

Klinik für Herz- und Kreislauferkrankungen  
Deutsches Herzzentrum München  
des Freistaates Bayern  
Klinik an der Technischen Universität München  
(Direktor: Univ.-Prof. Dr. A. Schömig)

**Darstellung der Pulmonalvenen und des linken Vorhofs mittels  
Multislice-Computertomographie:**

**Vergleich zwischen Individuen mit persistierendem Vorhofflimmern,  
paroxysmalen Vorhofflimmern und einer Kontrollgruppe**

Michael Pörner

Vollständiger Abdruck der von der Fakultät für Medizin der Technischen Universität  
München zur Erlangung des akademischen Grades eines

**Doktors der Medizin**

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr. D. Neumeier  
Prüfer der Dissertation: 1. apl. Prof. Dr. C. G. Schmitt  
2. Univ.-Prof. A. Kastrati

Die Dissertation wurde am 15.03.2006 bei der Technischen Universität München  
eingereicht und durch die Fakultät für Medizin am 27.09.2006 angenommen.

Meinen Eltern gewidmet

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungen</b>	<b>1</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>2</b>
1.1 Epidemiologie und Elektrophysiologie des Vorhofflimmerns	2
1.2 Historischer Überblick	3
1.3 Problemstellung und Zielsetzung	6
<b>2 Patienten und Methodik</b>	<b>7</b>
2.1 Patienten	7
2.2 Untersuchung	9
2.3 Messmethode	11
2.4 Statistische Auswertung	15
2.5 Definitionen	16
<b>3 Ergebnisse</b>	<b>19</b>
3.1 Betrachtungen der Gruppen A und B	19
3.1.1 Vergleiche innerhalb der Gruppe A	19
3.1.2 Vergleiche innerhalb der Gruppe B	22
3.1.3 Vergleich der Gruppe A mit den Untergruppen der Gruppe B	36
3.2 Linke Pulmonalvenen	41
3.2.1 Linke obere Pulmonalvene (LUPV)	41
3.2.2 Linke untere Pulmonalvene (LLPV)	47
3.3 Rechte Pulmonalvenen	53
3.3.1 Rechte obere Pulmonalvene (RUPV)	53
3.3.2 Rechte untere Pulmonalvene (RLPV)	60
3.4 Akzessorische Pulmonalvenen	66
3.4.1 Linke akzessorische Pulmonalvene (LAPV)	66
3.4.2 Rechte akzessorische Pulmonalvene (RAPV)	66
3.5 Truncus	68
3.5.1 Linker Truncus	68

3.5.2 Rechter Truncus	70
3.6 Common Ostium	72
3.7 Linker Vorhof	72
<b>4 Diskussion</b>	<b>75</b>
<b>5 Zusammenfassung</b>	<b>84</b>
<b>6 Literaturverzeichnis</b>	<b>86</b>

## Abkürzungen

<b>3D</b>	dreidimensional
<b>CT</b>	Computertomographie, Computertomograph
<b>EKG</b>	Elektrokardiogramm
<b>LA</b>	Left Atrium
<b>LAPV</b>	Left Accessory Pulmonary Vein
<b>LUPV</b>	Left Upper Pulmonary Vein
<b>LLPV</b>	Left Lower Pulmonary Vein
<b>mm</b>	Millimeter
<b>MPR</b>	Multiplanare Rekonstruktion
<b>MSCT</b>	Multislice-Computertomographie
<b>n.s.</b>	nicht signifikant
<b>RAPV</b>	Right Accessory Pulmonary Vein
<b>RUPV</b>	Right Upper Pulmonary Vein
<b>RLPV</b>	Right Lower Pulmonary Vein
<b>SR</b>	Sinusrhythmus
<b>VHF</b>	Vorhofflimmern
<b>VRT</b>	Volume Rendering Technique

# 1 Einleitung

## 1.1 Epidemiologie und Elektrophysiologie des Vorhofflimmerns

Vorhofflimmern ist die häufigste Form von Herzrhythmusstörungen und stellt eine große Herausforderung in der Behandlung von supraventrikulären Herzrhythmusstörungen dar.

Vorhofflimmern findet sich in circa 2 % in der Gesamtbevölkerung, in der Bevölkerung älter als 65 Jahre ist es mit einer Häufigkeit von circa 6 % vertreten [2, 9, 27]. Vorhofflimmern ist mit einem vierfach bis fünffach höherem Risiko verbunden, einen embolischen cerebrovaskulären Insult zu erleiden im Vergleich zu einer Population ohne Vorhofflimmern [5, 9, 54].

Vorhofflimmern ist mit einer erhöhten Mortalität – verursacht unter anderem durch vermehrte Häufigkeit von cerebrovaskulären Ereignissen und durch eine progressive linksventrikuläre Dysfunktion – vergesellschaftet. Letztendlich geht Vorhofflimmern unter Berücksichtigung der Komorbidität mit einer anderthalbfach erhöhten Mortalität einher [2].

Patienten mit Vorhofflimmern benötigen ärztliche Konsultation zur Modifikation der antiarrhythmischen Therapie und zur Überwachung der antikoagulativen Therapie; im Vergleich zu einer altersentsprechenden Population mit einer koronaren Herzkrankheit fallen erheblich höhere Kosten an [54].

Zur Erklärung der Entstehung des Vorhofflimmerns werden zwei elektrophysiologische Modelle vorgeschlagen:

Focale Trigger [20] meist in den Pulmonalvenen gelegen und / oder ein abnormales Substrat [1] intraatrial. Es wird vermutet, dass die Foci ein Vorhofflimmern initiieren; auf der anderen Seite scheint die Substratanomalie auf Vorhofebene eine wichtige Rolle bei der Aufrechterhaltung des Vorhofflimmerns zu haben.

So erscheint es nicht verwunderlich, dass seit langem eine kurative alternative Therapie zur Behandlung des Vorhofflimmern gesucht wird. Hier hat sich in den letzten Jahren die interventionelle Therapie mittels Katheterablation zu einem etablierten Verfahren entwickelt; vor einer solchen Therapie ist die Kenntnis der individuellen Anatomie der Pulmonalvenen und des linken Vorhofs zur Vermeidung von Komplikationen, zur Verkürzung der Untersuchungszeit und insbesondere der Durchleuchtungszeit erforderlich.

## 1.2 Historischer Überblick

Eine der frühesten anatomischen Betrachtungen der strumpffartig die zentralen Abschnitte der Pulmonalvenen umfassenden Muskulatur des linken Vorhofs wird Luschka 1856 [52] zugeschrieben. Keith und Flack beschrieben 1907 [29] detailliert wie atriale Muskelfasern die großen in die Vorhöfe einmündenden Venen umfassen. Fast fünfzig Jahre vergingen bis den Muskelstrümpfen der Pulmonalvenen die Rolle eines Drosselventils zugeschrieben wurde [3]. Nochmals fast zwanzig Jahre vergingen, bis die elektrische Aktivität in den Venen des rechten und linken Vorhofs entdeckt wurde [47, 56]. In den letzten Jahren rückten diese von den Vorhöfen auf die Venen übergreifenden Muskelfasern im Rahmen der Hochfrequenzablation zur Behandlung von Vorhofflimmern erneut in das Rampenlicht des Interesses.

Neben einer medikamentösen Therapie mit Antiarrhythmika und Antikoagulantien haben sich in der Vergangenheit die chirurgische und die minimal - invasive Ablationstherapie herauskristallisiert. Sinn und Ziel der beiden letztgenannten Therapien ist die Etablierung eines dauerhaften stabilen Sinusrhythmus ohne eine begleitende medikamentöse Therapie.

Chirurgische Therapieverfahren zielen auf eine Substratmodifikation des Vorhofes ab. Schon im Jahre 1914 wurde gezeigt, dass atriales Gewebe die Fibrillation einstellt, wenn es nur klein genug geschnitten wird [16]. Moe [37] stellte die Hypothese der Existenz von multiplen wavelets bei Vorhofflimmern auf; diese Hypothese wurde später von Rensma [42] bestätigt. Dieses Wissen führte zur Entwicklung von chirurgischen Konzepten zur Wiederherstellung eines Sinusrhythmus.

Die erste eingesetzte Technik war die "Korridor-Operation": die Vorhofwände wurden vom Septum unter Erhaltung der Verbindung zwischen Sinusknoten und AV-Knoten chirurgisch elektrisch isoliert [17]: leider bewirkt diese Operationstechnik nicht die Wiederherstellung einer geordneten Erregung im Vorhof, die hämodynamische Leistung der Vorhöfe fehlt weiterhin.

In den frühen neunziger Jahren des letzten Jahrhunderts stellte Cox eine sehr effektive chirurgische Vorgehensweise zur Behandlung des Vorhofflimmerns vor [12]. Diese als MAZE-Operation (maze, *engl.*: Irrgarten, Labyrinth) bekannt gewordene Technik beinhaltet eine ausgiebige Dissektion sowohl des rechten als auch des linken Vorhofs mit dem Ziel der Schaffung eines „Labyrinthes“ welches der Aufrechterhaltung eines Vorhofflimmerns

entgegentritt. Im Laufe der Jahre wurde die Operationsmethode, welche ursprünglich nur zur Therapie des Vorhofflimmerns gedacht war, weiter verfeinert und wird heutzutage in Kombination mit einer wegen Begleiterkrankungen notwendigen Mitralklappenplastik beziehungsweise Mitralklappenersatzes oder einer coronararteriellen Bypassoperation durchgeführt; ihre Erfolgsquote in bezug auf die langfristige Etablierung eines Sinusrhythmus beträgt 84 % bis 93 % [11]. So hat die MAZE-Operation allein zur Therapie von Vorhofflimmern immer mehr an Bedeutung verloren; ihre größten Nachteile liegen in der Notwendigkeit einer offenen Thorakotomie und der einer extracorporalen Zirkulation mit all ihren Risiken und möglichen Komplikationen. Neuere Techniken der chirurgischen Behandlung des Vorhofflimmerns wurden entwickelt, wie zum Beispiel die endocardiale und epicardiale Hochfrequenzablation [35].

Die Erfolge der MAZE-Operation waren ein wichtiger Zündfunken für die Entwicklung von transkutanen intraatrialen Ablationstechniken mittels Hochfrequenz; nachdem diese Technik schon erfolgreich für die Ablation zum Beispiel bei akzessorischen Leitungsbahnen wie dem Wolff-Parkinson-White-Syndrom eingesetzt wurde, war die Weiterentwicklung zur Therapie von Vorhofflimmern nur eine logische Konsequenz. Zunächst wurde die Ablation auf den rechten Vorhof beschränkt, da Risiken wie Verletzungen der Herzklappen, Thrombembolien und Pericardergüsse gefürchtet wurden; die Erfolgsrate war hierdurch deutlich limitiert und lag um 33 % [19]. So war eine Ausdehnung der Ablation auf den linken Vorhof erforderlich zumal klar wurde, dass er eine bedeutende Rolle in der Entstehung von Vorhofflimmern spielt.

Der sogenannten Bordeaux Schule um Haissaguerre ist es zu verdanken, dass entscheidende Impulse um das Verständnis der Entstehung der atrialen Fibrillation und somit auch einer Änderung der Therapie gesetzt wurden [20, 23]. Sie konnten im Rahmen von Mapping-Studien zeigen, dass bei einem Teil der Patienten schnell feuernde Foci in oder in der Nähe der Pulmonalvenen Vorhofflimmern auslösen können.

Verschiedene Ablationsverfahren, die sich unter anderem im Applikationsort der Radiofrequenzenergie und hier insbesondere im räumlichen Bezug zum Pulmonalvenenostium bzw. in der Pulmonalvene selbst unterscheiden, sind etabliert; letztendlich können die Langzeitergebnisse noch nicht abschließend bewertet werden [6, 28].



Eine bekannte Komplikation ist das Auftreten von Stenosingen der Pulmonalvenen nach Radiofrequenz – Ablation. Signifikante und insbesondere klinisch apparente Stenosingen treten glücklicherweise nur selten auf, je nach Ablationstechnik und Arbeitsgruppe wird die Häufigkeit von signifikanten Stenosen mit 1 bis 6 % angegeben [4, 13, 18, 24, 25, 28, 41, 43, 51]. Cappato et al. [7] berichten in einer Multicenterstudie mit 7154 Patienten und verschiedenen Ablationstechniken über eine Häufigkeit einer signifikanten Pulmonalvenenstenose bei 1,3 % der Patienten.

Weitere - und bis heute andauernde – elektrophysiologische und anatomische Untersuchungen der Verbindung von Pulmonalvenen und linken Vorhof beleuchten die Pathogenese des Vorhofflimmerns. Die Muskulatur des linken Atrium kann bis zu einigen Zentimetern in die Pulmonalvenen hineinreichen, ausgeprägter in den oberen als in den unteren Pulmonalvenen [22, 38]. Diskutiert werden auch der Einfluss verschiedener Durchmesser der Pulmonalvenen und ihrer Wandstärke, die Einsprengung von Bindegewebe, die Feinarchitektur der Muskulatur und auch das Vorhandensein von Nerven und Ganglien des autonomen Nervensystems im venoatrialen Übergang. Es werden auch elektrophysiologische Unterschiede zwischen paroxysmalen und persistierenden Vorhofflimmern beschrieben [39]. Letztendlich bleibt aber die Frage, warum es bei einigen Patienten zur Aktivierung dieser triggernden Foci kommt und bei anderen nicht.

Fast zeitgleich veröffentlichten Haissaguerre und Mitarbeiter [21] ("Bordeaux-Schule") auf der einen, sowie Pappone und Mitarbeiter [40] auf der anderen Seite zwei unterschiedliche Behandlungsmethoden des Vorhofflimmerns mittels Hochfrequenzablation. Haissaguerre et al. verwendeten einen zirkulären Mapping-Katheter um einen von ihnen postulierten Durchbruchpunkt der Erregung zwischen Pulmonalvenen und linken Vorhof zu detektieren und dann gezielt zu abladieren. Pappone et al. hingegen entwickelten eine Methode zur Diskonnektion der Pulmonalvenen vom linken Vorhof mittels Hochfrequenzapplikation nach vorausgegangenem 3D-Mapping um so zirkumferente Läsionen innerhalb des linken Vorhofs zu setzen; zur Vermeidung von Stenosenbildung hielten sie einen Abstand von ungefähr fünf Millimetern vom Ostium der jeweiligen Pulmonalvene ein.

### **1.3 Problemstellung und Zielsetzung**

Die Ablation von Vorhofflimmern ist eine etablierte kurative Therapieoption; um eine erfolgreiche Ablation mit dem Ziel eines dauerhaften Sinusrhythmus zu erreichen und Komplikationen zu vermeiden, ist die Kenntnis der Anatomie des linken Vorhofs und insbesondere der Pulmonalvenen wichtig. Die klassische Anatomie lehrt ein Bild mit jeweils zwei von links und von rechts getrennt in den linken Vorhof mündenden Pulmonalvenen. Mehrere in der jüngsten Zeit veröffentlichte Arbeiten zeigen ein anderes Bild.

Ziel der vorliegenden Arbeit sind die Entwicklung einer strukturierten dreidimensionalen Rekonstruktion mit einer genormten Vermessung der Durchmesser der Pulmonalvenen und des linken Vorhofs, einer Definition und Deskription der Normvarianten der Pulmonalvenen und eine Erfassung ihrer Häufigkeit im Vergleich einer Gruppe von Patienten mit persistierendem Vorhofflimmern, einer Gruppe von Patienten mit paroxysmalem Vorhofflimmern sowie einer Gruppe von Patienten mit Sinusrhythmus und ohne Vorhofflimmern in der Anamnese.

## **2 Patienten und Methodik**

### **2.1 Patienten**

Insgesamt werden 164 Patienten untersucht, es handelt sich um 48 Frauen und 116 Männer; das mittlere Alter beträgt 57,4 Jahre (23 – 79 Jahre). Sie werden in drei Gruppen eingeteilt:

#### Gruppe A:

55 Patienten (37 Männer, 18 Frauen, mittleres Alter 57,3 Jahre) werden vor einer Katheterablation zur Behandlung von Vorhofflimmern zur Visualisierung der Anatomie des linken Atriums und der zentralen Abschnitte der Pulmonalvenen untersucht. Einschlusskriterium in diese Gruppe ist ein seit mindestens einer Woche bestehendes persistierendes Vorhofflimmern. Die Dauer des persistierenden Vorhofflimmerns liegt im Median bei 26 Wochen; das Minimum liegt bei 1 Woche und das Maximum bei 432 Wochen.

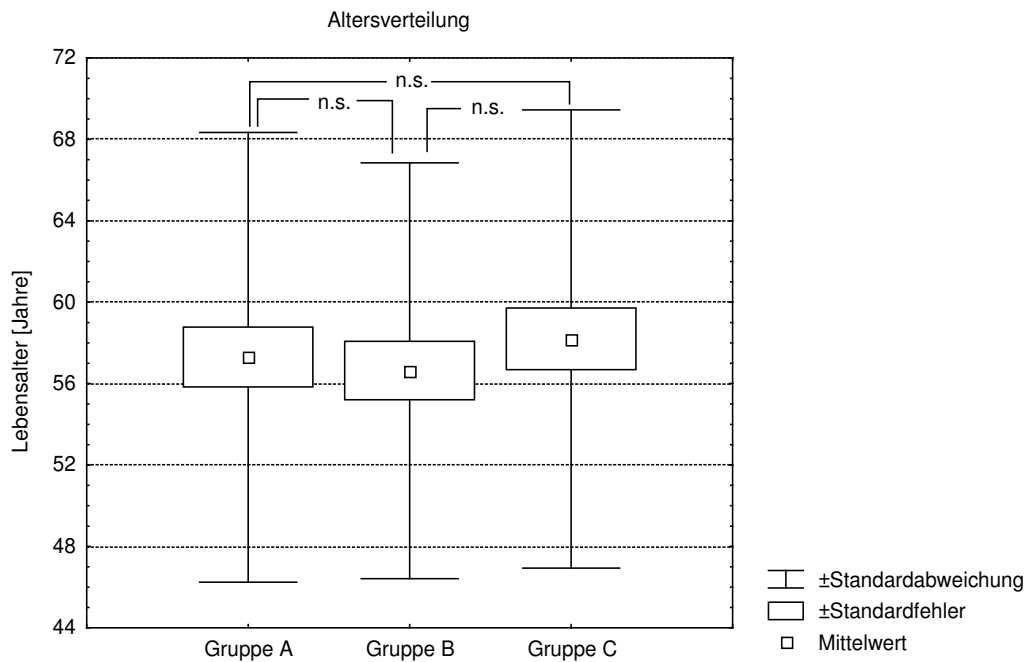
#### Gruppe B:

52 Patienten (40 Männer, 12 Frauen, mittleres Alter 56,6 Jahre) werden ebenfalls vor einer Katheterablation zur Behandlung von Vorhofflimmern zur Visualisierung der Anatomie des linken Atriums und der zentralen Abschnitte der Pulmonalvenen untersucht. Einschlusskriterium in diese Gruppe ist ein paroxysmales Vorhofflimmern. Zum Untersuchungszeitpunkt befinden sich 37 Patienten im Sinusrhythmus und 15 Patienten im Vorhofflimmern. Die Dauer des paroxysmalen Vorhofflimmerns liegt im Median bei 116 Wochen; das Minimum liegt bei 3 Wochen und das Maximum bei 1300 Wochen.

#### Gruppe C:

57 Patienten (39 Männer, 18 Frauen, mittleres Alter 58,2 Jahre) erhalten bei klinischem Verdacht auf eine koronare Herzerkrankung eine Computertomographie; Herzrhythmusstörungen im Sinne von Vorhofflimmern oder Vorhofflattern in der Anamnese werden ausgeschlossen. Zum Untersuchungszeitpunkt befinden sich alle Patienten im Sinusrhythmus.

In den untersuchten Gruppen bestehen hinsichtlich der Alters- und Geschlechtsverteilung keine signifikanten Unterschiede.



**Abbildung 2.1.1:** Altersverteilung in den untersuchten Gruppen 1 – 3

In den einzelnen Gruppen findet sich die Eigenschaft „Arterieller Hypertonus“ mit der in der Tabelle 2.1.2 aufgeführten Verteilung. Als arterieller Hypertonus gelten systolische Werte über 120 mmHg.

	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
ja	n = 32	n = 23	n = 27
nein	n = 23	n = 27	n = 5
keine Angabe	n = 0	n = 2	n = 25

**Tabelle 2.1.2:** Verteilung der Eigenschaft „Arterieller Hypertonus“ in den Gruppen A, B und C

## 2.2 Untersuchung

Der Patient wird mit entkleidetem Oberkörper auf die Untersuchungsliege gelegt, anschließend wird der Blutdruck unblutig am Oberarm gemessen. Falls der gemessene systolische Blutdruck oberhalb von 100 mmHg liegt, wird eine Kapsel entsprechend 0,8 mg Glyceroltrinitrat (Nitrolingual<sup>®</sup>, G. Pohl - Boskamp GmbH & Co, Hohenlockstedt, Germany) sublingual verabreicht.

Bei Vorliegen eines Sinusrhythmus wird ein Oberflächen-EKG abgeleitet um eine EKG-Triggerung der CT möglich zu machen. Nach Ausschluss von Kontraindikationen wird in abhängig von der Herzfrequenz Metoprololtartrat (Beloc<sup>®</sup>, AstraZeneca GmbH, Wedel, Germany) intravenös bis zu einer maximalen Dosis von 20 mg gegeben um eine Absenkung der Herzfrequenz auf möglichst 50 - 60 Schlägen pro Minute zu erreichen und so die Darstellung der Koronararterien optimal durchführen zu können.

In der Gruppe A kann bei chronischem Vorhofflimmern eine EKG-Triggerung natürlich nicht durchgeführt werden; so wird in dieser Patientengruppe kein Oberflächen-EKG angelegt und auch kein Metoprololtartrat verabreicht.

Alle Patienten werden mit einem Multislice-Computertomographen Siemens Sensation 16 oder 64 cardiac<sup>®</sup> (Siemens, Erlangen, Germany) untersucht. Die Geräteeinstellungen betragen für alle Patienten: Kollimation 0,6 - 0,75 mm, primäre Rekonstruktion in transversaler Schichtebene mit einer Schichtdicke von 0,75 - 1,0 mm. Die Rotationszeit beträgt 330 - 500 ms.

Die Röhrenspannung liegt bei 100 - 120 kV, der Röhrenstrom wird entsprechend der Absorption des Untersuchungsvolumens automatisch moduliert.

In allen Patientengruppen wird zunächst ein Topogramm zur Bestimmung des zu untersuchenden Bereichs erstellt. Im Anschluss hieran erfolgt die Berechnung der nötigen Startverzögerung bis zur optimalen Kontrastierung der interessierenden Gefäßabschnitte unter zu Hilfenahme eines Testbolus und wiederholtem Scan in Höhe der Trachealbifurkation. Dieser Testbolus wird mit einem Volumen von 20 ml Iomeprol (Imeron<sup>®</sup>, Altana, Konstanz, Germany) und einer Injektionsgeschwindigkeit von 4 - 4,5 ml/sec gefolgt von einer Injektion von 50 ml einer isotonen Natriumchlorid-Lösung (DeltaSelect<sup>®</sup>, DeltaSelect GmbH, Pfullingen, Germany) mit der gleichen Injektionsgeschwindigkeit durchgeführt.

Zur intravenösen Gabe des Kontrastmittels wird ein peripher venöser Zugangsweg mittels einer peripheren Venenverweilkanüle Vasofix<sup>®</sup> Braunüle<sup>®</sup> 20G (B. Braun Melsungen AG,

Melsungen, Deutschland) bevorzugt rechts cubital gewählt; falls dies nicht möglich ist wird ein Zugangsweg links cubital oder am Unterarm oder der Hand geschaffen.

Die Verbindung zwischen der peripheren Venenverweilkanüle und der Injektionspumpe wird mittels zwei Hochdruckschläuchen Patientenschlauch ES 224/150 (MEDTRON Medizinische Systeme GmbH, Saarbrücken, Deutschland) und einem hochdruckfesten Dreiwegehahn BD Connecta™ Plus 3 (Becton Dickinson Infusion Therapy AB, Helsingborg, Schweden) geschaffen.

Die intravenöse Injektion erfolgt mittels einer automatischen Injektionspumpe (Injektron CT2, Medtron, Saarbrücken, Deutschland).

Alle CT-Untersuchungsschritte finden in Atemanhaltetechnik statt.

## 2.3 Messmethode

Die transversalen Rekonstruktionen mit einer Schichtdicke von 1 mm werden mit der in den Computertomographen implementierten Software mittels einer 3D-Rekonstruktion weiter verarbeitet. Zunächst wird mittels einer volume rendering technique (VRT) eine Darstellung des linken Atriums (LA) und der Pulmonalvenen generiert, um einen Überblick über die Anatomie der Pulmonalvenen zu erhalten (Abb. 2.3.1).

Anschließend wird jede Pulmonalvene mit der implementierten Software mittels multiplanarer Rekonstruktionen (MPR) so dargestellt, dass die Vene exakt in den Rekonstruktionsebenen verläuft. Nun wird eine zu dieser Längsachse orthogonal liegende Ebene gewählt, zu der wiederum parallel verlaufende multiple Rekonstruktionsebenen mit einer Schichtdicke von 1 mm und einem Abstand von 0,5 mm zueinander generiert werden (Abb. 2.3.3).

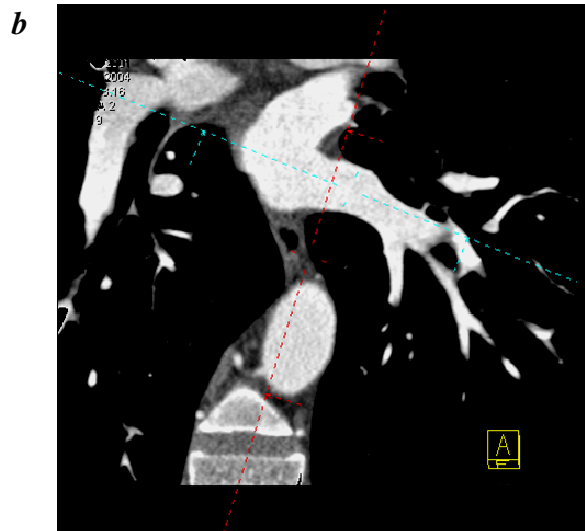
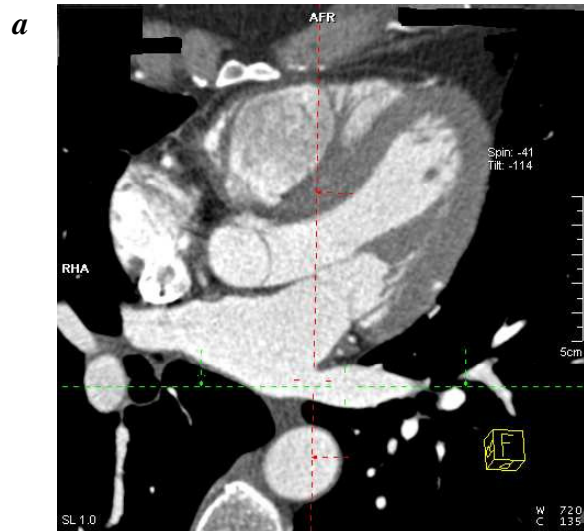
Hierdurch wird eine exakte Messung der Diameter der Pulmonalvene am Ostium sowie in einer Entfernung von 5 mm und von 10 mm vom Ostium möglich, ohne eine durch schräg zur Längsachse der Pulmonalvene durchgeführte Messung inkorrekte Ergebnisse zu erhalten (Abb.2.3.4).

Die Bezeichnungen minimaler und maximaler Durchmesser werden gewählt, da diese Strecken nicht streng anterior-posterior beziehungsweise cranio-caudal verlaufen, sondern in einer paracoronaren beziehungsweise paratransversalen Ebene.

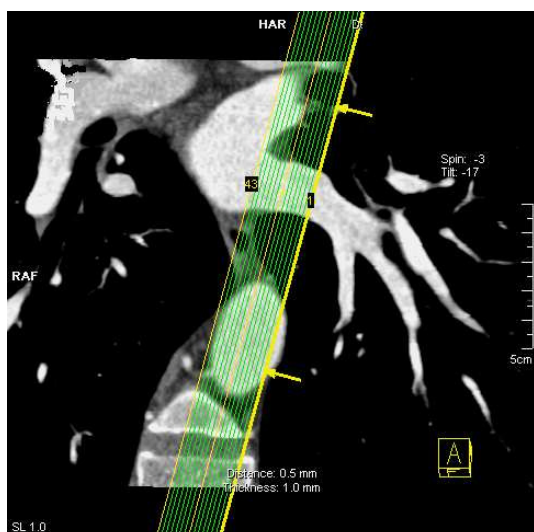
Akzessorische Pulmonalvenen werden auf die gleiche Weise vermessen; zusätzlich wird ihr Ursprung im Vergleich zu den Hauptpulmonalvenen beschrieben.



*Abbildung 2.3.1: VRT zur Visualisierung der Pulmonalvenenanatomie*

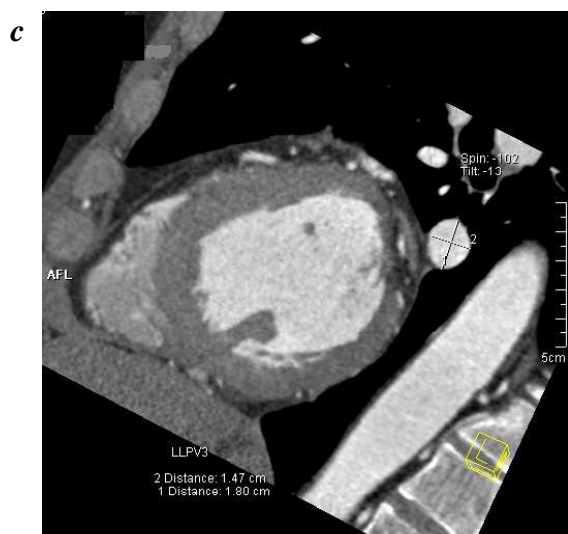
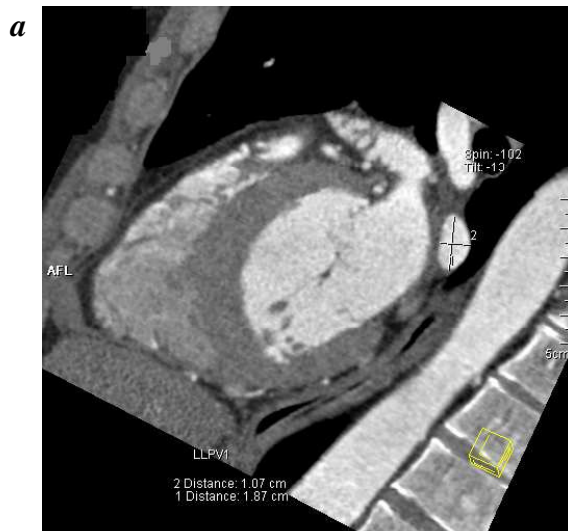


*Abbildung 2.3.2: Einstellen der LLPV in der paratransversalen (a), der paracoronaren (b) und der parasagittalen (c) Ebene*



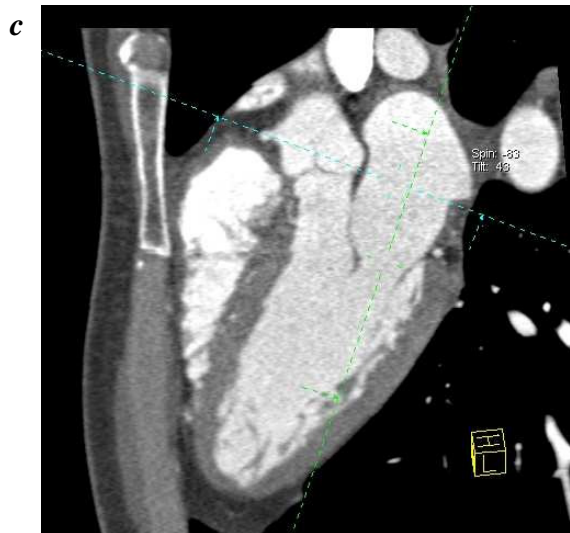
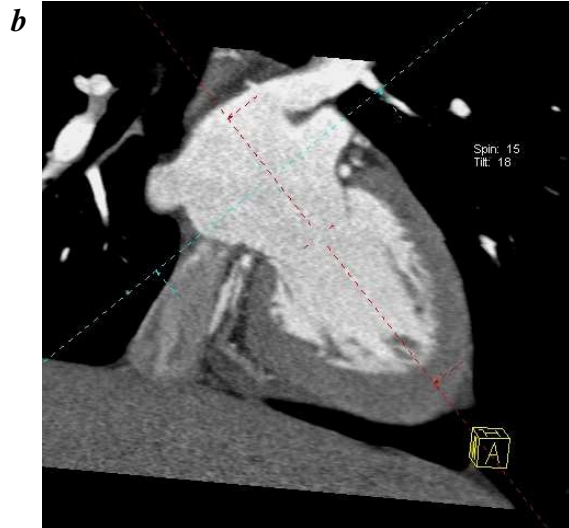
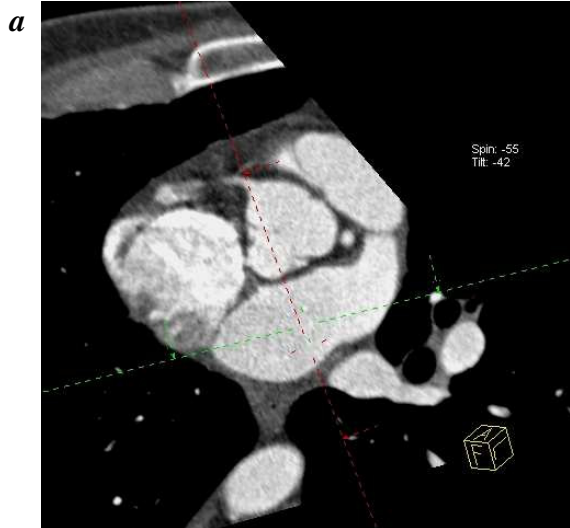
*Abbildung 2.3.3: Planung der multiplanaren Rekonstruktion exakt orthogonal zur Längsachse der Pulmonalvene, hier dargestellt an der LLPV*





*Abbildung 2.3.4: Messung der minimalen und maximalen Diameter der LLPV am Ostium (a) sowie in einer Entfernung von 5 mm (b) und 10 mm (c) vom Ostium*

Der linke Vorhof wird mittels der 3D-Software so eingestellt, dass sein maximaler Diameter in cranio-caudaler Richtung und anschließend die hierzu senkrecht stehenden Diameter in latero-lateraler und in ventro-dorsaler Richtung bestimmt werden können (Abb. 2.3.5). Diese Diameter werden vereinfacht als Höhe, Breite und Tiefe des LA angegeben (Abb. 2.3.6).



