transversalen Strecken bei Messungen bezogen auf FH. Alle Korrelationen waren hochsignifikant.

Transversale Variablen/ unteres Volumen bezogen auf FH	p-Wert
FH PNS	0,000
FH Uvula	0,000
FH 2. HW	0,000
FH Basis Epiglottis	0,000

Ergebnisse

5.4.9. Unteres Teilvolumen und Flächenmessungen

Eine signifikante Korrelation zwischen dem unteren Teilvolumen und den axialen Flächenmessungen findet sich nur bei Messungen bezogen auf die FH bei den Messwerten auf Höhe der Uvula, des zweiten Halswirbels und der Basis der Epiglottis (Abb.31). Die Ergebnisse für Messungen im Bereich der Spina nasalis posterior bezogen auf die SP erreichten das Signifikanzniveau von $p = 0,05$ nicht (Tab.30). Die Nullhypothese „Das untere Teilvolumen korreliert *nicht* mit den vier Flächenmessungen“ wird also für Messungen in Relation zur FH mit Ausnahme der Ergebnisse auf Höhe der Spina nasalis posterior mit $p = 0,000$ abgelehnt (Tab.30). Die Alternativhypothese „Das untere Teilvolumen korreliert mit den vier Flächenmessungen“ wird für Messungen bezogen auf die FH mit Ausnahme der Spina nasalis posterior mit $p \leq 0,000$ angenommen.

Tab. 31: Tabellarische Darstellung der p-Werte für die Korrelation des unteren Volumens mit den axialen Strecken bei Messungen bezogen auf SP. Messungen auf Höhe des harten Gaumens erreichten das Signifikanzniveau von $p = 0,05$ nicht.

Axiale Variablen/ unteres Volumen be- grenzt von UT_V	p-Wert	Axiale Variablen/ unteres Volumen be- grenzt von UT_{SP}	p-Wert
SP	0,977	SP	0,208
SP Uvula	0,002	SP Uvula	0,000
SP 2.HW	0,011	SP 2.HW	0,000
SP UT_{SP}	0,003	SP UT_{SP}	0,000
SP UT_V	0,018	SP UT_V	0,000

Tab. 32: Tabellarische Darstellung der p-Werte für die Korrelation des unteren Volumens mit den axialen Strecken bei Messungen bezogen auf FH. Alle Korrelationen waren hochsignifikant.

Axiale Variablen/ unteres Volumen bezogen auf FH	p-Wert
FH PNS	0,000
FH Uvula	0,000
FH 2. HW	0,000
FH Basis Epiglottis	0,000

Ergebnisse

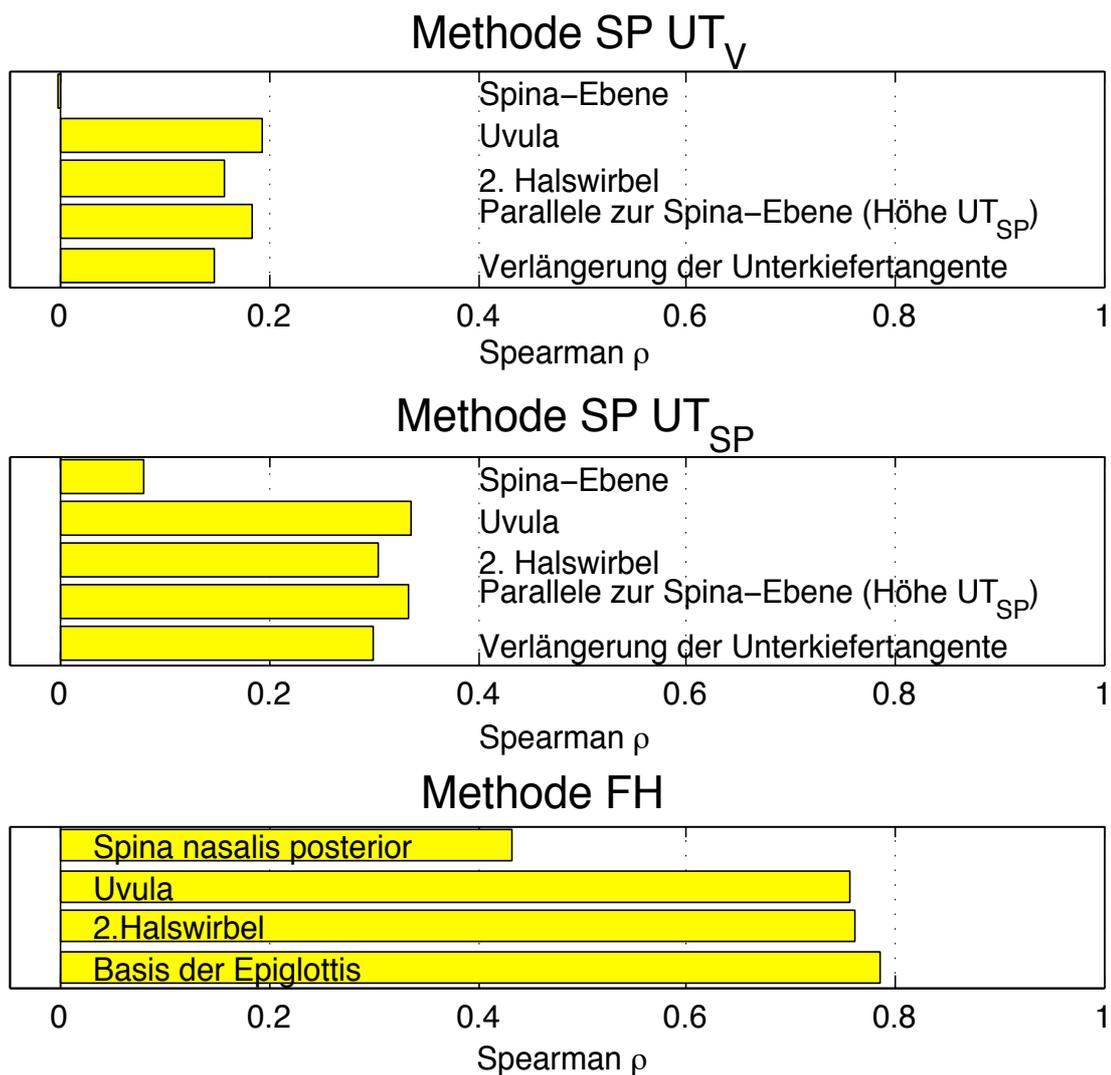


Abb.31: Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die unteren Teilvolumina und die Flächenmessungen beider Methoden. Nur bei Messungen bezogen auf die FH im Bereich des Zäpfchens, des zweiten Halswirbels und des Kehldeckels (Epiglottis) gab es einen schwachen Zusammenhang.

6. DISKUSSION

In vorliegender Studie wurde mittels dentaler Volumetomographie (DVT) anhand zweier Methoden die Ausdehnung des oberen Atemwegs in allen drei Dimensionen erfasst und das Gesamtvolumen sowie oberes und unteres Teilvolumen berechnet. Das als Methode SP bezeichnete Vorgehen entspricht Empfehlungen u.a. von *Hinz und Heise* 2008 [91]. Die Bezugsebene ist hier die Spina-Ebene (SP). Das als Methode FH bezeichnete Vorgehen verwendet als Bezugsebene die Frankfurter Horizontale (FH). Beide Methoden wurden mit einem Teil des Vorgehens bei *Shigeta et al.* 2009 [92] kombiniert. Mithilfe einer Auswertungssoftware wurden 260 Patienten im Alter von 5 - 69 Jahren bei einem Geschlechterverhältnis von 1:1 untersucht. Da pro Patient 36 unterschiedliche Messungen vorgenommen wurden, ergaben sich insgesamt 9360 Messwerte. Weil DVT-Datensätze in der modernen Kieferorthopädie, Kieferchirurgie, Funktionsdiagnostik und Implantologieplanung zunehmend routinemäßig erhoben werden, sind sie für eine Analyse der posterioren Atemwege ohnehin vorhanden [87]. Vorteile des Studiendesigns waren also die einfache Durchführung sowie Beschaffung des Studienguts und die kontrastreiche dreidimensionale Darstellbarkeit von Knochen- und Weichgewebe. Außerdem ist die Strahlenexposition bei der DVT im Vergleich zur CT um den Faktor 4 geringer [4,84,153,154].

6.1. Bestimmung der Methodenfehler, Reproduzierbarkeit

Die Messungen beider Methoden wurden an 60 DVTs im Abstand von mindestens 38 Tagen vom gleichen Untersucher wiederholt. Mittels der Formel für den Methodenfehler δ nach Dahlberg und des Zuverlässigkeitskoeffizienten Z nach Houston wurde die Reproduzierbarkeit untersucht. Im Folgenden eine Beschreibung der Literatur, die zum Vergleich des Methodenfehlers herangezogen werden konnte:

Aydemir et al. [158] untersuchten im Jahr 2012 die Auswirkungen auf den posterioren Atemweg an entwickelten Fernröntgenseitenbildern (FRS) von 48 Erwachsenen vor und nach kieferchirurgischen Eingriffen. Wiederholungsmessungen wurden von derselben Person unter Zuhilfenahme von Acetatpapier durchgeführt. *Aydemir et al.* wiesen je nach Variable mit 99,16 % - 99,85 % bei den FRS-Röntgenfilmen eine niedrigere Relia-

bilität nach als die vorliegende Studie an Dentalen Volumetomogrammen (DVT). Das lässt den Schluss zu, dass eine digitale Messung einer manuellen auf Papier in jedem Fall vorzuziehen ist. Dies liegt in der simplen, schnellen Vergrößerungsmöglichkeit und dem präziseren Messinstrument bei digitaler Bildgebung begründet.

Auch *Martin et al.* [94] untersuchten 2006 FRS von 55 Männern und 36 Frauen zwischen 19 und 40 Jahren mit idealer Okklusion unabhängig von der Angle-Klassifikation ohne schlafmedizinische Auffälligkeiten. Dazu digitalisierten sie die FRS und nutzten ein nicht näher beschriebenes Computerprogramm für die Vermessung. Männer hatten eine größere Schädelbasis, größere Nasenhöhle und dickere Adenoide (Mandeln) als Frauen. Außerdem wurde die geringste sagittale Distanz zwischen weichem Gaumen bzw. dem Schnittpunkt zwischen Zungengrund und Kieferwinkel zur Pharynxrückwand gemessen. Die geringste Reproduzierbarkeit ergab sich mit 97,05 % im Bereich des Zungengrundes. Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit wurden bei *Martin et al.* die Messungen an 25 FRS vom gleichen Untersucher wiederholt. Die nach Dahlberg und Houston errechnete Reproduzierbarkeit ergab 97,05 % - 99,76 %, je nachdem welche Variable betrachtet wurde. Interessanterweise liegen die Reproduzierbarkeitswerte auch für digitalisiert vermessene FRS stark unter denen dieser Arbeit. Das könnte am Bildqualitätsverlust beim Einscannen der FRS-Filme oder an einem ungenaueren Messinstrument liegen.

2009 untersuchten *Shigeta et al.* [92] an Computertomogrammen (CT) von 25 OSAHS-Patienten (19 Männer, 6 Frauen) und 20 gesunden Probanden (12 Männer, 8 Frauen) die obere Atemwegslänge und die Länge des weichen Gaumens in der Midsagittalebene. Die obere und untere Begrenzung des Atemwegs wurde auf Höhe der Spina nasalis posterior (hinterer Nasendorn) und der Spitze der Epiglottis (Kehledeckel) festgelegt. Sie fanden heraus, dass OSAHS-Patienten einen längeren weichen Gaumen in Proportion zur gesamten Atemwegslänge im Vergleich zu Gesunden als auch Männer verglichen mit Frauen haben. Um die Wiederholbarkeit der Messungen zu testen, wurden die CTs von je 10 OSAHS-Fällen und 10 Kontrollfällen nach 60 Tagen vom gleichen Untersucher erneut vermessen. Der Intraclass Correlation Coefficient (ICCC) betrug 99,7 % für die Länge des weichen Gaumens und 99,8 % für die Atemwegslänge.

