

**Diplomarbeit**

**Untersuchung zu Morphologie und Dehnungsverhalten  
des Aortenbogens im Herzzyklus bei therapierten  
Aortenisthmusstenosepatienten.**

eingereicht von  
**Lipp Hermann-Joseph Emanuel**  
Geb.Dat.: 08.06.1986

zur Erlangung des akademischen Grades  
**Doktor(in) der gesamten Heilkunde**  
**(Dr. med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der  
**Universitätsklinik für Radiologie**

unter der Anleitung von  
ao. Univ.-Prof. Dr. med. univ. Erich Sorantin  
Dr. med. univ. Peter Kalmar, MHBA

Graz, Mai 2014

Hermann-Joseph Lipp

### **Eidesstattliche Erklärung**

*Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe, andere als die angegebenen Quellen nicht verwendet habe und die den benutzten Quellen wörtlich oder inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.*

*Leipzig, am 19.05.2014*

*Hermann-Joseph Emanuel Lipp*

## **Danksagungen**

---

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während des Schreibens dieser Diplomarbeit unterstützten.

Ein ganz besonderer Dank gilt meinen Betreuern Prof. Dr. Erich Sorantin und Dr. Peter Kalmar, welche mich durch wichtige fachliche Hinweise, unkomplizierte Betreuung und regen E-Mail-Kontakt durch diese Arbeit geleitet haben.

Auch möchte ich insbesondere meinem Sohn und meiner Frau Mag. Franziska Lipp danken. Für die alleinige Betreuung unseres Sohnes am Tage und die orthographische Betreuung der Arbeit am Abend.

Darüber hinaus danke ich meinen Eltern, welche mir das Studium und diese Arbeit ohne finanzielle Sorgen ermöglichten und mich auf meinen Lebensweg immer gut unterstützen.

## Zusammenfassung

---

**Hintergrund:** Die Aortenisthmusstenose ist nicht nur eine Lumeneinengung, sondern wird als generalisierte Arteriopathie angesehen. Es wird angenommen, dass der Aortenbogen bei dieser Erkrankung in Morphologie und Dehnungsverhalten von der gesunden Population abweicht.

**Ziel:** In der vorliegenden Arbeit sollten etwaige Abweichungen der Aortenbogenmorphologie sowie des Dehnungsverhalten von Patienten mit operierten Aortenisthmusstenose im Vergleich zu gesunden Probanden untersucht werden. Darüber hinaus wurde auf interindividuelle Unterschiede in den verschiedenen Aortenbogentypen hin untersucht.

**Methode:** Es wurden von 20 Aortenisthmusstenosepatienten retrospektiv mit Hilfe von CINE-MRT-Aufnahmen die Aortenbögen in Systole und Diastole an fünf Messpunkten vermessen. Die Resultate wurden statistisch ausgewertet und mit anderen Publikationen verglichen.

**Ergebnisse:** Bei Aortenisthmusstenosepatienten ist der proximale Teil des Aortenbogens vergrößert, der distal der A. Carotis Communis sinistra folgende Teil ist verkleinert und das Dehnungsverhalten des Aortenbogens insgesamt ist eingeschränkt. Signifikante interindividuelle Unterschiede bei den Aortenbogentypen konnten nicht gezeigt werden.

**Diskussion:** Es zeigte sich, dass die generalisierte Arteriopathie trotz Therapie bestehen bleibt. Die Abweichungen im Aortenbogen lassen sich am ehesten mit bekannten Komplikationen wie Aneurysmata, Aortenbogenhypoplasie und zystischer Medianekrose der Aortenwand erklären.

Der interindividuelle Vergleich der Aortenbogentypen lässt aufgrund der zu geringen Studienpopulation keine Schlussfolgerung zu.

## Abstract

---

**Background:** Coarctation is not only narrowing of the aortic lumen, but is regarded as a generalized arteriopathy. It is also believed that patients with coarctation have a different morphology and elongation behaviour of the aortic arch than healthy humans.