*Abbildung 2.3.5: Rekonstruktion des LA in der paratransversalen (a), der paracoronaren (b) und der parasagittalen (c) Ebene*



*Abbildung 2.3.6: Bestimmung der Breite (a) sowie der Höhe und Tiefe (b) des LA*

## 2.4 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgt unter Verwendung der Software STATISTICA for Windows 5.0 (Statsoft Inc., Tulsa, OK, USA). Bestimmt werden Mittelwert, Standardabweichung und Standardfehler. Die Ermittlung der statistischen Relevanz von Messwertunterschieden jeweils zweier Gruppen erfolgt mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Testes, zwischen allen drei Gruppen mittels der Rangvarianzanalyse nach Kruskal-Wallis.

## 2.5 Definitionen

Neben der klassischen Anatomie mit jeweils zwei von links und von rechts in den linken Vorhof einmündenden Pulmonalvenen finden sich bei vielen Patienten von dieser Normalform abweichende Normvarianten. Diese Varianten zu kennen und sie vor einer elektrophysiologischen Untersuchung beziehungsweise Intervention darzustellen ist von Nutzen, da dadurch zum Beispiel akzessorische Pulmonalvenen gezielt aufgesucht und dargestellt werden können.

Zum anderen bestehen aber auch typische Aufteilungsmuster und Verlaufsformen der Pulmonalvenen.

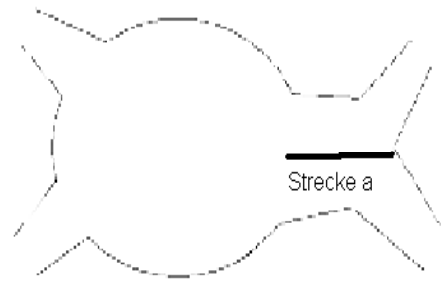
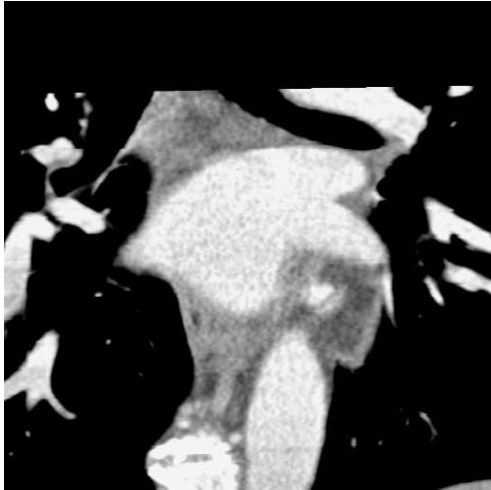
Diese Normvarianten beziehungsweise Verlaufsmuster können in zwei große Gruppen aufgeteilt werden:

1. Formen der Hauptpulmonalvenen
2. Akzessorische Pulmonalvenen

Die erste Gruppe kann weiter aufgeteilt werden in:

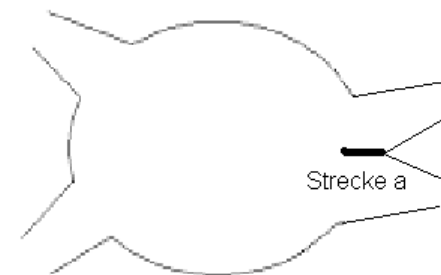
1. a) Truncus  
b) Common ostium  
c) getrennte Einmündung der Pulmonalvenen
2. Akzessorische Pulmonalvenen

ad 1a): Als Truncus wird ein gemeinsamer Verlauf der beiden Hauptpulmonalvenen über eine Strecke von mindestens 10 mm definiert. Gemessen wird hier die Strecke vom mutmaßlichen Ostium bis zum peripheren Ende des Truncus welches durch den Winkel im Konfluens der Hauptpulmonalvenen gebildet wird. In der unten gelegenen Skizze ist dies durch die Strecke a dargestellt (Abb.2.5.1).



**Abbildung 2.5.1: Linker Truncus**

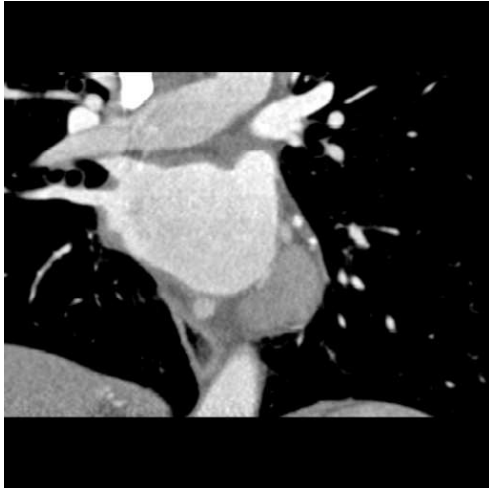
ad 1b): Als common ostium wird ein direktes Aneinandergrenzen von mindestens zwei Pulmonalvenen ohne interponierte Atriumwand oder, analog zur der Definition des Truncus, ein gemeinsamer Verlauf der Hauptpulmonalvenen von weniger als zehn Millimetern definiert (Abb. 2.5.2, Strecke a)



**Abb. 2.5.2: Common Ostium**

ad 1c): Der klassischen Anatomie entsprechend münden die Hauptpulmonalvenen getrennt voneinander und mit interponierter Atriumwand ein.

ad 2: Als akzessorische Pulmonalvenen wurden solche Venen bezeichnet, die unabhängig von den Hauptpulmonalvenen in den linken Vorhof münden (Abb.2.5.3).



*Abbildung 2.5.3: akzessorische rechte Pulmonalvene*

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Betrachtungen der Gruppen A und B

##### 3.1.1 Vergleiche innerhalb der Gruppe A

Innerhalb der Gruppe A werden zwei Untergruppen miteinander verglichen: Patienten in Inspiration während der Untersuchung versus Patienten in Expiration während der Untersuchung hinsichtlich der Diameter der Pulmonalvenen. Es handelt sich um 39 Patienten in Inspiration und 16 Patienten in Expiration.

An den gemessenen Positionen können keine signifikanten Unterschiede im Diameter der LUPV, LLPV, RUPV und RLPV festgestellt werden (Tab.3.1.1.1 bis 3.1.1.4).

LUPV	Inspiration	Expiration	p
minimaler Diameter am Ostium	13,5 mm +/- 3,1 mm	14,8 mm +/- 3,6 mm	n.s.
maximaler Diameter am Ostium	21,1 mm +/- 3,2 mm	20,5 mm +/- 4,1 mm	n.s.
minimaler Diameter 5 mm vom Ostium	13,5 mm +/- 2,9 mm	14,3 mm +/- 3,5 mm	n.s.
maximaler Diameter 5 mm vom Ostium	19,9 mm +/- 3,1 mm	20,2 mm +/- 3,7 mm	n.s.
minimaler Diameter 10 mm vom Ostium	12,7 mm +/- 2,8 mm	13,9 mm +/- 3,2 mm	n.s.
maximaler Diameter 10 mm vom Ostium	19,2 mm +/- 3,6 mm	19,9 mm +/- 3,2 mm	n.s.

**Tabelle 3.1.1.1:** Mittlere Diameter und Standardabweichungen der LUPV im Vergleich der Untergruppen „Inspiration“ versus „Expiration“.

LLPV	Inspiration	Expiration	p
minimaler Diameter am Ostium	12,4 mm +/- 2,4 mm	12,2 mm +/- 2,1 mm	n.s
maximaler Diameter am Ostium	19,1 mm +/- 2,7 mm	18,7 mm +/- 2,1 mm	n.s
minimaler Diameter 5 mm vom Ostium	12,7 mm +/- 2,2 mm	13,0 mm +/- 2,3 mm	n.s
maximaler Diameter 5 mm vom Ostium	18,6 mm +/- 2,7 mm	18,6 mm +/- 2,4 mm	n.s
minimaler Diameter 10 mm vom Ostium	12,9 mm +/- 2,0 mm	12,0 mm +/- 2,9 mm	n.s
maximaler Diameter 10 mm vom Ostium	18,0 mm +/- 3,3 mm	19,6 mm +/- 3,6 mm	n.s

**Table 3.1.1.2:** Mittlere Diameter und Standardabweichungen der LLPV im Vergleich der Untergruppen „Inspiration“ versus „Expiration“ der Gruppe A.

RUPV	Inspiration	Expiration	p
minimaler Diameter am Ostium	19,2 mm +/- 4,9 mm	19,3 mm +/- 4,1 mm	n.s
maximaler Diameter am Ostium	24,3 mm +/- 5,7 mm	23,6 mm +/- 4,2 mm	n.s
minimaler Diameter 5 mm vom Ostium	16,7 mm +/- 4,4 mm	17,3 mm +/- 3,4 mm	n.s
maximaler Diameter 5 mm vom Ostium	21,9 mm +/- 4,6 mm	21,0 mm +/- 3,7 mm	n.s
minimaler Diameter 10 mm vom Ostium	15,0 mm +/- 3,9 mm	15,5 mm +/- 3,0 mm	n.s
maximaler Diameter 10 mm vom Ostium	21,1 mm +/- 4,3 mm	20,6 mm +/- 4,1 mm	n.s

**Table 3.1.1.3:** Mittlere Diameter und Standardabweichungen der RUPV im Vergleich der Untergruppen „Inspiration“ versus „Expiration“ der Gruppe A.



RLPV	Inspiration	Exspiration	p
minimaler Diameter am Ostium	16,3 mm +/- 3,2 mm	17,0 mm +/- 4,0 mm	n.s
maximaler Diameter am Ostium	20,6 mm +/- 4,2 mm	20,4 mm +/- 4,0 mm	n.s
minimaler Diameter 5 mm vom Ostium	14,6 mm +/- 2,7 mm	14,3 mm +/- 3,3 mm	n.s
maximaler Diameter 5 mm vom Ostium	18,5 mm +/- 3,8 mm	18,3 mm +/- 4,4 mm	n.s
minimaler Diameter 10 mm vom Ostium	12,1 mm +/- 3,2 mm	13,7 mm +/- 2,9 mm	n.s
maximaler Diameter 10 mm vom Ostium	15,8 mm +/- 4,0 mm	17,2 mm +/- 3,8 mm	n.s

**Tabelle 3.1.1.4:** Mittlere Diameter und Standardabweichungen der RLPV im Vergleich der Untergruppen „Inspiration“ versus „Exspiration“ der Gruppe A.

### 3.1.2 Vergleiche innerhalb der Gruppe B

Da sich innerhalb der Gruppe A keine signifikanten Unterschiede im Vergleich zwischen den Untergruppen „Inspiration“ und „Expiration“ ergeben, wird auf eine weitere Unterteilung der Gruppe B bezüglich dieses Kriteriums verzichtet, um eine statistisch aussagefähige Größe der einzelnen Subgruppen (Vorhofflimmern, Sinusrhythmus) zu gewährleisten.

Der Vergleich der Untergruppen „Vorhofflimmern während der Untersuchung“ versus „Sinusrhythmus während der Untersuchung“ innerhalb der Gruppe B zeigt Unterschiede im Diameter der Pulmonalvenen an folgenden Positionen:

LUPV:

signifikante Unterschiede im

- minimalen Durchmesser am Ostium (Abb. 3.1.2.1)
- maximalen Durchmesser in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium (Abb. 3.1.2.4)
- maximalen Durchmesser in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium (Abb. 3.1.2.6)

LLPV:

signifikante Unterschiede im

- minimalen Durchmesser am Ostium (Abb. 3.1.2.7)
- minimalen Durchmesser in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium (Abb. 3.1.2.9)
- minimalen Durchmesser in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium (Abb. 3.1.2.11)

RUPV:

keine signifikanten Unterschiede

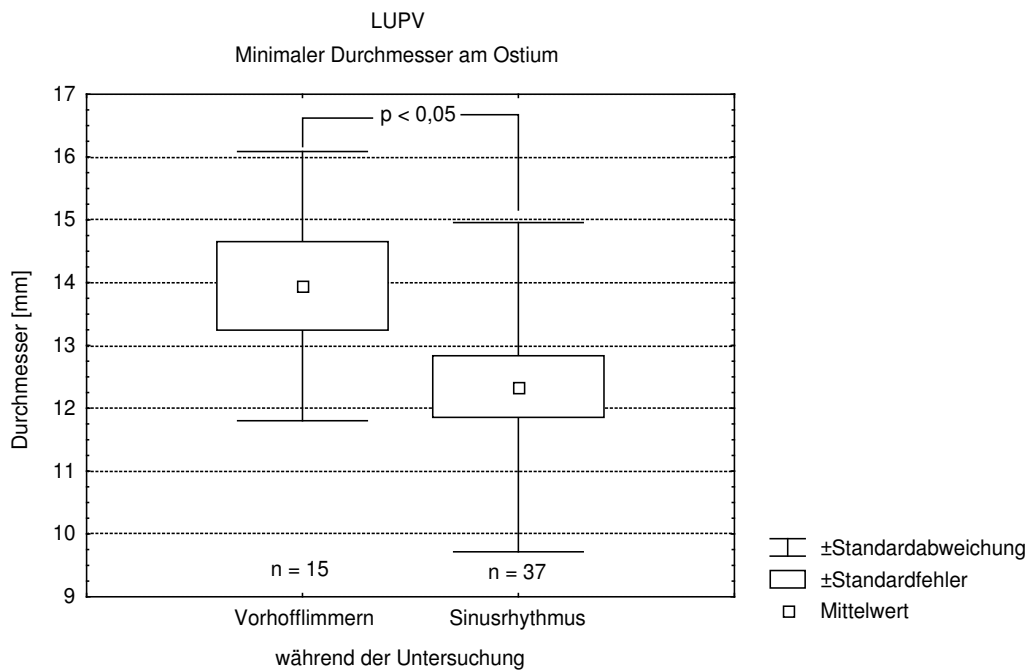
RLPV:

signifikante Unterschiede im

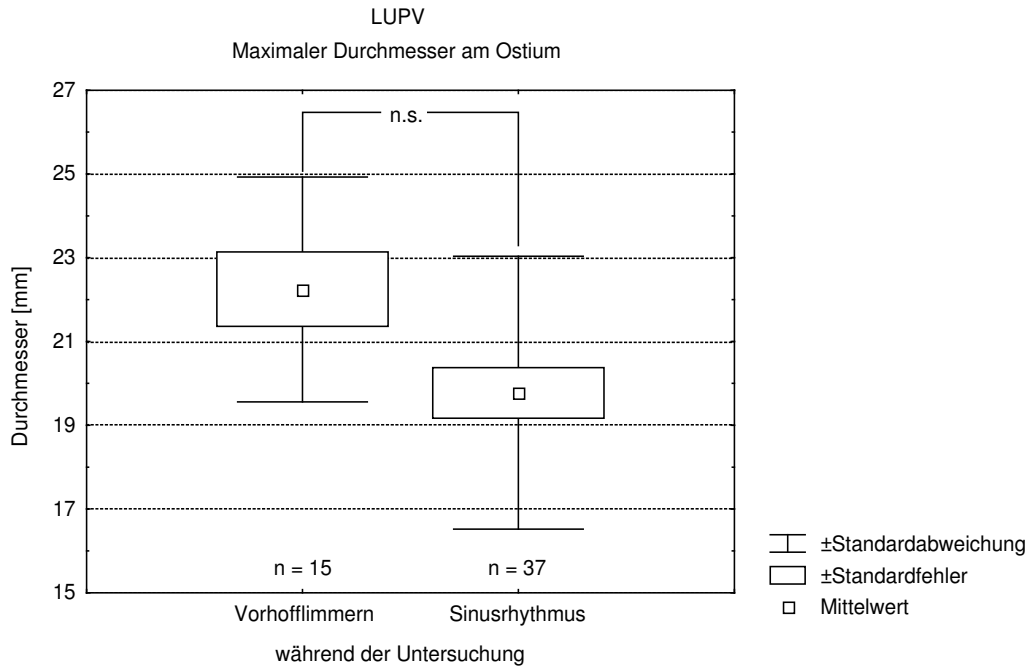
- maximalen Durchmesser in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium (Abb. 3.1.2.24)

Jedoch werden die Patientengruppen in zunehmender Entfernung vom Ostium schnell kleiner, so dass es sich hier zum Teil um Pseudosignifikanzen handeln dürfte.

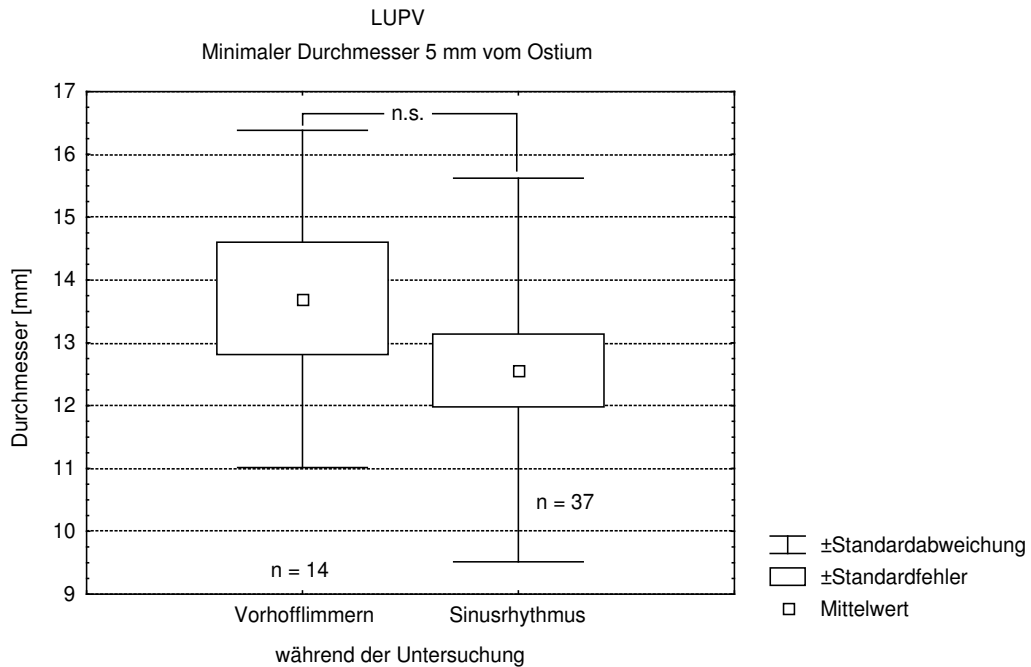
An den übrigen Messorten sind keine statistisch signifikanten Differenzen festzustellen (Abb. 3.1.2.2, 3.1.2.3, 3.1.2.5, 3.1.2.8, 3.1.2.10, 3.1.2.12 bis 3.1.2.23).



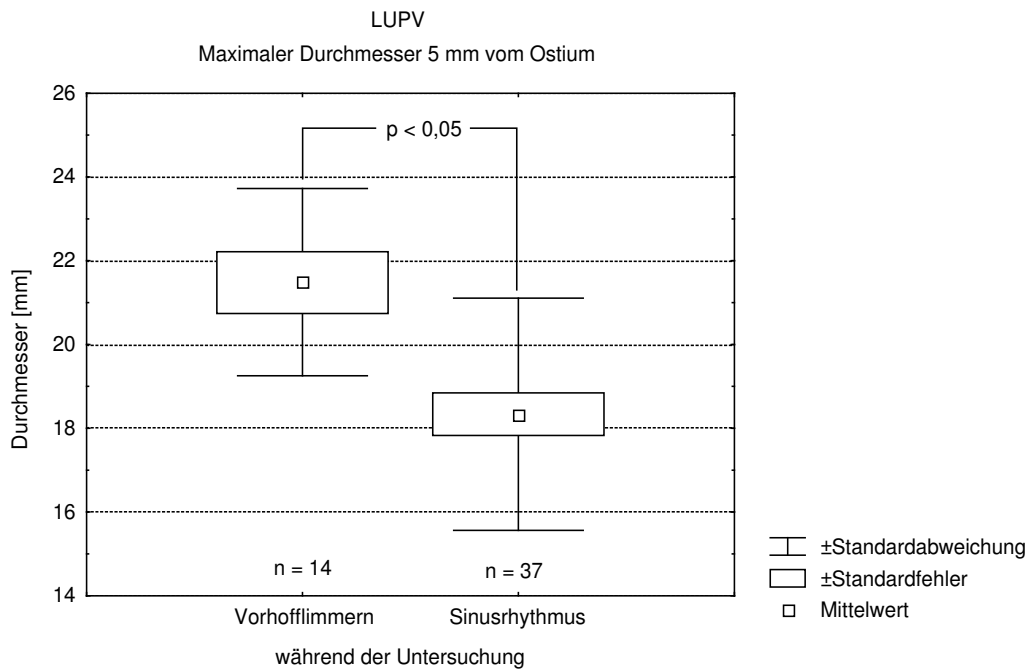
**Abbildung 3.1.2.1:** Minimaler Durchmesser der LUPV am Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



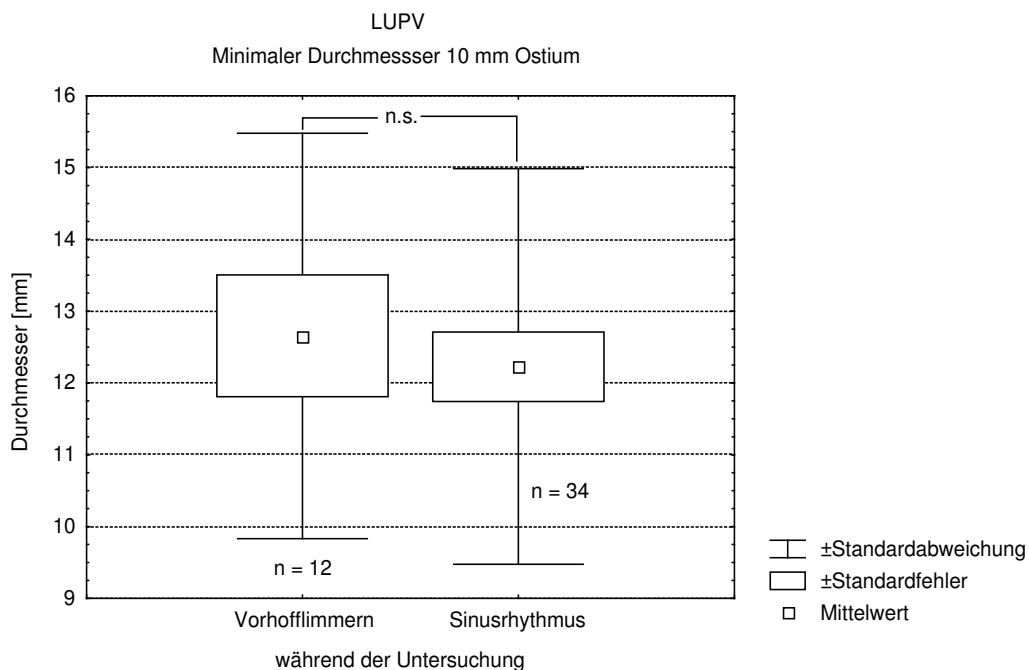
**Abbildung 3.1.2.2:** Maximaler Durchmesser der LUPV am Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



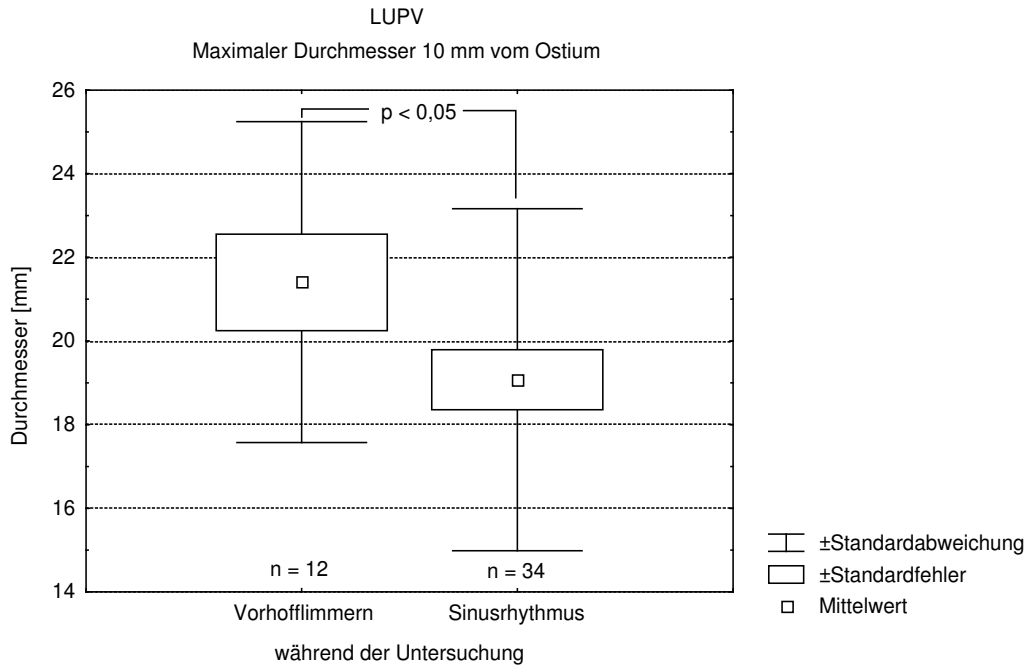
**Abbildung 3.1.2.3:** Minimaler Durchmesser der LUPV in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



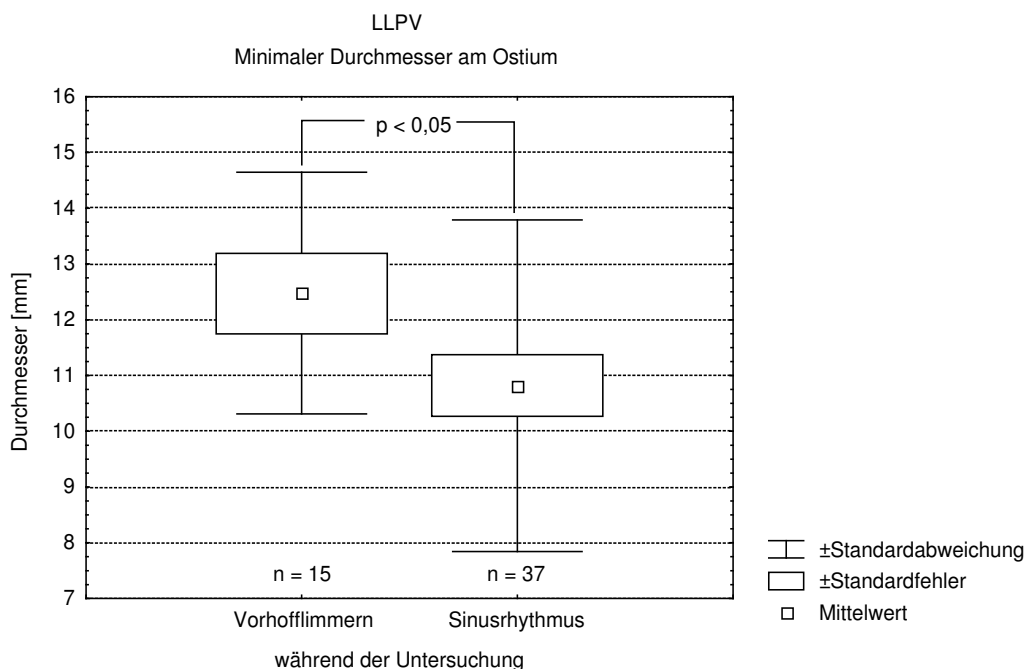
**Abbildung 3.1.2.4:** Maximaler Durchmesser der LUPV in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



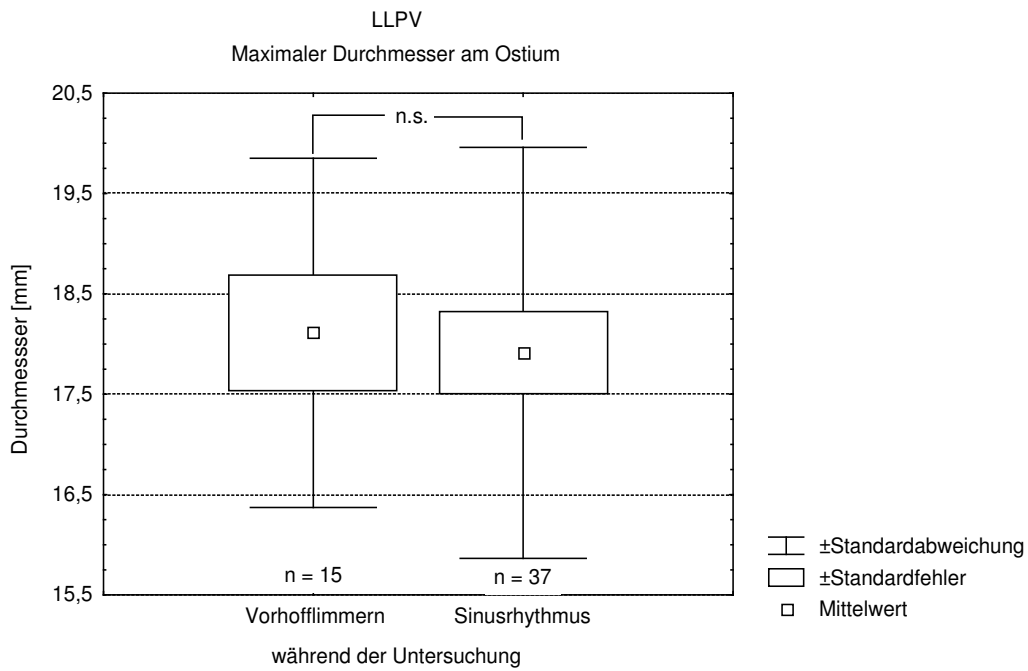
**Abbildung 3.1.2.5:** Minimaler Durchmesser der LUPV in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



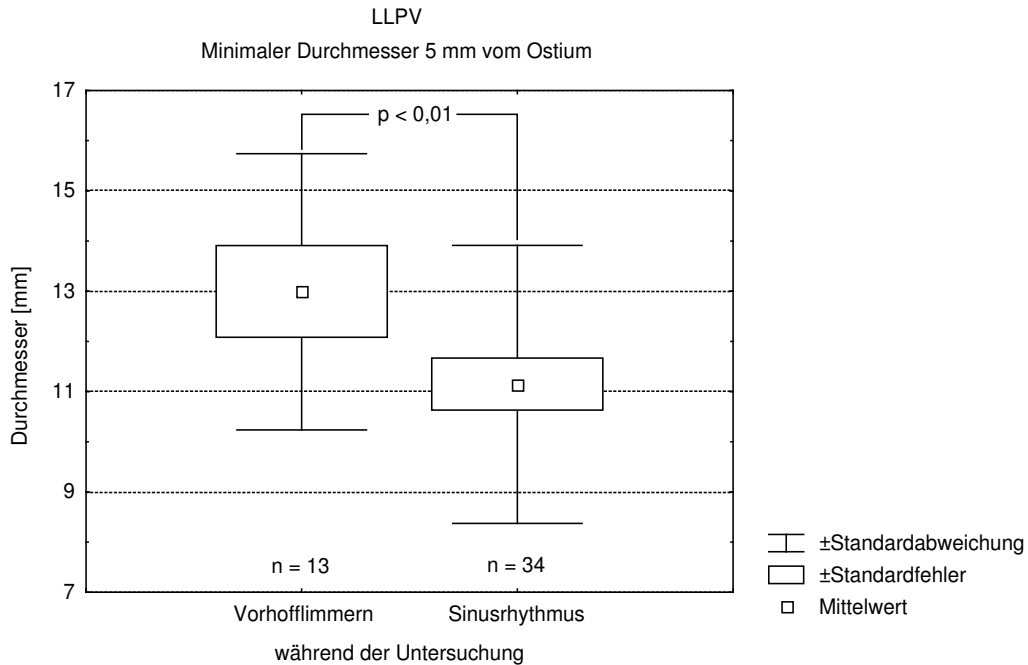
**Abbildung 3.1.2.6:** Maximaler Durchmesser der LUPV in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