Shigeta et al. [95] vermaßen im Jahr 2008 Dentale Volumetomogramme (DVT) von 15 OSAHS-Patienten (11 Männer, 4 Frauen) und 14 gesunden Probanden (8 Männer, 6 Frauen) auf Höhe des untersten, vordersten Punkts des zweiten Halswirbels ohne Angaben zur Bezugsebene. Die DVTs wurden in Rückenlage aufgenommen. Der anterior-

posteriore und laterale Atemwegsdurchmesser sowie die axiale Fläche zeigten keine statistisch signifikanten Unterschiede zwischen OSAHS-Patienten und Gesunden. Zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit wurden 29 DVTs nach zwei Wochen vom gleichen Untersucher verblindet noch einmal vermessen. Die Zuverlässigkeitskoeffizienten betrugen 99,4 % für den sagittalen Atemwegsdurchmesser, 99,6 % für die axiale Fläche und 99,8 % für den lateralen Atemwegsdurchmesser.

Die Reproduzierbarkeit in vorliegender Studie ist (bei vergleichbarer allgemeiner Methodik) mit Werten zwischen 99,62% und 99,98% überwiegend höher als diejenige der o.g. Untersuchungen an CT- bzw. DVT-Aufnahmen. Das hier gewählte Vorgehen und die dazugehörige technische Ausstattung können bezüglich der Reliabilität für klinische Untersuchungen allgemein sehr gut empfohlen werden. Nachfolgend werden die beiden Bezugsebenen und die Variablen differenziert diskutiert.

6.1.1. Lineare sagittale Messungen

Die im Mittel geringste Differenz zur Reliabilitätsmessung bei sagittalen Strecken gab es mit 0,01 mm bezogen auf die FH im Bereich des zweiten Halswirbels und bezogen auf die SP auf Höhe des Zäpfchens (Uvula) mit 0,04 mm. In diesem Bereich des posterioren Atemwegs waren auch die kürzesten Streckenmessungen zu finden. Die längsten Streckenmessungen ergaben sich bezogen auf die FH für die Atemwegslänge (AWL). Die dazugehörige Reliabilitätsmessung wies im Mittel auch die höchsten Differenzen von -0,22 mm auf. Das negative Vorzeichen zeigt an, dass die Wiederholungsmessung für diese Variable im Mittel größer war als die erste Messung. Die in dieser Studie ermittelten Zuverlässigkeitskoeffizienten Z für die sagittalen Messungen entsprachen bezogen auf die Spina-Ebene (SP) mit $Z \geq 99,81\%$ und bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH) mit $Z \geq 99,62\%$ vollständig der Reproduzierbarkeit der o.g. Untersuchungen von *Martin et al.* [94] und *Shigeta et al.* [92]. Die sagittalen Variablen beider Bezugsebenen können aufgrund guter Reliabilität zur Vermessung der oberen Atemwege empfohlen werden.

Verglichen mit der Studie von *Oh et al.* [105], die 15 ihrer 60 DVT-Aufnahmen im Abstand von 7 Tagen vom gleichen Untersucher noch einmal vermessen ließen, hat vorliegende Studie trotz eines längeren Messabstands von 38 Tagen genauere Ergebnisse. *Oh et al.* hatten Abweichungen von 0,39 mm bis 2,14 mm bei linearen Messungen. Vorliegende Arbeit weist lediglich Messdifferenzen von 0,01 mm bis 0,22 mm bei linearen Messungen auf. Das könnte an einer größeren Schichtdicke (0,3 mm), einem etwas

anderen Field of View (FOV, 20x19 cm) und einem anderen DVT-Scanner bei *Oh et al* liegen. Diese Forschungsgruppe verwendete ebenfalls das Programm InVivo 5[®] aber den DVT-Scanner Master 3D dental imaging system (Vatech Inc, Seoul, Korea). Die in vorliegender Studie vermessenen DVTs wurden mit einer Voxelgröße von 0,25 mm, 0,3 mm oder 0,4 mm bei einer Höhe des Field of View (FOV) von 13 cm, 17 cm oder 21 cm angefertigt. Der verwendete DVT-Scanner war der MESANTIS *line* (Fa. Imaging Sciences International Inc., Hatfield, USA).

Es muss darauf hingewiesen werden, dass *Oh et al.* nur DVTs von Kindern untersuchten und diese Arbeit auch DVTs von Erwachsenen einbezieht. Insofern können die Streckenmessungen nur bedingt miteinander verglichen werden. Bezüglich der Messparameter und der Stichprobengröße der vorliegenden Studie direkt vergleichbare Arbeiten sind in der Literatur zum jetzigen Zeitpunkt leider nicht zu finden.

6.1.2. Lineare transversale Messungen

Die einzige in der Literatur gefundene DVT-Studie, die eine vergleichbare Variable bezüglich der transversalen Atemwegsdimension festgelegt hat, ist die von *Shigeta et al.* 2008 [95]. Diese Arbeitsgruppe hatte bei 29 Wiederholungsmessungen nach 14 Tagen durch den gleichen Untersucher eine gute Reliabilität von 99,8 %. Dieser Wert wurde für Messungen auf Höhe der Unterkante des zweiten Halswirbels ermittelt. In vorliegender Arbeit betrug die Zuverlässigkeit auf Höhe der Unterkante des zweiten Halswirbels bezogen auf die FH sowie die SP jeweils 99,95 % und war damit derjenigen von *Shigeta et al.* noch überlegen. Die ermittelten Zuverlässigkeitskoeffizienten Z für die transversalen Messungen waren besser als die der sagittalen Variablen und übertrafen mit Z zwischen 99,75 % und 99,96 % überwiegend die Reproduzierbarkeit bei den Untersuchungen von *Shigeta et al.* [95]. Trotz geringfügig höherer Messabweichungen für die Basis der Epiglottis in Relation zur FH ($Z = 99,75$ %) können die transversalen Variablen beider Bezugsebenen aufgrund hoher Reliabilität zur Vermessung der oberen Atemwege empfohlen werden.

6.1.3. Flächenmessungen

Es gab bezogen auf die FH im Bereich der Spina nasalis posterior (PNS) zwar keine auffällig geringe Reproduzierbarkeit, die Messabweichungen waren hier trotzdem am Höchsten. Das könnte daran liegen, dass die Fläche auf Höhe des harten Gaumens im Median bei Messungen bezogen auf die FH die Größte war.

Verglichen mit der Studie von *Oh et al.* [105] zeigt vorliegende Studie auch bei Flächenmessungen genauere Ergebnisse. *Oh et al.* hatten Abweichungen von 9,79 mm² bis 34,58 mm² bei Flächenmessungen. Diese Arbeit wies nur Abweichungen von 0,21 mm² bis 7,55 mm² auf. Da *Oh et al.* nur DVTs von Kindern untersuchten und diese Arbeit auch DVTs von Erwachsenen einbezieht, können die Flächenmessungen nur teilweise miteinander verglichen werden.

Die einzige vergleichbare axiale Flächenmessung im DVT fand sich bei *Shigeta et al.* 2008 [95]. Diese Arbeitsgruppe hatte für die axiale Fläche im Bereich der Unterkante des zweiten Halswirbels eine Reproduzierbarkeit von 99,6 % (Angaben zur Bezugsebene fehlen). Die Zuverlässigkeitskoeffizienten *Z* nach Houston für die Flächenmessungen übertreffen mit *Z* zwischen 99,78 % und 99,98 % die Reproduzierbarkeit der Untersuchung von *Shigeta et al.* [95] und waren denjenigen der transversalen Variablen wiederum überlegen. Aufgrund dessen kann auch das Vorgehen in Relation zu FH und SP zur Vermessung der axialen Flächen für klinische Untersuchungen sehr gut empfohlen werden.

6.1.4. Gesamtvolumen

Bei Messungen des Gesamtvolumens bezogen auf die FH gab es im Median etwas höhere Messabweichungen zwischen erster und zweiter Messung als bei Volumenmessungen in Relation zur SP. Es gab jedoch keine auffällig geringere Reproduzierbarkeit für das Gesamtvolumen bezogen auf die FH. Aufgrund der unterschiedlichen unteren Begrenzung des Gesamtvolumens bei beiden Methoden gab es in Relation zur FH im Median größere Gesamtvolumina. Die Zuverlässigkeitskoeffizienten für die Messungen der Gesamtvolumina wiesen mit *Z* zwischen 99,94 % und 99,98 % sehr hohe Werte auf. Die Vorgehensweise für die Bestimmung des Gesamtvolumens kann für beide Bezugsebenen aufgrund sehr hoher Reproduzierbarkeitswerte empfohlen werden.

Verglichen mit der Studie von *Oh et al.* [105], die 15 ihrer 60 DVT-Aufnahmen im Abstand von 7 Tagen vom gleichen Untersucher noch einmal vermessen ließen hat die vorliegende Studie genauere Ergebnisse. *Oh et al.* hatten Abweichungen von 119,46 mm³ bis 165,90 mm³ bei Volumenmessungen. Diese Arbeit weist bei einem Messabstand von mindestens 38 Tagen lediglich Messdifferenzen von 101,00 mm³ bis 143,00 mm³ bei Volumenmessungen auf. Auch hier wieder der Hinweis, dass *Oh et al.* nur DVTs von Kindern untersuchten und diese Arbeit auch DVTs von Erwachsenen einbezieht. Die Gesamtvolumina beider Arbeiten können also nur bedingt miteinander vergli-

chen werden. Zum jetzigen Zeitpunkt ist in der Literatur keine Arbeit zu finden die eine vergleichbare Methodik bezüglich der Gesamt- und Teilvolumina aufweist.

6.1.5. Oberes Teilvolumen

Obwohl der Medianwert für das obere Teilvolumen bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH) etwas höher war als jener bezogen auf die SP, wies das obere Teilvolumen bezogen auf die FH mit $105,50 \text{ mm}^3$ um 10 % geringere Messdifferenzen auf als das obere Volumen in Relation zur Spina-Ebene (SP, $116,50 \text{ mm}^3$). Der Methodenfehler δ nach Dahlberg war beim oberen Teilvolumen bezogen auf die Spina-Ebene mit 0,0215 (2,15 %) etwa 20% größer als bei jenem bezogen auf die FH (1,8 %). Auch der Zuverlässigkeitskoeffizient Z nach Houston war bezogen auf die FH mit 99,95% geringfügig höher als bezogen auf die SP (99,92 %). Aufgrund dieser Ergebnisse ist die Frankfurter Horizontale als Bezugsebene für Volumenmessungen im Bereich des Oropharynx (Rachen im Mundbereich) der Spina-Ebene vorzuziehen.

6.1.6. Unteres Teilvolumen

Je nach Methode wurde das untere Teilvolumen nach oben (kranial) durch eine Parallele zur Spina-Ebene (SP) bzw. zur Frankfurter Horizontalen (FH) durch die Uvulaspitze getrennt. Bezogen auf SP war das untere Teilvolumen nach unten (kaudal) einmal begrenzt durch die verlängerte Unterkiefertangente (UT_V) und ein andermal durch eine Ebene parallel zu SP am Schnittpunkt der Unterkiefertangente mit der Vorderwand des Atemwegs (UT_{SP} , Abb.4). Auf diese Weise entstanden für die unteren Teilvolumina der Methode SP zwei Messwerte pro Patient. Bei Methode FH war die obere Begrenzung eine Parallele zu FH durch die Uvulaspitze und die untere Begrenzung eine Parallele zu FH durch die Basis der Epiglottis (Abb.5). Bei Messungen des unteren Teilvolumens bezogen auf die FH gab es mit $-11,00 \text{ mm}^3$ geringfügig höhere Messabweichungen als in Relation zur SP ($-0,50 \text{ mm}^3$ bzw. $8,50 \text{ mm}^3$). Die geringste Differenz zwischen erster Messung und Reliabilitätsmessung resultierte mit nur $-0,50 \text{ mm}^3$ bezogen auf die SP bei dem von UT_{SP} begrenzten unteren Teilvolumen. Bezogen auf die SP war das von der Parallele zu SP begrenzte untere Volumen im Median fast doppelt so groß wie das von der verlängerten Unterkiefertangente (UT_V) begrenzte untere Volumen. Der Fehler nach Dahlberg ist für das von UT_V begrenzte Volumen mit $\delta = 11,53 \%$ um etwa 9 % größer als jenes begrenzt durch UT_{SP} ($\delta = 2,75 \%$) oder jenes in Relation zur FH ($\delta = 2,02 \%$). Obwohl das von UT_V begrenzte Volumen mit $Z = 0,9962$ noch eine akzeptable Repr-

duzierbarkeit aufwies, kann wegen des hohen Methodenfehlers die Verlängerung der Unterkiefertangente als Begrenzung für Volumenmessungen des posterioren Atemwegs nicht empfohlen werden.