**Objective:** Aim of this thesis is to investigate the deviations of the aortic arch morphology and the elongation behaviour of patients with operated coarctation compared to healthy humans. Furthermore, inter-individual differences in the various types of the aortic arch were evaluated.

**Method:** In 20 patients with coarctation, the aortic arch was retrospectively measured with CINE-MRI in systole and diastole at five measuring points. The results were statistically analysed and compared with international publications.

**Results:** Patients with coarctation have an increased proximal vessel diameter. The vessel diameter distal of the left common carotid artery is decreased and the elongation behaviour of the aortic arch in generally is limited. Inter-individual differences in the types of aortic arch were not significant.

**Conclusion:** Generalized arteriopathy persists despite therapy. The deviations in the aortic arch could be explained with known complications such as aneurysms, aortic arch hypoplasia and cystic median necrosis of the aortic wall.

Inter-individual comparison of the aortic arch types had no significant outcome because of the limited study population.

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>EINLEITUNG.....</b>	<b>1</b>
<b>AORTENISTHMUSSTENOSE (ISTA).....</b>	<b>2</b>
SYNONYME.....	2
DEFINITION.....	2
ANATOMIE/PATHOGENESE.....	2
PRÄVALENZ.....	3
ASSOZIATIONEN.....	3
SPONTANVERLAUF.....	4
KLINISCHE PRÄSENTATION.....	5
DIAGNOSTIK.....	7
AUSKULTATION.....	7
EKG.....	7
BLUTDRUCK/PULSOXOMETRIE.....	7
RÖNTGEN.....	8
ECHOKARDIOGRAPHIE.....	9
MRT/CT.....	9
CINE- MRT.....	10
INVASIVE ANGIOGRAPHIE.....	10
<b>THERAPIE.....</b>	<b>11</b>
THERAPIEZIEL UND INDIKATIONEN.....	11
MEDIKAMENTÖSE THERAPIE.....	12
CHIRURGISCHE THERAPIE.....	12
INTERVENTIONELLE THERAPIE.....	13
KOMPLIKATIONEN.....	14
NACHSORGE.....	14
PRÄVENTION.....	15
<b>MATERIAL UND METHODEN.....</b>	<b>16</b>
PATIENTEN.....	16
CINE-MRT.....	17
AORTENBOGENANATOMIE.....	18
TYP I BOGEN.....	18
TYP II BOGEN.....	18
TYP III BOGEN.....	19
TYP IV BOGEN.....	19
BILDEVALUATION.....	20
STATISTISCHE ANALYSE.....	22
<b>ERGEBNISSE.....</b>	<b>23</b>
DESKRIPTIVE STATISTIK.....	23
AORTENBOGENTYPEN.....	31
<b>DISKUSSION.....</b>	<b>35</b>
METHODENDISKUSSION.....	35
AORTENBOGENDURCHMESSER.....	36
DEHNUNGSVERHALTEN.....	39
GENDERSPEZIFIKATION.....	40
ALTERSSPEZIFIKATION.....	40
AORTENBOGENTYPEN.....	41
ZUSAMMENFASSUNG.....	42
<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>43</b>



## Glossar und Abkürzungen

---

ANOVA	=	Varianzanalyse
Area	=	Fläche
CINE MRT	=	cinematographic Magnetresonanztomographie
CoA	=	Coarctatio aortae
CT	=	Computertomographie
Dia	=	Diastole
DICOM	=	Digital Imaging and Communications in Medicine
EACTS	=	European Association for Cardio-Thoracic Surgery
EKG	=	Elektrokardiogramm
FOV	=	Field of View
HASTE	=	Half fourier-Acquired Single shot Turbo spin Echo
HCT	=	Helix Computertomographie
ISTA	=	Aortenisthmusstenose
LKH	=	Landeskrankenhaus
LVOT	=	left ventricular outflow tract
Maj	=	maximaler Durchmesser
Min	=	minimaler Durchmesser
MRT	=	Magnetresonanztomographie
NEC	=	nekrotisierende Enterokolitis
OP	=	Operation
PACS	=	Picture Archiving and Communication System
Peri	=	Umfang
Sys	=	Systole
TE	=	Echo Time
TR	=	Repetition Time
Z.n.	=	Zustand nach