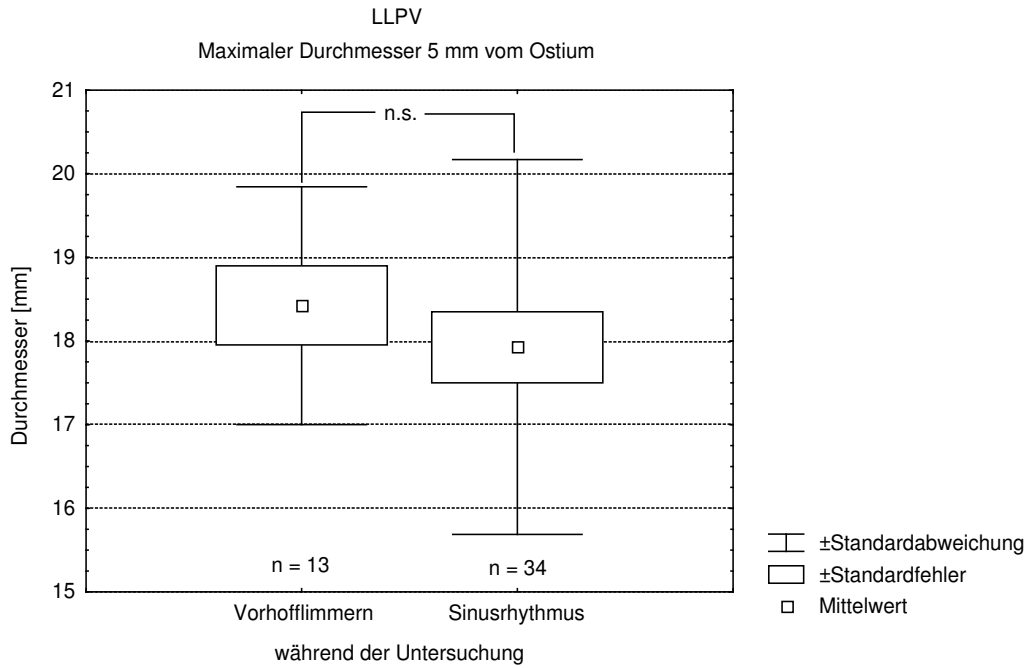
**Abbildung 3.1.2.7:** Minimaler Durchmesser der LLPV in einer Entfernung am Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



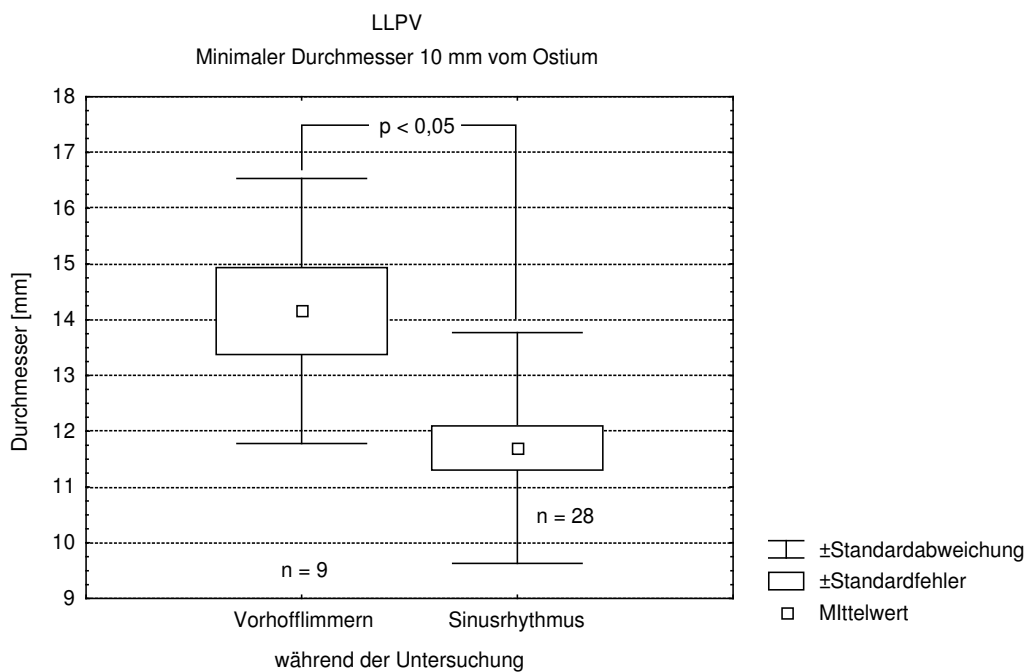
**Abbildung 3.1.2.8:** Maximaler Durchmesser der LLPV am Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



**Abbildung 3.1.2.9:** Minimaler Durchmesser der LLPV in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.

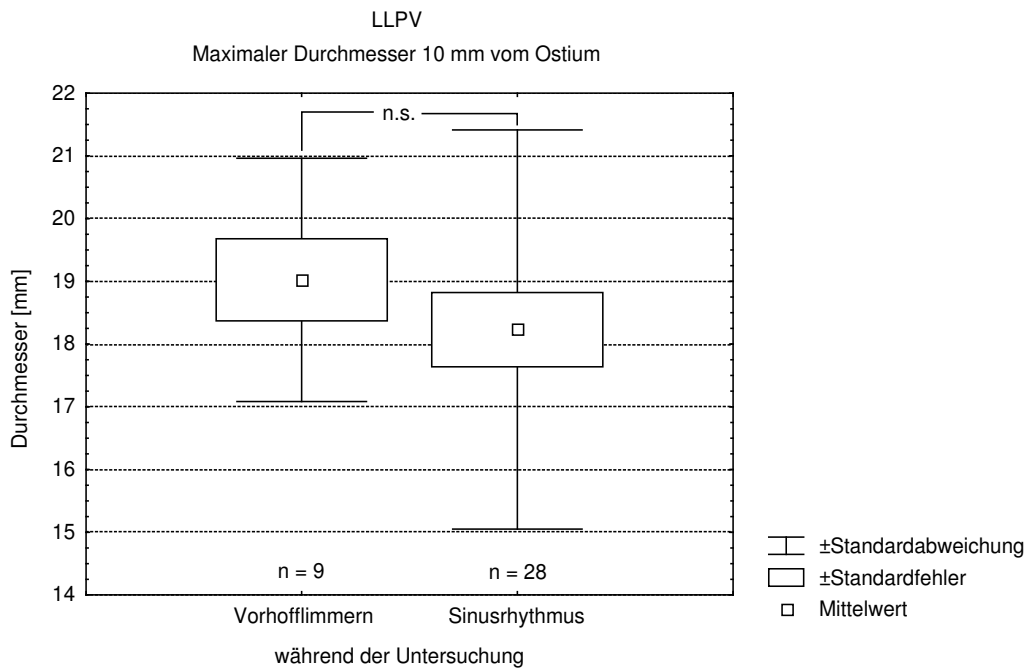


**Abbildung 3.1.2.10:** Maximaler Durchmesser der LLPV in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.

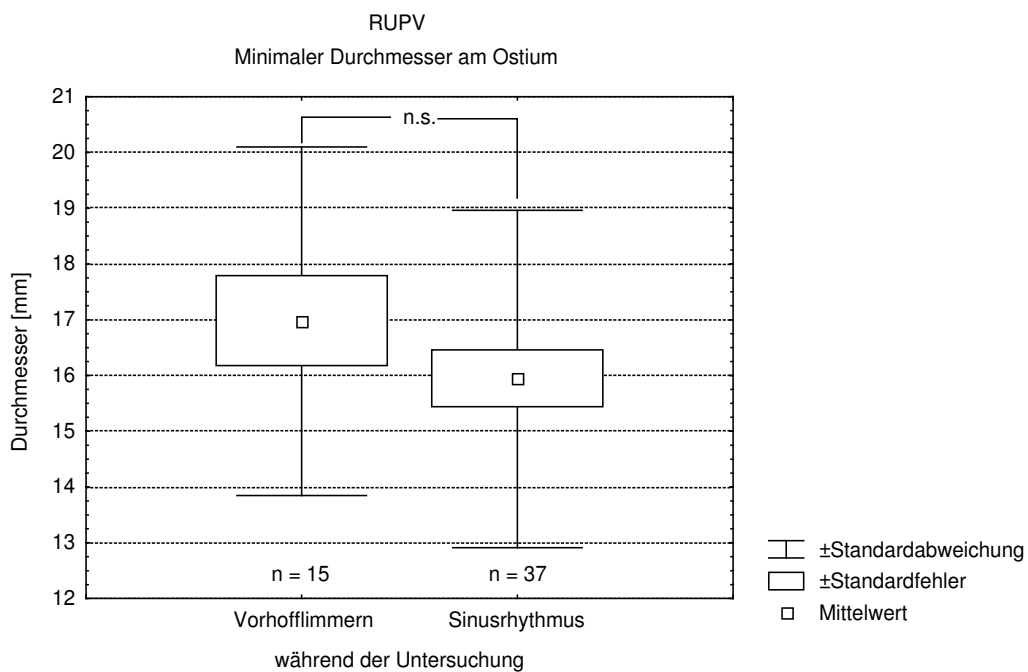


**Abbildung 3.1.2.11:** Minimaler Durchmesser der LLPV in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.

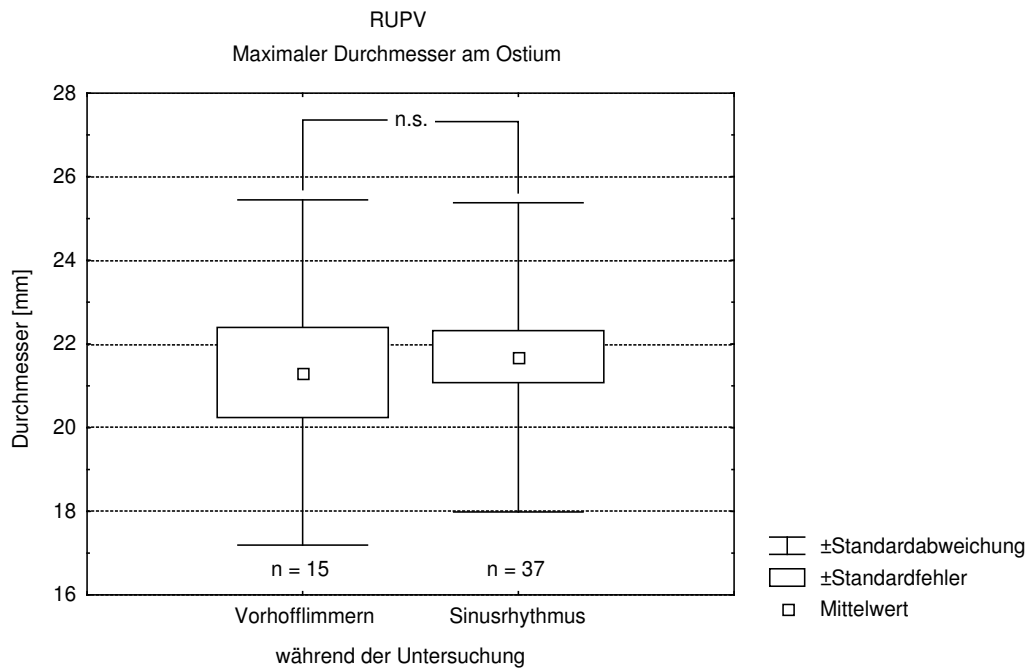




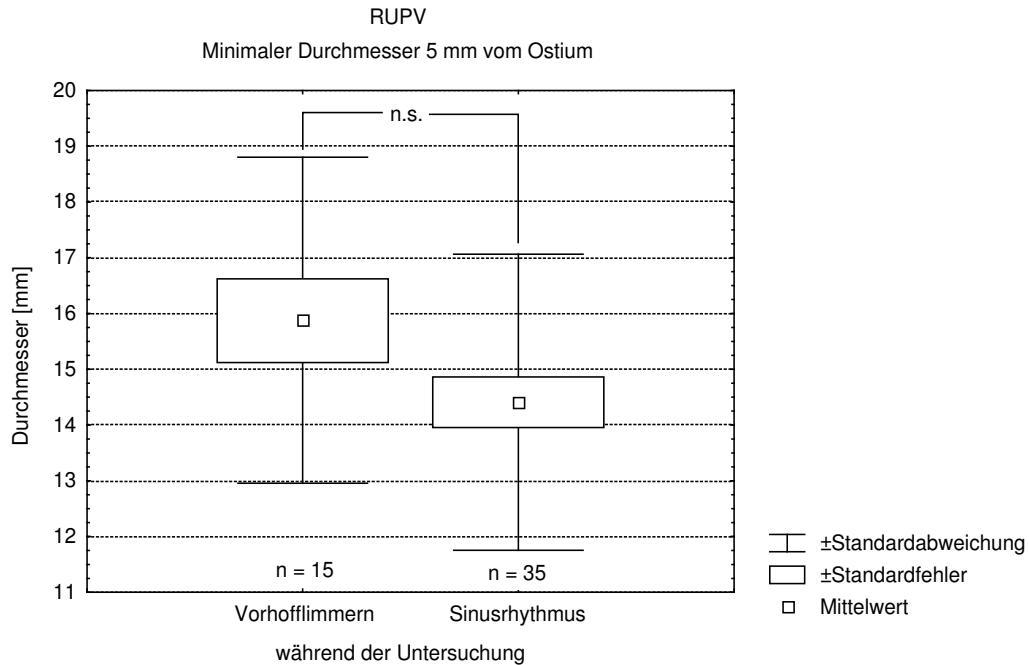
**Abbildung 3.1.2.12:** Maximaler Durchmesser der LLPV in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



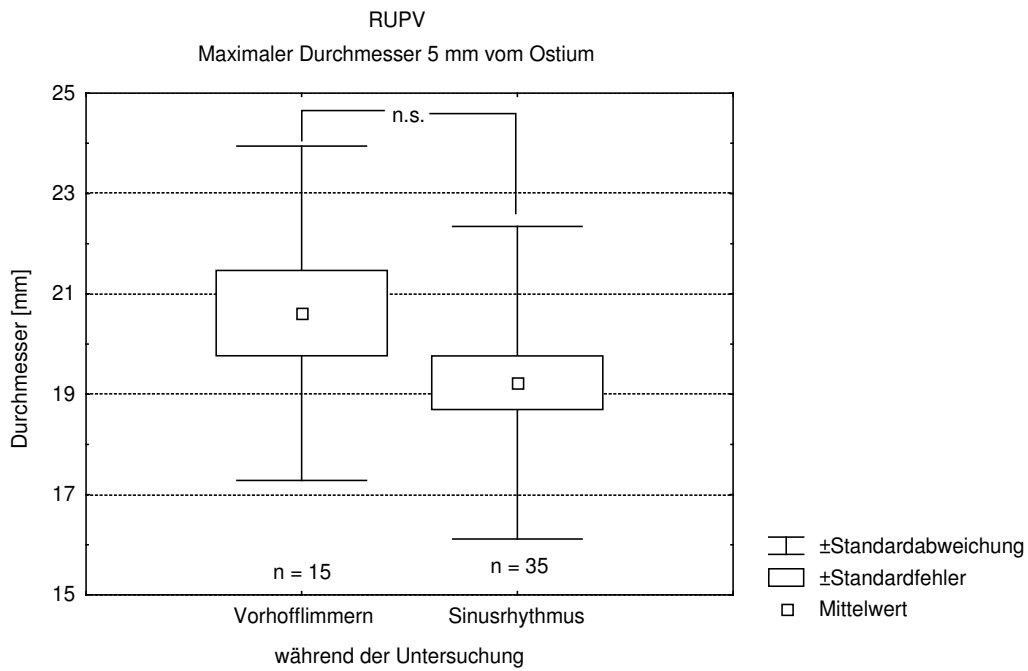
**Abbildung 3.1.2.13:** Minimaler Durchmesser der RUPV am Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



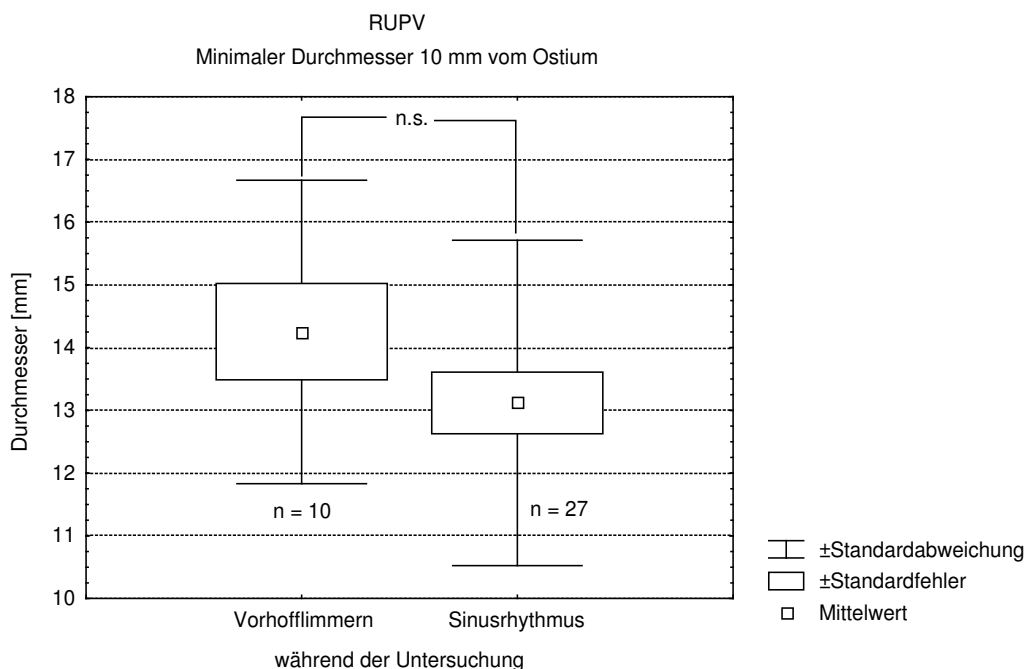
**Abbildung 3.1.2.14:** Maximaler Durchmesser der RUPV am Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



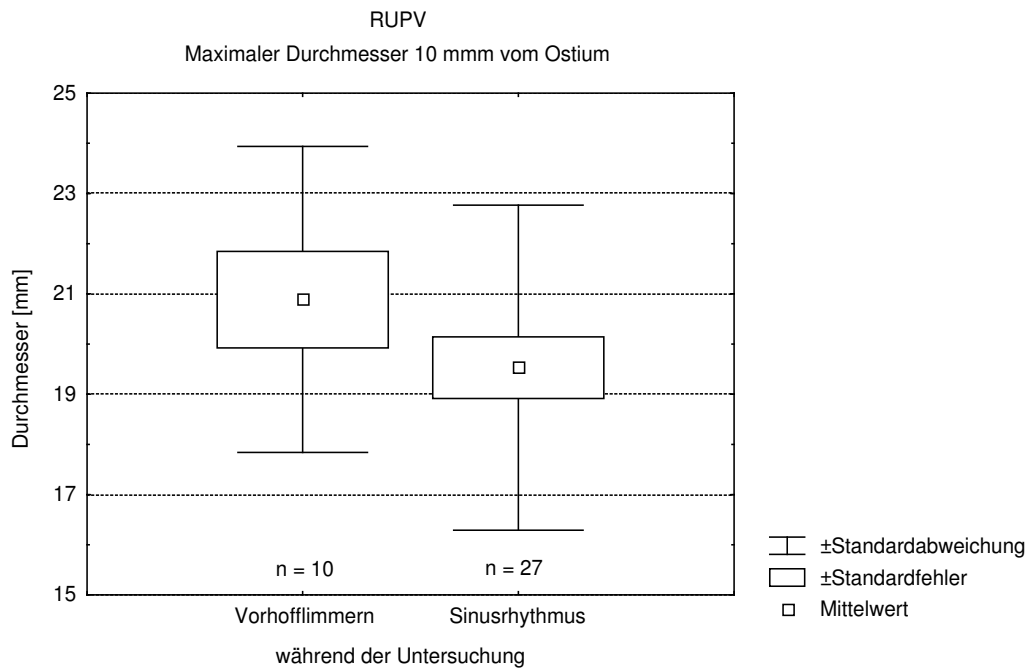
**Abbildung 3.1.2.15:** Minimaler Durchmesser der RUPV in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



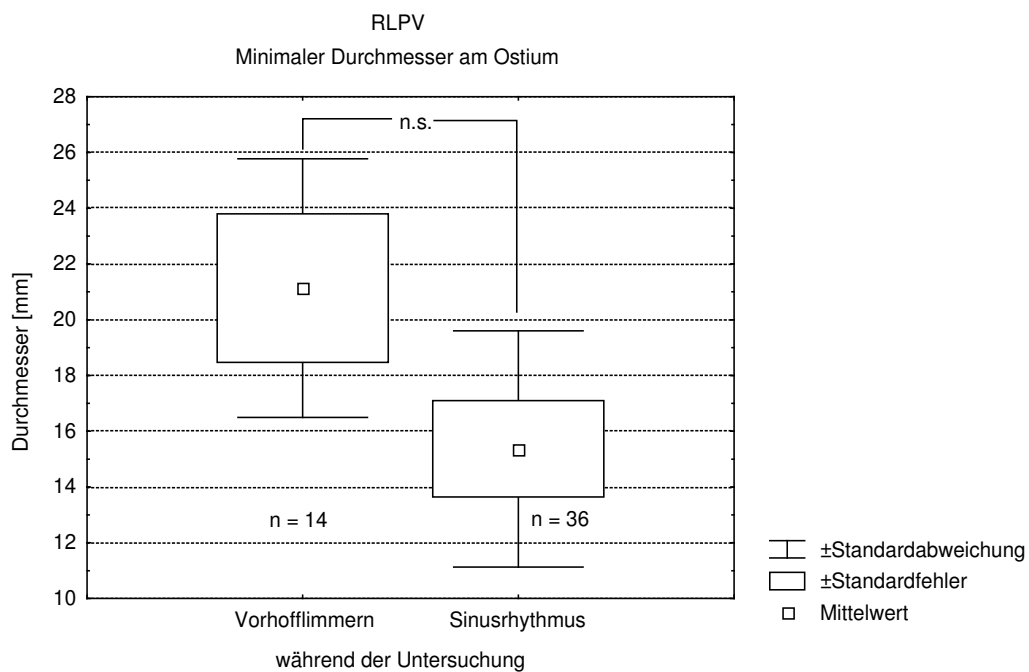
**Abbildung 3.1.2.16:** Maximaler Durchmesser der RUPV in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



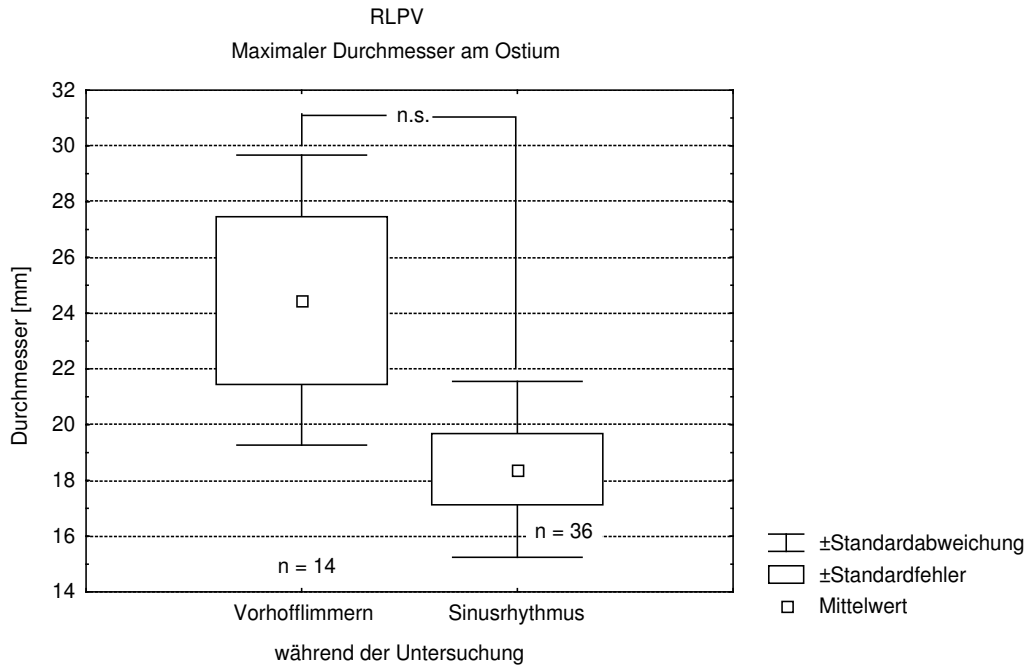
**Abbildung 3.1.2.17:** Minimaler Durchmesser der RUPV in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



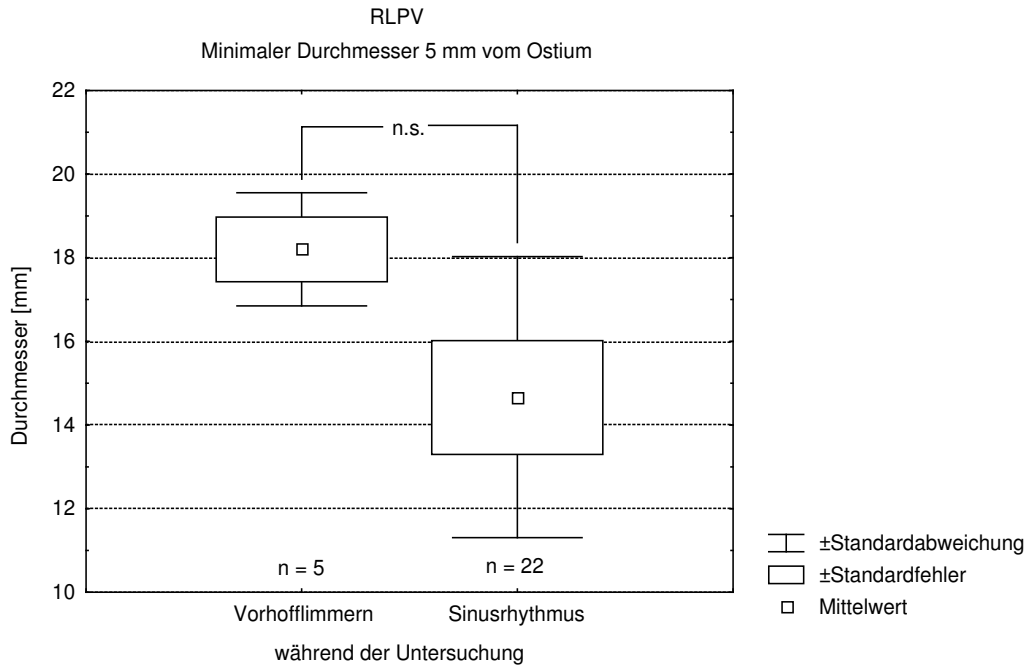
**Abbildung 3.1.2.18:** Maximaler Durchmesser der RUPV in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



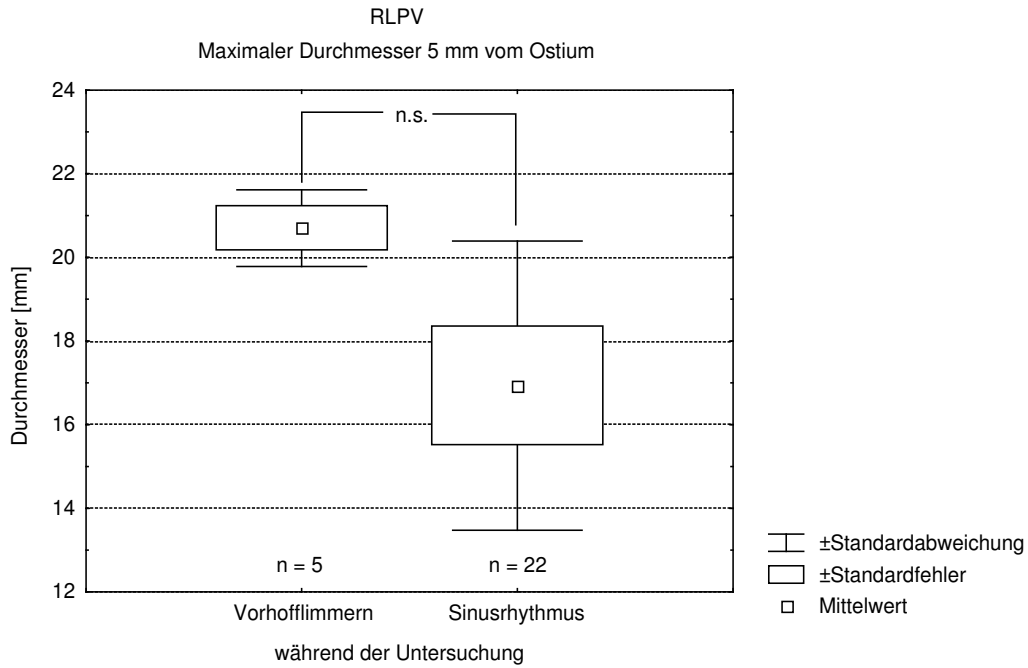
**Abbildung 3.1.2.19:** Minimaler Durchmesser der RLPV am Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



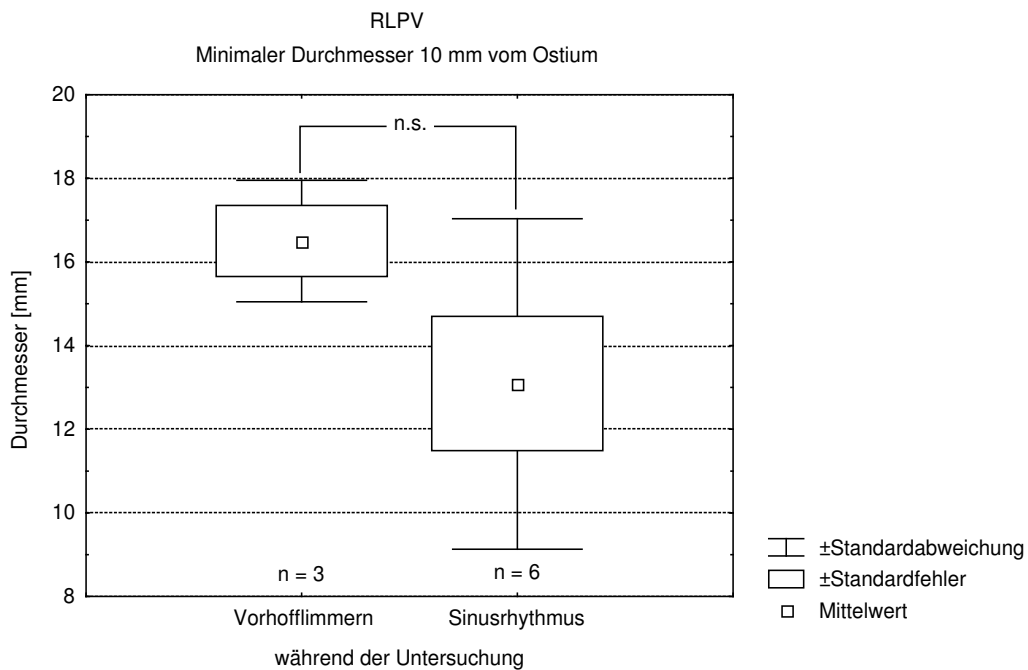
**Abbildung 3.1.2.20:** Maximaler Durchmesser der RLPV am Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



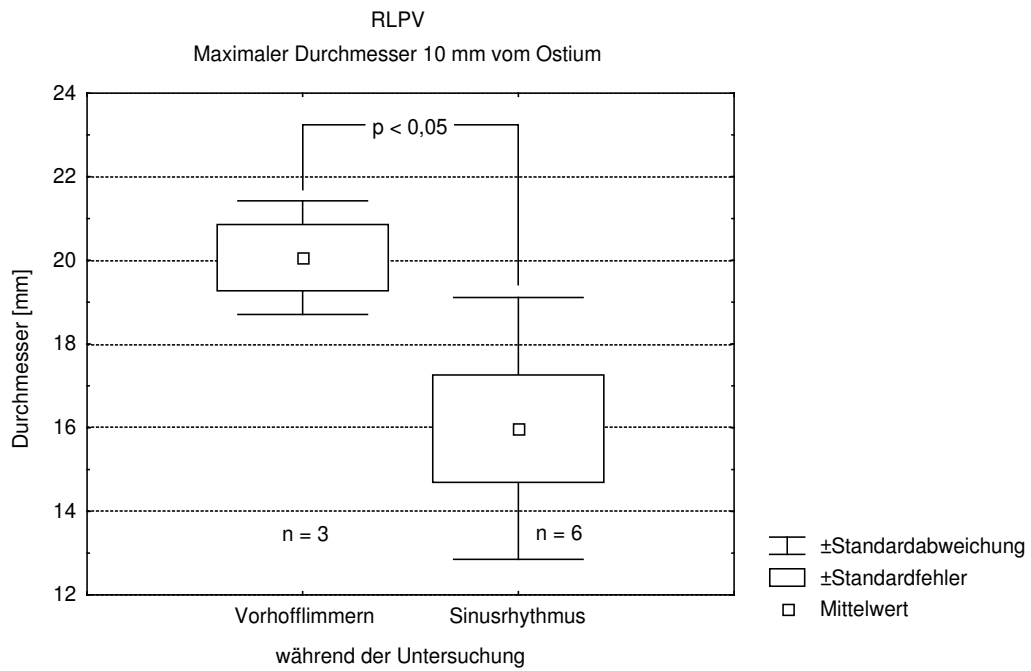
**Abbildung 3.1.2.21:** Minimaler Durchmesser der RLPV in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



**Abbildung 3.1.2.22:** Maximaler Durchmesser der RLPV in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



**Abbildung 3.1.2.23:** Minimaler Durchmesser der RLPV in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.



**Abbildung 3.1.2.24:** Maximaler Durchmesser der RLPV in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium im Vergleich der Untergruppen der Gruppe B differenziert nach Rhythmus während der Untersuchung.