Der Zuverlässigkeitskoeffizient Z für das untere Teilvolumen ist mit 99,62 % - 99,94 % niedriger als derjenige für das obere Teilvolumen und das Gesamtvolumen. Auch für das untere Teilvolumen fehlt wieder eine wenn auch nur in Teilen vergleichbare Arbeit in der Literatur.

6.2. Korrelationsanalysen linearer Messungen zur Erfassung der posterioren Atemwege

6.2.1. Länge des posterioren Atemwegs

Die Atemwegslänge in Relation zur Frankfurter Horizontale (FH) korrelierte insgesamt stärker positiv oder negativ und häufiger signifikant mit dem Alter als die Atemwegslänge in Relation zur Spina-Ebene (SP, Tab.18). Bezogen auf die Spina-Ebene gab es keinen oder einen nur schwachen Zusammenhang zwischen Atemwegslänge und Alter. Insofern sollte die FH für aussagekräftige, klinische Messungen der SP vorgezogen werden. Folgende Literatur konnte zur Betrachtung der Atemwegslänge in Bezug auf Alter und Geschlecht herangezogen werden:

Shigeta et al. [92] wählten 2009 als Bezugsebene die Spina-Ebene und legten die Länge des Atemwegs auf die Strecke zwischen Spina nasalis posterior und Oberkante der Epiglottis (Kehlideckel) fest (n=45). Die Länge des Atemwegs betrug im Median bei den Männern 45,0 mm und bei den Frauen 44,0 mm. In vorliegender Arbeit (n=260) betrug die Länge des Atemwegs bezogen auf die Spina-Ebene im Median 41,52 mm bei den Männern und 36,98 mm bei den Frauen. Die besonders bei den Frauen stark abweichenden Werte könnten in der wesentlich kleineren Stichprobe bei *Shigeta et al.* begründet liegen. Außerdem bezieht diese Arbeit auch Kinder mit ein, was die insgesamt niedrigeren Medianwerte bei beiden Geschlechtern erklärt. In der Untersuchung an CTs von OSAHS-Patienten (n = 25) und Gesunden (n = 20) fanden *Shigeta et al.* 2009 [92] keinen signifikanten Unterschied. Die vorliegende Arbeit deckte aber einen signifikanten Unterschied in der Atemwegslänge zwischen den Geschlechtern bei den über 50 – Jährigen auf. Im Gegensatz zu den Frauen korrelierte bei den 50 – 65 -jährigen Männern die Atemwegslänge bezogen auf die FH mit $\rho = -0,382$ ($p = 0,037$) gering signifikant negativ mit dem Alter (Tab.18, Abb.14 und 15).

Malhotra et al. [96] fanden 2006 bei Magnetresonanztomogrammen von gesunden Menschen mittleren Alters (35 - 65 Jahre, 18 Männer, 20 Frauen) keine signifikante altersabhängige Längenänderung des Atemwegs ($p = 0,110$). Diesen definierten sie als Distanz zwischen hartem Gaumen und der Epiglottis (Kehldeckel); genauere Angaben fehlen. Die Referenzebene bei *Malhotra et al.* war wie in dieser Arbeit bei Methode FH die Frankfurter Horizontale. *Malhotra et al.* stellten fest, dass Frauen im Gegensatz zu Männern eine signifikant größere Längenzunahme des oberen Atemwegs mit steigendem Alter aufweisen ($p = 0,004$). Die Ergebnisse beider Bezugsebenen in vorliegender Studie widersprechen *Malhotras* Ergebnissen bezüglich der Atemwegslänge der Frauen: Bei den 18 – 49 -jährigen Frauen bezogen auf die SP sinkt die Atemwegslänge sogar tendenziell mit steigendem Alter, jedoch nicht signifikant.

Zu einem gegensätzlichen Ergebnis kamen *Shigeta et al.* 2008 [56]. Sie untersuchten Computertomogramme von jeweils 19 japanischen Männern und Frauen zwischen 24 und 84 Jahren (darunter auch OSAHS-Patienten), die aus kieferorthopädischen und kieferchirurgischen Indikationen angefertigt worden waren. Sie stellten fest, dass die Atemwegslänge (Spina nasalis posterior bis Epiglottisspitze in der Midsagittalebene) bei Männern mit steigendem Alter stärker zunimmt als bei Frauen, wobei die Längenzunahme bei beiden Geschlechtern signifikant war ($p = 0,001$ und $p = 0,032$). Die vorliegende Arbeit konnte bei wesentlich größerer Erwachsenen-Stichprobe nur bei den 50 – 69 -jährigen Männern eine geringe aber signifikante Zunahme der Atemwegslänge feststellen (nur in Relation zur FH).

Die hochsignifikante altersabhängige und methodenunabhängige Längenzunahme des Atemwegs bei 5 – 17 -jährigen Mädchen und Jungen ($p = 0,000$) in dieser Studie bestätigt Untersuchungen von *Schwartz et al.* [97], *Westhorpe et al.* [98] und *Chiang et al.* [155]. *Schwartz* und *Westhorpe* stellten einen reifebedingten und somit altersabhängigen Abstieg der Epiglottis in Relation zur Halswirbelsäule bei asymptomatischen Kindern und Jugendlichen von 1 - 18 Jahren an FRS-Bildern fest. Die beobachteten Veränderungen fanden hauptsächlich im Alter von 1 - 2 Jahren und in der Pubertät statt. *Chiang et al.* [155] fanden 2012 anhand 387 Dentaler Volumetomogramme von 8 - 18-Jährigen heraus, dass die Atemwegslänge bei den Mädchen bis zum 15. Lebensjahr mit dem Alter signifikant ansteigt und danach bis zum 18. Lebensjahr ein Plateau erreicht. Bei den Jungen stieg die Atemwegslänge bis zum Alter von 18 Jahren durchgehend signifikant an. *Chiang et al.* bestimmten als Bezugsebene die Spina-Ebene. Es ist die einzige Evaluation des oberen Atemwegs, die die Stichprobe dieser Arbeit übertrifft.

6.2.2. Länge des weichen Gaumens

Shigeta et al. [92] wählten als Bezugsebene die Spina-Ebene ($n = 45$). Die Länge des weichen Gaumens betrug im Median bei den Männern 34,0 mm und bei den Frauen 29,5 mm. Vorliegende Arbeit wies bei $n = 260$ etwas höhere Messwerte nach: Die Länge des weichen Gaumens bezogen auf die Spina-Ebene betrug im Median 36,81 mm bei den Männern und 31,84 mm bei den Frauen. Die Ergebnisse beider Untersuchungen sind nicht direkt miteinander vergleichbar, da *Shigeta et al.* [92] auch OSAHS-Patienten untersuchten.

Malhotra et al. [96] fanden an Magnetresonanztomogrammen (MRT) 48 Erwachsener heraus, dass die Länge des weichen Gaumens mit dem Alter zunimmt ($p = 0,003$). Allerdings ist in ihrer Untersuchung die Längenzunahme bei Frauen ($p = 0,004$) im Gegensatz zu der bei Männern ($p = 0,080$) signifikant. In vorliegender Arbeit ergab sich methodenunabhängig eine signifikante Längenzunahme des weichen Gaumens mit steigendem Alter bei den Kindern und Jugendlichen (5 - 17 Jahre, $p = 0,000$) sowie bei 18 – 49 -jährigen Männern ($p = 0,000$). Die Ergebnisse bezüglich der Länge des weichen Gaumens widersprechen also denen von *Malhotra*. Grund für diesen Widerspruch könnte wiederum die unterschiedliche Größe der Stichproben sein.

1999 verglichen *Johnston et al.* [99] FRS-Bilder von 16 Erwachsenen im Alter von ca. 52 Jahren mit 32 Jahre zuvor angefertigten FRS im Alter von ca. 20 Jahren und stellten allgemein eine Längen- und Dickenzunahme des weichen Gaumens mit zunehmendem Alter fest. Dieses Ergebnis deckt sich nur bezüglich der Männer mit dem Ergebnis dieser Arbeit: Während die Länge des weichen Gaumens methodenunabhängig bei den 18 – 49 -jährigen Männern mit steigendem Alter weiter signifikant mit $p = 0,000$ bzw. $p = 0,002$ zunimmt, zeigt sie bei gleichaltrigen Frauen keine Korrelation mit dem Alter. Die vorliegende Studie geht noch weiter und kann aufgrund der viel größeren Stichprobe auch eine Aussage über die Gaumenlänge bei über 50-Jährigen treffen: In der Gruppe der 50 – 69 -Jährigen nimmt die Länge des weichen Gaumens geschlechts- und methodenunabhängig mit steigendem Alter nicht mehr zu (keine Korrelation). Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass prospektive Populationsstudien an OSAHS-Patienten zwischen dem 30. und 50. Lebensjahr eine schwere Schlafapnoe (im Gegensatz zu OSAHS-Patienten höheren Alters) als Prädiktor für ein erhöhtes Mortalitätsrisiko sehen [100,101,102] und dass zudem die Untersuchung von *Shigeta et al.* [92] an OSAHS-Patienten mittleren Alters eine signifikante Längenzunahme des weichen Gaumens mit steigendem Alter insbesondere bei Männern ergeben hat. Vorliegende

Studie zeigt erstmals, dass auch gesunde 18 – 49 -jährige Männer eine Tendenz zur Längenzunahme des weichen Gaumens mit steigendem Alter aufweisen - unabhängig davon ob die Bezugsebene die Spina-Ebene oder die Frankfurter Horizontale ist.

6.2.3. Relation Länge des weichen Gaumens und Länge des posterioren Atemwegs in Korrelation mit Alter und Geschlecht

2009 untersuchten *Shigeta et al.* [92] anhand von CT-Aufnahmen von 25 OSAHS-Patienten (19 Männer, 6 Frauen) und 20 gesunden Probanden (12 Männer, 8 Frauen) die obere Atemweglänge und die Länge des weichen Gaumens in der Midsagittalebene. Die obere und untere Begrenzung des Atemwegs wurde auf Höhe der Spina nasalis posterior und nicht wie in vorliegender Untersuchung an der Basis der Epiglottis sondern der Oberkante der Epiglottis festgelegt. Sie fanden heraus, dass OSAHS-Patienten einen längeren weichen Gaumen in Proportion zur gesamten Atemweglänge verglichen mit Gesunden als auch Männer verglichen mit Frauen haben.

In vorliegender Studie zeigte bei den 5 – 17 -jährigen Jungen der negative Korrelationskoeffizient ρ nach Spearman eine schwache Tendenz zur Abnahme des Gaumen-Atemweg-Verhältnisses mit steigendem Alter bei Messungen bezogen auf die FH (Tab.20, Abb.18 und 19). Daraus lässt sich schließen, dass bezogen auf die FH in der Gruppe der 5 – 17 -jährigen Jungen der weiche Gaumen mit steigendem Alter tendenziell etwas schneller an Länge zuimmt als der Atemweg. In der vorliegenden Arbeit finden sich bei Gesunden also keine nennenswerten Veränderungen im Verhältnis Gaumen- zu Atemweglänge abhängig von Alter oder Geschlecht. Dieses Verhältnis ist auch nicht abhängig von der gewählten Messmethodik. Somit stützt diese Studie indirekt *Shigetas* Annahme, dass dieses Verhältnis zur Erkennung von Patienten mit erhöhtem OSAHS-Risiko genutzt werden kann.

6.2.4. Korrelationsanalysen linearer Messungen

Diese Arbeit beweist (unabhängig von der gewählten Bezugsebene) die Bedeutung der transversalen Dimension der posterioren Atemwege. Bei Gesunden ist nur auf Höhe der knochen- und knorpelunterstützten Spina nasalis posterior (hinterer Nasendorn) und Epiglottis (Kehledeckel) ein schwacher Zusammenhang zwischen sagittalem und transversalem Atemwegsdurchmesser nachzuweisen. Auf Höhe der Uvula (Zäpfchen), des zweiten Halswirbels und der Unterkiefertangente gibt es keine Korrelation zwischen sagittalen und transversalen Messungen. Es besteht also mit $p \leq 0,008$ kein Zusam-

menhang linearer Messungen bei Gesunden im Bereich des Oropharynx (Rachen im Mundbereich). Diese Ergebnisse decken sich mit anderen Studien, die den Oropharynx als kollapsibelsten (instabilsten) Bereich des oberen Atemwegs ansehen [46,68,103,104]: *Hora et al.* [103] fanden 2007 mittels Magnetresonanztomographie an 37 übergewichtigen OSAHS-Patienten und 14 übergewichtigen Kontrollpatienten heraus, dass die transversale Dimension ein unabhängiger Faktor in der Vorhersage eines OSAHS ist und dass die laterale Einengung des Atemwegs nicht mit der Dicke der Fettpolster zusammenhängt. Sie vermuten, dass eine Hypertrophie der Pharynxmuskulatur ursächlich ist. *Lenza et al.* [104] fanden 2010 anhand dentaler Volumentomogramme von 34 Patienten ebenfalls nur eine schwache Korrelation zwischen sagittalem und transversalem Atemwegsdurchmesser.