## Abbildungsverzeichnis

---

ABBILDUNG 1: INDIKATOREN FÜR INTERVENTIONEN BEI AORTENISTHMUSSTENOSE. CMR = HERZ-MRT; LVH = LINKSVENTRIKULÄRE HYPERTROPHIE; (BAUMGARTNER ET AL., 2010).....	11
ABBILDUNG 2: CINE-MRT-AUFNAHMEN VON AORTENBOGEN IN SYSTOLE (STARKE ARTEFAKTE) UND IN DIASTOLE.....	16
ABBILDUNG 3: AORTENBOGENTYP I.....	18
ABBILDUNG 4: AORTENBOGENTYP II.....	18
ABBILDUNG 5: AORTENBOGENTYP III.....	19
ABBILDUNG 6: MRT-AUFNAHMEN VON AORTEN-ISTHMUSSTENOSEPATIENTEN:.....	19
ABBILDUNG 7: DARSTELLUNG DER 5 MESSPUNKTE IM AORTENBOGEN.....	20
ABBILDUNG 8: DARSTELLUNG DER BESTIMMUNG DES AORTENBOGENTYPS MIT HILFE VON OSIRIX.....	21
ABBILDUNG 9: BOXPLOT ÜBER DIE FLÄCHEN (IN MM <sup>2</sup> ) WÄHREND DER END-DIASTOLE (AREADIA) AM BULBUS, AORTA ASCENDENS, PROXIMAL TRUNCUS BRACHIOCEPHALICUS, PROXIMAL CAROTIS COMMUNIS SINISTRA, AORTA DESCENDENS HÖHE DIAPHRAGMA.....	23
ABBILDUNG 10: BOXPLOT ÜBER DIE FLÄCHENÄNDERUNGEN (IN %) ZWISCHEN DER END-DIASTOLE UND END-SYSTOLE AM BULBUS, AORTA ASCENDENS, PROXIMAL TRUNCUS BRACHIOCEPHALICUS, PROXIMAL CAROTIS COMMUNIS SINISTRA, AORTA DESCENDENS HÖHE ZWERCHFELL.....	24
ABBILDUNG 11: BOXPLOT ÜBER DIE FLÄCHENÄNDERUNGEN (IN MM <sup>2</sup> ) ZWISCHEN DER END-DIASTOLE UND END-SYSTOLE AM BULBUS, AORTA ASCENDENS, PROXIMAL TRUNCUS BRACHIOCEPHALICUS, PROXIMAL CAROTIS COMMUNIS SINISTRA, AORTA DESCENDENS HÖHE ZWERCHFELL.....	25
ABBILDUNG 12: SCATTER-BLOCK VOM GRÖSSTEN END-DIASTOLISCHEN DURCHMESSER AUFS ALTER DARGESTELLT. MIT (OBEN) UND OHNE (UNTEN) AUSREISER.....	27
ABBILDUNG 13: WAHRSCHEINLICHKEITSDARSTELLUNG ALTER UND AORTENBOGENTYP AUF NORMALVERTEILUNG.....	28
ABBILDUNG 14: BALKENDIAGRAMM ÜBER DIE VERTEILUNG DER AORTENBOGENTYPEN ÜBER DIE STUDIENPOPULATION.....	31