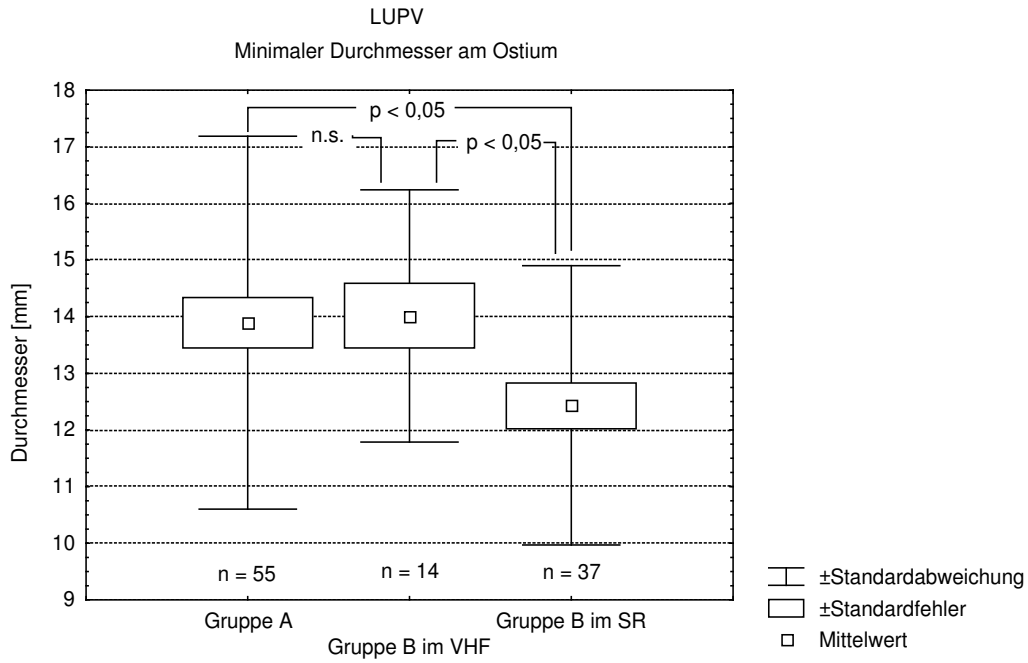
### 3.1.3 Vergleich der Gruppe A mit den Untergruppen der Gruppe B

Ein interessanter Aspekt ist auch der Vergleich der Gruppe A mit denjenigen Patienten der Gruppe B mit Sinusrhythmus bzw. Im Vorhofflimmern während der Untersuchung (Tab. 3.1.3.1). Um noch über eine statistisch verwertbare Datenmenge zu verfügen, werden nur die minimalen und maximalen Diameter der LUPV, LLPV, RUPV und RLPV am Ostium miteinander verglichen (Abb. 3.1.3.2 bis 3.1.3.9)

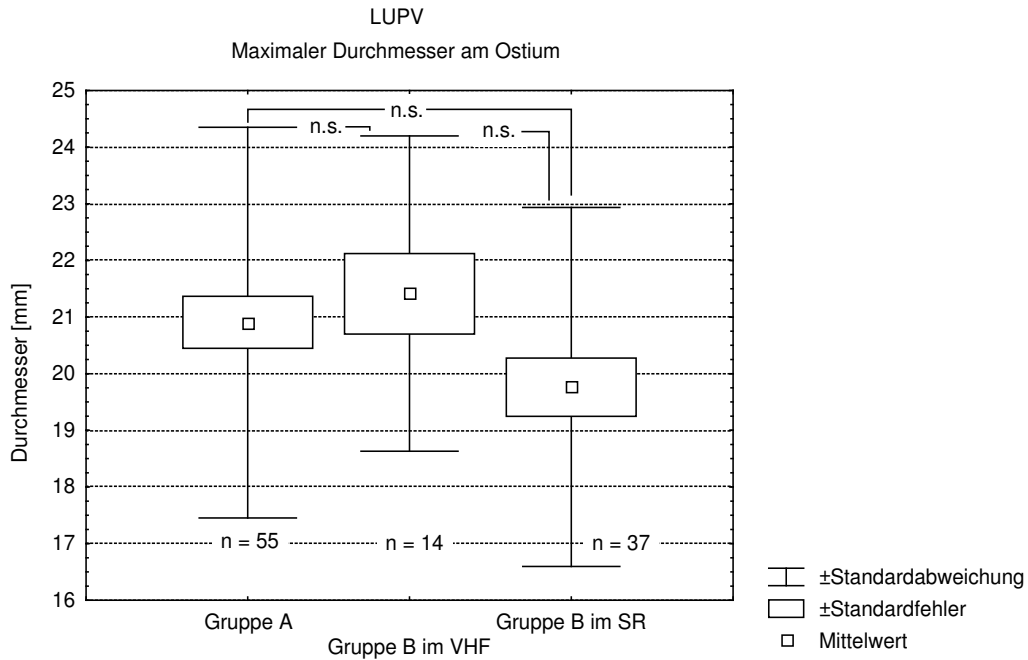
		Gruppe A	Gruppe B im VHF	Gruppe B im SR
LUPV Durchmesser am Ostium	minimal	13,9 mm +/- 3,3 mm	13,7 mm +/- 1,9 mm	12,4 mm +/- 2,5 mm
	maximal	20,9 mm +/- 3,3 mm	21,6 mm +/- 2,8	19,8 mm +/- 3,2 mm
LLPV Durchmesser am Ostium	minimal	12,3 mm +/- 2,3 mm	13,6 mm +/- 3,4 mm	11,4 mm +/- 3,2 mm
	maximal	19,0 mm +/- 2,5 mm	18,3 mm +/- 2,5 mm	17,7 mm +/- 1,9 mm
RUPV Durchmesser am Ostium	minimal	19,2 mm +/- 4,7 mm	17,0 mm +/- 3,2 mm	15,9 mm +/- 3,0 mm
	maximal	24,1 mm +/- 5,2 mm	21,5 mm +/- 4,3 mm	21,7 mm +/- 3,6 mm
RLPV Durchmesser am Ostium	minimal	16,5 mm +/- 3,4 mm	17,4 mm +/- 4,3 mm	15,0 mm +/- 3,2 mm
	maximal	20,6 mm 4,1 mm	20,8 mm +/- 5,8 mm	18,0 mm +/- 2,4 mm

**Table 3.1.3.1:** Vergleich der mittleren minimalen und maximalen Durchmesser am Ostium von LUPV, LLPV, RUPV und RLPV mit ihren Standardabweichungen der Gruppe A mit den Untergruppen der Gruppe B im VHF bzw. im SR während der Untersuchung.

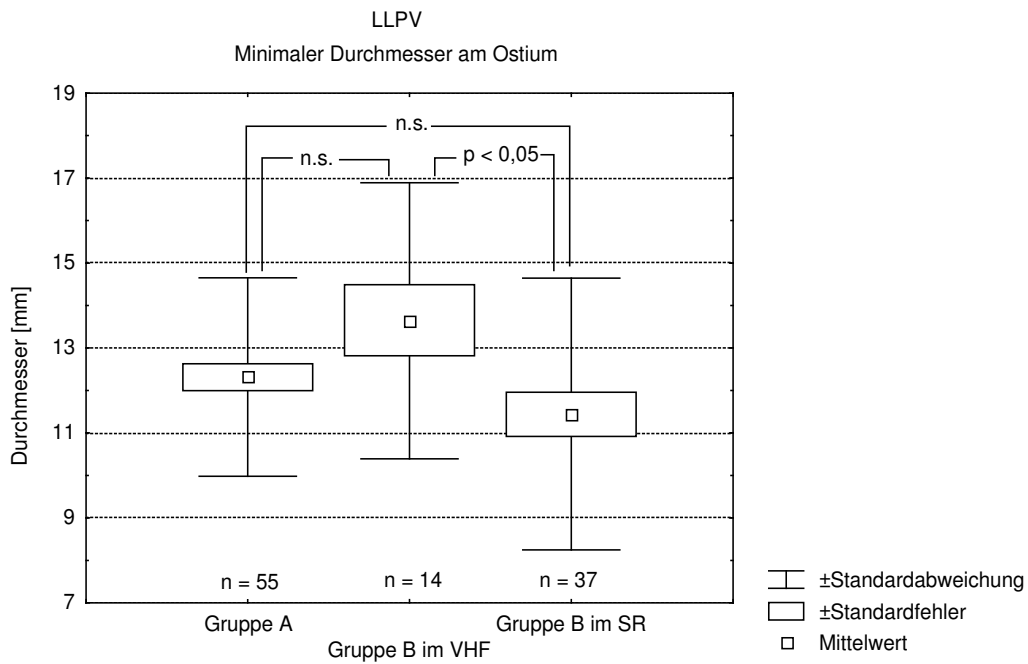




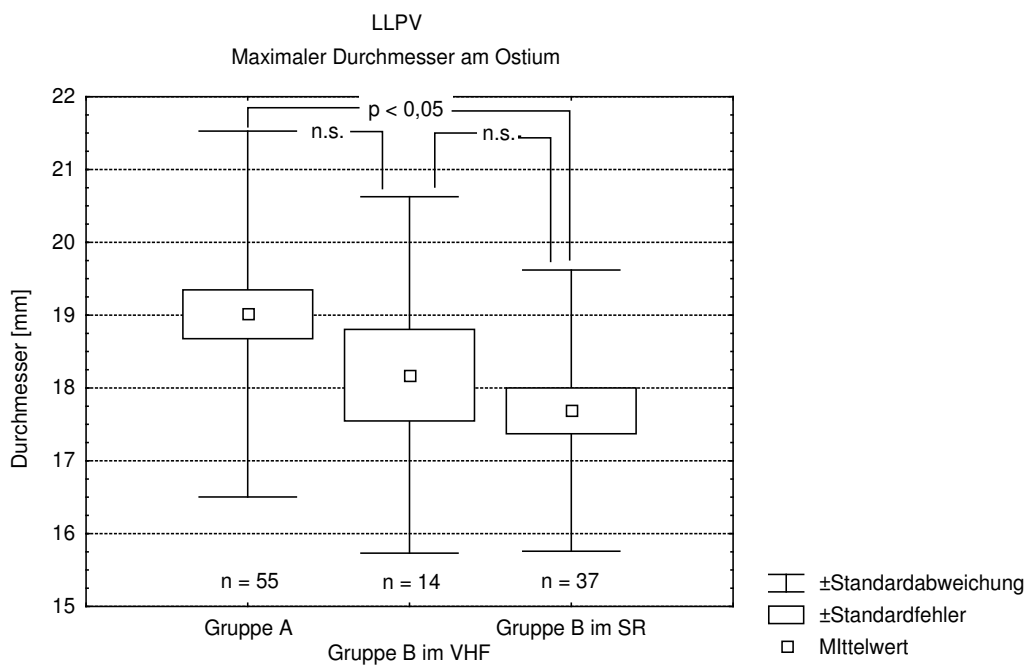
**Abbildung 3.1.3.2:** Minimaler Durchmesser der LUPV am Ostium im Vergleich der Gruppe A mit der Gruppe B im VHF bzw. im SR während der Untersuchung.



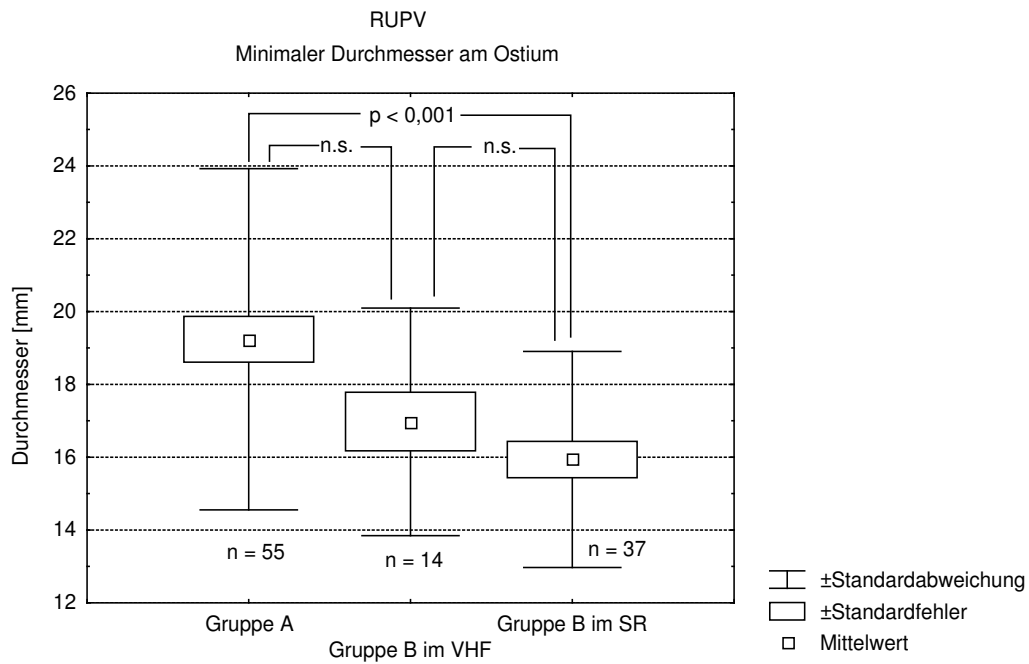
**Abbildung 3.1.3.3:** Maximaler Durchmesser der LUPV am Ostium im Vergleich der Gruppe A mit der Gruppe B im VHF bzw. im SR während der Untersuchung.



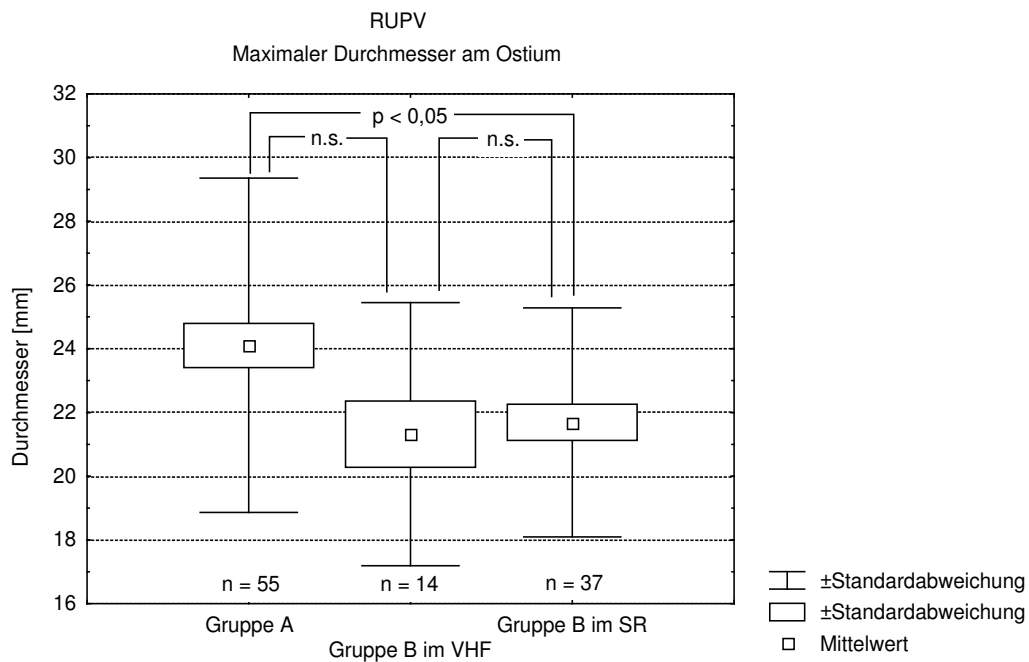
**Abbildung 3.1.3.4:** Minimaler Durchmesser der LLPV am Ostium im Vergleich der Gruppe A mit der Gruppe B im VHF bzw. im SR während der Untersuchung.



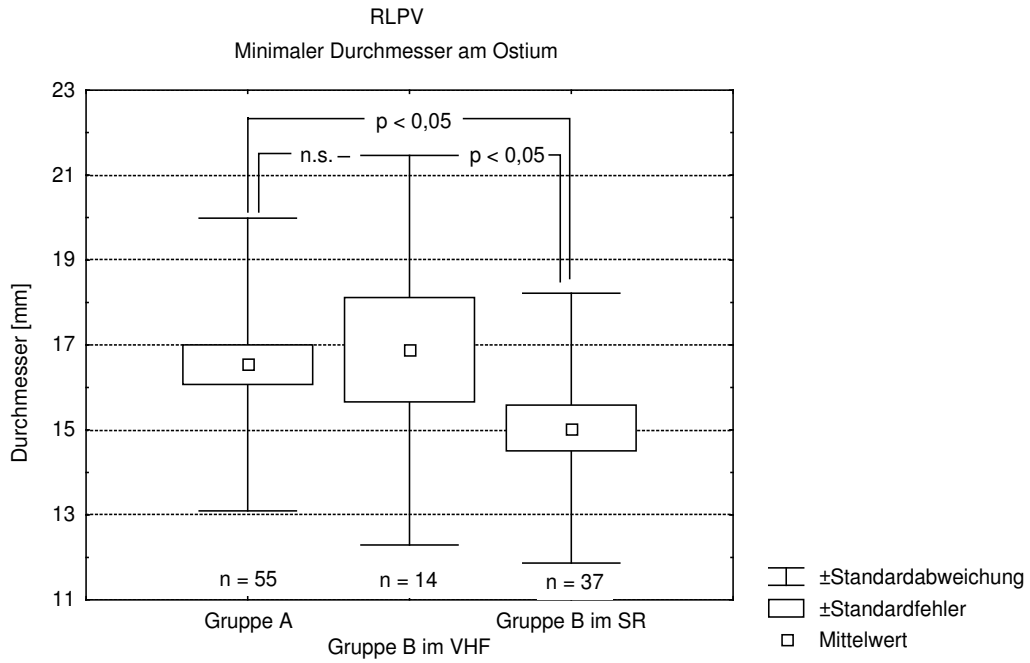
**Abbildung 3.1.3.5:** Maximaler Durchmesser der LLPV am Ostium im Vergleich der Gruppe A mit der Gruppe B im VHF bzw. im SR während der Untersuchung.



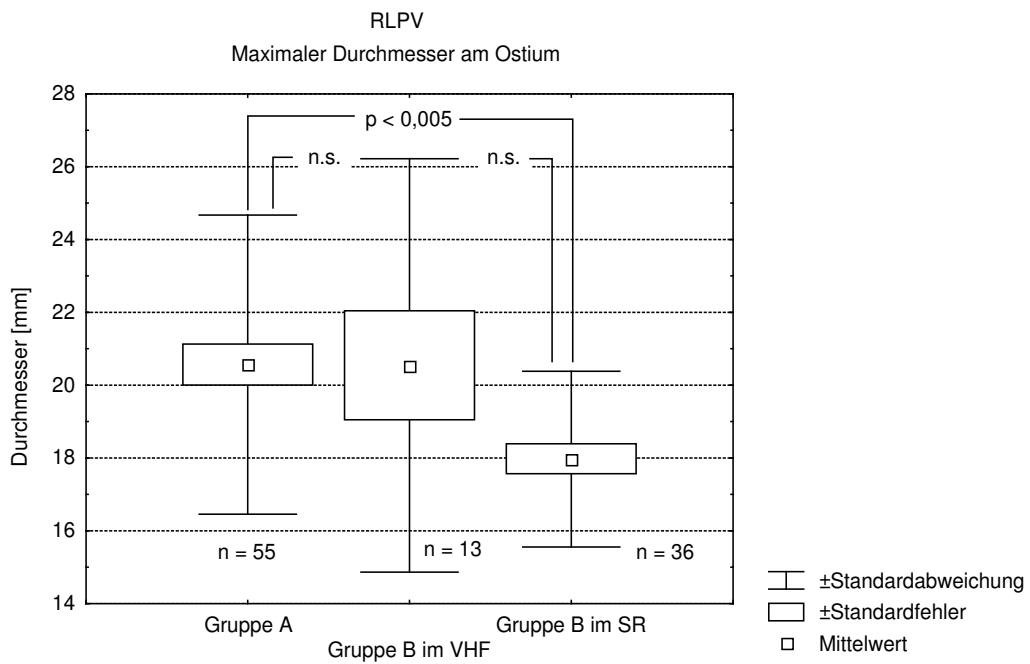
**Abbildung 3.1.3.6:** Minimaler Durchmesser der RUPV am Ostium im Vergleich der Gruppe A mit der Gruppe B im VHF bzw. im SR während der Untersuchung.



**Abbildung 3.1.3.7:** Maximaler Durchmesser der RUPV am Ostium im Vergleich der Gruppe A mit der Gruppe B im VHF bzw. im SR während der Untersuchung.



**Abbildung 3.1.3.8:** Minimaler Durchmesser der RLPV am Ostium im Vergleich der Gruppe A mit der Gruppe B im VHF bzw. im SR während der Untersuchung.



**Abbildung 3.1.3.9:** Maximaler Durchmesser der RLPV am Ostium im Vergleich der Gruppe A mit der Gruppe B im VHF bzw. im SR während der Untersuchung.

## 3.2 Linke Pulmonalvenen

### 3.2.1 Linke obere Pulmonalvene (LUPV)

Bei allen 164 Patienten (Gruppe A: 55 Patienten, Gruppe B: 52 Patienten, Gruppe C: 57 Patienten) kann der minimale und maximale Querdurchmesser der LUPV am Ostium bestimmt werden; 5 mm beziehungsweise 10 mm vom Ostium entfernt können diese beiden Werte bei 158 Patienten (Gruppe A 54 Patienten, Gruppe B: 51 Patienten, Gruppe C: 53 Patienten) bzw. bei 147 Patienten (Gruppe A 49 Patienten, Gruppe B: 47 Patienten, Gruppe C: 51 Patienten) bestimmt werden (Tab. 3.2.1.1).

	Gruppe A minimal	Gruppe B minimal	Gruppe C minimal	Gruppe A maximal	Gruppe B maximal	Gruppe C maximal
LUPV 0	13,9 +/- 3,3	12,9 +/- 2,5	12,0 +/- 2,0	20,9 +/- 3,4	20,2 +/- 3,1	19,4 +/- 3,2
LUPV 5	13,7 +/- 3,1	12,6 +/- 2,7	11,6 +/- 2,0	13,7 +/- 3,1	19,3 +/- 2,9	11,6 +/- 2,0
LUPV 10	13,0 +/- 2,9	12,2 +/- 2,7	11,4 +/- 2,3	13,0 +/- 2,9	12,2 +/- 2,7	18,4 +/- 2,9

**Tabelle 3.2.1.1:** Mittelwerte in mm und Standardabweichungen der Durchmesser der linken oberen Pulmonalvene in mm am Ostium und in einer Entfernung von 5 mm bzw. 10 mm vom Ostium der Gruppen A, B und C ohne Differenzierung in Untergruppen.

Diese Werte bringen eine Aufteilung im Verlauf der LUPV zum Ausdruck; sie sind im einzelnen in der Tabelle 3.2.1.2 aufgeführt.

Entfernung vom Ostium	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
0 – 5 mm	1 (1,9 %)	1 (1,9%)	4 (7,0 %)
> 5 mm – 10 mm	5 (9,1 %)	4 (7,7 %)	2 (3,5 %)
0 – 10 mm	6 (11,0 %)	5 (9,6 %)	6 (10,5 %)
> 10 mm	49 (89,0 %)	47 (90,4 %)	51 (89,5 %)

**Tabelle 3.2.1.2:** Aufteilung der linken oberen Pulmonalvene in Abhängigkeit von der Entfernung vom Ostium

Im Vergleich zwischen den Gruppen A und B sowie B und C zeigen sich keine signifikanten Unterschiede in den Diametern der LUPV (Tab. 3.2.1.3 und 3.2.1.4)

LUPV	Gruppe A [mm]	Gruppe B [mm]	p
min. Diameter am Ostium	13,9 +/- 3,3	12,9 +/- 2,5	n.s.
max. Diameter am Ostium	20,9 +/- 3,4	20,2 +/- 3,1	n.s.
min. Diameter 5 mm vom Ostium	13,7 +/- 3,1	12,6 +/- 2,7	n.s.
max. Diameter 5 mm vom Ostium	20,0 +/- 3,3	19,3 +/- 2,9	n.s.
min. Diameter 10 mm vom Ostium	13,0 +/- 2,9	12,2 +/- 2,7	n.s.
max. Diameter 10 mm vom Ostium	19,4 +/- 3,5	19,7 +/- 4,0	n.s.

*Tabelle 3.2.1.3: Vergleich zwischen den Gruppen A und B hinsichtlich der Diameter der LUPV und ihrer Standardabweichungen.*

LUPV	Gruppe B [mm]	Gruppe C [mm]	p
min. Diameter am Ostium	12,9 +/- 2,5	12,0 +/- 2,0	n.s.
max. Diameter am Ostium	20,2 +/- 3,1	19,4 +/- 3,2	n.s.
min. Diameter 5 mm vom Ostium	12,6 +/- 2,7	11,6 +/- 2,0	n.s.
max. Diameter 5 mm vom Ostium	19,3 +/- 2,9	18,4 +/- 2,9	n.s.
min. Diameter 10 mm vom Ostium	12,2 +/- 2,7	11,4 +/- 2,3	n.s.
max. Diameter 10 mm vom Ostium	19,7 +/- 4,0	18,4 +/- 2,9	n.s.

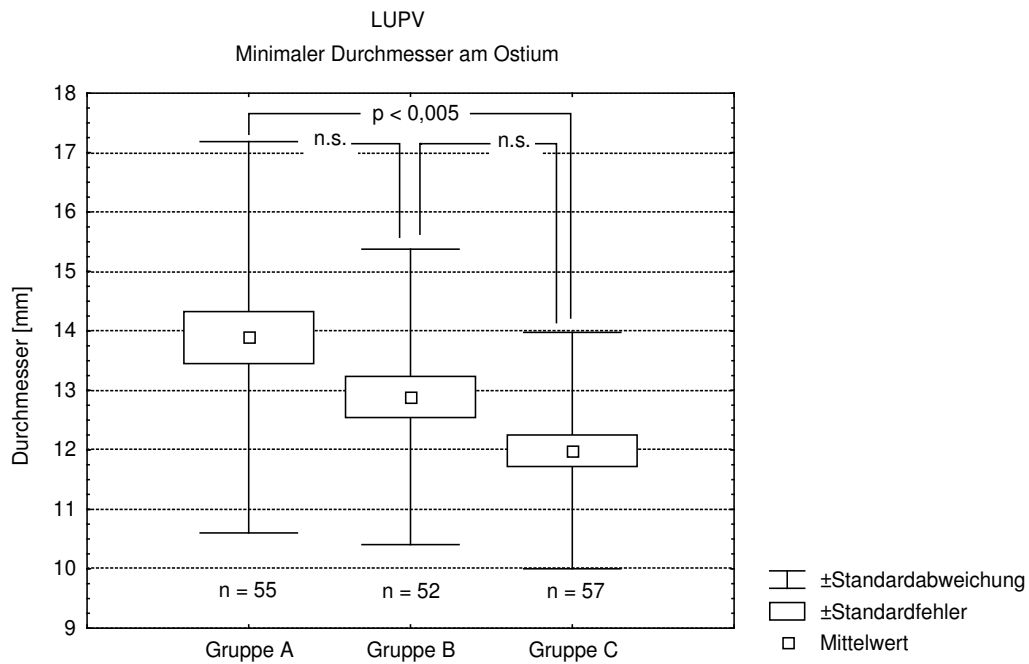
*Tabelle 3.2.1.4: Vergleich zwischen den Gruppen B und C hinsichtlich der Diameter der LUPV und ihrer Standardabweichungen.*

Im Vergleich der Gruppen A und C zeigen sich mit  $p < 0,05$  signifikante Unterschiede im Diameter der LUPV am Ostium und in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium sowohl im minimalen als auch im maximalen Diameter sowie in einer Entfernung von 10 mm im minimalen Diameter dieser Vene (Tab. 3.2.1.5)

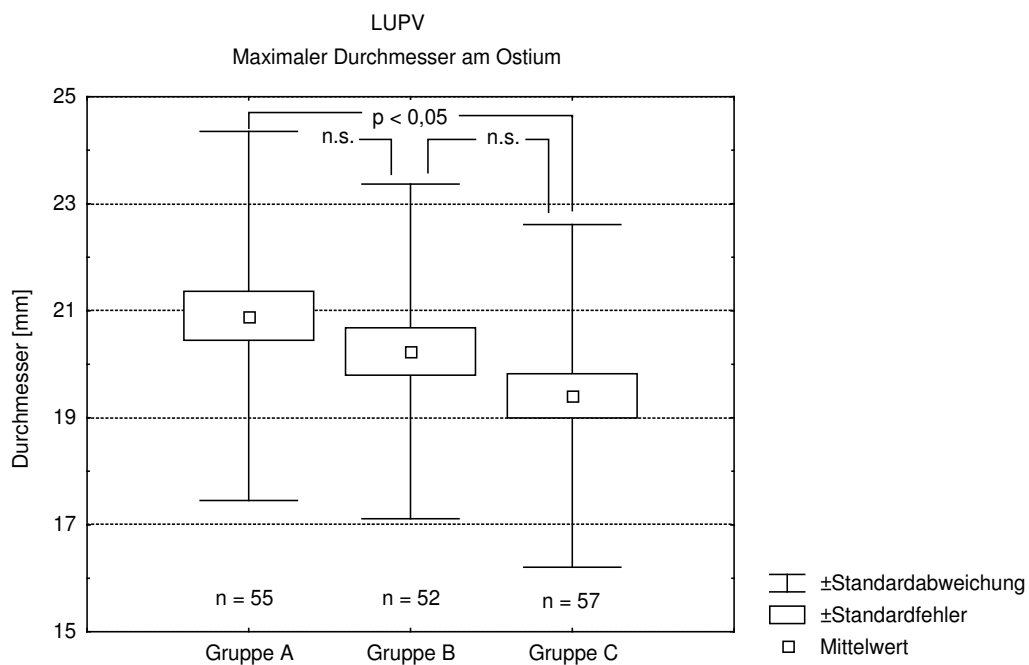
LUPV	Gruppe A [mm]	Gruppe C [mm]	p
min. Diameter am Ostium	13,9 +/- 3,3	12,0 +/- 2,0	< 0,005
max. Diameter am Ostium	20,9 +/- 3,4	19,4 +/- 3,2	< 0,05
min. Diameter 5 mm vom Ostium	13,7 +/- 3,1	11,6 +/- 2,0	< 0,005
max. Diameter 5 mm vom Ostium	20,0 +/- 3,3	18,4 +/- 2,9	< 0,05
min. Diameter 10 mm vom Ostium	13,0 +/- 2,9	11,4 +/- 2,3	< 0,05
max. Diameter 10 mm vom Ostium	19,4 +/- 3,5	18,4 +/- 2,9	n.s.

**Tabelle 3.2.1.5:** Vergleich zwischen den Gruppen A und C hinsichtlich der Diameter der LUPV und ihrer Standardabweichungen.

Einen grafischen Überblick über die Verteilung der Messwerte in den einzelnen Gruppen geben die Abbildungen 3.2.1.6 bis 3.2.1.11.