Für klinische Untersuchungen der linearen sagittalen und transversalen Atemwegsausdehnung mittels DVT ist das hier gewählte Vorgehen sowohl für die Spina-Ebene (SP) als auch für die Frankfurter Horizontale (FH) zu empfehlen. Die SP müsste noch dahingehend untersucht werden, ob im Bereich der Basis der Epiglottis ähnliche Zusammenhänge wie bezogen auf die FH zu finden sind.

6.3. Flächenmessungen im Bereich der posterioren Atemwege

6.3.1. Korrelation der axialen Flächen mit den sagittalen Strecken

Zwischen axialen Flächen und sagittalen Strecken besteht mit einer Ausnahme (Epiglottis) nur ein schwacher Zusammenhang. Die geringsten Korrelationen mit Spearman $\rho \geq 0,540$ gab es auf Höhe der Uvula (Zäpfchen) und des zweiten Halswirbels. Der stärkste Zusammenhang mit $\rho = 0,878$ war im Bereich der Basis der Epiglottis (Kehledeckel) zu finden. Die Ergebnisse waren mit $p = 0,000$ hochsignifikant. Damit ist bewiesen, dass auch bei Gesunden der knochen- und knorpelfreie Oropharynx den variabelsten Bereich des oberen Atemwegs darstellt und dass die sagittalen Strecken bei Gesunden nur im Bereich des Kehledeckels mit den axialen Querschnittsflächen stark zusammenhängen.

Bisher sind Vergleichsuntersuchungen zwischen axialen Flächen und sagittalen bzw. transversalen Strecken in der Literatur fast nicht zu finden. Die einzige Arbeitsgruppe, *Lenza et al.* [104], hatten eine starke Korrelation zwischen sagittalen Strecken und axialen Flächen im unteren Bereich des Nasopharynx mit $\rho > 0,9$ ($n = 34$). Die vorliegende Studie stellte mit $\rho \leq 0,7$ aber nur einen moderaten Zusammenhang fest (ausgenommen die Korrelation im Bereich der Basis der Epiglottis). Dies könnte in unterschiedli-

chen Bezugsebenen bzw. Messebenen begründet liegen, denn *Lenza et al.* verwendeten für jede Variable eine andere Bezugsebene. Eine weitere Ursache könnten wiederum die großen Stichprobenunterschiede sein. Diese Studie liefert damit erstmals verlässliche Aussagen über das Verhältnis der sagittalen Atemwegsdurchmesser zu den axialen Querschnittsflächen.

6.3.2. Korrelation der axialen Flächen mit den transversalen Strecken

Die transversalen Strecken weisen methodenunabhängig einen höheren Zusammenhang mit axialen Flächen auf als die sagittalen Strecken ($\rho \geq 0,691$, $p = 0,000$). Die Werte für Spearman ρ weichen zwischen den Variablen im Gegensatz zu sagittalen Strecken und axialen Flächen nur geringfügig voneinander ab. Dies lässt den Schluss zu, dass die transversale Dimension des oberen Atemwegs bei Gesunden nicht von der gewählten Messebene oder der knöchernen bzw. knorpeligen Unterstützung abhängig ist. Die transversale Dimension ist allerdings enger mit der Größe der axialen Fläche auf gleicher Messebene assoziiert als die sagittale Dimension. *Lenza et al.* [104] entdeckten 2010 bei einer wesentlich kleineren Stichprobe mit $n = 34$ ebenfalls „eine gute Korrelation zwischen den meisten transversalen Strecken und den dazugehörigen axialen Flächen“ ($\rho > 0,8$ bei $p = 0,000$). Die vorliegende Studie bestätigt Ergebnisse von *Lenza et al.* [104] und legt mit ihrer großen Stichprobe erstmals verlässliche Aussagen über das Verhältnis der transversalen Atemwegsdurchmesser zu den axialen Querschnittsflächen vor.

6.4. Korrelationsanalysen der Volumenmessungen zur Erfassung der posterioren Atemwege

6.4.1. Gesamtvolumen und sagittale Strecken

Die sagittalen Strecken auf Höhe der Unterkiefertangente schneiden in 13,08% (UT_{SP}) bzw. 16,5% (UT_V) der Fälle das untere Atemwegsvolumen bei Messungen bezogen auf die Spina-Ebene weg. Die Unterkiefertangente stellt demnach keine geeignete Messebene dar. Zur dreidimensionalen Atemwegserfassung sind also Begrenzungen abhängig von der Unterkiefertangente absolut ungeeignet.

2009 verglichen *Aboudara et al.* [68] FRS- und DVT-Aufnahmen von 35 gesunden Kindern und Jugendlichen zwischen 6 und 17 Jahren und kamen zu dem Schluss, dass FRS-Aufnahmen für die Erfassung der oberen Atemwege nicht geeignet sind. Sie fanden eine hohe Variabilität der Atemwegsvolumina in den DVT verschiedener Patienten

mit ähnlicher sagittaler Atemwegsausdehnung im FRS. In ihrer Stichprobe war meist eine Schwellung der unteren Nasenmuschel für diese Diskrepanz verantwortlich. Zudem fanden sie es aufgrund der Überlagerung lateraler Strukturen beim FRS schwieriger die Messpunkte akkurat festzulegen.

Ein sehr schwacher Zusammenhang mit $\rho \geq 0,599$ besteht bei beiden Methoden nur im Bereich der Spina nasalis posterior und bei Messungen bezogen auf die FH zusätzlich im Bereich der Epiglottis. Diese Messebenen sind knöchern und knorpelig unterstützt. Im Bereich des Oropharynx sind kaum Zusammenhänge nachzuweisen ($\rho \leq 0,440$). Auch *Lenza et al.* [104] fanden bei $n = 34$ nur einen schwachen Zusammenhang zwischen sagittalem Atemwegsdurchmesser und Gesamtvolumen des posterioren Atemwegs ($\rho = 0,58$). Daraus kann wiederum abgelesen werden, dass der variabelste Bereich des oberen Atemwegs bei Gesunden der Oropharynx ist. Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen diejenigen von *Aboudara et al.* [68] und *Lenza et al.* [104] für Kinder und erweitern sie auf Erwachsene bzw. unterstreichen sie anhand einer größeren Stichprobe. Die Studien zeigen, dass man von der sagittalen Dimension nicht auf das dreidimensionale Gesamtvolumen des oberen Atemwegs schließen kann. Dies verdeutlicht die Notwendigkeit der Erfassung der dritten Dimension bei der Evaluation der oberen Atemwege.

6.4.2. Gesamtvolumen und transversale Strecken

Die transversale Ausdehnung des Atemwegs von Gesunden lässt methodenunabhängig im Gegensatz zu den sagittalen Strecken einen schwachen Zusammenhang mit dem dreidimensionalen Gesamtvolumen erkennen. Die größten Rückschlüsse zwischen transversaler und dreidimensionaler Dimension lassen sich mit $\rho \geq 0,706$ auf Höhe der Uvula ziehen. Das Gesamtvolumen des oberen Atemwegs ist also bei Gesunden gering aber nachweisbar signifikant abhängig vom Abstand der lateralen Atemwegswände zueinander. *Lenza et al.* [104] fanden eine wesentlich geringere Korrelation bezüglich transversalem Durchmesser und Gesamtvolumen ($\rho = 0,03$). Das könnte an der kleinen Stichprobe und der für jede Variable unterschiedlichen Bezugsebene liegen.

6.4.3. Gesamtvolumen und Flächenmessungen

Axiale Flächen korrelieren ebenfalls schwach methodenunabhängig mit dem Gesamtvolumen des oberen Atemwegs. Hier lassen sich die größten Rückschlüsse mit $\rho \geq$

0,807 auch auf Höhe der Uvula ziehen. Diese Studie bestätigt *Aboudara et al.* [68], die 2009 mit $\rho = 0,750$ einen schwachen Zusammenhang zwischen axialen Flächen und Volumen bei DVT-Aufnahmen von 35 Kindern und Jugendlichen fanden. Je größer in ihrer Stichprobe die axiale Fläche war, desto größer war auch das gemessene Volumen. *Lenza et al.* [104] deckten bei $n = 34$ im Bereich des Velopharynx mit ρ zwischen 0,8 und 0,9 ähnlich hohe Korrelationswerte auf wie die vorliegende Studie. Mit der viel größeren Stichprobe ($n = 260$) und p-Werten von $p = 0,000$ unterstreicht diese Studie die Ergebnisse von *Aboudara et al.* [68], und *Lenza et al.* [104] eindrucksvoll.

6.4.4. Oberes Teilvolumen und sagittale Strecken

Es besteht ein schwacher Zusammenhang mit $\rho \geq 0,679$ zwischen dem oberen Teilvolumen und der sagittalen Strecke auf Höhe der Spina nasalis posterior bei beiden Methoden. Dies ist erklärbar durch die Begrenzung des oberen Atemwegsvolumens. Interessant ist, dass ein Zusammenhang bei beiden Methoden nur im Bereich der knöchern unterstützten Spina nasalis posterior zu finden ist, nicht jedoch auf Höhe der Uvulaspitze (Zäpfchen). Da weder *Aboudara et al.* 2009 [68] noch *Lenza et al.* 2010 [104] ihre gemessenen Gesamtvolumina entsprechend der hier gewählten Methodik in oberes und unteres Teilvolumen unterteilt haben, sind sie für die Diskussion der Ergebnisse für die Teilvolumina nicht heranzuziehen. Es gibt in der Literatur zum jetzigen Zeitpunkt leider keine Studie, die mit der Methodik bezüglich der Teilvolumina vergleichbar ist.

6.4.5. Oberes Teilvolumen und transversale Strecken

Die transversalen Streckenmessungen zeigen bei beiden Methoden für alle Variablen mit Ausnahme der Epiglottis bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH) schwache Korrelationen mit dem oberen Teilvolumen ($\rho \geq 0,546$). Begründet liegt dies auch hier in der Begrenzung des oberen Atemwegsvolumens. Interessanterweise ist der Zusammenhang sowohl bezogen auf die SP als auch auf die FH auf Höhe der Uvula etwas höher. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass das obere Atemwegsvolumen maßgeblich vom Abstand der lateralen Atemwegswände im Bereich der Uvula abhängig ist.

6.4.6. Oberes Teilvolumen und Flächenmessungen

Die axialen Flächen im Bereich der Spina nasalis posterior und der Uvula korrelieren mit $\rho \geq 0,593$ wieder mit Ausnahme der Epiglottis bezogen auf die FH in gleicher Weise

schwach mit dem oberen Teilvolumen. Dies wird durch die Ergebnisse von *Aboudara et al.* 2009 ($\rho = 0,750$) bestätigt [68]. *Lenza et al.* [104] vermaßen DVTs von 34 Patienten und fanden im Bereich des Velopharynx mit ρ zwischen 0,8 und 0,9 sogar noch höhere Korrelationen als die vorliegende Studie. Dies ist allerdings nicht überraschend, da sie das Gesamtvolumen entsprechend der 6 sagittalen Variablen in 6 Teilvolumina unterteilten.

6.4.7. Unteres Teilvolumen und sagittale Strecken

Der einzige Zusammenhang zwischen unterem Teilvolumen und sagittaler Atemwegsausdehnung besteht im Bereich der Basis der Epiglottis bei Messungen bezogen auf die FH ($\rho = 0,726$). Das liegt vermutlich in der Begrenzung des unteren Teilvolumens begründet. Die Messwerte für den Bereich des Oropharynx (Rachen im Mundbereich) variieren stark. Der einzige Zusammenhang zwischen unterem Teilvolumen und dem sagittalen Atemwegsdurchmesser ist im Bereich des Hypopharynx / Kehldeckels zu finden.