## Tabellenverzeichnis

---

TABELLE 1: PATIENTENCHARAKTERISTIKA.....	16
TABELLE 2: ÜBERSICHT ÜBER DIE WICHTIGSTEN MESSPARAMETER DER VERWENDETEN PULSSEQUENZEN.....	17
TABELLE 3: MITTELWERT UND STANDARDABWEICHUNG VON DEN 5 MESSPUNKTEN. FLÄCHE IN MM <sup>2</sup> (AREA), UMFANG IN MM (PERI), MAXIMALER DURCHMESSER IN MM (MAJ) UND MINIMALER DURCHMESSER IN MM (MIN) IN DIASTOLE (DIA) UND SYSTOLE (SYS).....	26
TABELLE 4: STATISTISCHE AUSWERTUNG DER UNTERSCHIEDE ZWISCHEN SYSTOLE UND DIASTOLE IM AORTENBOGEN. ANGABEN IN MM UND AUF DIE ZWEITE NACHKOMMASTELLE GERUNDET.....	29
TABELLE 5: STATISTISCHE AUSWERTUNG DES GESCHLECHTSSPEZIFISCHEN GRÖSSENUNTERSCHIEDES DES DIASTOLISCHEN DURCHMESSERS IM AORTENBOGEN.....	30
TABELLE 6: EINFAKTORIELLE ANOVA FÜR AORTENBOGENTYPEN (NUR SIGNIFIKANTE ERGEBNISSE).....	32
TABELLE 7: BONFERRONI-KORREKTUR FÜR DIE SIGNIFIKANTEN ERGEBNISSE AUS DER ANOVA, SIGNIFIKANTE ERGEBNISSE SIND BLAU HINTERLEGT.....	34
TABELLE 8: DURCHSCHNITTLICHE VERÄNDERUNG DER AORTA IN CM PRO JAHR (SLOPE) AN 7 MESSPUNKTEN (HAGER ET AL., 2002).....	37
TABELLE 9: ANGABE DER DEHNUNGSWERTE ZWISCHEN SYSTOLE UND DIASTOLE VON REGIER ET AL. VS. EIGENE WERTE IN % UND MM. AAO= AORTA ASCENDENS; DAO= AORTA DESCENDENS.....	39

## Einleitung

---

Die Aortenisthmusstenose wird heute als eine Erkrankung mit generalisierter Arteriopathie gesehen (Ulmer, 2012). Zusätzlich zu der Engstelle am Isthmus können noch andere pathomorphologische Veränderungen im Aortenbogen und im Herzen auftreten, welche durch verschiedene Untersuchungsmethoden diagnostiziert werden können (Becker, Becker, & Edwards, 1970).

Trotz der interventionellen Eingriffe in früher Kindheit treten im Laufe des Lebens bei Aortenisthmusstenosepatienten progrediente Veränderungen im thorakalem Gefäßsystem auf (Cohen, Fuster, Steele, Driscoll, & McGoon, 1989). Es konnte schon 1987 durch ISNER et al. gezeigt werden, dass es zu pathologischen Veränderungen im Aufbau der Aortenwand kommt, welche maßgeblich für die Windkesselfunktion der Aorta mitverantwortlich ist (Isner et al., 1987).

In der folgenden Studie soll die generelle Morphologie des Aortenbogens und das Dehnungsverhalten zwischen Systole und Diastole von Patienten mit Aortenisthmusstenose mit Hilfe retrospektiver CINE-MRT-Aufnahmen untersucht werden. Es sollen die erhobenen Daten mit den von anderen bereits publizierten Daten von gesunden Probanden verglichen werden. Darüberhinaus soll nach Unterschieden innerhalb der verschiedenen Aortenbogentypen gesucht werden.

## **Aortenisthmusstenose (ISTA)**

---

### Synonyme

---

CoA = Coarctatio aortae

### Definition

---

Die Aortenisthmusstenose beschreibt nicht nur eine Lumeneinengung des Aortenisthmus, sondern ist Teil einer generalisierten Arteriopathie (Samanek, Goetzova, Fiserova, & Skovranek, 1976; Vogt et al., 2005). Begründet wird diese generalisierte Arteriopathie durch hohe Assoziationsraten der Lumeneinengung mit anderen kardialen und vaskulären Erkrankungen, wie Mitbeteiligung des linken Herzens, des Aortenbogens und weiterer großer Arterien (Ulmer, 2012).