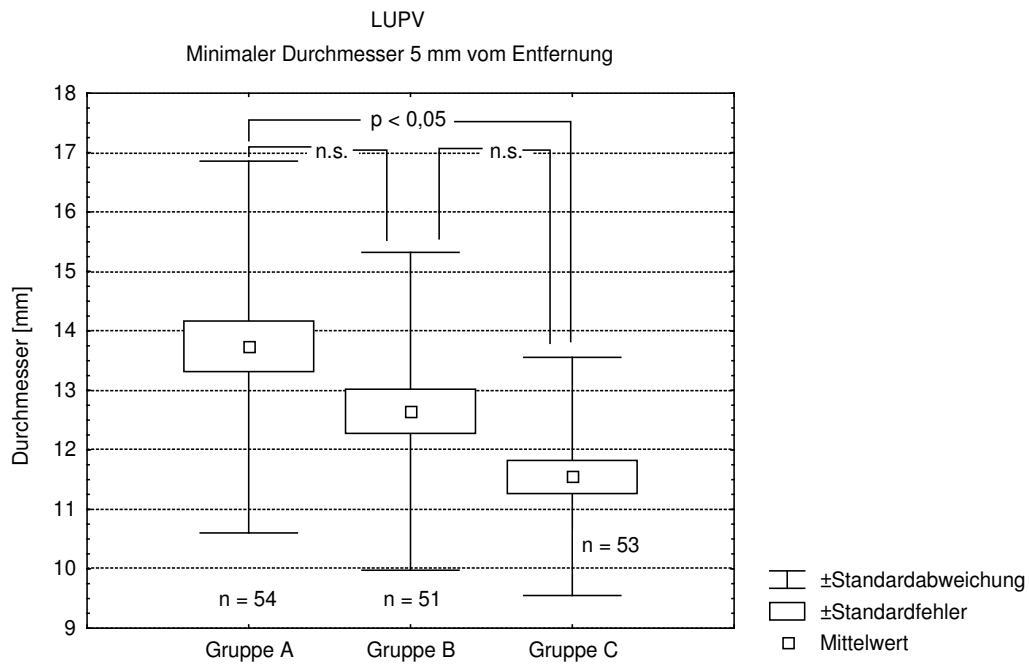


**Abbildung 3.2.1.6:** Vergleich der Gruppen A, B und C im minimalen Diameter der LUPV am Ostium.

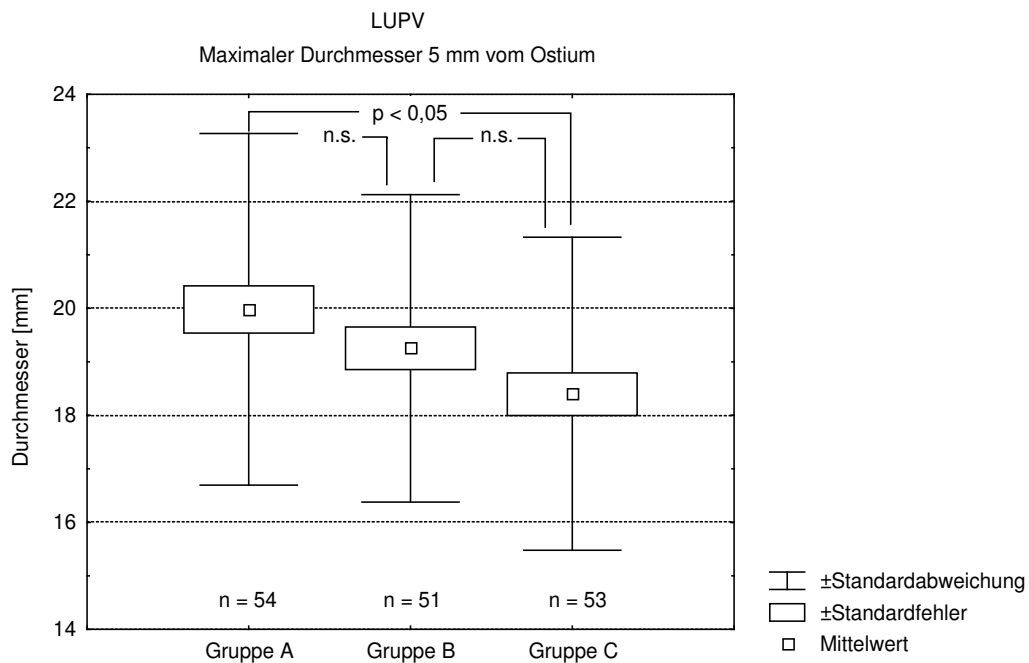


**Abbildung 3.2.1.7:** Vergleich der Gruppen A, B und C im maximalen Diameter der LUPV am Ostium.

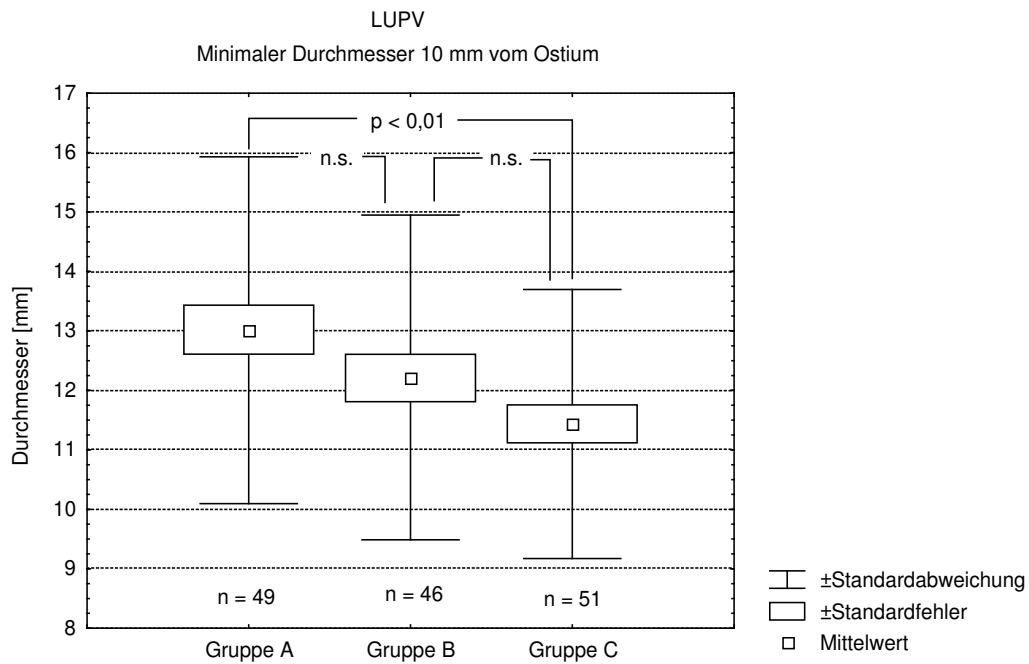




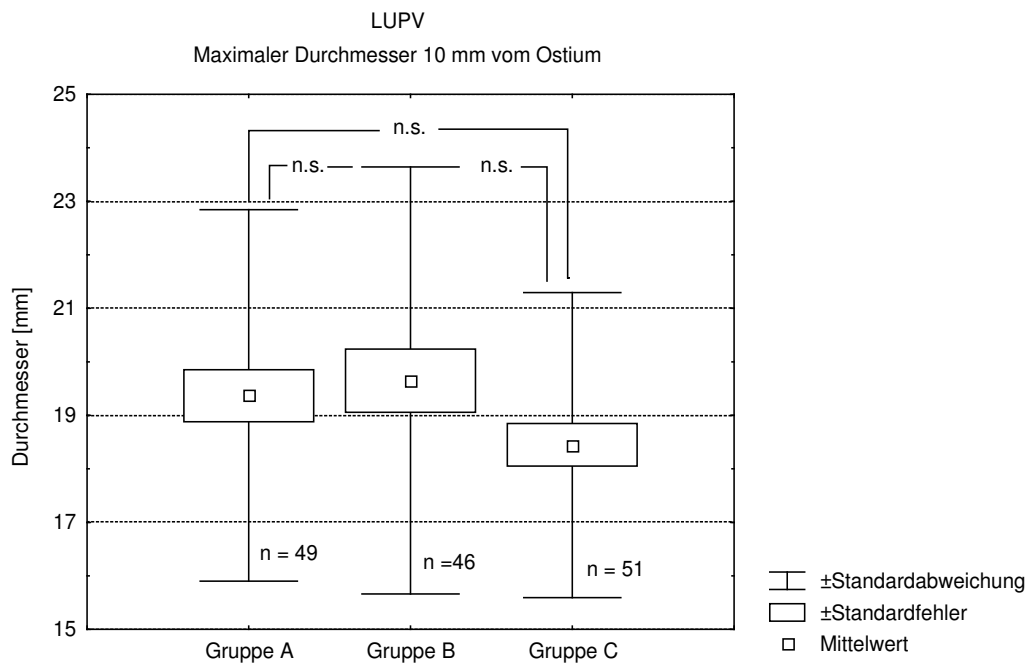
**Abbildung 3.2.1.8:** Vergleich der Gruppen A, B und C im minimalen Diameter der LUPV 5 mm vom Ostium entfernt.



**Abbildung 3.2.1.9:** Vergleich der Gruppen A, B und C im maximalen Diameter der LUPV 5 mm vom Ostium entfernt.



**Abbildung 3.2.1.10:** Vergleich der Gruppen A, B und C im minimalen Diameter der LUPV 10 mm vom Ostium entfernt.



**Abbildung 3.2.1.11:** Vergleich der Gruppen A, B und C im maximalen Diameter der LUPV 10 mm vom Ostium entfernt.

### 3.2.2 Linke untere Pulmonalvene (LLPV)

Bei allen 164 Patienten (Gruppe A 55 Patienten, Gruppe B 52 Patienten, Gruppe C 57 Patienten) kann der minimale und maximale Querdurchmesser der LLPV am Ostium bestimmt werden; 5 mm beziehungsweise 10 mm vom Ostium entfernt können diese beiden Werte bei 144 Patienten (Gruppe A 48 Patienten, Gruppe B 47 Patienten, Gruppe C 49 Patienten) bzw. bei 106 Patienten (Gruppe A 30 Patienten, Gruppe B: 37, Patienten, Gruppe C 39 Patienten) bestimmt werden (Tab. 3.2.2.1).

	Gruppe A minimal	Gruppe B minimal	Gruppe C minimal	Gruppe A maximal	Gruppe B maximal	Gruppe C maximal
LLPV 0	12,3 +/- 2,4	12,1 +/- 3,4	10,9 +/- 2,6	19,0 +/- 2,5	17,8 +/- 2,1	17,1 +/- 2,6
LLPV 5	12,8 +/- 2,2	12,0 +/- 2,8	11,1 +/- 2,4	18,6 +/- 2,6	18,4 +/- 2,3	17,3 +/- 2,9
LLPV 10	12,7 +/- 2,2	12,3 +/- 2,4	11,7 +/- 1,8	18,4 +/- 3,4	18,4 +/- 2,9	17,4 +/- 3,1

**Tabelle 3.2.2.1:** Mittelwerte und Standardabweichungen der Durchmesser der linken unteren Pulmonalvene in mm am Ostium und in einer Entfernung von 5 mm bzw. 10 mm vom Ostium ohne Unterteilung in die einzelnen Untergruppen.

Diese Werte bringen eine Aufteilung im Verlauf der LLPV zum Ausdruck (Tab. 3.2.2.2):

Entfernung vom Ostium	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
0 – 5 mm	7 (12,7 %)	5 (9,6 %)	8 (14,0 %)
> 5 mm – 10 mm	18 (32,7 %)	10 (19,2 %)	10 (17,5 %)
0 – 10 mm	25 (45,5 %)	15 (28,8 %)	18 (31,6 %)
> 10 mm	30 (54,5 %)	37(71,2 %)	39 (68,4 %)

**Tabelle 3.2.2.2:** Aufteilung der linken unteren Pulmonalvene in Abhängigkeit von der Entfernung vom Ostium

Im Vergleich der Gruppen A und B zeigen lediglich die Messwerte der maximalen Diameter am Ostium einen statistisch signifikanten Unterschied (Tab. 3.2.2.3)

LLPV	Gruppe A [mm]	Gruppe B [mm]	p
min. Diameter am Ostium	11,6 +/- 2,3	12,1 +/- 3,3	n.s.
max. Diameter am Ostium	18,3 +/- 2,5	17,8 +/- 2,1	<0,05
min. Diameter 5 mm vom Ostium	12,1 +/- 2,2	12,0 +/- 2,8	n.s.
max. Diameter 5 mm vom Ostium	17,9 +/- 2,6	18,4 +/- 2,3	n.s.
min. Diameter 10 mm vom Ostium	11,8 +/- 2,2	12,3 +/- 2,4	n.s.
max. Diameter 10 mm vom Ostium	17,1 +/- 3,4	18,4 +/- 2,9	n.s.

**Tabelle 3.2.2.3:** Vergleich zwischen den Gruppen A und B hinsichtlich der Diameter der LLPV und ihrer Standardabweichungen.

Im Vergleich der Gruppen B und C finden sich an allen Messpunkten keine signifikanten Unterschiede (Tab. 3.2.2.4).

LLPV	Gruppe B [mm]	Gruppe C [mm]	p
min. Diameter am Ostium	12,1 +/- 3,3	10,9 +/- 2,6	n.s.
max. Diameter am Ostium	17,8 +/- 2,1	17,1 +/- 2,7	n.s.
min. Diameter 5 mm vom Ostium	12,0 +/- 2,8	11,1 +/- 2,4	n.s.
max. Diameter 5 mm vom Ostium	18,4 +/- 2,3	17,3 +/- 2,9	n.s.
min. Diameter 10 mm vom Ostium	12,3 +/- 2,4	11,7 +/- 1,8	n.s.
max. Diameter 10 mm vom Ostium	18,4 +/- 2,9	17,3 +/- 3,1	n.s.

**Tabelle 3.2.2.4:** Vergleich zwischen den Gruppen B und C hinsichtlich der Diameter der LUPV und ihrer Standardabweichungen.

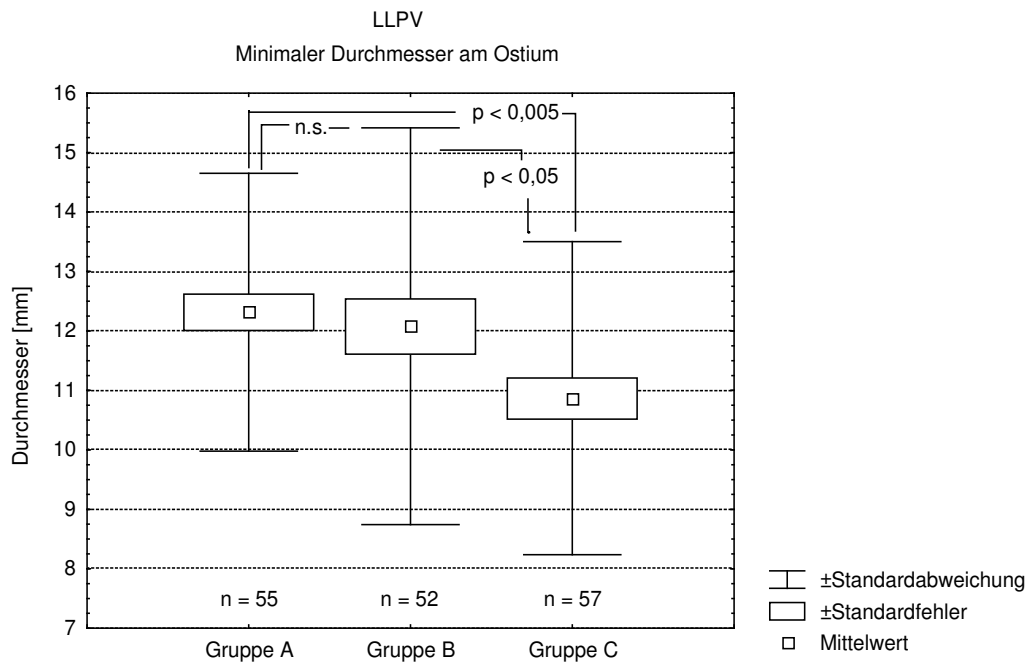
Signifikante Unterschiede mit  $p < 0,05$  im Vergleich der Gruppe A versus C finden sich im minimalen und maximalen Diameter der LLPV am Ostium sowie in einer Entfernung von fünf Millimetern vom Ostium.

In einer Entfernung von 10 mm vom Ostium finden sich hingegen keine signifikanten Unterschiede im Vergleich der Gruppen A und C (Tab. 3.2.2.5).

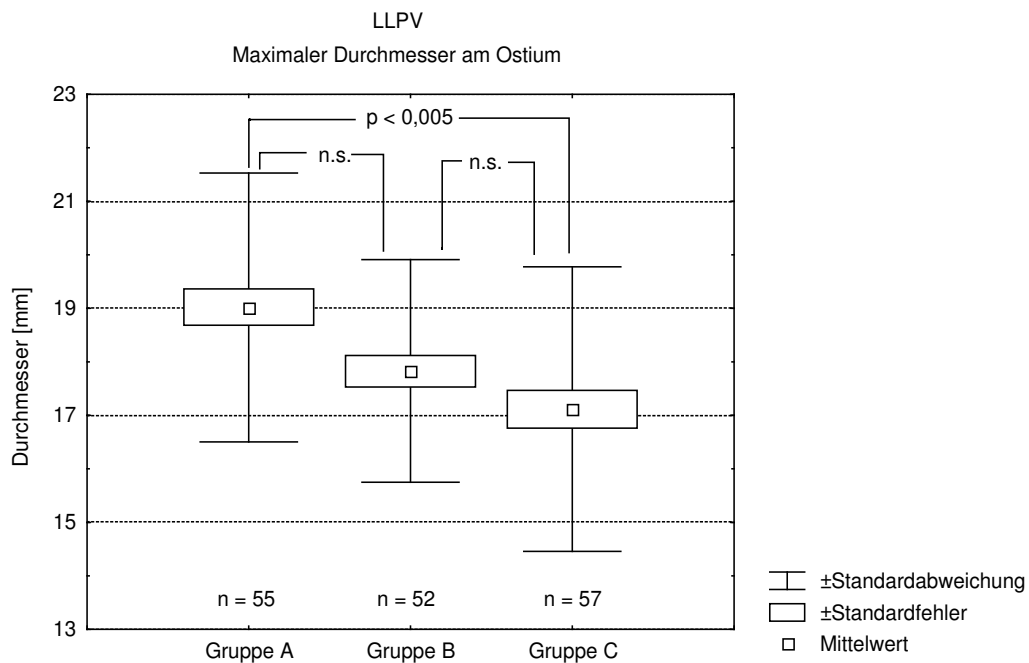
LLPV	Gruppe A [mm]	Gruppe C [mm]	p
min. Diameter am Ostium	11,6 +/- 2,3	10,9 +/- 2,6	<0,005
max. Diameter am Ostium	18,3 +/- 2,5	17,1 +/- 2,7	<0,0005
min. Diameter 5 mm vom Ostium	12,1 +/- 2,2	11,1 +/- 2,4	<0,005
max. Diameter 5 mm vom Ostium	17,9 +/- 2,6	17,3 +/- 2,9	<0,05
min. Diameter 10 mm vom Ostium	11,8 +/- 2,2	11,7 +/- 1,8	n.s.
max. Diameter 10 mm vom Ostium	17,1 +/- 3,4	17,3 +/- 3,1	n.s.

***Tabelle 3.2.2.5:*** Vergleich zwischen den Gruppen A und C hinsichtlich der Diameter der LLPV und ihrer Standardabweichungen.

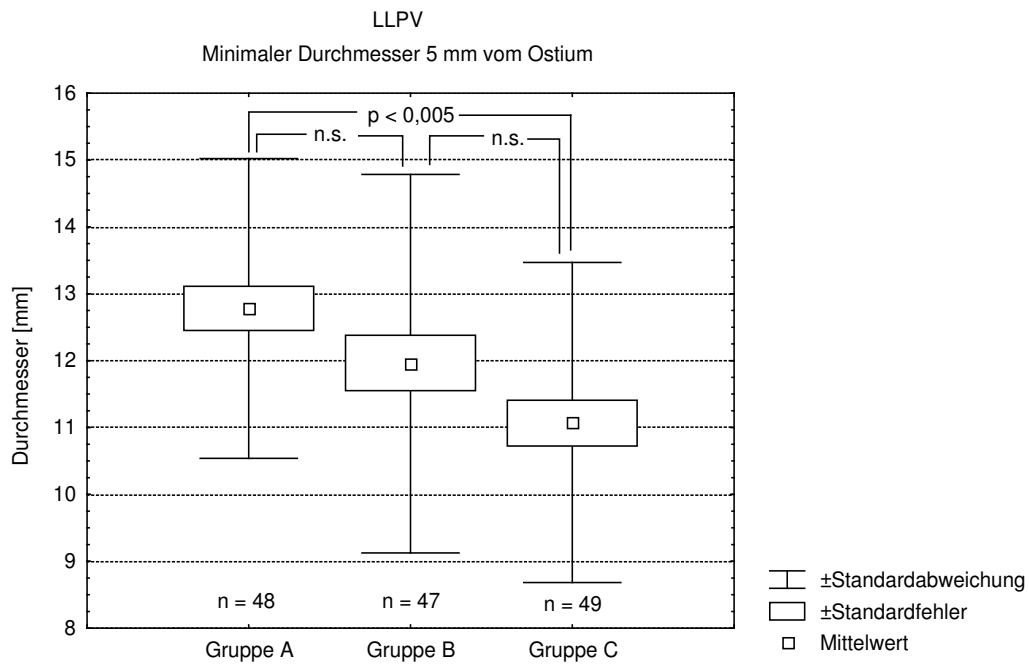
Die Abbildungen 3.2.2.6 bis 3.2.2.11 zeigen die statistische Messwertverteilung in den verschiedenen Gruppen.



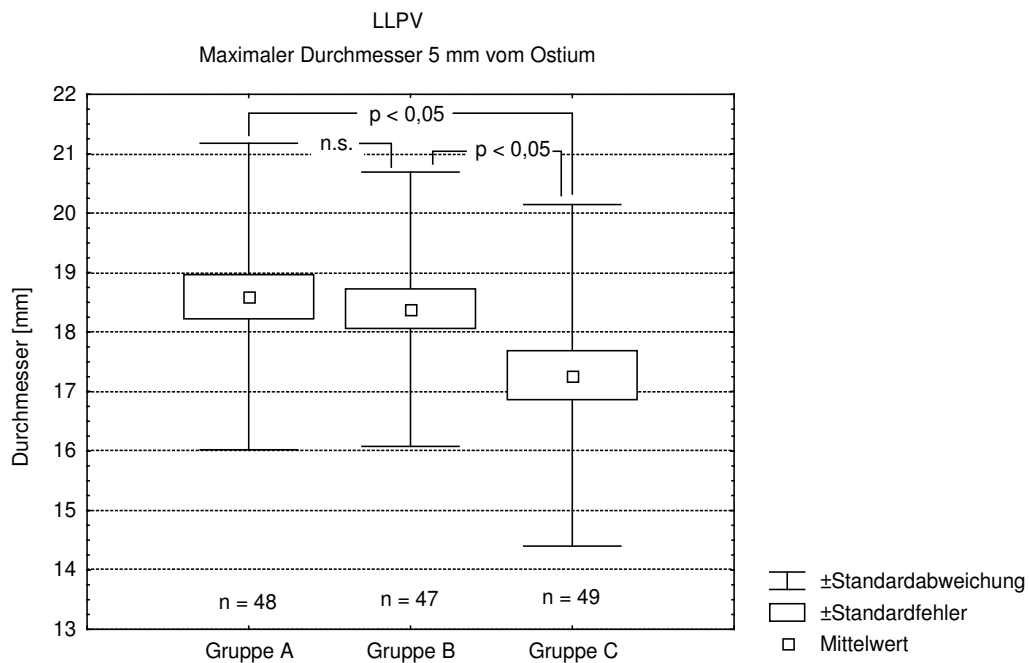
**Abbildung 3.2.2.6:** Minimaler Durchmesser der LLPV am Ostium im Vergleich der Gruppen A, B und C.



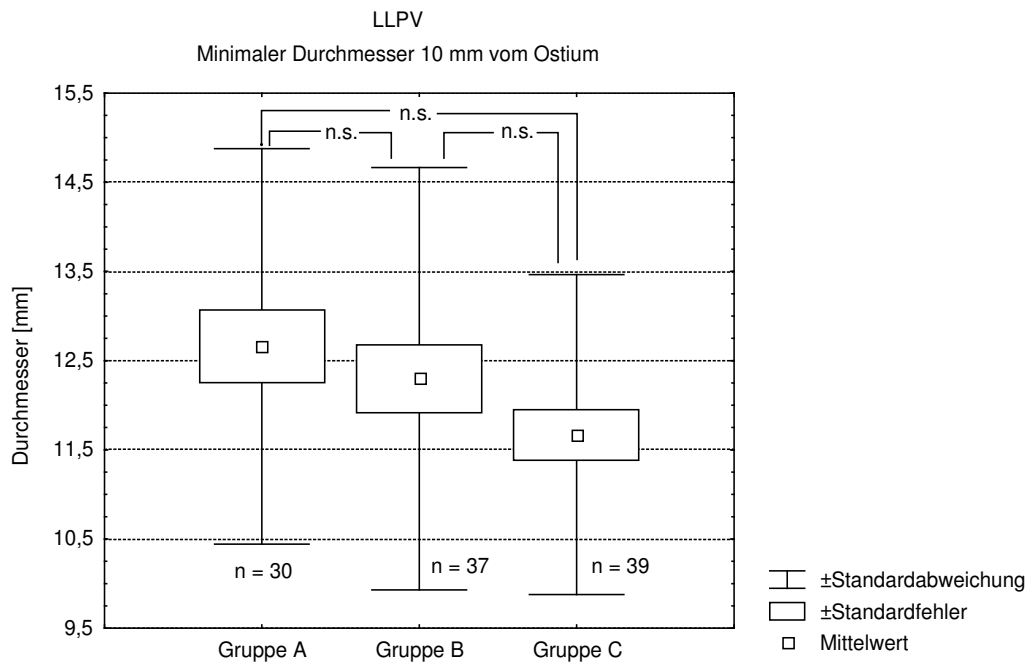
**Abbildung 3.2.2.7:** Maximaler Durchmesser der LLPV am Ostium im Vergleich der Gruppen A und C.



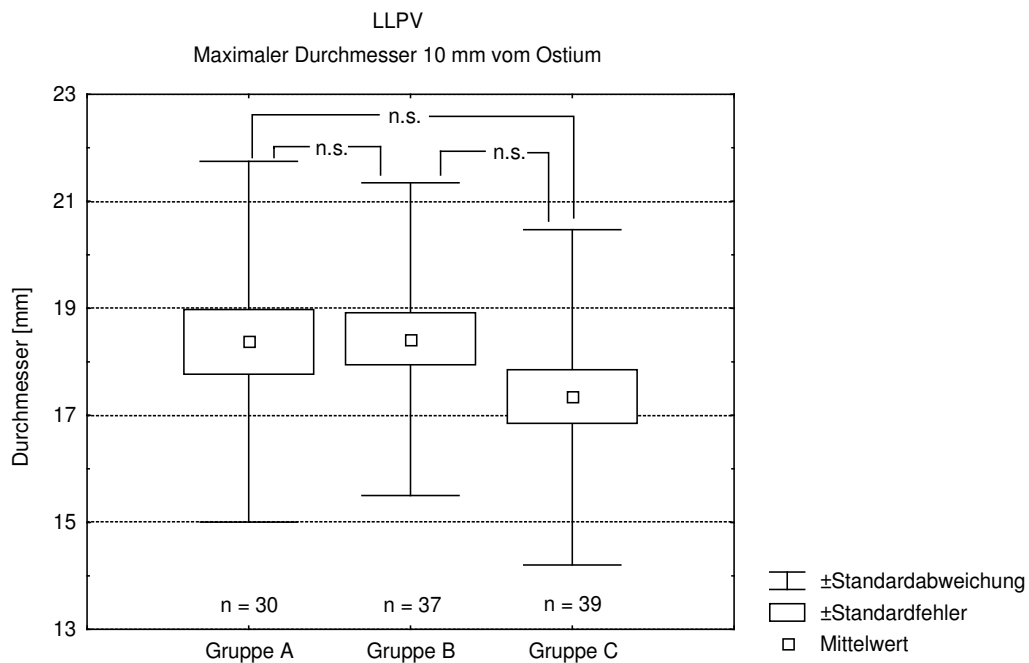
**Abbildung 3.2.2.8:** Minimaler Durchmesser der LLPV in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium im Vergleich der Gruppen A, B und C.



**Abbildung 3.2.2.9:** Maximaler Durchmesser der LLPV in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium im Vergleich der Gruppen A, B und C.



**Abbildung 3.2.2.10:** Minimaler Durchmesser der LLPV in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium im Vergleich der Gruppen A, B und C.



**Abbildung 3.2.2.11:** Maximaler Durchmesser der LLPV in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium im Vergleich der Gruppen A, B und C.



### 3.3 Rechte Pulmonalvenen

#### 3.3.1 Rechte obere Pulmonalvene (RUPV)

Bei allen 164 Patienten (Gruppe A 55 Patienten, Gruppe B 52 Patienten, Gruppe C 57 Patienten) können der minimale und maximale Querdurchmesser der RUPV am Ostium bestimmt werden; 5 mm beziehungsweise 10 mm vom Ostium entfernt können diese beiden Werte bei 153 Patienten (Gruppe A 52 Patienten, Gruppe B 50 Patienten, Gruppe C 51 Patienten) bzw. bei 122 Patienten (Gruppe A 40 Patienten, Gruppe B 37 Patienten, Gruppe C 45 Patienten) bestimmt werden (Tab. 3.3.1.1).

	Gruppe A minimal	Gruppe B minimal	Gruppe C minimal	Gruppe A maximal	Gruppe B maximal	Gruppe C maximal
RUPV 0	19,1 +/- 5,5	15,6 +/- 3,5	15,1 +/- 3,6	24,5 +/- 6,4	22,8 +/- 5,0	22,9 +/- 5,6
RUPV 5	16,4 +/- 4,9	13,8 +/- 2,5	13,8 +/- 2,8	21,9 +/- 4,1	19,8 +/- 3,6	19,9 +/- 4,1
RUPV 10	15,2 +/- 4,4	13,1 +/- 2,6	13,1 +/- 2,7	20,7 +/- 4,5	19,8 +/- 3,4	20,0 +/- 3,6

**Tabelle 3.3.1.1:** Mittelwerte in mm und Standardabweichungen der Durchmesser der rechten oberen Pulmonalvene in mm am Ostium und in einer Entfernung von 5 mm bzw. 10 mm vom Ostium der Gruppen A, B und C ohne Differenzierung in weitere Untergruppen.

Diese Werte zeigen das Aufteilungsmuster im Verlauf der RUPV zum Ausdruck, sie sind in der folgenden Tabelle aufgeführt (Tab. 3.3.1.2).

Entfernung vom Ostium	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
0 – 5 mm	3 (5,5 %)	2 (3,8 %)	6 (10,5 %)
> 5 mm – 10 mm	12 (21,8 %)	13 (25 %)	6 (10,5 %)
0 – 10 mm	15 (27,3 %)	15 (28,8 %)	12 (21,1 %)
> 10 mm	40 (72,7 %)	37 (71,2 %)	45 (78,9 %)

**Tabelle 3.3.1.2:** Aufteilung der rechten oberen Pulmonalvene in Abhängigkeit von der Entfernung vom Ostium

Vergleicht man die Gruppen A und B miteinander, so zeigen sich signifikante Unterschiede im minimalen Diameter sowohl am Ostium als auch in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium (Tab. 3.3.1.3).

RUPV	Gruppe A [mm]	Gruppe B [mm]	p
min. Diameter am Ostium	19,2 +/- 4,7	15,6 +/- 3,5	<0,05
max. Diameter am Ostium	24,1 +/- 5,2	22,8 +/- 5,0	n.s.
min. Diameter 5 mm vom Ostium	16,9 +/- 4,1	13,8 +/- 2,5	<0,05
max. Diameter 5 mm vom Ostium	21,7 +/- 4,3	19,8 +/- 3,6	n.s.
min. Diameter 10 mm vom Ostium	15,2 +/- 3,6	13,1 +/- 2,6	n.s.
max. Diameter 10 mm vom Ostium	21,0 +/- 4,2	19,8 +/- 3,4	n.s.

**Tabelle 3.3.1.3:** Vergleich zwischen den Gruppen A und B hinsichtlich der Diameter der RUPV und ihrer Standardabweichungen.

Im Vergleich der Gruppen B und C finden sich signifikante Unterschiede mit  $p < 0,05$  für den minimalen Durchmesser der RUPV am Ostium und in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium (Tab. 3.3.1.4).

RUPV	Gruppe B [mm]	Gruppe C [mm]	p
min. Diameter am Ostium	15,6 +/- 3,5	15,1 +/- 3,6	<0,05
max. Diameter am Ostium	22,8 +/- 5,0	22,9 +/- 5,4	n.s.
min. Diameter 5 mm vom Ostium	13,8 +/- 2,5	13,6 +/- 2,8	<0,05
max. Diameter 5 mm vom Ostium	19,8 +/- 3,6	19,9 +/- 4,1	n.s.
min. Diameter 10 mm vom Ostium	13,1 +/- 2,6	13,1 +/- 2,7	n.s.
max. Diameter 10 mm vom Ostium	19,8 +/- 3,4	20,0 +/- 3,6	n.s.

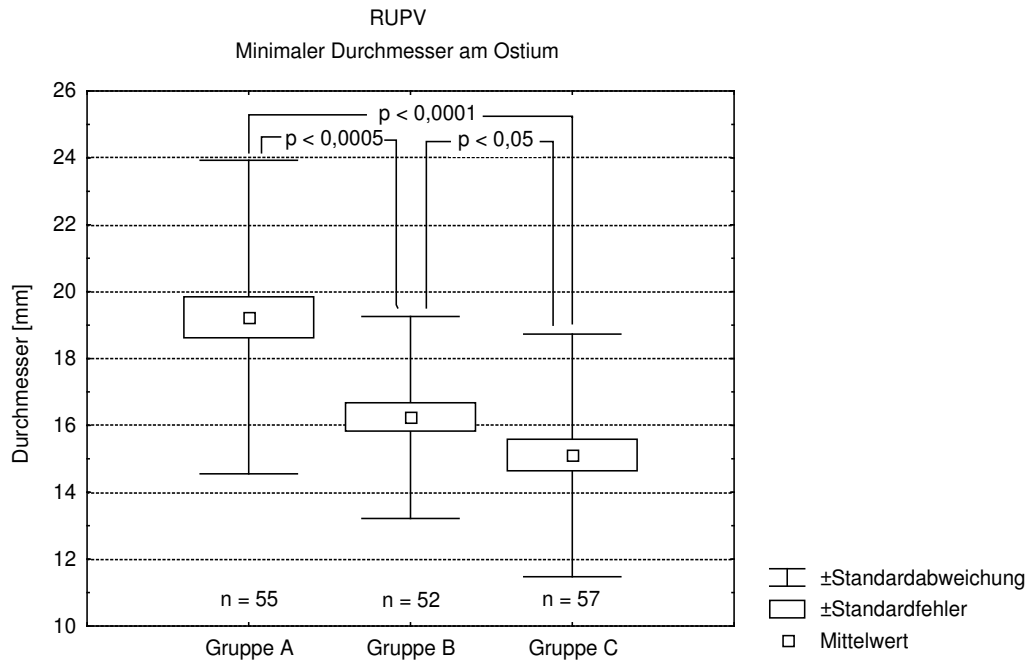
**Tabelle 3.3.1.4:** Vergleich zwischen den Gruppen B und C hinsichtlich der Diameter der RUPV und ihrer Standardabweichungen.