6.4.8. Unteres Teilvolumen und transversale Strecken

Es besteht eine schwache Korrelation von $\rho \geq 0,612$ auf Höhe des zweiten Halswirbels, der Uvula und der Basis der Epiglottis bei Messungen in Relation zur FH. Im Gegensatz zu sagittalen Strecken weist der transversale Atemwegsdurchmesser im gesamten Messbereich des unteren Atemwegsvolumens einen schwachen Zusammenhang mit diesem auf. Das untere Teilvolumen ist also in höherem Maße vom transversalen als vom sagittalen Durchmesser des Atemwegs abhängig. Dies ist allerdings nur im Bereich des Hypopharynx bei Messungen bezogen auf die FH der Fall. Damit bestätigt die vorliegende Studie die Vermutung von *Lenza et al.* [104], dass frontale Schädelaufnahmen den unteren Teil des posterioren Atemwegs besser wiedergeben würden als laterale.

6.4.9. Unteres Teilvolumen und Flächenmessungen

Zwischen unterem Teilvolumen und axialen Flächen besteht bei Methode FH mit $\rho \geq 0,750$ ein noch größerer Zusammenhang als bei den transversalen oder sagittalen Strecken. Da dies nur bei Messungen in Relation zur FH der Fall ist existiert dieser Zusammenhang nur im Bereich des Hypopharynx.

7. ANHANG

7.1. Begriffsdefinitionen

ADHS Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätsstörung, die sich durch Aufmerksamkeitsprobleme, Impulsivität und Hyperaktivität auszeichnet. Je nach Studie zeigen 3 - 10% aller Kinder Symptome im Sinne einer ADHS wobei Jungen häufiger betroffen sind als Mädchen [44].

AHI Apnoe-/ Hypopnoe-Index: Anzahl der Apnoen und Hypopnoen pro Stunde Schlaf [1]

AI Apnoe-Index: Anzahl der Apnoen pro Stunden Schlaf [1]

Apnoe mindestens 10 Sekunden bis mehrere Minuten dauerndes Aussetzen der äußeren Atmung [1,9]

BMI Body-Mass-Index, Maßzahl für die Relation des Körpergewichts [kg] eines Menschen zur Größe zum Quadrat [m²]

Cor pulmonale

(lat.: „Lungenherz“) bezeichnet ein druckbelastetes rechtes Herz durch eine Drucksteigerung im Lungenkreislauf aufgrund chronischer Struktur-, Funktions- oder Zirkulationsstörungen der Lunge oder alveolärer Hypoventilation mit der Folge eingeschränkter körperlicher Leistungsfähigkeit, Kreislaufstörungen und Müdigkeit [1,2]

CPAP Continuous Positive Airway Pressure, kontinuierlicher Überdruck im Bereich des oberen Atemwegs der mittels einer Nasen- oder Mund-Nasen-Maske erreicht wird

Anhang

Effektive Dosis

Die effektive Dosis ist ein Maß für die Strahlenexposition des Menschen und berücksichtigt die unterschiedliche Empfindlichkeit der Organe gegenüber ionisierender Strahlung. Zu ihrer Berechnung werden die Organ-dosen mit den Gewebewichtungsfaktoren des Organs multipliziert. Die Einheit ist Sievert [Sv]. [6]

Endotheline hochwirksame, gefäßverengende, blutdrucksteigernde, hauptsächlich von Blutgefäßzellen produzierte Peptidhormone

Enuresis nocturna

nächtliches Einnässen

Hypopharynx

Teil des Rachens im Bereich des Kehlkopfes

Hypopnoe Verminderung der Atemamplitude/-frequenz mit Abfall der Sauerstoffsättigung um mindestens 3% oder Weckreaktion (Arousal) [1,9]

Hypoxämie erniedrigter Sauerstoffgehalt im arteriellen Blut

OSAHS Obstruktives Schlafapnoe/Hypopnoe-Syndrom (auch OSAS oder OSA), eine der häufigsten SBAS [1]

Oropharynx Teil des Rachens hinter der Mundhöhle

PAS Pharyngeal bzw. Posterior Airway Space = Teil des Rachens zwischen Nasenraum und Kehlkopf [10]

SBAS schlafbezogene Atmungsstörungen

SNA Spina nasalis anterior: Knochenspitze am vorderen Ende der Crista nasalis des Gaumenfortsatzes des Oberkiefers [7]

Anhang

SNP Spina nasalis posterior: hinterer Punkt der Pars horizontalis des Gaumens. Er liegt in der Medianebene und ist der Ursprung des Musculus uvulae (ugs. „Zäpfchen“) [8].

Voxel Der Begriff Voxel wird in der 3D-Computergrafik verwendet und bezeichnet einen Datenpunkt (Bildpunkt, Datenelement) einer dreidimensionalen Rastergrafik und setzt sich aus den Wörtern „volumetric“ und „pixel“ zusammen. Das Voxel im Volumen entspricht dem Pixel in der Fläche. Das Voxel begrenzt die Auflösung eines dreidimensionalen Datensatzes [12].

7.2. Literaturverzeichnis

1. Hinz R, Rose EC, Sanner B: Schlafmedizin - Kompendium für Zahnmediziner *Zahnärztlicher Fach-Verlag*, Herne 2005
2. Roux F, D'Ambrosio C, Mohsenin Y: Sleep-related breathing disorders and cardiovascular disease. *Am J Med* 2000; 108:396-402.
3. Möller A, Wildhaber JH. Schlaf und Atmung bei Kindern: Zeit aufzuwachen! *Pädiatrie* 2008;02:6-11
4. Düker J: Praxisleitfaden zahnärztliche Radiologie für den Zahnarzt und sein Team. *Urban & Fischer*, München 2006;25-26.
5. Silva MA, Wolf U, Heinicke F, Bumann A, Visser H, Hirsch E: Cone-beam computed tomography for routine orthodontic treatment planning: A radiation dose evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; 133(5):640.e1-5
6. BUB-Richtlinien des gemeinsamen Bundesausschusses zu Untersuchungs- und Behandlungsmethoden der vertragsärztlichen Versorgung, veröffentlicht im *Bundesanzeiger* 2010, Nr. 172 (S. 3802), in Kraft getreten am 13. November 2010, Vorsitzender Dr. jur. Hess
7. Arbeitshilfe Schlafbezogene Atmungsstörung erstellt durch die sozialmedizinische Expertengruppe „Versorgungsstrukturen“ (SEG-3) der MDK-Gemeinschaft, September 2006
8. Deutsche Gesellschaft für Pneumologie (DGP) in Kooperation mit dem Bundesverband der Pneumologen (BDP), Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM). Positionspapier zur Versorgung von Patienten mit schlafbezogenen Atmungsstörungen mit und ohne erholsamen Schlaf bei Erwachsenen, Februar 2004

Anhang

9. American Sleep Disorders Association. EEG arousal: Scoring rules and examples. *Sleep* 1992; 15:174-84
10. Finn, L, Young T, Palta M, Fryback DG. Sleep-disordered Breathing and Self-reported General Health Status in the Wisconsin Sleep Cohort Study. *Sleep* 1998;Vol. 21 No. 7:701-706
11. Guilleminault C, Kim YD, Stoohs R: Upper airway resistance syndrome. *Oral and Maxillofacial Surgery Clinics of North America* 1995; 7:243-56
12. Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin. Leitlinie „Nicht erholsamer Schlaf“. *AWMF-Leitlinienregister* Nr. 063/001, April 2001
13. Isono S, Shimada A, Utsugi M, Konno A, Nishino T: Comparison of static mechanical properties of the passive pharynx between normal children and children with sleep-disordered breathing. *Am J Respir Crit Care Med* 1998; 157:1204-12
14. Hinz R, Burmann-Urbaneck M, Heise M, Paeske I et al.: Prävalenz und mögliche Ursachen organisch bedingter schlafbezogener Atmungsstörungen bei Kindern und Jugendlichen aus zahnmedizinischer Sicht *Prophylaxe Impuls* 2007;1:10-22
15. AWMF-Leitlinie der DGP in Zusammenarbeit mit der DGSM:duesseldorf.de/WWW/AWMF/II/ipneu001.htm
16. Young T, Palta M, Dempsey J, Skatrud J, Weber S, Badr S: The occurrence of sleep-disordered breathing among middle-aged adults. *N Engl J Med* 1993; 328:1230-5
17. Guilleminault C, Winkle R, Korobkin R, Simmons B: Children and nocturnal snoring: evaluation of the effects of sleep related respiratory resistive load and daytime functioning. *Eur J Pediatr* 1982; 139:165-71

Anhang

18. American Thoracic Society: Sleep apnea, sleepiness and driving risk. *Am J Respir Crit Care Med* 1994; 150:1463-75
19. Horstmann S, Hess CW, Bassetti C, Gugger M, Mathis J: Sleepiness-related accidents in sleep apnea patients. *Sleep*. 2000; 23:383-389
20. Ing AJ, Ngu MC, Berslin AB: Obstructive sleep apnea and gastroesophageal reflux. *Am J Med* 2000; 108:120-25
21. Berg S, Hoffstein V, Gislason T: Acidification of distal esophagus and sleep-related breathing disturbances. *Chest* 2004; 125(6): 2101-6
22. Knoblauch A, Hartmann H, Weissert M: Gedeihstörung bei Hypoventilation im Schlaf. *Forum Med Suisse* 2003; 7:161-3
23. Jeans WD, Fernando DC, Maw AR, Leighton BC: A longitudinal study of the growth of the nasopharynx and its contents in normal children. *Br J Radiol* 1981;54:117-121
24. Günther A: Habituelles Schnarchen-assozierte Symptome und Risikofaktoren bei Grundschulkindern. Zahnmed Diss, Tübingen: Universität Tübingen, 2006.
25. Hochban W: Kiefer-Gesichtschirurgische Diagnostik und Therapie schlafbezogener Atmungsstörungen. *MKG-Chirurg* 2008; 1:111–118
26. Dyken ME, Im KB: Obstructive sleep apnea and stroke. *Chest* 2009 Dec;136(6):1668-77
27. McNicholas WT, Ryan S: Obstructive sleep apnoea syndrome: translating science to clinical practice. *Respirology* 2006 Mar;11(2):136-44
28. Ferini-Strambi L, Fantini ML, Castronovo C: Epidemiology of obstructive sleep apnea syndrome. *Minerva Med.* 2004 Jun;95(3):187-202

29. Kohler M: Risk factors and treatment for obstructive sleep apnea amongst obese children and adults. *Curr Opin Allergy Clin Immunol*. 2009 Feb;9(1):4-9
30. Schwab RJ, Pasirstein M, Pierson R et al.: Identification of upper airway anatomic risk factors for obstructive sleep apnea with volumetric magnetic resonance imaging. *Am J Respir Crit Care Med*. 2003 Sep 1;168(5):522-30
31. Tam CS, Wong M, McBain R et al: Inflammatory measures in children with obstructive sleep apnoea. *Journal of Paediatrics and Child Health* 2006,42;5:277-282
32. Lowe AA, Ozbek MM, Miyamoto K, Pae EK, Fleetham JA: Cephalometric and demographic characteristics of obstructive sleep apnea: an evaluation with partial least squares analysis. *Angle Orthod*. 1997;67(2):143-53
33. Rama AN, Tekwani SH, Kushida CA: Sites of obstruction in obstructive sleep apnea. *Chest*. 2002 Oct;122(4):1139-47
34. Li HY, Lee LA: Sleep-disordered breathing in children. *Chang Gung Med J*. 2009 May-Jun;32(3):247-57
35. Simmons MS, Clark GT: The potentially harmful medical consequences of untreated sleep-disordered breathing – The evidence supporting brain damage *JADA* 2009; 140:536-42
36. Poets F, Padlitz E: Obstruktives Schlaf-Apnoe-Syndrom. *Monatsschr. Kinderheilkunde*.1998; 146:327-8
37. Partinen M, Palomaki H: Snoring and cerebral infarction. *Lancet* 1985; 2:1325-6
38. Sanner BM, Konermann M, Tepel M et al.: Platelet function in patients with obstructive sleep apnea syndrome. *Eur Respir J* 2000; 16:648-52