Im Vergleich der Gruppen A und C finden sich signifikante Unterschiede mit  $p < 0,05$  für den minimalen Diameter der RUPV am Ostium sowie in einer Entfernung von 5 und 10 mm vom Ostium und auch für den maximalen Diameter in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium (Tab. 3.3.1.5.).

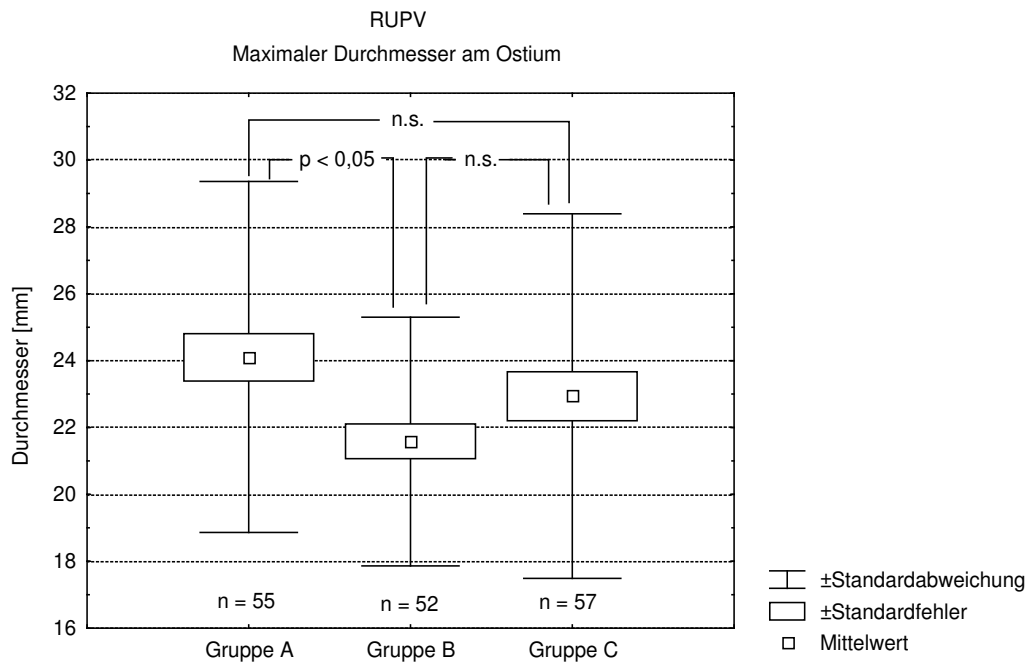
RUPV	Gruppe A [mm]	Gruppe C [mm]	p
min. Diameter am Ostium	19,2 +/- 4,7	15,1 +/- 3,6	<0,005
max. Diameter am Ostium	24,1 +/- 5,2	22,9 +/- 5,4	n.s.
min. Diameter 5 mm vom Ostium	16,9 +/- 4,1	13,6 +/- 2,8	<0,005
max. Diameter 5 mm vom Ostium	21,7 +/- 4,3	19,9 +/- 4,1	<0,05
min. Diameter 10 mm vom Ostium	15,2 +/- 3,6	13,1 +/- 2,7	<0,005
max. Diameter 10 mm vom Ostium	21,0 +/- 4,2	20,0 +/- 3,6	n.s.

**Tabelle 3.3.1.5:** Vergleich zwischen den Gruppen A und C hinsichtlich der Diameter der RUPV und ihrer Standardabweichungen.

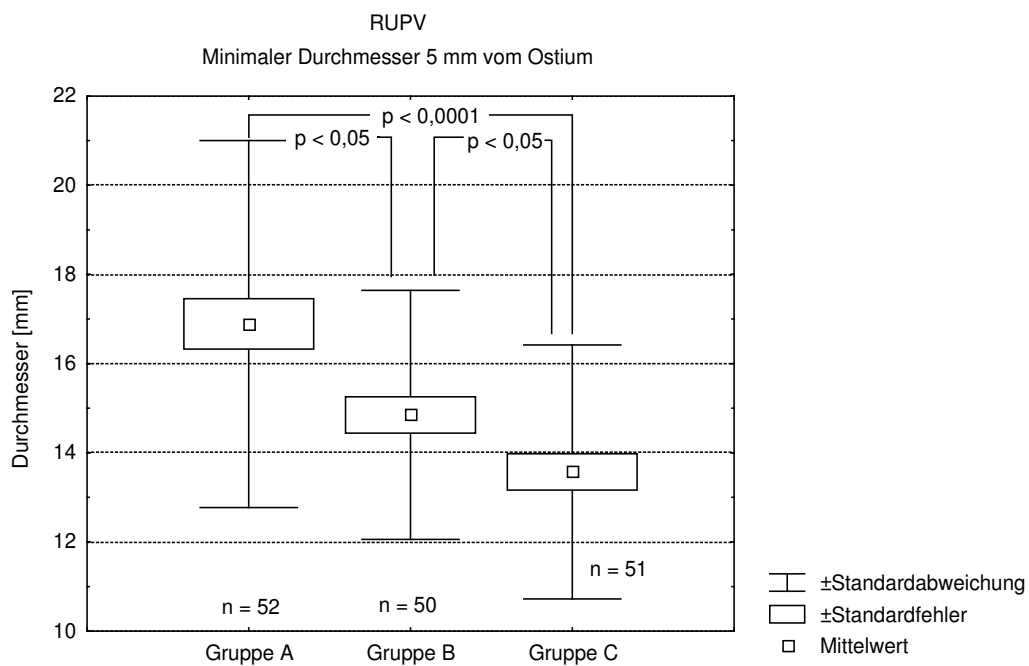
Mittelwerte, Standardabweichungen und Standardfehler sowie die statistischen Signifikanzen sind aus den Abbildungen 3.3.1.6 bis 3.3.1.11 ersichtlich.



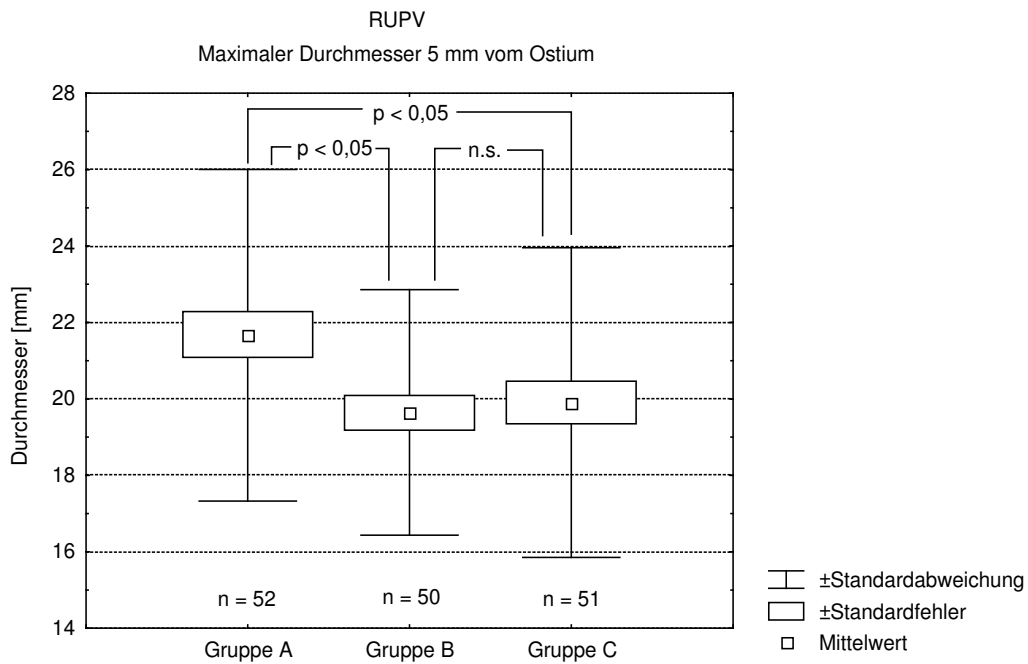
**Abbildung 3.3.1.6:** Vergleich der minimalen Durchmesser der RUPV am Ostium zwischen den Gruppen A, B und C.



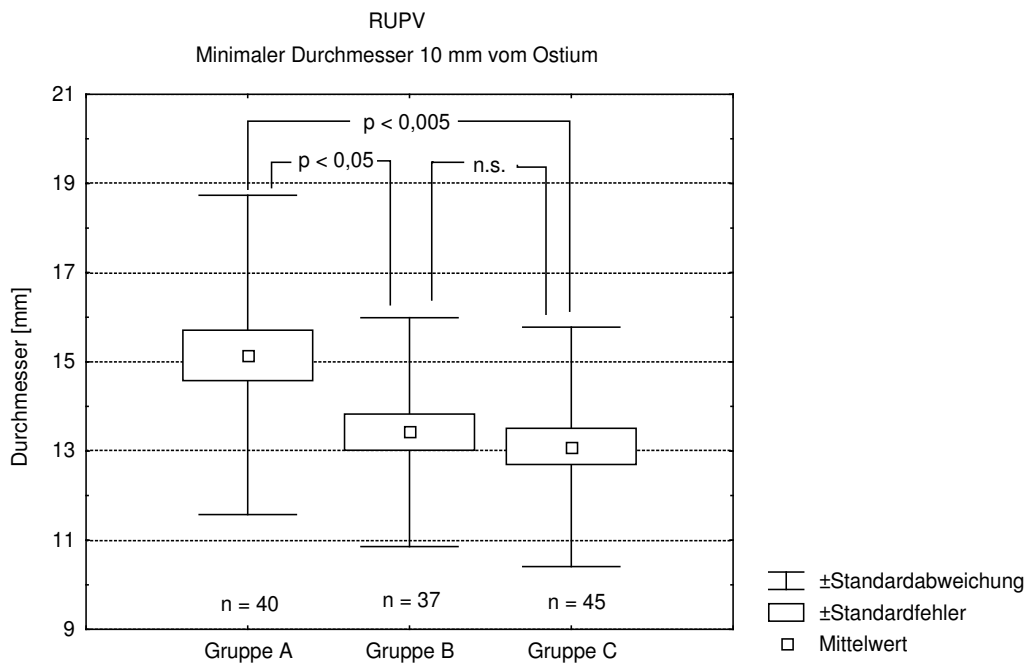
**Abbildung 3.3.1.7:** Vergleich der maximalen Durchmesser der RUPV am Ostium zwischen den Gruppen A, B und C.



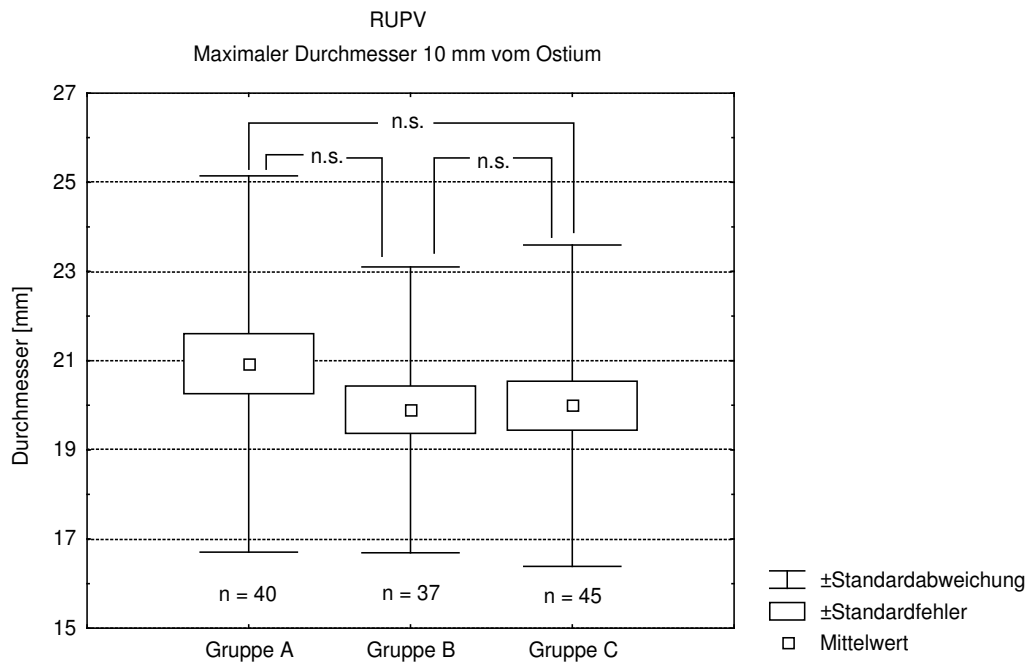
**Abbildung 3.3.1.8:** Vergleich der minimalen Durchmesser der RUPV in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium zwischen den Gruppen A, B und C.



**Abbildung 3.3.1.9:** Vergleich der maximalen Durchmesser der RUPV in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium zwischen den Gruppen A, B und C.



**Abbildung 3.3.1.10:** Vergleich der minimalen Durchmesser der RUPV in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium zwischen den Gruppen A, B und C.



**Abbildung 3.3.1.11:** Vergleich der maximalen Durchmesser der RUPV in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium zwischen den Gruppen A, B und C.

### 3.3.2 Rechte untere Pulmonalvene (RLPV)

In allen drei Gruppen (Gruppe A 55 Patienten, Gruppe B 52 Patienten, Gruppe C 57 Patienten) kann bei allen Patienten der minimale und maximale Querdurchmesser am Ostium bestimmt werden; 5 mm beziehungsweise 10 mm vom Ostium entfernt können diese beiden Werte bei 94 Patienten (Gruppe A 31 Patienten, Gruppe B 27 Patienten, Gruppe C 36 Patienten) bzw. bei 33 Patienten (Gruppe A 10 Patienten, Gruppe B 9 Patienten, Gruppe C 14 Patienten) bestimmt werden (Tab. 3.3.2.1).

	Gruppe A minimal	Gruppe B minimal	Gruppe C minimal	Gruppe A maximal	Gruppe B maximal	Gruppe C maximal
RLPV 0	16,5 +/- 3,4	15,6 +/- 3,7	15,1 +/- 3,6	20,6 +/- 4,1	18,7 +/- 3,8	22,9 +/- 5,5
RLPV 5	14,5 +/- 2,9	14,3 +/- 3,0	13,6 +/- 2,8	18,4 +/- 4,0	18,6 +/- 3,0	19,9 +/- 4,1
RLPV 10	12,9 +/- 3,0	14,2 +/- 3,6	13,1 +/- 2,7	16,5 +/- 3,7	17,3 +/- 3,3	20,0 +/- 3,6

**Tabelle 3.3.2.1:** Mittelwerte und Standardabweichungen der Durchmesser der rechten unteren Pulmonalvene in mm am Ostium und in einer Entfernung von 5 mm bzw. 10 mm vom Ostium im Vergleich der beiden Gruppen ohne weitere Differenzierung in die Untergruppen.

Das sich hierdurch zeigende Aufteilungsmuster ist in der folgenden Tabelle zusammengefasst (Tab. 3.3.2.2).

Entfernung vom Ostium	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
0 – 5 mm	24 (43,6 %)	25 (48,1 %)	21 (36,8 %)
> 5 mm – 10 mm	21 (38,2 %)	18 (34,6 %)	22 (38,6 %)
0 – 10 mm	45 (81,8 %)	43 (82,7 %)	43 (75,4 %)
> 10 mm	10 (18,2 %)	9 (17,3 %)	14 (24,6 %)

**Tabelle 3.3.2.2:** Aufteilung der rechten unteren Pulmonalvene in Abhängigkeit von der Entfernung vom Ostium



Im Vergleich der Gruppen A und B zeigt sich ein signifikanter Unterschied lediglich hinsichtlich des maximalen Diameters am Ostium (Tab. 3.3.2.3).

RLPV	Gruppe A [mm]	Gruppe B [mm]	p
min. Diameter am Ostium	16,5 +/- 3,4	15,6 +/- 3,7	n.s.
max. Diameter am Ostium	20,6 +/- 4,1	18,7 +/- 3,8	p < 0,05
min. Diameter 5 mm vom Ostium	14,5 +/- 2,9	14,5 +/- 2,5	n.s.
max. Diameter 5 mm vom Ostium	18,4 +/- 4,0	18,7 +/- 3,0	n.s.
min. Diameter 10 mm vom Ostium	12,9 +/- 3,0	14,2 +/- 3,6	n.s.
max. Diameter 10 mm vom Ostium	16,5 +/- 3,7	17,3 +/- 3,3	n.s.

**Tabelle 3.3.2.3:** Vergleich zwischen den Gruppen A und B hinsichtlich der Diameter der RLPV und ihrer Standardabweichungen.

Zwischen den Gruppen B und C findet sich eine signifikante Messwertdifferenz nur bezüglich der minimalen Diameter am Ostium (Tab. 3.3.2.4).

RLPV	Gruppe B [mm]	Gruppe C [mm]	p
min. Diameter am Ostium	15,6 +/- 3,7	14,1 +/- 2,9	< 0,05
max. Diameter am Ostium	18,7 +/- 3,8	18,5 +/- 3,7	n.s.
min. Diameter 5 mm vom Ostium	14,5 +/- 2,5	13,4 +/- 2,7	n.s.
max. Diameter 5 mm vom Ostium	18,7 +/- 3,0	18,0 +/- 3,0	n.s.
min. Diameter 10 mm vom Ostium	14,2 +/- 3,6	12,8 +/- 2,3	n.s.
max. Diameter 10 mm vom Ostium	17,3 +/- 3,3	17,0 +/- 3,2	n.s.

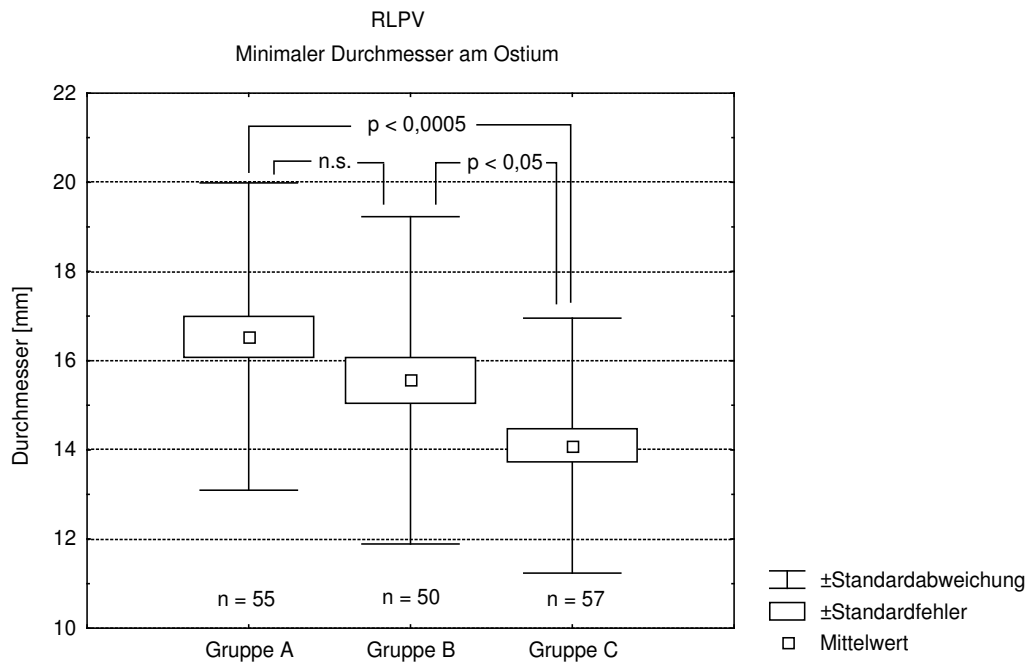
**Tabelle 3.3.2.4:** Vergleich zwischen den Gruppen B und C hinsichtlich der Diameter der RLPV und ihrer Standardabweichungen.

Im Vergleich der Gruppen A und C finden sich signifikante Unterschiede mit  $p < 0,05$  im minimalen und maximalen Diameter der RLPV am Ostium; im weiteren Verlauf der RLPV – Durchmessern finden sich keine signifikanten Unterschiede (Tab. 3.3.2.5).

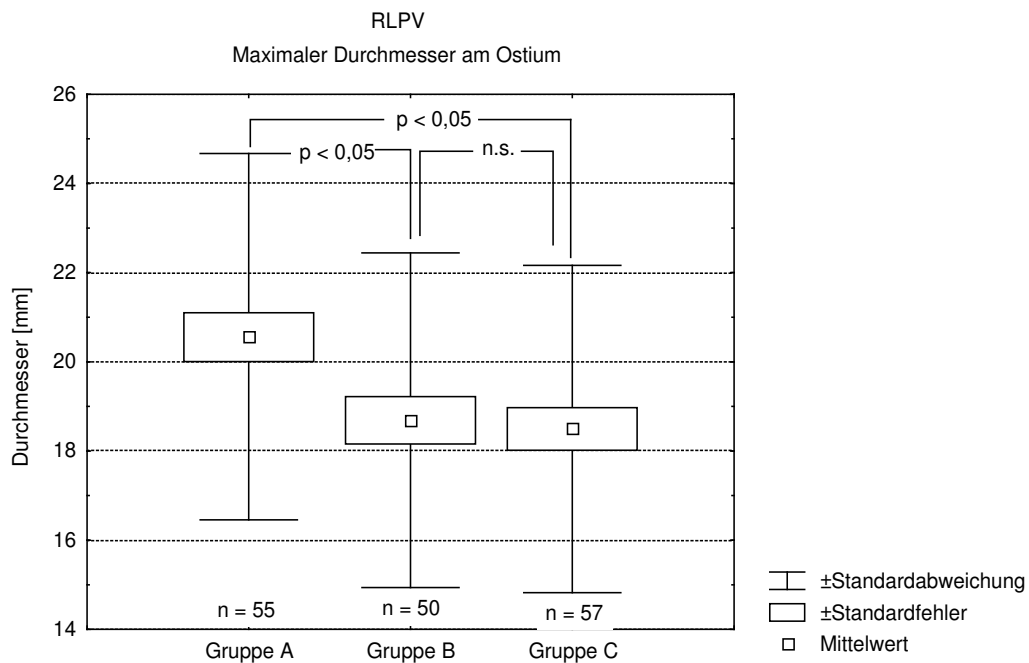
RLPV	Gruppe A [mm]	Gruppe C [mm]	p
min. Diameter am Ostium	16,5 +/- 3,4	15,1 +/- 3,6	< 0,0005
max. Diameter am Ostium	20,6 +/- 4,1	22,9 +/- 5,5	< 0,05
min. Diameter 5 mm vom Ostium	14,5 +/- 2,9	13,6 +/- 2,8	n.s.
max. Diameter 5 mm vom Ostium	18,4 +/- 4,0	19,9 +/- 4,1	n.s.
min. Diameter 10 mm vom Ostium	12,9 +/- 3,0	13,1 +/- 2,7	n.s.
max. Diameter 10 mm vom Ostium	16,5 +/- 3,7	20,0 +/- 3,6	n.s.

**Tabelle 3.3.2.5:** Vergleich zwischen den Gruppen A und C hinsichtlich der Diameter der RLPV und ihrer Standardabweichungen.

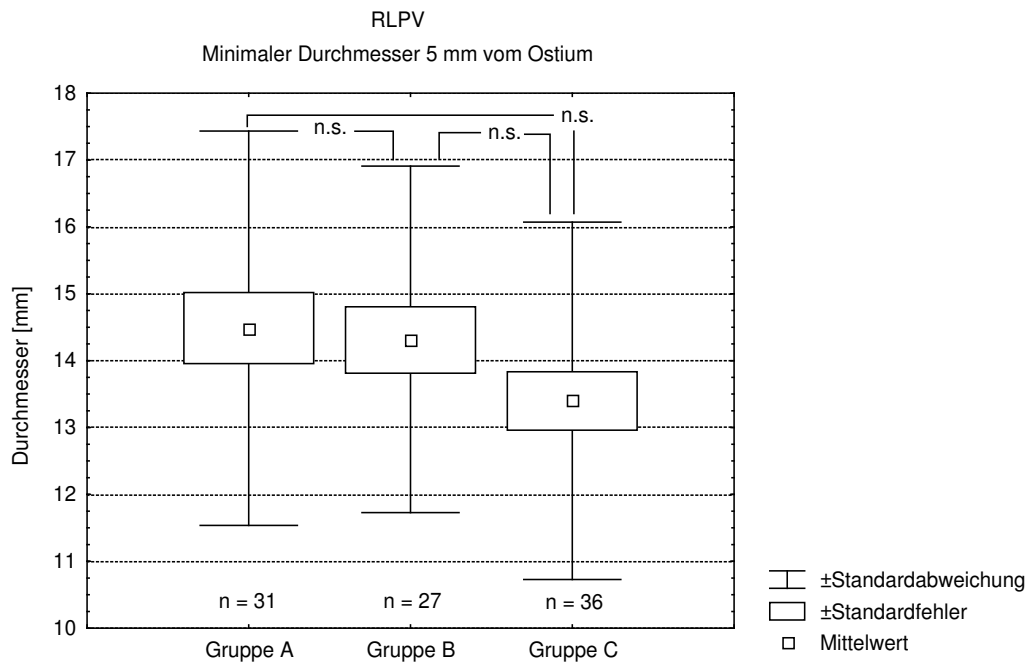
Die Abbildungen 3.3.2.6 bis 3.3.2.11 zeigen die Verteilung der Diameter der RLPV einschließlich ihrer Standardabweichungen und der Standardfehler sowie die statistischen Signifikanzen in den drei Patientengruppen.



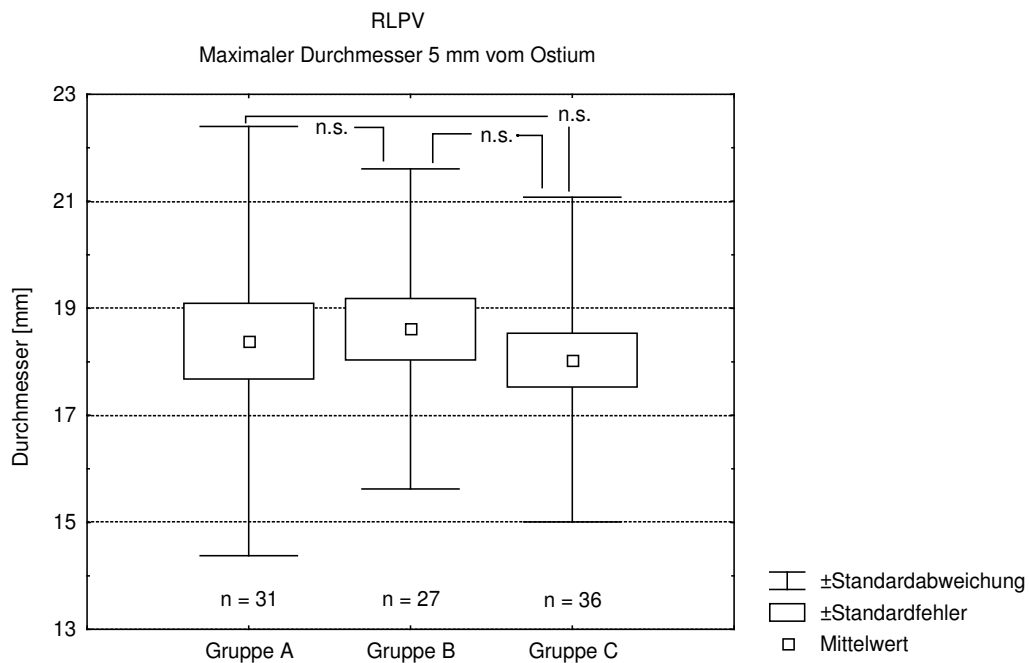
**Abbildung 3.3.2.6:** Vergleich des minimalen Diameters der RLPV am Ostium im Vergleich der Gruppen A, B und C.



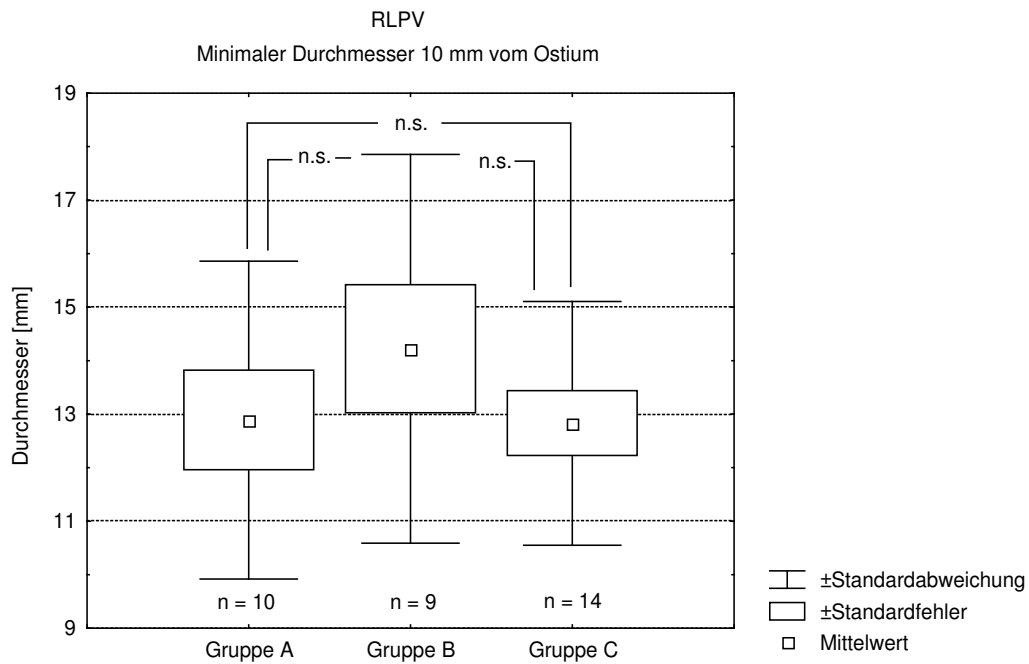
**Abbildung 3.3.2.7:** Vergleich des maximalen Diameters der RLPV am Ostium im Vergleich der Gruppen A, B und C.



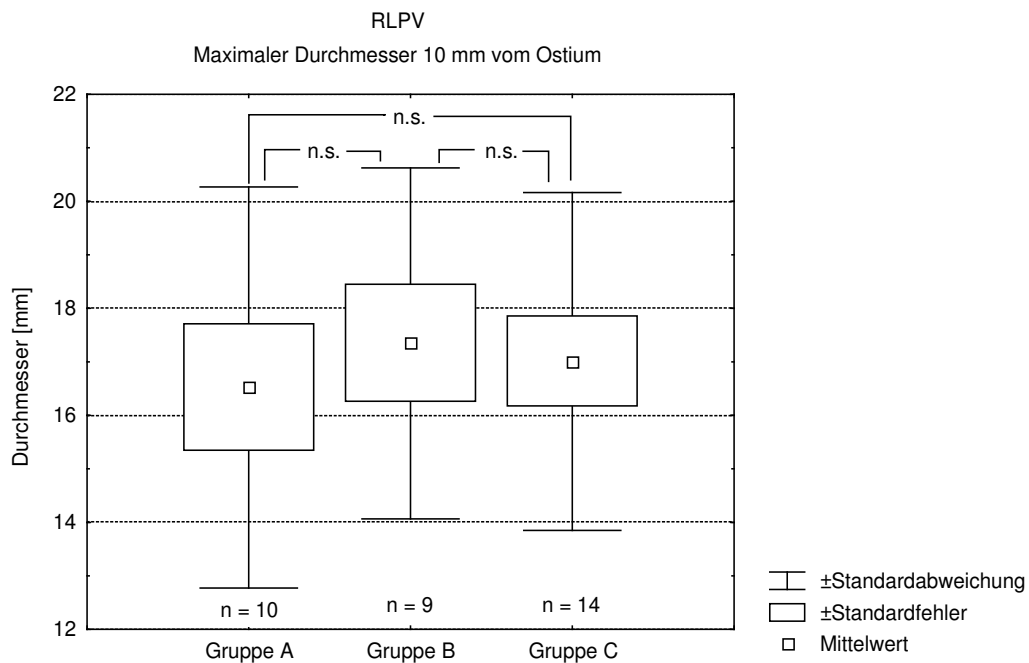
**Abbildung 3.3.2.8:** Vergleich des minimalen Diameter der RLPV 5 mm vom Ostium im Vergleich der Gruppen A, B und C.



**Abbildung 3.3.2.9:** Vergleich des maximalen Diameter der RLPV 5 mm vom Ostium im Vergleich der Gruppen A, B und C.



**Abbildung 3.3.2.10:** Vergleich des minimalen Diameters der RLPV 10 mm vom Ostium im Vergleich der Gruppen A, B und C.



**Abbildung 3.3.2.11:** Vergleich des maximalen Diameters der RLPV 10 mm vom Ostium im Vergleich der Gruppen A, B und C.

### 3.4 Akzessorische Pulmonalvenen

#### 3.4.1 Linke akzessorische Pulmonalvene (LAPV)

Eine akzessorische linke Pulmonalvene kann nur bei einem Patienten (entsprechend 0,9 %) gefunden werden, dieser Patient gehört zur Gruppe B und weist auch eine akzessorische rechte Pulmonalvene auf (Tab. 3.4.1.1).

	minimaler Diameter [mm]	maximaler Diameter [mm]
LAPV 0	4,7	5,1
LAPV 5	4,5	5,1
LAPV 10	3,9	4,9

*Tabelle 3.4.1.1: Maximaler und minimaler Diameter der einzigen nachweisbaren LAPV am Ostium sowie in einer Entfernung von 5 und 10 mm vom Ostium.*

#### 3.4.2 Rechte akzessorische Pulmonalvene (RAPV)

Diese Normvariante kann in der Gruppe A bei 15 von 55 Patienten (entsprechend 27,3 %), in der Gruppe B bei 13 von 52 Patienten (entsprechend 25,0 %) und in der Gruppe C bei 9 von 57 Patienten (entsprechend 15,8 %) nachgewiesen werden.

Bei allen Patienten mit einer akzessorischen rechten Pulmonalvene kann deren minimaler und maximaler Durchmesser am Ostium bestimmt werden. 5 mm beziehungsweise 10 mm vom Ostium entfernt können diese beiden Werte bei 27 Patienten (Gruppe A 11 Patienten, Gruppe B 10 Patienten, Gruppe C 6 Patienten) bzw. bei 19 Patienten (Gruppe A 6 Patienten, Gruppe B 9 Patienten, Gruppe C 4 Patienten) bestimmt werden (Tab. 3.4.2.1).

	Gruppe A minimal	Gruppe B minimal	Gruppe C minimal	Gruppe A maximal	Gruppe B maximal	Gruppe C maximal
RAPV 0	9,0 +/- 4,1	7,8 +/- 1,8	6,6 +/-1,2	10,5 +/- 4,5	10,4 +/- 2,3	8,9 +/- 2,3
RAPV 5	8,4 +/- 4,4	7,2 +/- 1,4	5,6 +/- 1,1	10,2 +/- 4,9	8,8 +/- 1,3	7,2 +/- 1,3
RAPV 10	8,0 +/- 4,7	6,7 +/- 1,2	4,9 +/- 0,5	8,8 +/- 4,4	7,9 +/- 1,6	6,3 +/- 1,4

**Tabelle 3.4.2.1:** Mittelwerte und Standardabweichungen der Durchmesser der rechten akzessorischen Pulmonalvene in mm am Ostium und in einer Entfernung von 5 mm bzw. 10 mm vom Ostium in der Gruppen A,B und C.

Somit lässt sich die Aufteilung der RAPV in ihrem Verlauf abbilden (Tab. 3.4.2.2):

Entfernung vom Ostium	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
0 – 5 mm	4 (26,7 %)	3 (23,1 %)	3 (33,3 %)
> 5 mm – 10 mm	5 (33,3 %)	1 (7,7 %)	2 (22,2 %)
0 – 10 mm	9 (60,0 %)	4 (30,8 %)	5 (55,6 %)
> 10 mm	6 (40,0 %)	9 (69,2 %)	4 (44,4 %)

**Tabelle 3.4.2.2:** Aufteilung der rechten akzessorischen Pulmonalvene in Abhängigkeit von der Entfernung vom Ostium

### 3.5 Truncus

#### 3.5.1 Linker Truncus

Bei insgesamt 23 Patienten kann ein Truncus links nachgewiesen werden: bei 9 Patienten in der Gruppe A, bei 4 Patienten in der Gruppe B und bei 10 Patienten in der Gruppe C.

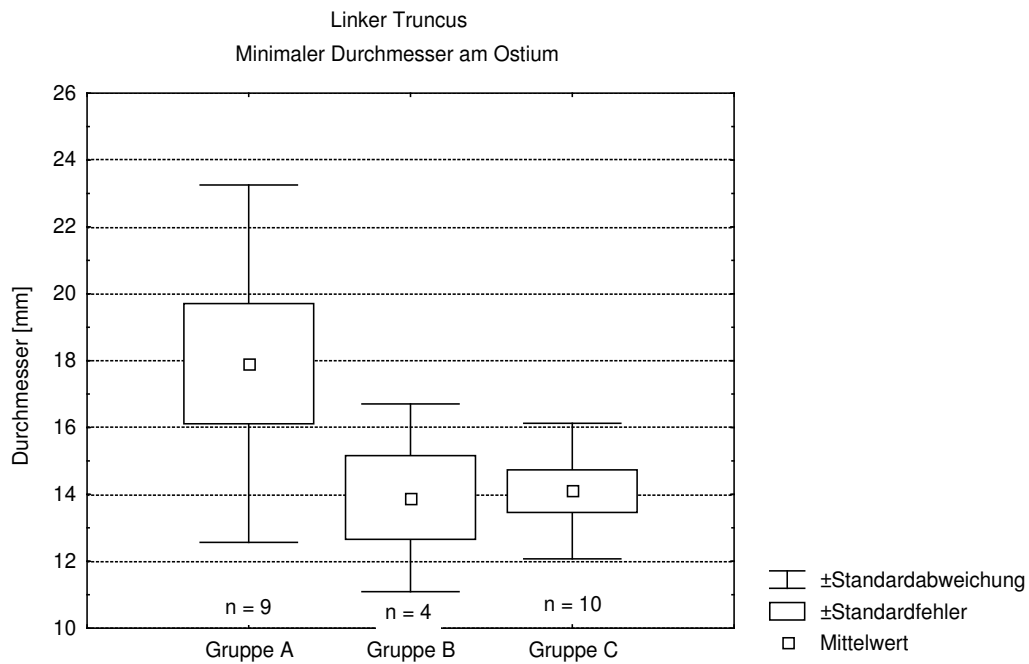
In der folgenden Tabelle sind die Diameter dieses linken Truncus am Ostium angegeben (Tab. 3.5.1.1).

	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
Minimaler Durchmesser	17,9 mm +/- 5,3 mm	13,5 mm +/- 3,1 mm	14,1 mm +/- 2,0 mm
Maximaler Durchmesser	32,7 mm +/- 4,9 mm	35,1 mm +/- 7,4 mm	27,8 mm +/- 2,4 mm
n	9	4	10

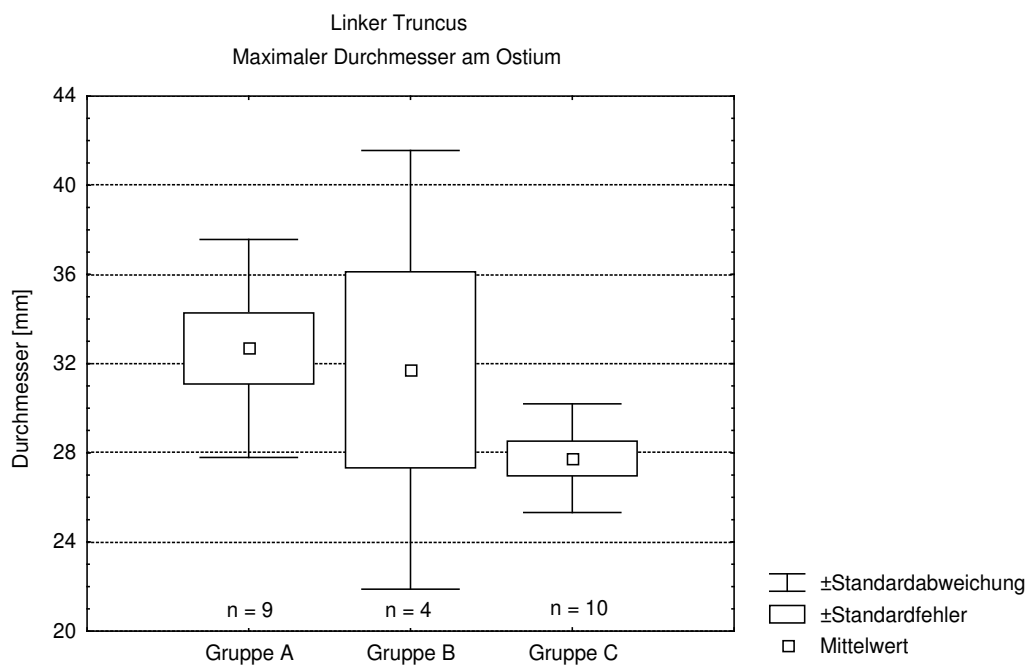
*Tabelle 3.5.1.1: Häufigkeit und Diameter des linken Truncus mit Standardabweichung der Gruppen A, B und C.*

Die statistische Verteilung der minimalen und maximalen Diameter des linken Truncus ist in den Abbildungen 3.5.1.2 und 3.5.1.3 dargestellt.





**Abbildung 3.5.1.2:** Minimale Diameter des Linken Truncus am Ostium der Gruppen A, B und C.



**Abbildung 3.5.1.3:** Maximale Diameter des Linken Truncus am Ostium der Gruppen A, B und C.

### 3.5.2 Rechter Truncus

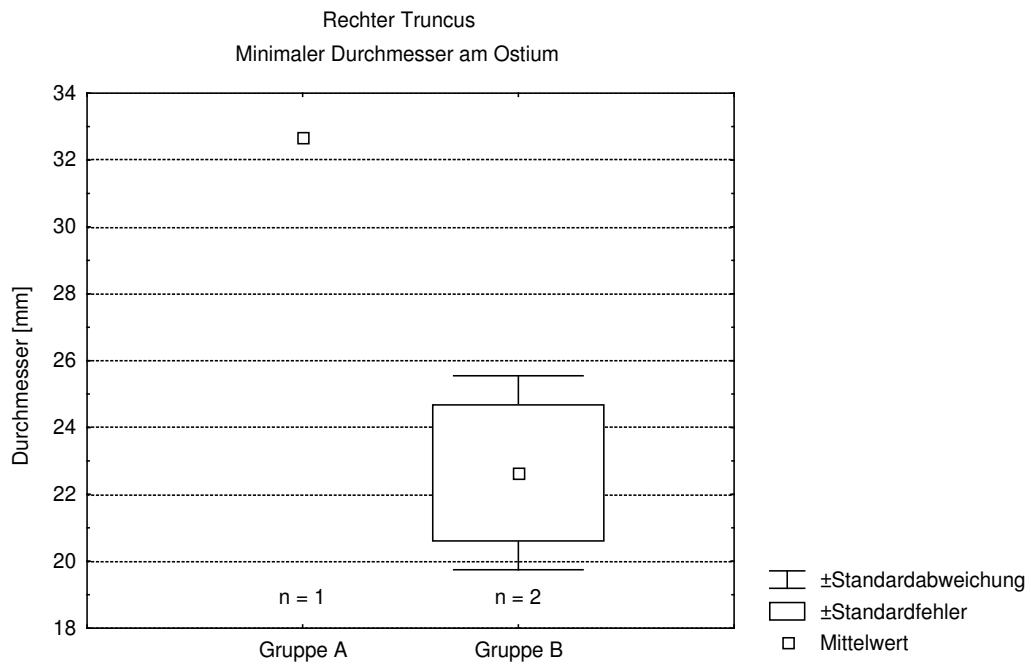
Bei insgesamt 3 Patienten kann ein Truncus rechts nachgewiesen werden: bei 1 Patienten in der Gruppe A, bei 2 Patienten in der Gruppe B und bei keinem Patienten in der Gruppe C.

In der folgenden Tabelle sind die Diameter dieses rechten Truncus am Ostium angegeben (Tab. 3.5.2.1):

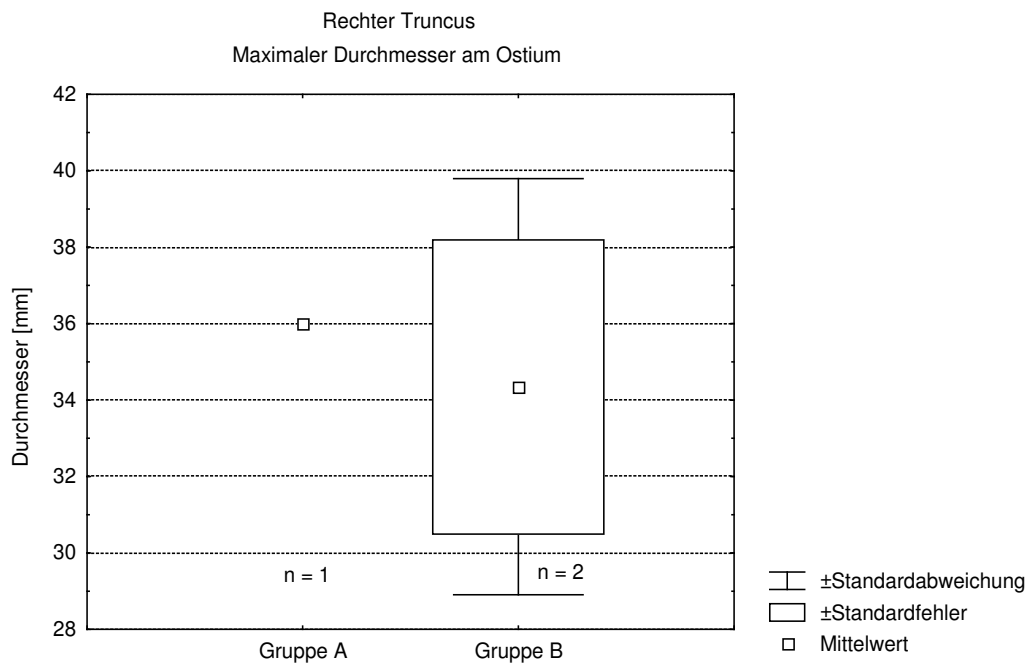
	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
Minimaler Durchmesser	32,7 mm	22,7 mm +/- 2,9 mm	no data
Maximaler Durchmesser	36,0 mm	34,4 mm +/- 5,4 mm	no data
n	1	2	0

*Table 3.5.2.1: Häufigkeit und Diameter des rechten Truncus mit Standardabweichungen in den Gruppen A, B und C.*

Die statistische Verteilung der Diameter des rechten Truncus ist in den Abbildungen 3.5.2.2. und 3.5.2.3 dargestellt.



**Abbildung 3.5.2.2:** Minimale Diameter des Rechten Truncus am Ostium der Gruppen A und B.



**Abbildung 3.5.2.3:** Maximale Diameter des rechten Truncus am Ostium der Gruppen A und B.

### **3.6 Common ostium**

Insgesamt kann bei 14 (8,6%) von 163 Patienten ein linkes common ostium nachgewiesen werden: Bei 3 Patienten in Gruppe A, bei 6 Patienten in Gruppe B und bei 5 Patienten in Gruppe C.

Ein rechtes common ostium wird bei insgesamt 7 (4,3%) von 163 Patienten gefunden: bei 2 Patienten in der Gruppe A, bei 2 Patienten in der Gruppe B und bei 3 Patienten in der Gruppe C.

Soweit sich aufgrund der kleinen Datenmenge eine Aussage treffen lässt, scheint ein common ostium häufiger links als rechts zu bestehen.

### **3.7 Linker Vorhof**

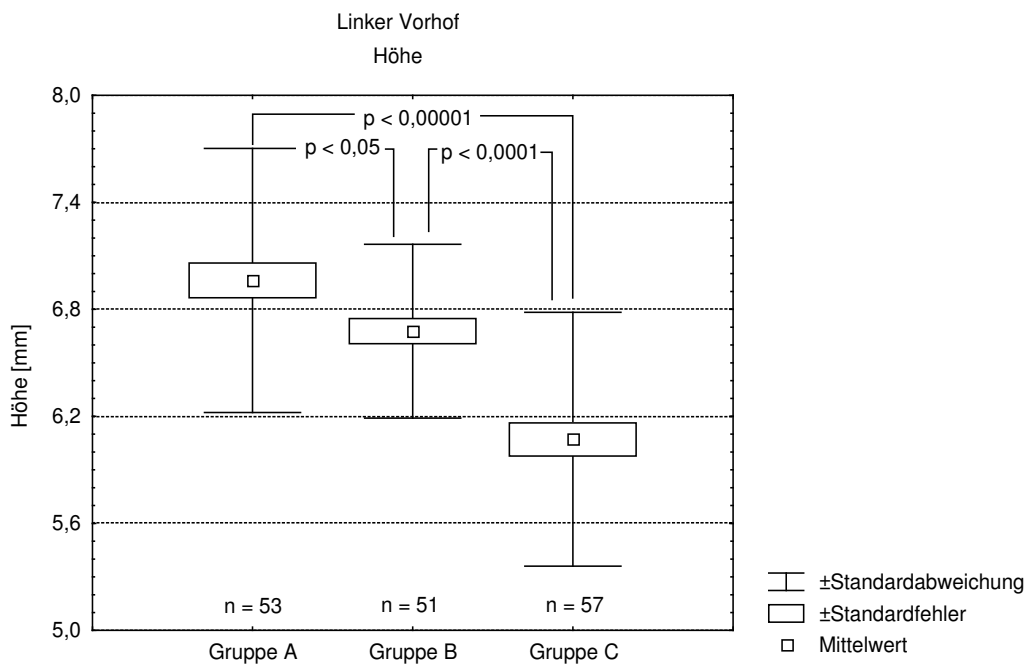
Höhe, Breite und Tiefe des linken Vorhofs können bei 162 Patienten (Gruppe A 53 Patienten, Gruppe B 52 Patienten, Gruppe C 57 Patienten) bestimmt werden.

Signifikante Unterschiede innerhalb der Gruppen A und B bei Differenzierung in die Untergruppen „Inspiration“ versus „Expiration“ und „Vorhofflimmer versus Sinusrhythmus während der Untersuchung finden sich nicht.

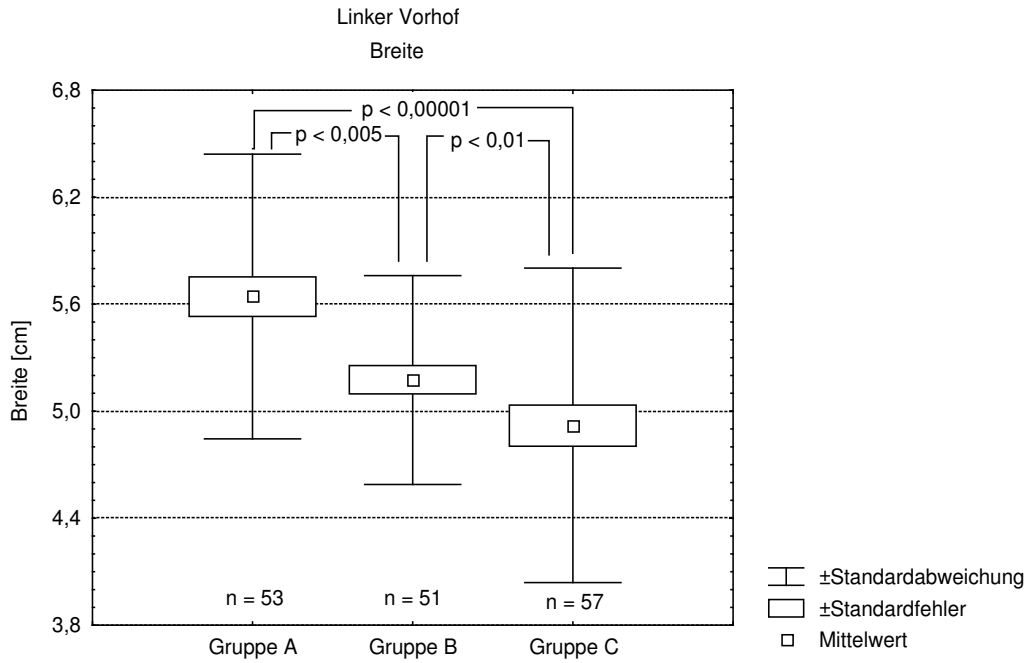
Daher sind in der folgenden Tabelle die Abmessungen des linken Vorhofs nur in den sich signifikant untereinander unterscheidenden Gruppen A, B und C aufgeteilt (Tab. 3.7.1), die Messwertverteilung ist aus den Abbildungen 3.7.2 bis 3.7.4 ersichtlich.

	Gruppe A	Gruppe B	Gruppe C
Höhe [mm]	69,6 +/- 7,4	66,7 +/- 4,9	60,7 +/- 7,1
Breite [mm]	56,4 +/- 8,0	51,8 +/- 5,9	49,2 +/- 8,8
Tiefe [mm]	47,5 +/- 8,4	39,7 +/- 6,5	35,9 +/- 7,5

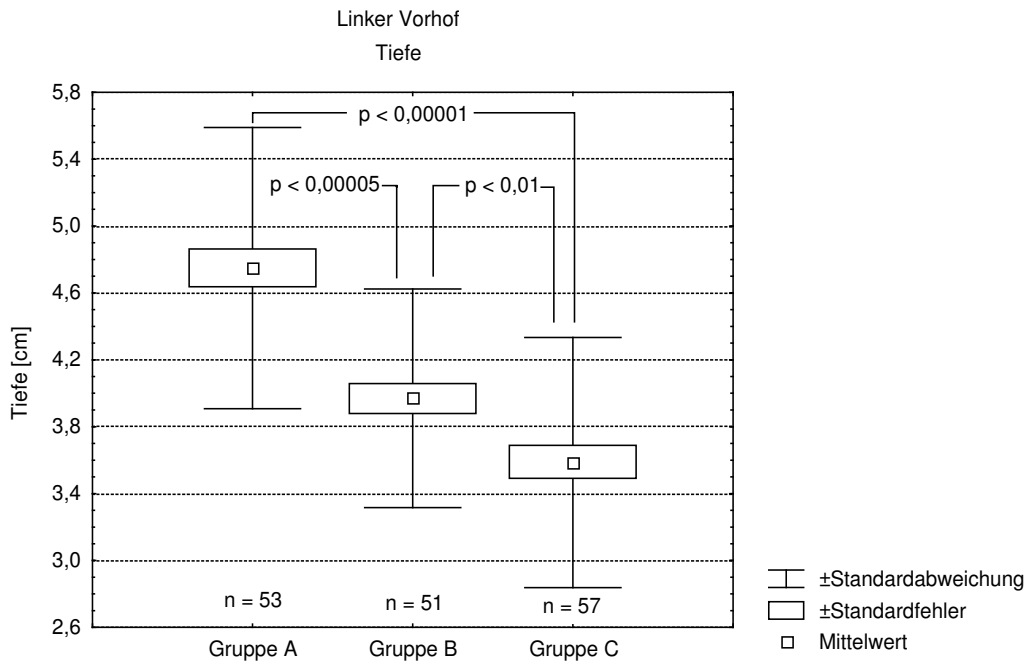
**Tabelle 3.7.1:** Darstellung der Mittelwerte von Höhe, Breite und Tiefe des LA mit ihren Standardabweichungen in den Gruppen A,B und C.



**Abbildung 3.7.2:** Höhe des LA im Vergleich der Gruppen A, B und C.



**Abbildung 3.7.3:** Breite des LA im Vergleich der Gruppen A, B und C.



**Abbildung 3.7.4:** Tiefe des LA im Vergleich der Gruppen A, B und C.

## 4 Diskussion

Nachdem mit der Katheterablation ein neuer kurativer Therapieansatz des paroxysmalen und auch des persistierenden Vorhofflimmerns zur Verfügung steht, ist die Anatomie des linken Vorhofs und insbesondere die Anatomie der Pulmonalvenen in den Mittelpunkt des Interesses gerückt.

Es werden verschiedene Methoden zur Beurteilung der Pulmonalvenenanatomie eingesetzt; insbesondere MRT und CT erscheinen aufgrund der Möglichkeit zu einer dreidimensionalen Rekonstruktion geeignet, die Pulmonalvenenanatomie gut abzubilden. M. Wood et al. [55] vergleichen die Darstellung der Diameter der Pulmonalvenen am Ostium mittels CT, intrakardialer und transösophagealer Echokardiographie und Venographie und zeigen, dass mittels CT die größte Zahl von Pulmonalvenenostien dargestellt wird. Wie in der vorliegenden Studie können Wood und Mitarbeiter mittels Mehrschichtspiral-CT alle Pulmonalvenenostien bei allen Patienten identifizieren und stellen im Vergleich zu den anderen von ihnen verwendeten Methoden die größte Zahl an akzessorischen rechten Pulmonalvenen dar. Schwartzman [46] und Mitarbeiter vergleichen die Abmessungen des linken Vorhofs, die mit der transthorakalen Echokardiographie erfasst werden, und die Abmessungen der Ostien der Pulmonalvenen, welche mit der intrathorakalen Echokardiographie erfasst werden, mit den mittels Mehrschichtspiral-CT gemessenen Werten und können hier eine signifikante Übereinstimmung finden. Auch andere Arbeiten zeigen den Nutzen und die Genauigkeit der Computertomographie in der Darstellung der Pulmonalvenen [49] und auch des linken Vorhofs. Des weiteren liegen die Diameter der Pulmonalvenen und des linken Vorhofs in unserer Studie in einem vergleichbaren Bereich zu den in anderen Studien [26, 46, 53, 55] mittels CT oder MRT ermittelten Werten. In einer Studie [14] werden auch die Diameter der Pulmonalvenen in ihrem Verlauf in einem Abstand von jeweils 5 mm über eine Strecke von 25 mm bestimmt.

Aber auch die Häufigkeit des Auftretens von akzessorischen Pulmonalvenen wird in anderen Studien betrachtet: Joengbloed [26] et al. beobachten das Vorhandensein von mehr als vier Pulmonalvenen bei 30 % der Patienten (7 von 23 Patienten), Wood et al. [55] können bei drei von 24 Patienten (entsprechend 12,5 %) eine akzessorische mittlere rechte Pulmonalvene finden. Ernst et al. [14] ermitteln bei der Verwendung des MRT bei fünf von 16 Patienten (entsprechend 31 %) eine mittlere rechte Pulmonalvene, diese Normvariante finden Wittkamp et al. [53] bei vier von 42 Patienten (entsprechend 9,5 %), Mlcochova et al. [36]

weisen sie bei 23 % von 40 untersuchten Patienten nach. In der hier vorliegenden Studie kann bei 27 von 164 Patienten (entsprechend 16,4 %) eine akzessorische rechte Pulmonalvene nachgewiesen werden. Schwartzman et al. [45] weisen eine akzessorische rechte Pulmonalvene bei 24 von 100 Patienten und Mansour et al. [33] bei 27 % von 105 Patienten nach.

Eine akzessorische linke Pulmonalvene ist allen Anschein nach nur eine recht seltene Normvariante, insbesondere im Vergleich mit der Häufigkeit einer rechten akzessorischen Pulmonalvene [48]; Jongbloed et al. [26] berichten über eine linke akzessorische Vene bei 23 Patienten (entsprechend 4,3 %), Schwartzman et al. [45] finden eine solche Vene bei 2 von 100 Patienten und Mansour et al. [33] bei 2% von 105 Patienten. Sie kann in der vorliegenden Studie nur bei einem von 164 Patienten (entsprechend 0,6 %) nachgewiesen werden.

Weitere Studien beschäftigen sich mit der Häufigkeit von Mustern der Anatomie der Pulmonalvenen [10, 15, 31, 34].

Möglicherweise beruhen diese Unterschiede auf den in einigen Untersuchungen nur geringen Patientenzahlen, möglicherweise kommen diese Unterschiede aber auch durch eine fehlerhafte Detektion einer akzessorischen Pulmonalvene zustande. Wood et al. [55] stellen in ihrer Studie dar, dass von den mittels CT gefundenen drei akzessorischen Pulmonalvenen bei den gleichen Patienten mittels intrakardialer Echokardiographie nur eine und mittels Venographie und transösophagealer Echokardiographie keine dieser Venen nachgewiesen wurden; die Wahl des bildgebenden Verfahrens scheint also für die Sensitivität eine Rolle zu spielen.

In der hier vorliegenden Studie dürfte die Wahrscheinlichkeit für das Übersehen einer solchen Pulmonalvene beziehungsweise die Fehlinterpretation einer frühen Aufteilung der oberen oder unteren Pulmonalvene gering sein, da zur Visualisierung der Anatomie der Pulmonalvenen zunächst eine dreidimensionale, frei im Raum drehbare Darstellung in volume rendering technique durchgeführt wird.

Eine weitere Variation gegenüber der „klassischen“ Pulmonalvenenanatomie besteht in einer gemeinsamen Einmündung der oberen und unteren Pulmonalvene auf einer Seite, meist als common ostium bezeichnet. Jongbloed et al. [26] berichten über eine solche gemeinsame Mündung bei 19 (83 %) Patienten links und 9 (39 %) Patienten rechts; Marom et al. [34] finden hingegen in ihrer Studie mit 201 Patienten bei 2% ein Common ostium rechts und bei 14 % ein einzelnes Ostium links. Die Gegenüberstellung dieser beiden Arbeiten zeigt ein Problem auf: Bisher existiert keine einheitliche Nomenklatur zur Definition eines common



ostium oder eines Truncus. Schwartzman et al. [45] berichten in ihrer Studie mit 100 Patienten, dass 14 Patienten ein common ostium links und ein Patient ein common ostium rechts bieten.

In der vorliegenden Arbeit werden ein Common ostium links bei 14 von 164 Patienten (entsprechend 8,6 %) und ein Common ostium rechts bei 7 von 163 Patienten (entsprechend 4,3 %) gefunden; ein Truncus wird bei 23 (entsprechend 14,0 %) von 164 Patienten auf der linken Seite nachgewiesen, rechts hingegen wird er bei 3 Patienten (entsprechend 1,8 %) gefunden. Betrachtet man auf der linken Seite Common ostium und Truncus gemeinsam, so zeigen sich diese Normvarianten bei 37 von 164 Patienten (entsprechend 22,6 %); analog hierzu finden sich diese Normvarianten bei 10 von 164 Patienten (entsprechend 6,1 %).

Insgesamt kommen sowohl ein common ostium als auch ein Truncus auf der linken Seite deutlich häufiger als rechts vor.

Im Vergleich der Häufigkeit solcher Normvarianten zwischen den untersuchten Gruppen läßt sich kein Zusammenhang zwischen einer bestimmten Variante der Pulmonalvenenanatomie und dem Auftreten von persistierenden oder paroxysmalen Vorhofflimmern erkennen.

Ein weiteres typisches Muster der Pulmonalvenenanatomie besteht in der früheren Aufteilung der rechten unteren Pulmonalvene im Vergleich zu den anderen Pulmonalvenen. In der vorliegenden Arbeit zeigt die RLPV eine Aufteilung innerhalb der ersten zehn Millimetern ihres Verlaufs bei 131 von 164 Patienten (entsprechend 79,9 %). Auch Jongbloed et al. berichten von einer signifikant häufigeren früheren Aufteilung der rechten Pulmonalvenen im Vergleich zu den linken Pulmonalvenen. Schwartzman et al. geben in ihrer Studie eine häufigere ostiale Aufteilung und auch frühere Aufteilung der rechten unteren Pulmonalvene im Vergleich zu den anderen Pulmonalvenen an. Wie Schwartzman et al. finden auch wir in unserer Studie als typisches Merkmal der LUPV eine im Vergleich zu den anderen Pulmonalvenen seltenere Aufteilung im zentralen Abschnitt; in unserer Studie findet sich eine Aufteilung innerhalb der zentralen zehn Millimeter des Verlaufs der LUPV nur bei 17 von 164 Patienten (entsprechend 10,4 %).

Wie auch bei Scharf et al. [44] findet sich in der vorliegenden Arbeit bei den linken Pulmonalvenen im Vergleich zu den kontralateralen ein längerer Verlauf bis zur ersten Aufteilung; dieser zeigt sich auch im Vergleich der oberen mit den unteren Pulmonalvenen.

Aufgrund einer Umstellung der Untersuchungsparameter wurde ein Teil der Patienten der Gruppe A in Inspiration (39 Patienten) und ein Teil in Expiration (16 Patienten) untersucht;

es finden sich jedoch keine signifikanten Unterschiede in den Diametern der LUPV, LLPV, RUPV und RLPV im Vergleich zwischen diesen beiden Untergruppen der Gruppe A.

Durch die gleiche Umstellung der Untersuchungsparameter wurde auch in der Gruppe B ein Teil der Patienten in Inspiration (30 Patienten) und ein Teil der Patienten in Expiration (22 Patienten) untersucht. Hier wird auf eine weitere Differenzierung nach Inspiration und Expiration verzichtet, da sich in der Gruppe A keine signifikanten Unterschiede in den Durchmessern der Pulmonalvenen im Vergleich zwischen In- und Expiration zeigen. So werden zu kleine, statistisch nicht mehr verwertbare Untergruppen vermieden.

Signifikante Unterschiede im Vergleich der Diameter der Pulmonalvenen bei Vergleich der Untergruppen „Vorhofflimmern während der Untersuchung“ versus „Sinusrhythmus während der Untersuchung“ finden sich wie unter 3.1 angegeben in den Diametern der LUPV, LLPV und RLPV mit jeweils größeren mittleren Diametern in der Untergruppe mit Vorhofflimmern. Der Vergleich der Diameter der RUPV zeigt zwar im Vergleich dieser beiden Gruppen keine signifikanten Unterschiede, jedoch sind die mittleren Diameter in der Gruppe B mit Vorhofflimmern während der Untersuchung mit Ausnahme des maximalen Diameters am Ostium immer größer als in der Gruppe B mit SR während der Untersuchung.

Während sich, wie gezeigt, bei Vergleich der gesamten Gruppen A und B keine signifikanten Unterschiede in den Diametern der Pulmonalvenen feststellen lassen, offenbart sich bei Vergleich der Patienten der Gruppe B welche einen Sinusrhythmus während der Untersuchung aufweisen mit den Patienten der Gruppe A ein signifikanter Unterschied im mittleren Diameter der Pulmonalvenen am Ostium mit Ausnahme des mittleren maximalen Diameters am Ostium der LUPV und des mittleren minimalen Diameters der LLPV in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium mit jeweils höheren Werten in der Gruppe A.

Hinsichtlich des Diameter der LUPV im Vergleich der Gruppen A und B auf der einen und der Gruppen B und C auf der anderen Seite finden sich in unserer Studie keine signifikanten Unterschiede. Vergleicht man jedoch die Diameter der LUPV zwischen den Gruppen A und C, so finden sich signifikante Unterschiede mit  $p < 0,005$  im minimalen Diameter am Ostium und in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium sowie mit  $p < 0,05$  im maximalen Diameter am Ostium, im maximalen Diameter in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium und im minimalen Diameter in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium. Im maximalen Diameter

der LUPV in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium finden sich hingegen keine signifikanten Unterschiede. Der mittlere Durchmesser der LUPV ist in der Gruppe A immer größer als in der Gruppe C.