Anhang

39. Nieto FJ, Young TB, Lind BK et al.: Association of sleep-disordered-breathing, sleep apnea and hypertension in a large community-based study. *Sleep Heart Health Study. Jama* 2000; 283:1829-36
40. Chaouat A, Weitzenblum E, Krieger J et al.: Pulmonary hemodynamics in the obstructive sleep apnea syndrome. Results in 220 consecutive patients. *Chest* 1996; 109:380-6
41. Lofaso F, Coste A, Gilain L et al.: Sleep fragmentation as a risk factor for hypertension in middle-aged nonapneic snorers. *Chest* 1996; 109:896-900
42. Moe T, Franklin KA, Holstrom K et al.: Sleep-disorder-breathing and coronary artery disease: long-term prognosis. *Am j Respir Crit Care Med* 2001;164:1910-3
43. Laks L: Pulmonary artery pressure in sleep apnea and snoring. *J Sleep Res* 1995; 4:182-4
44. Knölker U: Kinder- und Jugendpsychiatrie und -psychotherapie systematisch. *Uni-Med Verlag AG, Bremen* 2003, ISBN 3-89599-159-7. S. 280.
45. Mochizuki T, Okamoto M, Sano H, Naganuma H: Cephalometric analysis in patients with obstructive sleep apnea syndrome. *Acta Otolaryngol* 1996; Suppl 524:64-72
46. Shigeta Y, Enciso R, Ogawa T et al: Cervical CT derived neck fat tissue distribution differences in Japanese males and females and its effect on retroglossal and retropalatal airway volume. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radio Endod* 2008; 106:275-84
47. Peh WCG, Ip MSM, Chu FSK et al.: Computed tomographic cephalometric analysis of Chinese patients with obstructive sleep apnoea. *Australasian Radiology* 2000; 44:417-23

48. Ya L, Sun H, Wang X, Liu W: The significance of CT measurement of cranio-pharyngeal cavity in healthy person. *Lin Chuang Er Bi Yan Hou Ke Za Zhi*. 2002 Dec;16(12):670-1
49. Young T, Shahar E, Nieto FJ et al.: Predictors of sleep-disordered breathing in community-dwelling adults: the Sleep Heart Health Study. *Arch Intern Med* 2002; 162:893–900
50. Punjabi NM: The epidemiology in adult obstructive sleep apnea. *The Proceedings of the American Thoracic Society* 2008; 5:136-143
51. Strohl KP, Redline S: Recognition of obstructive sleep apnea. *Am J Respir Crit Care Med* 1996;154:279–289
52. Ong KC, Clerk AA: Comparison of the severity of sleep-disordered breathing in Asian and Caucasian patients seen at a sleep disorders center. *Respir Med* 1998;92:843–848
53. Li KK, Kushida C, Powell NB, Riley RW, Guilleminault C: Obstructive sleep apnea syndrome: a comparison between Far-East Asian and white men. *Laryngoscope* 2000;110:1689–1693
54. Cistulli PA: Craniofacial abnormalities in obstructive sleep apnoea: implications for treatment. *Respirology* 1996;1:167–174
55. Brandenburg U, Hochban W, Peter JH: Obstruktives Schlafapnoesyndrom auf dem Boden kraniofazialer Normabweichungen. *Pneumologie* 1993; 754-6
56. Shigeta Y, Ogawa T, Venturin J et al.: Gender- and age-based differences in computerized tomographic measurements of the oropharynx. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2008;106:563-70

Anhang

57. Iwasaki T, Hyasaki H, Takemoto Y et al.: Oropharyngeal airway in children with Class III malocclusion evaluated by cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 136:318-9
58. Tsuchiya M, Lowe AA, Pae EK, Fleetham JA: Obstructive sleep apnea subtypes by cluster analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 1992; 101(6):533-42
59. Özdemir H, Altin R, Sögüt A, Cinar F et al.: Craniofacial differences according to AHI-scores of children with obstructive sleep apnea syndrome: cephalometric CT study in 39 patients. *Pediatr Radiol* 2004; 34:393-9
60. Ogawa T, Enciso R, Shintaku W, Clark G: Evaluation of cross-section airway configuration of obstructive sleep apnea. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2007; 103:102-8
61. Yucel A, Unlu M, Haktanir A, Acar M, Fidan F: Evaluation of the upper airway cross-sectional area changes in different degrees of severity of obstructive sleep-apnea syndrome: cephalometric and dynamic CT study. *Am J Neuroradiol* 2005; 26(10):2624-9
62. Sargi Z, Younis R: Pediatric obstructive sleep apnea: current management. *ORL* 2007; 69:340-4
63. Akre H, √överland B, Skatvedt O: Sleep-related breathing disorders. *Tidsskr Nor Laegeforen*. 2009 Sep 10;129(17):1762-5.
64. Ivanhoe JR, Lefebvre CA, Stockstill JW: Sleep disordered breathing in infants and children: a review of the literature. *Pediatr Dent*. 2007 May-Jun;29(3):193-200.
65. Bixler EO, Vgontzas AN, Lin HM et al.: Prevalence of sleep-disordered breathing in women. *Am J Respir Crit Care Med* 2001; 163:608-13

66. Ryan CF: Review series Sleep 9: an approach to treatment of obstructive sleep apnoea/hypopnoea syndrome including upper airway surgery. *Thorax* 2005; 60:595-604
67. Issa FG, Sullivan CE: Alcohol, snoring and sleep apnea. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1982; 45:353-9
68. Aboudara C, Nielsen I, Huang JC et al.: Comparison of airway space with conventional lateral headfilms and 3-dimensional reconstruction from cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2009; 135:468-79
69. Muto T, Yamazaki A, Takeda S: A cephalometric evaluation of the pharyngeal airway space in patients with mandibular retrognathia and prognathia and normal subjects. *Int J Maxillofac Surg* 2008; 37:228-31
70. Boudewyns A, Marklund M, Hochban W: Alternatives for OSAHS treatment: selection of patients for upper airway surgery and oral appliances. *European Respiratory Review* 2007; 16(106):132
71. Strelzow V, Blanks R, Basile A, Strelzow A: Cephalometric airway analysis in obstructive sleep apnea syndrome. *Significance*; 73(4):71-5
72. Deberry-Borowiecki B, Kukwa A, Blanks R, Irvine C: Cephalometric analysis for diagnosis and treatment of obstructive sleep apnea. *Laryngoscope* 1988; 98(2):226-34
73. Lyberg T, Krogstad O, Djupesland G: Cephalometric analysis in patients with obstructive sleep apnoea syndrome. I. Skeletal morphology. *J Laryngology and Otology* 1989; 103(3):287
74. Strauss RA, Burgoyne CC: Diagnostic imaging and sleep medicine. *Dent Clin North Am* 2008; 52(4):891-915, viii
75. Pasler, FA: *Zahnärztliche Radiologie*, Thieme Verlag, 3. Auflage

76. Visser H et al. (2001): Dose reduction by direct-digital cephalometric radiography. *Angle Orthod.* 2001 Jun; 71(3):159-63.
77. McNicholas WT, Bonsignore MR: Management Committee of EU COST ACTION B26: Sleep apnoea as an independent risk factor for cardiovascular disease: current evidence, basic mechanisms and research priorities. *Eur Respir J* 2007 Jan; 29(1):156-78.
78. Rofail LM, Wong KK, Unger G, Marks GB, Grunstein RR: The utility of single-channel nasal airflow pressure transducer in the diagnosis of OSA at home. *Sleep.* 2010 Aug;33(8):1097-105.
79. Li H, Chen N, Wang C, Shu Y, Wang P: Use of 3-dimensional computed tomography scan to evaluate upper airway patency for patients undergoing sleep-disordered breathing surgery. *Otolaryngology - Head and Neck Surgery* 2003; 129(4):336-42
80. Shrimpton P, Hillier M, Lewis M, Dunn M: National survey of doses from CT in the UK: 2003. *British Journal of Radiology* 2006; 79(948):968
81. Oktay B, Rice TB, Atwood CW Jr: Evaluation of a single-channel portable monitor for the diagnosis of obstructive sleep apnea. *J Clin Sleep Med.* 2011 Aug. 15;7(4):384-90.
82. Mah J, Danforth R, Bumann A, Hatcher D: Radiation absorbed in maxillofacial imaging with a new dental computed tomography device. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology and Endodontology* 2003; 96(4):508-13
83. Brown AA, Scarfe WC, Scheetz JP et al.: Linear accuracy of cone beam CT derived 3D images. *Angle Orthod* 2009; 79(1):150-7
84. Marktübersicht digitale Volumentomografen - Handbuch Digitale Dentale Technologien März 2010

85. Kau CH, Littlefield J, Rainy N et al.: Evaluation of CBCT Digital Models and Traditional Models Using the Little's Index. *Angle Orthodontist* 2010; 80(3):435-9
86. Arijji E, Kimura M, Katsumata A et al.: A method for the evaluation of reliability of coordinate system based on maxillofacial anatomical landmarks on cone-beam computed tomographic data. *Int J CARS* 2009; 4 (Suppl 1):202-6
87. Ogawa T, Enciso R, Memon A et al.: Evaluation of 3D airway imaging of obstructive sleep apnea with cone-beam computed tomography. *Stud Health Technol Inform* 2005; 111:365-8
88. Hoppe M, Blümlein C: DVT-Guide. *HNO-Mitteilungen* 2/2011; II:79
89. Driver HS, Pereira EJ, Bjerring K: Validation of the MediByte® type 3 portable monitor compared with polysomnography for screening of obstructive sleep apnea. *Can Respir J*. 2011 May-Jun;18(3):137-43.
90. vatechsw.com/invivo5/manual/Invivo5_Manual.pdf
91. Hinz W, Heise M: Diagnostik schlafbezogener Atmungsstörungen bei Kindern und Jugendlichen aus zahnmedizinisch-kieferorthopädischer Sicht. *Somno Journal* 4/2008, 18-22.
92. Shigeta Y, Ogawa T, Tomoko I, Clark GT, Enciso R: Soft palate length and upper airway relationship in OSA and non-OSA subjects. *Sleep Breath* 2010;14(4):353-8
93. Tasali E, Ip MS: Obstructive sleep apnea and metabolic syndrome: alterations in glucose metabolism and inflammation. *Proc Am Thorac Soc* 2008; 15;5(2):207-17
94. Martin O, Muelas L, Vinas MJ: Nasopharyngeal cephalometric study of ideal occlusions. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2006;130:436.e1-436.e9
95. Shigeta Y, Enciso R, Ogawa T et al.: Correlation between retroglossal airway size and body mass index in OSA and non-OSA patients using cone beam CT imaging.

Sleep Breath 2008;12:347–352

96. Malhotra A, Huang Y, Fogel R et al.: Aging influences on pharyngeal anatomy and physiology: the predisposition to pharyngeal collapse. *Am J Med* 2006; 119(1):72.e9-14
97. Schwartz DS, Keller MS: Maturational descent of the epiglottis. *Arch Otolaryngol Head Neck Surg* 1997;123:627-8
98. Westhorpe RN: The position of the larynx in children and its relationship to the ease of intubation. *Anaesth Intensive Care* 1987;15:384-8
99. Johnston CD, Richardson A: Cephalometric changes in adult pharyngeal morphology. *Eur J Orthod* 1999;21:357-62
100. Mant A, King M, Saunders NA et al.: Four-year follow-up of mortality and sleep-related respiratory disturbance in non-demented seniors. *Sleep* 1995;18(6):433-8
101. Lavie P, Herer P, Peled R et al.: Mortality in sleep apnea patients: a multivariate analysis of risk factors. *Sleep* 1995;18(3):149-57
102. Lindberg E, Janson C, Svärdsudd K et al.: Increased mortality among sleepy snorers: a prospective population based study. *Thorax* 1998;53(8):631-7
103. Hora F, Napolis LM, Daltro C et al.: Clinical, anthropometric and upper airway anatomic characteristics of obese patients with obstructive sleep apnoea syndrome. *Respiration* 2007;74:517-24
104. Lenza MG, Lenza MM, Dalstra M, Melsen B, Cattaneo PM: An analysis of different approaches to the assessment of upper airway morphology: a CBCT study. *Orthod Craniofac Res* 2010;13(2):96-105.

105. Oh KM, Hong JS, Kim YJ et al.: Three-dimensional analysis of pharyngeal airway form in children with anteroposterior facial patterns. *Angle Orthod* 2011;81:1075-82.
106. *S3-Leitlinie*. Nicht erholsamer Schlaf/Schlafstörungen. Deutsche Gesellschaft für Schlafforschung und Schlafmedizin (DGSM); 2009
107. Collop NA, Anderson WM, Boehlecke B et al: Clinical guidelines for the use of unattended portable monitors in the diagnosis of obstructive sleep apnea in adult patients. Portable Monitoring Task Force of the American Academy of Sleep Medicine. *J Clin Sleep Med*. 2007 Dec 15;3(7):737-47.
108. Littner MR: Portable monitoring in the diagnosis of the obstructive sleep apnea syndrome. *Semin Respir Crit Care Med*. 2005 Feb;26(1):56-67. Review.
109. Kushida CA, Morgenthaler TI, Littner MR et al: Practice parameters for the treatment of snoring and Obstructive Sleep Apnea with oral appliances: an update for 2005. *Sleep*. 2006 Feb;29(2):240-3.
110. Hoekema A, Stegenga B, Wijkstra PJ et al: Obstructive sleep apnea therapy. *J Dent Res* 2008 Sep;87(9):882-7.
111. Schwarting S, Huebers U, Heise M et al: Position paper on the use of mandibular advancement devices in adults with sleep-related breathing disorders. A position paper of the German Society of Dental Sleep Medicine (Deutsche Gesellschaft Zahnärztliche Schlafmedizin, DGZS). *Sleep Breath* 2007 Jun;11(2):125-6.
112. Vanderveken OM, Devolder A, Marklund M et al: Comparison of a custom-made and a thermoplastic oral appliance for the treatment of mild sleep apnea. *Am J Respir Crit Care Med*. 2008 Jul 15;178(2):197-202. Epub 2007 Aug 2.
113. Bharadwaj R, Ravikumar A, Krishnaswamy NR: Evaluation of craniofacial morphology in patients with obstructive sleep apnea using lateral cephalometry and dynamic MRI. *Indian J Dent Res*. 2011 Nov-Dec;22(6):739-48.

114. Kim SJ, Kim YS, Park JH, Kim SW: Cephalometric predictors of therapeutic response to multilevel surgery in patients with obstructive sleep apnea. *J Oral Maxillofac Surg.* 2012 Jun;70(6):1404-12.
115. Pirilä-Parkkinen K, Löppönen H, Nieminen P et al: Cephalometric evaluation of children with nocturnal sleep-disordered breathing. *Eur J Orthod.* 2010 Dec;32(6):662-71.
116. Poon KH, Chay SH, Chiong KF: Airway and craniofacial changes with mandibular advancement device in Chinese with obstructive sleep apnoea. *Ann Acad Med Singapore.* 2008 Aug;37(8):637-44.
117. Svaza J, Skagers A, Cakarne D et al: Upper airway sagittal dimensions in obstructive sleep apnea (OSA) patients and severity of the disease. *Stomatologija.* 2011;13(4):123-7.
118. Aihara K, Oga T, Harada Y et al: Analysis of anatomical and functional determinants of obstructive sleep apnea. *Sleep Breath.* 2012 Jun;16(2):473-81.
119. Lam B, Sam K, Lam JC et al: The efficacy of oral appliances in the treatment of severe obstructive sleep apnea. *Sleep Breath.* 2011 May;15(2):195-201.
120. Gulati A, Chate RA, Howes TQ: Can a single cephalometric measurement predict obstructive sleep apnea severity? *J Clin Sleep Med.* 2010 Feb 15;6(1):64-8.
121. Abramson Z, Susarla S, August M et al: Three-dimensional computed tomographic analysis of airway anatomy in patients with obstructive sleep apnea. *J Oral Maxillofac Surg.* 2010 Feb;68(2):354-62.
122. Chen NH, Li KK, Li SY et al: Airway assessment by volumetric computed tomography in snorers and subjects with obstructive sleep apnea in a Far-East Asian population (Chinese). *Laryngoscope.* 2002 Apr;112(4):721-6.

Anhang

123. Powell NB, Mihaescu M, Mylavarapu G et al: Patterns in pharyngeal airflow associated with sleep-disordered breathing. *Sleep Med.* 2011 Dec; 12(10):966-74.
124. Großmann AC: Kephalemtrische Untersuchung nach der Hasund/Segner Analyse bei Patienten mit obstruktiver Schlafapnoe. Dissertation vorgelegt der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br. 2002
125. Lehner M: Untersuchungen zur diagnostischen und prognostischen Wertigkeit der Analyse im Fernröntgenseitenbild des Schädels bei Patienten mit obstruktiver Schlafapnoe. Dissertation vorgelegt der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg i.Br. 2001
126. Paskow H, Paskow S: Dentistry's role in treating sleep apnea and snoring. *N J Med.* 1991 Nov;88(11):815-7.
127. Ferguson KA, Cartwright R, Rogers R et al: Oral appliances for snoring and obstructive sleep apnea: a review. *Sleep.* 2006 Feb;29(2):244-62.
128. Bennett LS, Davies RJ, Stradling JR: Oral appliances for the management of snoring and obstructive sleep apnoea. *Thorax.* 1998 Aug;53 Suppl 2:S58-64. Review.
129. Fransson A: A mandibular protruding device in obstructive sleep apnea and snoring. *Swed Dent J Suppl.* 2003;(163):1-49. Review.
130. Riley R, Guilleminault C, Herran J: Cephalometric analyses and flow-volume loops in obstructive sleep apnea patients. *Sleep.* 1983;6(4):303-11.
131. Lowe AA, Fleetham JA, Adachi S et al: Cephalometric and computed tomographic predictors of obstructive sleep apnea severity. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1995 Jun;107(6):589-95.

132. Battagel JM, Johal A, Smith AM et al: Postural variation in oropharyngeal dimensions in subjects with sleep disordered breathing: a cephalometric study. *Eur J Orthod*. 2002 Jun;24(3):263-76.
133. Battagel JM, Johal A, Kotecha B: A cephalometric comparison of subjects with snoring and obstructive sleep apnoea. *Eur J Orthod*. 2000 Aug;22(4):353-65.
134. Millman RP, Carlisle CC, Rosenberg C et al: Simple predictors of uvulopalatopharyngoplasty outcome in the treatment of obstructive sleep apnea. *Chest*. 2000 Oct;118(4):1025-30.
135. Lee Y, Chun YS, Kang N et al: Volumetric Changes in the Upper Airway After Bimaxillary Surgery for Skeletal Class III Malocclusions: A Case Series Study Using 3-Dimensional Cone-Beam Computed Tomography. *J Oral Maxillofac Surg*. 2012 Jun 8.
136. Celenk M, Farrell ML, Eren H et al: Upper airway detection and visualization from cone beam image slices. *J Xray Sci Technol*. 2010;18(2):121-35.
137. Tipton WL, Metz P: Three dimensional computed technology--a new standard of care. *Int J Orthod Milwaukee*. 2008 Spring;19(1):15-21.
138. Enciso R, Nguyen M, Shigeta Y et al: Comparison of cone-beam CT parameters and sleep questionnaires in sleep apnea patients and control subjects. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2010 Feb;109(2):285-93.
139. Abramson Z, Susarla SM, Lawler M et al: Three-dimensional computed tomographic airway analysis of patients with obstructive sleep apnea treated by maxillomandibular advancement. *J Oral Maxillofac Surg*. 2011 Mar;69(3):677-86.
140. Schendel S, Powell N, Jacobson R: Maxillary, mandibular, and chin advancement: treatment planning based on airway anatomy in obstructive sleep apnea. *J Oral Maxillofac Surg*. 2011 Mar;69(3):663-76. Erratum in: *J Oral Maxillofac Surg*. 2011 Aug;69(8):2077.

141. Conley RS: Evidence for dental and dental specialty treatment of obstructive sleep apnoea. Part 1: the adult OSA patient and Part 2: the paediatric and adolescent patient. *J Oral Rehabil.* 2011 Feb;38(2):136-56. Review.
142. Sears CR, Miller AJ, Chang MK et al: Comparison of pharyngeal airway changes on plain radiography and cone-beam computed tomography after orthognathic surgery. *J Oral Maxillofac Surg.* 2011 Nov;69(11):e385-94.
143. Guijarro-Martínez R, Swennen GR: Cone-beam computerized tomography imaging and analysis of the upper airway: a systematic review of the literature. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2011 Nov;40(11):1227-37. Review.
144. Hasegawa A, Shinya A, Lassila LV et al: Accuracy of three-dimensional finite element modeling using two different dental cone beam computed tomography systems. *Odontology.* 2012 Jun 23.
145. Alves M Jr, Baratieri C, Mattos CT et al: Is the airway volume being correctly analyzed? *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2012 May;141(5):657-61.
146. van Vlijmen OJ, Bergé SJ, Swennen GR et al: Comparison of cephalometric radiographs obtained from cone-beam computed tomography scans and conventional radiographs. *J Oral Maxillofac Surg.* 2009 Jan;67(1):92-7.
147. Ghoneima A, Kula K: Accuracy and reliability of cone-beam computed tomography for airway volume analysis. *Eur J Orthod.* 2011 Aug 10.
148. Chung RR, Lagravere MO, Flores-Mir C et al: A comparative analysis of angular cephalometric values between CBCT generated lateral cephalograms versus digitized conventional lateral cephalograms. *Int Orthod.* 2009 Dec;7(4):308-21.
149. Ludlow JB: A manufacturer's role in reducing the dose of cone beam computed tomography examinations: effect of beam filtration. *Dentomaxillofac Radiol.* 2011 Feb;40(2):115-22.

150. Qu XM, Li G, Ludlow JB et al: Effective radiation dose of ProMax 3D cone-beam computerized tomography scanner with different dental protocols. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010 Dec;110(6):770-6.
151. Ludlow JB, Ivanovic M: Comparative dosimetry of dental CBCT devices and 64-slice CT for oral and maxillofacial radiology. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008 Jul;106(1):106-14.
152. Garcia Silva MA, Wolf U, Heinicke F et al: Effective dosages for recording Veraviewepocs dental panoramic images: analog film, digital, and panoramic scout for CBCT. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2008 Oct;106(4):571-7.
153. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, Brooks S et al: Dosimetry of 3 CBCT devices for oral and maxillofacial radiology: CBMercuray, NewTom 3G and i-CAT. *Dentomaxillofac Radiol* 2006;35:219-26.
154. Grünheid T, Kolbeck JR, Schieck, Pliska BT et al: Dosimetry of a cone-beam computed tomography machine compared with a digital x-ray machine in orthodontic imaging. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2012;141:436-43.
155. Chiang CC, Jeffres MN, Miller A, Hatcher DC: Three-dimensional airway evaluation in 387 subjects from one university orthodontic clinic using cone beam computed tomography. *Angle Orthod* 2012;82:6.
156. Grauer D, Cevidanes LS, Styner MA et al: Pharyngeal airway volume and shape from cone-beam computed tomography: relationship to facial morphology. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009 Dec;136(6):805-14.
157. Shi H, Scarfe WC, Farman AG et al: Upper airway segmentation and dimensions estimation from cone-beam CT image datasets. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2006;1:177-186.

158. Aydemir H, Memikoglu U, Karasu H: Pharyngeal airway space, hyoid bone position and head posture after orthognathic surgery in Class III patients. *Angle Orthod.* 2012;82:6.
159. Ludlow JB, Davies-Ludlow LE, White SC: Patient risk related to common dental radiographic examinations: the impact of 2007 International Commission on Radiological Protection recommendation regarding dose calculation. *J Am Dent Assoc.* Sep 2008;139(9):1237-1243.