In Bezug auf die LLPV findet sich bei Vergleich der Gruppen A und B ein signifikanter Unterschied mit  $p < 0,05$  im maximalen Diameter am Ostium dieser Pulmonalvene, der mittlere Diameter ist hier in der Gruppe A größer als in der Gruppe B; ansonsten finden sich keine signifikanten Unterschiede in der Diametern der LLPV im Vergleich der Gruppen A und B. Der Vergleich der Gruppen B und C zeigt keine signifikanten Unterschiede in den Diametern der LLPV. Signifikante Unterschiede finden sich auch hier im Vergleich der Gruppen A und C: Es zeigt sich ein signifikanter Unterschied mit  $p < 0,005$  im minimalen Diameter am Ostium und im minimalen Diameter in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium; im Vergleich der maximalen Diameter am Ostium besteht ein  $p < 0,0005$  und im maximalen Diameter in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium ein  $p < 0,05$ . An diesen Positionen weist die Gruppe A jeweils größere Diameter als die Gruppe C auf. Bei Betrachtung des minimalen und des maximalen Diameters in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium zeigen sich keine signifikanten Unterschiede.

Die RUPV zeigt auch im Vergleich zwischen den Gruppen A und B sowie im Vergleich der Gruppen B und C signifikante Unterschiede: so findet sich ein signifikanter Unterschied mit  $p < 0,05$  im minimalen Diameter am Ostium und im minimalen Diameter in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium mit jeweils größeren Diametern in der Gruppe A verglichen mit der Gruppe B bzw. in der Gruppe B verglichen mit der Gruppe C. Der Vergleich der Diameter der RUPV zwischen den Gruppen A und C zeigt einen mit  $p < 0,005$  signifikant größeren minimalen Durchmesser in der Gruppe A am Ostium sowie in einer Entfernung von 5 mm und von 10 mm vom Ostium im Vergleich mit der Gruppe C. Im Vergleich des maximalen Diameters zeigt sich nur in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium mit  $p < 0,05$  ein signifikanter Unterschied (auch hier ist der mittlere Diameter in der Gruppe A größer als in der Gruppe C), der mittlere maximale Durchmesser am Ostium und in einer Entfernung von 10 mm vom Ostium weist im Vergleich der Gruppe A mit der Gruppe C keine signifikanten Unterschiede auf.

Die RLPV zeigt signifikante Unterschiede mit einem  $p < 0,05$  bei Vergleich der Gruppe A mit der Gruppe B im maximalen Diameter am Ostium (die Gruppe A zeigt hier den größeren

Diameter) sowie mit einem  $p < 0,05$  im minimalen Diameter im Vergleich der Gruppe B mit der Gruppe C (die Gruppe B zeigt hier den größeren Diameter).

Im Vergleich der Gruppe A mit der Gruppe C zeigt sich ein signifikanter Unterschied im minimalen Diameter ( $p < 0,0005$ ) und maximalen Diameter ( $p < 0,05$ ) am Ostium.

Vereinfacht können diese Ergebnisse dahingehend interpretiert werden, dass die LUPV und die LLPV bei den Patienten mit persistierendem Vorhofflimmern im Vergleich zur Gruppe C (Kontrollgruppe) eine Dilatation am Ostium und in einer Entfernung von 5 mm vom Ostium erfahren, während es bei der RUPV zumindest in den minimalen Diametern am Ostium sowie in einer Entfernung von 5 und 10 mm vom Ostium zu einer Erweiterung und es bei der RLPV nur am Ostium zu einer signifikanten Dilatation kommt. Erstaunlicherweise zeigt sich ein signifikanter Unterschied in den Diametern der RUPV und RLPV mit einer Dilatation am Ostium im Gegensatz zu der LUPV und LLPV auch im Vergleich der Gruppe A mit der Gruppe B und der Gruppe B mit der Gruppe C. Es scheint also an diesen rechten Pulmonalvenen schon zu einer Dilatation bei paroxysmalen Vorhofflimmern zu kommen.

Interessant ist auch der Vergleich der ostialen Diameter der Pulmonalvenen zwischen der Gruppe A im Vergleich mit einer Untergruppe der Gruppe B im SR auf der einen Seite und einer weiteren Untergruppe der Gruppe B im VHF während der Untersuchung auf der anderen Seite. Während im Vergleich der Gruppe A mit der Untergruppe im VHF der Gruppe B keine signifikanten Unterschiede bestehen, zeigen sich im Vergleich der Gruppe A mit der Untergruppe SR während der Untersuchung signifikante Unterschiede im maximalen ostialen Diameter der LLPV, RUPV und RLPV sowie im minimalen ostialen Diameter der LUPV.

Schwartzman et al. [46] betrachten die Diameter der Pulmonalvenen am Ostium mittels MSCT und finden eine signifikante Zunahme der minimalen und maximalen Diameter bei den vier Hauptpulmonalvenen im Vergleich der Gruppe mit paroxysmalen oder persistierendem Vorhofflimmern im Vergleich mit der Gruppe ohne atriale Rhythmusstörungen.

Der Vergleich mit anderen Publikationen ist zum Teil schwierig; Scharf et al. [44] ermitteln den ostialen Diameter der Pulmonalvenen anhand von VRT-Bildern und zeigen hierbei einen signifikanten Anstieg des ostialen Diameters aller Hauptpulmonalvenen bei einer Gruppe von Patienten mit paroxysmalen oder persistierenden Vorhofflimmern im Vergleich mit der Kontrollgruppe ohne atriale Rhythmusstörungen. Lin et al. [32] ermitteln die Diameter der

Pulmonalvenen ebenfalls nur in einer Ebene mittels Venographie. Kim et al. [30] vermessen den Diameter in der Transversalebene, berechnen die Querschnittsfläche der Pulmonalvenen und zeigen hiermit eine andere Möglichkeit der Bestimmung der Abmessungen der Pulmonalvenen.

Nur wenige Arbeiten betrachten die Diameter der Pulmonalvenen nicht nur am Ostium sondern auch in ihrem Verlauf; während in der vorliegenden Arbeit die zentralen zehn Millimeter der Pulmonalvenen an drei Positionen in einem Abstand von fünf Millimetern betrachtet werden, messen Kim et al den Diameter innerhalb der zentralen 25 Millimeter im gleichen Abstand. Wie oben gezeigt, unterscheiden sich die Diameter auch peripher des Ostiums zum Teil noch signifikant in den drei hier untersuchten Gruppen.

Werden die Abmessungen des linken Vorhofs in den Gruppen A, B und C miteinander verglichen, so zeigen sich signifikante Unterschiede mit  $p < 0,05$  sowohl zwischen den Gruppen A und B, den Gruppen B und C als auch zwischen den Gruppen A und C. In den Dimensionen Höhe, Breite und Tiefe bestehen jeweils höhere Mittelwerte in der Gruppe A gegenüber der Gruppe B sowie in der Gruppe B gegenüber der Gruppe C.

Bei einem Vergleich zwischen den Untergruppen „Inspiration“ versus „Expiration“ innerhalb der Gruppe A oder auch innerhalb der Gruppe B zeigen sich keine signifikanten Unterschiede.

Takase et al [50] berichten bezüglich der Abmessungen des linken Vorhofs über einen signifikanten Unterschied nur in Bezug auf den maximalen superior-inferioren Diameter einer Gruppe mit chronischen Vorhofflimmern im Vergleich zu einer Kontrollgruppe ohne Vorhofflimmern; aber auch die maximale Breite und Tiefe zeigen in der Studie von Takase jeweils höhere Werte in der Gruppe mit chronischem Vorhofflimmern ohne Nachweis einer statistischen Signifikanz.

### **Limitationen dieser Studie:**

Leider wurde während der Datenerfassung eine Umstellung der Untersuchung in Inspiration auf Expiration notwendig um eine Implementierung der Daten in das Navigationssystem der elektrophysiologischen Katheteruntersuchung zu ermöglichen. Im Vergleich zwischen In- und Expiration können jedoch, wie unter 3.1. genannt, keine signifikanten Unterschiede in den Diametern der Pulmonalvenen gefunden werden. Auch bei Vergleich der Abmessungen des linken Vorhofs finden sich keine signifikanten Unterschiede zwischen In- und Expiration.

Während der Datenerfassung wurde der 16-Zeilen-CT gegen ein 64-Zeilen-CT ausgetauscht (beide Siemens cardiac<sup>®</sup>); die räumliche Auflösung im Submillimeterbereich und die Rotationsgeschwindigkeit verbessern sich hierdurch. Bei den in der Studie untersuchten Abmessungen im Bereich von mindestens einigen Millimetern sind hierdurch jedoch keine relevanten Abweichungen zu erwarten.

Die in der Gruppe C herangezogenen Untersuchungen werden mit der Fragestellung einer koronaren Herzerkrankung durchgeführt, die Bilddaten werden hier meist in der diastolischen Phase erfasst. Es ist bekannt, dass bei Sinusrhythmus eine Änderung der Diameter der Pulmonalvenen im Verlauf des Herzzyklus besteht [8]. Im Gegensatz hierzu werden die Bilddaten in der Gruppe A über den gesamten Herzzyklus generiert; in der Gruppe B werden die Bilddaten bei Vorliegen eines Sinusrhythmus ebenfalls nur in einem Teil des Herzzyklus aquiriert, hingegen erfolgt auch hier analog zur Gruppe A bei Vorliegen eines Vorhofflimmerns zum Untersuchungszeitpunkt die Datenerfassung unabhängig vom Herzzyklus.

Um in der Gruppe C eine gute Bildqualität zur Beurteilung der Koronararterien zu erreichen, wird ein Betablocker intravenös verabreicht um so über eine Senkung der Herzfrequenz eine bessere Bildqualität zu erreichen; in der Gruppe B wird bei Vorliegen eines Sinusrhythmus zum Untersuchungszeitpunkt ebenfalls nach Ausschluss von Kontraindikationen ein Betablocker intravenös verabreicht

Die vorliegende Arbeit bietet trotz der Messung nach dreidimensionaler Rekonstruktion geringe Schwächen, zur noch exakteren Bestimmung der wirklich senkrecht zur Längsachse

stehenden Gefäßquerschnitte an den verschiedenen Messpunkten könnte eine dem Gefäßverlauf angepasste Angulation verwendet werden.

## 5 Zusammenfassung

Die Katheterablation ist ein etabliertes Verfahren zur kurativen Behandlung des Vorhofflimmerns. Die exakte Kenntnis der Anatomie der Pulmonalvenen und insbesondere die Darstellung der Normvarianten wie z. B. von akzessorischen Pulmonalvenen ist der Schlüssel zu einer erfolgreichen Ablation. Im Einklang mit der Literatur bietet die Multislice-CT einen Vorteil gegenüber z.B. Venographie und Echokardiographie in der Detektion von akzessorischen Pulmonalvenen und der Messgenauigkeit in der Bestimmung der Durchmesser der Pulmonalvenen. Zusätzlich können die CT-Daten in die Software des EPU-Labor implementiert und hier zur dreidimensionalen Visualisierung verwendet werden.

Die vorliegende Studie beinhaltet 164 Patienten, 55 Patienten befinden sich im persistierendem Vorhofflimmern, 52 Patienten im paroxysmalen Vorhofflimmern (mit zum Untersuchungszeitpunkt 37 Patienten im Sinusrhythmus und 15 Patienten im Vorhofflimmern) sowie als Kontrollgruppe 57 Patienten ohne atriale Rhythmusstörungen in der Anamnese.

Die Darstellung der Pulmonalvenen und des linken Vorhofs erfolgt mittels Multislice-CT.

Eine akzessorische rechte Pulmonalvene kann bei 16,4 % der Patienten nachgewiesen werden (in der Literatur findet sich eine Häufigkeit von 9,5 - 30 %). Eine linke akzessorische Pulmonalvene findet sich selten; in der vorliegenden Studie findet sich eine solche Normvariante bei einem von 164 Patienten und somit bei 0,6 % (in der Literatur finden sich Werte zwischen 2 und 4,3 %). Eine weitere wichtige Variante sind das common ostium und der Truncus; in der vorliegenden Studie werden ein common ostium links bei 8,6 % und rechts bei 4,3 % gefunden. In Einklang mit der Literatur findet sich ein common ostium links häufiger als rechts. Eine deutliche Bevorzugung der linken Seite findet sich auch beim Truncus – dem gemeinsamen Verlauf der Hauptpulmonalvenen auf einer Seite über eine Strecke von mindestens 10 mm vor Einmündung in den linken Vorhof – mit 14 % auf der linken und 1,8 % der Patienten auf der rechten Seite.

Zwischen den drei untersuchten Gruppen findet sich kein Hinweis auf ein gehäuftes Auftreten einer Normvariante bei einer bestimmten Gruppe, eine im Zusammenhang mit dem Auftreten von Vorhofflimmern stehende Normvariante der Anatomie der Pulmonalvenen findet sich hiermit nicht.

Die rechte untere Pulmonalvene teilt sich im Vergleich zu den anderen Venen häufiger im zentralen Abschnitt der ersten zehn Millimetern vom Ostium aus gerechnet, im Gegensatz hierzu teilt sich die linke obere Pulmonalvene im Durchschnitt erst später auf.



In der Gruppe mit persistierendem Vorhofflimmern findet sich eine gegenüber der Kontrollgruppe signifikante Dilatation insbesondere der zentralen Abschnitte der Pulmonalvenen. Im Vergleich der Gruppe mit paroxysmalen Vorhofflimmern, aber im Sinusrhythmus während der CT, finden sich signifikant geringere ostiale Durchmesser der Pulmonalvenen im Vergleich mit der Gruppe im persistierendem Vorhofflimmern. Hingegen zeigen sich bei Vergleich der letztgenannten Gruppe mit den Patienten in der Gruppe mit paroxysmalen Vorhofflimmern und Vorhofflimmern während der Untersuchung keine signifikanten Unterschiede in den ostialen Durchmessern der Pulmonalvenen.

Interessanterweise finden sich bei Vergleich der Durchmesser der Pulmonalvenen zwischen In- und Expiration keine signifikanten Unterschiede.

Die Dimensionen des linken Vorhofs (Höhe, Breite und Tiefe) sind in der Gruppe A größer als in der Gruppe B und diese wiederum größer als in der Gruppe C ohne Nachweis von signifikanten Unterschieden im Vergleich von Inspiration und Expiration.

Limitationen dieser Studie sind durch die bei fehlendem Sinusrhythmus nicht erfolgte EKG-Triggerung gegeben; während bei EKG-Triggerung eine Erfassung der CT-Bilder nur in der Systole erfolgt, werden bei fehlender EKG-Triggerung die Bilder unabhängig vom Herzzyklus generiert. Eine weitere Limitation besteht darin, dass zur Beurteilung der Koronararterien eine Herzfrequenz um 55 Schläge pro Minute angestrebt wird und hierzu Betablocker intravenös verabreicht werden.

Zukünftige Arbeiten sollten eine einheitliche Definition der Normvarianten der Pulmonalvenenanatomie verwenden. Auch wäre es wünschenswert, größere Patientenkollektive ohne die - leider notwendige gewordene - Änderung von Untersuchungsparametern und im gleichen Abschnitt des Herzzyklus zu untersuchen.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Allesie, M. A., Lammers, W. J., Bonke, F. I., *Experimental Evaluation of Moes Multiple Wavelet Hypothesis of Atrial Fibrillation*, in *Caediac Electrophysiology and Arrhythmias*, Zipes, D. P., Jalife, J., Editors. 1985, Grune and Stratton: New York. 265 - 75.
2. Benjamin, E. J., Wolf, P. A., D'Agostino, R. B., Silbershatz, H., Kannel, W. B., Levy, D., *Impact of atrial fibrillation on the risk of death: the Framingham Heart Study*. *Circulation*, 1998. **98**(10): 946-52.
3. Burch, G. E., Romney, R. B., *Functional Anatomy and "Throttle Valve Action" of the pulmonary veins*. *Am Heart J*, 1954. **47**: 58-66.
4. Burgstahler, C., Trabold, T., Kuettner, A., Kopp, A. F., Mewis, C., Kuehlkamp, V., Claussen, C. D., Schroeder, S., *Visualization of pulmonary vein stenosis after radio frequency ablation using multi-slice computed tomography: initial clinical experience in 33 patients*. *Int J Cardiol*, 2005. **102**(2): 287-91.
5. Cairns, J. A., Connolly, S. J., *Nonrheumatic atrial fibrillation. Risk of stroke and role of antithrombotic therapy*. *Circulation*, 1991. **84**(2): 469-81.
6. Cappato, R., *Towards more effective techniques for catheter ablation of atrial fibrillation: to aim for electrical disconnection of pulmonary veins or not?* *Eur Heart J*, 2005. **26**(7): 627-30.
7. Cappato, R., Calkins, H., Chen, S. A., Davies, W., Iesaka, Y., Kalman, J., Kim, Y. H., Klein, G., Packer, D., Skanes, A., *Worldwide survey on the methods, efficacy, and safety of catheter ablation for human atrial fibrillation*. *Circulation*, 2005. **111**(9): 1100-5.
8. Choi, S. I., Seo, J. B., Choi, S. H., Lee, S. H., Do, K. H., Ko, S. M., Lee, J. S., Song, J. W., Song, K. S., Choi, K. J., Kim, Y. H., Lim, T. H., *Variation of the size of*

- pulmonary venous ostia during the cardiac cycle: optimal reconstruction window at ECG-gated multi-detector row CT.* Eur Radiol, 2005. **15**(7): 1441-5.
9. Chugh, S. S., Blackshear, J. L., Shen, W. K., Hammill, S. C., Gersh, B. J., *Epidemiology and natural history of atrial fibrillation: clinical implications.* J Am Coll Cardiol, 2001. **37**(2): 371-8.
  10. Cirillo, S., Bonamini, R., Gaita, F., Tosetti, I., De Giuseppe, M., Longo, M., Bianchi, F., Vivalda, L., Regge, D., *Magnetic resonance angiography virtual endoscopy in the assessment of pulmonary veins before radiofrequency ablation procedures for atrial fibrillation.* Eur Radiol, 2004. **14**(11): 2053-60.
  11. Cox, J. L., Boineau, J. P., Schuessler, R. B., Kater, K. M., Ferguson, T. B., Jr., Cain, M. E., Lindsay, B. D., Smith, J. M., Corr, P. B., Hogue, C. B., et al., *Electrophysiologic basis, surgical development, and clinical results of the maze procedure for atrial flutter and atrial fibrillation.* Adv Card Surg, 1995. **6**: 1-67.
  12. Cox, J. L., Canavan, T. E., Schuessler, R. B., Cain, M. E., Lindsay, B. D., Stone, C., Smith, P. K., Corr, P. B., Boineau, J. P., *The surgical treatment of atrial fibrillation. II. Intraoperative electrophysiologic mapping and description of the electrophysiologic basis of atrial flutter and atrial fibrillation.* J Thorac Cardiovasc Surg, 1991. **101**(3): 406-26.
  13. Dill, T., Neumann, T., Ekinci, O., Breidenbach, C., John, A., Erdogan, A., Bachmann, G., Hamm, C. W., Pitschner, H. F., *Pulmonary vein diameter reduction after radiofrequency catheter ablation for paroxysmal atrial fibrillation evaluated by contrast-enhanced three-dimensional magnetic resonance imaging.* Circulation, 2003. **107**(6): 845-50.
  14. Ernst, S., Broemel, T., Krumdordf, U., Hachiya, H., Ouyang, F., Linder, C., Falk, P., Bänsch, D., Schaumann, A., Kuck, K.-H., Antz, M., *Dreidimensionale Rekonstruktion der Pulmonalvenen und des linken Atriums.* Herz, 2003. **28**: 559-65.

15. Fynn, S. P., Kalman, J. M., *Pulmonary veins: anatomy, electrophysiology, tachycardia, and fibrillation*. Pacing Clin Electrophysiol, 2004. **27**(11): 1547-59.
16. Garrey, W. E., *The Nature of Fibrillatory Contraction of the Heart: its Relation to Tissue Mass and Form*. Am J Cardiol, 1914. **33**: 397.
17. Guiraudon, G. M., Campbell, C. S., Jones, D. L., *Combined Sino-Atrial Node and Atrio-Ventricular Node Isolation: A surgical Alternative to his Bundle Ablation in Patients with Atrial Fibrillation*. Circulation, 1985. **72**(III): 220.
18. Haissaguerre, M., Jais, P., Shah, D. C., Garrigue, S., Takahashi, A., Lavergne, T., Hocini, M., Peng, J. T., Roudaut, R., Clementy, J., *Electrophysiological end point for catheter ablation of atrial fibrillation initiated from multiple pulmonary venous foci*. Circulation, 2000. **101**(12): 1409-17.
19. Haissaguerre, M., Jais, P., Shah, D. C., Gencel, L., Pradeau, V., Garrigues, S., Chouairi, S., Hocini, M., Le Metayer, P., Roudaut, R., Clementy, J., *Right and left atrial radiofrequency catheter therapy of paroxysmal atrial fibrillation*. J Cardiovasc Electrophysiol, 1996. **7**(12): 1132-44.
20. Haissaguerre, M., Jais, P., Shah, D. C., Takahashi, A., Hocini, M., Quiniou, G., Garrigue, S., Le Mouroux, A., Le Metayer, P., Clementy, J., *Spontaneous initiation of atrial fibrillation by ectopic beats originating in the pulmonary veins*. N Engl J Med, 1998. **339**(10): 659-66.
21. Haissaguerre, M., Shah, D. C., Jais, P., Hocini, M., Yamane, T., Deisenhofer, I., Chauvin, M., Garrigue, S., Clementy, J., *Electrophysiological breakthroughs from the left atrium to the pulmonary veins*. Circulation, 2000. **102**(20): 2463-5.
22. Ho, S. Y., Cabrera, J. A., Tran, V. H., Farre, J., Anderson, R. H., Sanchez-Quintana, D., *Architecture of the pulmonary veins: relevance to radiofrequency ablation*. Heart, 2001. **86**(3): 265-70.

23. Jais, P., Haissaguerre, M., Shah, D. C., Chouairi, S., Gencel, L., Hocini, M., Clementy, J., *A focal source of atrial fibrillation treated by discrete radiofrequency ablation*. *Circulation*, 1997. **95**(3): 572-6.
24. Jayam, V. K., Dong, J., Vasamreddy, C. R., Lickfett, L., Kato, R., Dickfeld, T., Eldadah, Z., Dalal, D., Blumke, D. A., Berger, R., Halperin, H. R., Calkins, H., *Atrial volume reduction following catheter ablation of atrial fibrillation and relation to reduction in pulmonary vein size: an evaluation using magnetic resonance angiography*. *J Interv Card Electrophysiol*, 2005. **13**(2): 107-14.
25. Jin, Y., Ross, D. L., Thomas, S. P., *Pulmonary vein stenosis and remodeling after electrical isolation for treatment of atrial fibrillation: short- and medium-term follow-up*. *Pacing Clin Electrophysiol*, 2004. **27**(10): 1362-70.
26. Jongbloed, M. R., Dirksen, M. S., Bax, J. J., Boersma, E., Geleijns, K., Lamb, H. J., van der Wall, E. E., de Roos, A., Schalij, M. J., *Atrial fibrillation: multi-detector row CT of pulmonary vein anatomy prior to radiofrequency catheter ablation--initial experience*. *Radiology*, 2005. **234**(3): 702-9.
27. Kannel, W. B., Abbott, R. D., Savage, D. D., McNamara, P. M., *Epidemiologic features of chronic atrial fibrillation: the Framingham study*. *N Engl J Med*, 1982. **306**(17): 1018-22.
28. Karch, M. R., Zrenner, B., Deisenhofer, I., Schreieck, J., Ndrepepa, G., Dong, J., Lamprecht, K., Barthel, P., Luciani, E., Schomig, A., Schmitt, C., *Freedom from atrial tachyarrhythmias after catheter ablation of atrial fibrillation: a randomized comparison between 2 current ablation strategies*. *Circulation*, 2005. **111**(22): 2875-80.
29. Keith, A., Flack, M., *The Form and Nature of the muscular Connection between the primary Divisions of the Vertebra Heart*. *J Anat Physiology*, 1907. **41**: 172-189.

30. Kim, Y. H., Marom, E. M., Herndon, J. E., 2nd, McAdams, H. P., *Pulmonary vein diameter, cross-sectional area, and shape: CT analysis*. Radiology, 2005. **235**(1): 43-9; discussion 49-50.
31. Lacomis, J. M., Wigginton, W., Fuhrman, C., Schwartzman, D., Armfield, D. R., Pealer, K. M., *Multi-detector row CT of the left atrium and pulmonary veins before radio-frequency catheter ablation for atrial fibrillation*. Radiographics, 2003. **23 Spec No**: S35-48; discussion S48-50.
32. Lin, W. S., Prakash, V. S., Tai, C. T., Hsieh, M. H., Tsai, C. F., Yu, W. C., Lin, Y. K., Ding, Y. A., Chang, M. S., Chen, S. A., *Pulmonary vein morphology in patients with paroxysmal atrial fibrillation initiated by ectopic beats originating from the pulmonary veins: implications for catheter ablation*. Circulation, 2000. **101**(11): 1274-81.
33. Mansour, M., Holmvang, G., Sosnovik, D., Migrino, R., Abbara, S., Ruskin, J., Keane, D., *Assessment of pulmonary vein anatomic variability by magnetic resonance imaging: implications for catheter ablation techniques for atrial fibrillation*. J Cardiovasc Electrophysiol, 2004. **15**(4): 387-93.
34. Marom, E. M., Herndon, J. E., Kim, Y. H., McAdams, H. P., *Variations in pulmonary venous drainage to the left atrium: implications for radiofrequency ablation*. Radiology, 2004. **230**(3): 824-9.
35. Melo, J., Adragao, P., Neves, J., Ferreira, M., Timoteo, A., Santiago, T., Ribeiros, R., Canada, M., *Endocardial and epicardial radiofrequency ablation in the treatment of atrial fibrillation with a new intra-operative device*. Eur J Cardiothorac Surg, 2000. **18**(2): 182-6.
36. Mlcochova, H., Tintera, J., Porod, V., Peichl, P., Cihak, R., Kautzner, J., *Magnetic resonance angiography of pulmonary veins: implications for catheter ablation of atrial fibrillation*. Pacing Clin Electrophysiol, 2005. **28**(10): 1073-80.

37. Moe, G. K., *On the multiple Wavelets Hypothesis of Atrial Fibrillation*. Arch Int Pharmacodyn Ther, 1962. **140**: 183-88.
38. Nathan, H., Eliakim, M., *The junction between the left atrium and the pulmonary veins. An anatomic study of human hearts*. Circulation, 1966. **34**(3): 412-22.
39. Ndrepepa, G., Karch, M. R., Schneider, M. A., Weyerbrock, S., Schreieck, J., Deisenhofer, I., Zrenner, B., Schomig, A., Schmitt, C., *Characterization of paroxysmal and persistent atrial fibrillation in the human left atrium during initiation and sustained episodes*. J Cardiovasc Electrophysiol, 2002. **13**(6): 525-32.
40. Pappone, C., Rosanio, S., Oreto, G., Tocchi, M., Gugliotta, F., Vicedomini, G., Salvati, A., Dicandia, C., Mazzone, P., Santinelli, V., Gulletta, S., Chierchia, S., *Circumferential radiofrequency ablation of pulmonary vein ostia: A new anatomic approach for curing atrial fibrillation*. Circulation, 2000. **102**(21): 2619-28.
41. Purerfellner, H., Martinek, M., *Pulmonary vein stenosis following catheter ablation of atrial fibrillation*. Curr Opin Cardiol, 2005. **20**(6): 484-90.
42. Rensma, P. L., Allessie, M. A., Lammers, W. J., Bonke, F. I., Schalij, M. J., *Length of excitation wave and susceptibility to reentrant atrial arrhythmias in normal conscious dogs*. Circ Res, 1988. **62**(2): 395-410.
43. Saad, E. B., Rossillo, A., Saad, C. P., Martin, D. O., Bhargava, M., Erciyes, D., Bash, D., Williams-Andrews, M., Beheiry, S., Marrouche, N. F., Adams, J., Pisano, E., Fanelli, R., Potenza, D., Raviele, A., Bonso, A., Themistoclakis, S., Brachmann, J., Saliba, W. I., Schweikert, R. A., Natale, A., *Pulmonary vein stenosis after radiofrequency ablation of atrial fibrillation: functional characterization, evolution, and influence of the ablation strategy*. Circulation, 2003. **108**(25): 3102-7.
44. Scharf, C., Sneider, M., Case, I., Chugh, A., Lai, S. W., Pelosi, F., Jr., Knight, B. P., Kazerooni, E., Morady, F., Oral, H., *Anatomy of the pulmonary veins in patients with atrial fibrillation and effects of segmental ostial ablation analyzed by computed tomography*. J Cardiovasc Electrophysiol, 2003. **14**(2): 150-5.

45. Schwartzman, D., Bazaz, R., Nosbisch, J., *Common left pulmonary vein: a consistent source of arrhythmogenic atrial ectopy*. J Cardiovasc Electrophysiol, 2004. **15**(5): 560-6.
46. Schwartzman, D., Lacomis, J., Wigginton, W. G., *Characterization of left atrium and distal pulmonary vein morphology using multidimensional computed tomography*. J Am Coll Cardiol, 2003. **41**(8): 1349-57.
47. Spach, M. S., Barr, R. C., Jewett, P. J., *Spread for Excitation from the Atrium into the thoracic Veins in human Beings and Dogs*. Am J Cardiol, 1972. **30**: 844-54.
48. Stanford, W., Breen, J. F., *CT evaluation of left atrial pulmonary venous anatomy*. Int J Cardiovasc Imaging, 2005. **21**(1): 133-9.
49. Tada, H., Oral, H., Knight, B. P., Morady, F., *Three-dimensional computed tomography of the pulmonary veins*. J Cardiovasc Electrophysiol, 2002. **13**(5): 521.
50. Takase, B., Nagata, M., Matsui, T., Kihara, T., Kameyama, A., Hamabe, A., Noya, K., Satomura, K., Ishihara, M., Kurita, A., Ohsuzu, F., *Pulmonary vein dimensions and variation of branching pattern in patients with paroxysmal atrial fibrillation using magnetic resonance angiography*. Jpn Heart J, 2004. **45**(1): 81-92.
51. Tamborero, D., Mont, L., Nava, S., de Caralt, T. M., Molina, I., Scalise, A., Perea, R. J., Bartholomay, E., Berruezo, A., Matiello, M., Brugada, J., *Incidence of pulmonary vein stenosis in patients submitted to atrial fibrillation ablation: a comparison of the Selective Segmental Ostial Ablation vs the Circumferential Pulmonary Veins Ablation*. J Interv Card Electrophysiol, 2005. **14**(1): 21-5.
52. Walmsey, T., *The Heart*, in *Quain's Elements of Anatomy*, Sharpey-Schafer E, S. J., Braice TH, Editor. 1929, Longmans, Green & Co: London. 70.
53. Wittkamp, F. H., Vonken, E. J., Derksen, R., Loh, P., Velthuis, B., Wever, E. F., Boersma, L. V., Rensing, B. J., Cramer, M. J., *Pulmonary vein ostium geometry: analysis by magnetic resonance angiography*. Circulation, 2003. **107**(1): 21-3.



54. Wolf, P. A., Abbott, R. D., Kannel, W. B., *Atrial fibrillation as an independent risk factor for stroke: the Framingham Study*. Stroke, 1991. **22**(8): 983-8.
55. Wood, M. A., Wittkamp, M., Henry, D., Martin, R., Nixon, J. V., Shepard, R. K., Ellenbogen, K. A., *A comparison of pulmonary vein ostial anatomy by computerized tomography, echocardiography, and venography in patients with atrial fibrillation having radiofrequency catheter ablation*. Am J Cardiol, 2004. **93**(1): 49-53.
56. Zipes, D. P., Knope, R. F., *Electrical properties of the thoracic veins*. Am J Cardiol, 1972. **29**(3): 372-6.

## **Danksagung**

Ich danke dem Direktor der Klinik für Herz- und Kreislauferkrankungen des Deutschen Herzzentrums München, Herrn Prof. Dr. A. Schömig, für die Überlassung des Dissertationsthemas.

Dem Referenten dieser Arbeit, Herrn Prof. Dr. C. Schmitt, gebührt mein besonderer Dank für die Bereitschaft zur Betreuung dieser Arbeit, die stets freundliche Unterstützung und Förderung bei ihrer Fertigstellung sowie die Übernahme des Referats.

Herrn Dr. B. Zrenner danke ich für die Unterstützung bei spezifischen elektrophysiologischen Fragestellungen und seine stets bereitwillige Hilfe.

Ein herzlicher Dank geht an Herrn Dr. S. Seybold für die unermüdliche Unterstützung bei der Erstellung des Manuskripts und für die Hilfestellung bei der EDV.

Dem klinischen Direktor des Instituts für Radiologie und Nuklearmedizin des Deutschen Herzzentrums München, Herrn Dr. St. Martinoff, gilt mein Dank für die Gelegenheit in seinem Institut die aufwändigen CT-Auswertungen vornehmen zu können.

Mein Dank gilt insbesondere meiner Freundin, Frau Susanne Rudolphi, die mich stets bei Fertigstellung dieser Arbeit unterstützt hat.