7.3. Abbildungsverzeichnis

Abb.1	Typisches Fernröntgenseitenbild (FRS)	19
Abb.2	Vergleich effektiver Dosen verschiedener DVT-Scanner mit CT-Scannern nach der International Classification on Radiological Protection (ICRP)	21
Abb.3	Überblick von links oben nach rechts unten: axiale, sagittale, koronale Schnittbilder und knöcherner 3-D-Übersicht der Software InVivo [®] 5	25
Abb.4	Streckenmessungen in Relation zur Spina-Ebene (SP) im Sagittalschnitt	29
Abb.5	Sagittalansicht der Streckenmessungen in Relation zur Frankfurter Horizontalen (FH).	30
Abb.6	Strecken- und Flächenmessungen bezogen auf die SP, Ansicht „Sections“ auf Höhe der verlängerten Unterkiefertangente (UT_V) mit Zusatzansicht „3D Volume“	31
Abb.7	Strecken- und Flächenmessungen bezogen auf die SP, Ansicht „Sections“ auf Höhe der Parallele zu SP am Schnittpunkt der Unterkiefertangente mit dem Atemweg (UT_{SP}).	32
Abb.8	Grob und fein ausgeschnittenes gesamtes Atemwegsvolumen von lateral und frontal in Relation zur SP	33
Abb.9	Grob und fein ausgeschnittenes gesamtes Atemwegsvolumen in Relation zur Frankfurter Horizontalen (FH)	33
Abb.10	Unteres Volumen in Relation zur Spina-Ebene (SP) von lateral	34
Abb.11	Berechnetes oberes Volumen und untere Volumina in Relation zur Spina-Ebene (SP)	34
Abb.12	Berechnetes oberes und unteres Volumen in Relation zur Frankfurter Horizontalen (FH)	35
Abb.13	Graphische Darstellung der Messdifferenzen für die Atemwegslänge zwischen beiden Methoden	48
Abb.14	Graphische Darstellung der Atemwegslänge bezogen auf die Spina-Ebene (SP) nach Altersgruppen und Geschlecht aufgeteilt	49

Anhang

Abb.15	Graphische Darstellung der Atemwegslänge für bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH) nach Altersgruppen und Geschlecht aufgeteilt	50
Abb.16	Graphische Darstellung der Länge des weichen Gaumens bezogen Auf die Spina-Ebene (SP) nach Altersgruppen und Geschlecht aufgeteilt	52
Abb.17	Graphische Darstellung der Länge des weichen Gaumens bezogen Auf die Frankfurter Horizontale (FH) nach Altersgruppen und Geschlecht aufgeteilt.	53
Abb.18	Verhältnis Länge weicher Gaumen zu Atemwegslänge für die Spina-Ebene (SP) nach Altersgruppen und Geschlecht aufgeteilt	55
Abb.19	Verhältnis Länge weicher Gaumen zu Atemwegslänge für die Frankfurter Horizontale (FH) nach Altersgruppen und Geschlecht aufgeteilt	56
Abb.20	Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die sagittalen und transversalen Streckenmessungen bezogen auf die SP und FH	58
Abb.21	Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die sagittalen Strecken und die Flächenmessungen bezogen auf die SP und FH	60
Abb.22	Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die transversalen Strecken und die Flächenmessungen bezogen auf die SP und FH	61
Abb.23	Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die Gesamtvolumina und die sagittalen Strecken beider Methoden	62
Abb.24	Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die Gesamtvolumina und die transversalen Strecken beider Methoden	64
Abb.25	Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die Gesamtvolumina und die Flächenmessungen beider Methoden	65

Anhang

Abb.26	Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die oberen Teilvolumina und die sagittalen Strecken beider Methoden	66
Abb.27	Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die oberen Teilvolumina und die transversalen Strecken beider Methoden	67
Abb.28	Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die oberen Teilvolumina und die Flächenmessungen beider Methoden	68
Abb.29	Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die unteren Teilvolumina und die sagittalen Strecken beider Methoden	70
Abb.30	Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die unteren Teilvolumina und die transversalen Strecken beider Methoden	72
Abb.31	Balkendiagramm für die Korrelationskoeffizienten nach Spearman für die unteren Teilvolumina und die Flächenmessungen beider Methoden	74

7.4. Tabellenverzeichnis

Tab.1	Über die International Classification of Sleep Disorders (ICSD) hinaus gebräuchliche Einteilung der SBAS	10
Tab.2	Entsprechend der S3-Leitlinie „Nicht erholsamer Schlaf/Schlafstörungen“ der DGSM empfohlene Messparameter für die Polysomnographie (PSG)	18
Tab.3	Übersicht Strahlenexposition der bildgebenden Verfahren	21
Tab.4	Übersicht zur Altersverteilung der Stichprobe (n = 260)	24
Tab.5	Effektive Patientendosis i-CAT-System® [5]	25
Tab.6	Tabellarische Darstellung der Mediane der Differenzen zwischen erster und zweiter Messung zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit für die sagittalen Variablen	40
Tab.7	Tabellarische Darstellung der Methodenfehler δ nach Dahlberg und der Zuverlässigkeitskoeffizienten Z nach Houston für die sagittalen Variablen in Relation zur SP und zur FH	40
Tab.8	Tabellarische Darstellung der Mediane der Differenzen zwischen erster und zweiter Messung zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit für die transversalen Variablen	41
Tab.9	Tabellarische Darstellung der Methodenfehler δ nach Dahlberg und der Zuverlässigkeitskoeffizienten Z nach Houston für die transversalen Variablen in Relation zur Spina-Ebene (SP) und zur Frankfurter Horizontalen (FH)	41
Tab.10	Tabellarische Darstellung der Mediane der Differenzen zwischen erster und zweiter Messung zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit für die axialen Variablen	42
Tab.11	Tabellarische Darstellung der Methodenfehler δ nach Dahlberg und der Zuverlässigkeitskoeffizienten Z nach Houston für die axialen Variablen in Relation zur Spina-Ebene SP und FH	43
Tab.12	Tabellarische Darstellung der Mediane der Differenzen zwischen erster und zweiter Messung zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit für die Gesamtvolumina	44

Anhang

Tab.13	Tabellarische Darstellung der Methodenfehler δ nach Dahlberg und der Zuverlässigkeitskoeffizienten Z nach Houston für die Gesamtvolumina in Relation zur SP und zur FH	44
Tab.14	Tabellarische Darstellung der Mediane der Differenzen zwischen erster und zweiter Messung zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit für die oberen Teilvolumina	45
Tab.15	Tabellarische Darstellung der Methodenfehler δ nach Dahlberg und der Zuverlässigkeitskoeffizienten Z nach Houston für die Gesamtvolumina in Relation zur SP und FH	45
Tab.16	Tabellarische Darstellung der Mediane der Differenzen zwischen erster und zweiter Messung zur Überprüfung der Reproduzierbarkeit für die unteren Teilvolumina	46
Tab.17	Tabellarische Darstellung der Methodenfehler δ nach Dahlberg und der Zuverlässigkeitskoeffizienten Z nach Houston für die Gesamtvolumina in Relation zur Spina-Ebene SP und FH	46
Tab.18	Tabellarische Darstellung des Korrelationskoeffizienten ρ nach Spearman und der p-Werte für die Atemwegslänge bei beiden Methoden für alle Altersgruppen und beide Geschlechter	48
Tab.19	Tabellarische Darstellung des Korrelationskoeffizienten ρ nach Spearman und der p-Werte für die Länge des weichen Gaumens bei beiden Methoden für alle Altersgruppen und beide Geschlechter	51
Tab.20	Tabellarische Darstellung der Korrelationskoeffizienten ρ nach Spearman und der p-Werte für das Verhältnis der Länge des weichen Gaumens zur Atemwegslänge beider Methoden nach Altersgruppe und Geschlecht aufgeteilt	54
Tab.21	Tabellarische Darstellung der Minima, Maxima, Medianwerte und der Standardabweichung für die sagittalen Atemwegsdurchmesser bezogen auf die FH und SP	57
Tab.22	Tabellarische Darstellung der Minima, Maxima, Medianwerte und der Standardabweichung für die transversalen Atemwegsdurchmesser bezogen auf die FH und SP	57
Tab.23	Tabellarische Darstellung der Minima, Maxima, Medianwerte und der Standardabweichung für die axialen Flächen bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH) und Spina-Ebene (SP)	59

Anhang

Tab.24	Tabellarische Darstellung der Minima, Maxima, Medianwerte und der Standardabweichung für die Gesamtvolumina bezogen auf die FH und SP	62
Tab.25	Tabellarische Darstellung der Minima, Maxima, Medianwerte und der Standardabweichung für die oberen Teilvolumina bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH) und Spina-Ebene (SP)	66
Tab.26	Tabellarische Darstellung der Minima, Maxima, Medianwerte und der Standardabweichung für die unteren Teilvolumina bezogen auf die Frankfurter Horizontale (FH) und Spina-Ebene (SP)	69
Tab.27	Tabellarische Darstellung der p-Werte für die Korrelation des unteren Volumens mit den sagittalen Strecken bei Messungen bezogen auf FH	70
Tab.28	Tabellarische Darstellung der p-Werte für die Korrelation des unteren Volumens mit den sagittalen Strecken bei Messungen bezogen auf FH	71
Tab.29	Tabellarische Darstellung der p-Werte für die Korrelation des unteren Volumens mit den transversalen Strecken bei Messungen bezogen auf SP	71
Tab.30	Tabellarische Darstellung der p-Werte für die Korrelation des unteren Volumens mit den transversalen Strecken bei Messungen bezogen auf FH	72
Tab.31	Tabellarische Darstellung der p-Werte für die Korrelation des unteren Volumens mit den axialen Strecken bei Messungen bezogen auf SP	73
Tab.32	Tabellarische Darstellung der p-Werte für die Korrelation des unteren Volumens mit den axialen Strecken bei Messungen bezogen auf FH	73

7.5. Abkürzungsverzeichnis

AHI	Apnoe-Hypopnoe-Index
ANS	Anterior Nasal Spine
BMI	Body-Mass-Index
CBCT	Cone Beam Computed Tomography, deutsch DVT
CPAP	Continuous Positive Airway Pressure
CT	Computertomographie
DVT	Dentale Volumetomographie
EEG	Elektroenzephalographie
EKG	Elektrokardiographie
EMG	Elektromyographie
EOG	Elektrookulographie
FH	Frankfurter Horizontale
FOV	Field of View
FRS	Fernröntgenseitenbild
HRT	Hormon-Replacement-Therapie
ICCC	Intraclass Correlation Coefficient
ICRP	International Classification on Radiological Protection
ICSD	International Classification of Sleep Disorders
MRT	Magnetresonanztomographie
OSA	Obstruktive Schlafapnoe
OSAHS	Obstruktives Schlafapnoe-Hypopnoe-Syndrom
PAS	Posterior Airway Space
PNS	Posterior Nasal Spine
PSA	Panoramaschichtaufnahme
SBAS	Schlafbezogene Atmungsstörungen
UARS	Upper Airway Resistance Syndrome

7.6. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn Professor Dr. Axel Bumann, Direktor des MESANTIS - Institut für 3D-Dentalradiologie Berlin, für die mögliche Pomotion. Ich danke ihm für die Überlassung des Promotionsthemas, das entgegengebrachte Vertrauen und die zielführende, unkomplizierte Betreuung während der gesamten Arbeit.

Für die stets freundliche Unterstützung danke ich Frau Dr. Margareta Nitka, Frau Ramona Keilbach, Frau Romina Rothe, Frau Sandra Bieseke und Herrn Sebastian Sohst des 3D Röntgeninstitutes MESANTIS.

Außerdem danke ich Frau Andrea Stroux vom Institut für Biometrie und klinische Epidemiologie der Charite Universitätsmedizin Berlin für die freundliche und kompetente Betreuung bei der statistischen Auswertung der Arbeit.

Mein herzlichster Dank gilt meinen Eltern und Moritz, die mich wohlwollend und verständnisvoll während der gesamten Zeit unterstützt haben.

7.7. Curriculum Vitae

Mein Lebenslauf wird aus datenschutzrechtlichen Gründen in der elektronischen Version meiner Arbeit nicht veröffentlicht.

7.8. Eidesstattliche Versicherung

„Ich, Franziska Gorath, versichere an Eides statt durch meine eigenhändige Unterschrift, dass ich die vorgelegte Dissertation mit dem Thema: „Vergleich von 2D- und 3D-Analysen zur quantitativen Erfassung von Obstruktionen der posterioren Atemwege auf Basis der dentalen Volumentomographie - Eine klinisch-retrospektive Transversalstudie - “ selbstständig und ohne nicht offengelegte Hilfe Dritter verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel genutzt habe.

Alle Stellen, die wörtlich oder dem Sinne nach auf Publikationen oder Vorträgen anderer Autoren beruhen, sind als solche in korrekter Zitierung (siehe „Uniform Requirements for Manuscripts (URM)“ des ICMJE -www.icmje.org) kenntlich gemacht. Die Abschnitte zu Methodik (insbesondere praktische Arbeiten, Laborbestimmungen, statistische Aufarbeitung) und Resultaten (insbesondere Abbildungen, Graphiken und Tabellen) entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Meine Anteile an etwaigen Publikationen zu dieser Dissertation entsprechen denen, die in der untenstehenden gemeinsamen Erklärung mit dem/der Betreuer/in, angegeben sind. Sämtliche Publikationen, die aus dieser Dissertation hervorgegangen sind und bei denen ich Autor bin, entsprechen den URM (s.o) und werden von mir verantwortet.

Die Bedeutung dieser eidesstattlichen Versicherung und die strafrechtlichen Folgen einer unwahren eidesstattlichen Versicherung (§156,161 des Strafgesetzbuches) sind mir bekannt und bewusst.“

Datum

Unterschrift