### Anatomie/Pathogenese

---

Der Isthmus aortae liegt im distalen Arcus aortae nach Abgang der Arterie subclavia sinistra am Übergang zum Pars thoracica aortae. An dieser Stelle setzte bei fetalem Blutkreislauf der Ductus arteriosus später das Ligamentum arteriosum an (Gerhard & Zilch, 2007). Anatomisch sollte grundsätzlich unterschieden werden, ob die Lumeneinengung diskret bzw. umschrieben (zirkumskripter Typ) auftritt oder ein hypoplastischer distaler Aortenbogen (hypoplastischer Typ) vorhanden ist (Herold, 2013; Ulmer, 2012).

Früher wurde in präduktale (infantilen) und postduktale (adulten) Aortenisthmusstenose unterschieden. Von dieser Klassifikation hat man sich mittlerweile distanziert (Haas, 2010/2011). Man geht pathogenetisch davon aus, dass die Lumeneinengung am Isthmus durch postnatal schrumpfendes Duktusgewebe entsteht, welches die Aorta umschließt. Deshalb ist fast jede Aortenisthmusstenose juxta-ductal gelegen (Herold, 2013; Ulmer, 2012).

Es gibt auch einzelne Berichte über ektope bzw. atypische Aortenisthmusstenose an der aufsteigenden oder absteigenden Aorta (Obata et al., 2013).

## Prävalenz

---

Die Aortenisthmusstenose hat eine Prävalenz von 3-4 pro 10.000 Lebendgeburten (Baumgartner et al., 2010; Lindinger, Schwedler, & Hense, 2010; Ulmer, 2012). Mit 5-10% aller angeborenen Herzerkrankungen ist es der 6. häufigste Herzfehler (Baumgartner et al., 2010; Ferguson, Krishnamurthy, & Oldham, 2007; Ulmer, 2012). Das männliche Geschlecht ist in etwa doppelt so häufig betroffen wie das weibliche (Lindinger et al., 2010; Pees, Haas, & Lange, 1999). Generell tritt die Aortenisthmusstenose sporadisch auf. Das Risiko für Geschwisterkinder ebenfalls eine Aortenisthmusstenose zu entwickeln ist allerdings mit 2-3 Prozent erhöht und bei mütterlicher Aortenisthmusstenose mit 5-7 Prozent noch höher. Auch tritt die Aortenisthmusstenose vermehrt bei einzelnen Syndromen auf, was eine genetische Komponente nahe legt (Silversides et al., 2010; Ulmer, 2012).

## Assoziationen

---

Die Aortenisthmusstenose ist mit anderen kardialen und nichtkardialen Fehlbildungen und Syndromen assoziiert (Haas, 2010/2011; James, 2008). Vergleichsweise häufig auftretende kardiale Fehlbildung bei Aortenisthmusstenosepatienten sind biskuspidale Aortenklappen (45-85%), Ductus arteriosus apertus (bis 50%), Ventrikelseptumdefekte (30-50%), Valvuläre Aortenstenosen (37%) und das Shone-Syndrom. Seltener findet man Vorhofseptumdefekte (6-13%), das hypoplastische Linksherzsyndrom oder Transpositionen der großen Arterien (dextro-Transposition der großen Arterien (2,5 -17%) und Taussig-Bing-Anomalie) (Becker et al., 1970; Haas, 2010/2011; Pschyrembel, 2014).

Wie bereits oben erwähnt treten auch vermehrt Arteriopathien bzw. Gefäßanomalien auf. Betroffen sind vor allem die größere Gefäße des Thoraxraumes und hirnversorgende Arterien. Im Thoraxraum treten vermehrt Aneurysmen der Aorta ascendens, Stenosen der Arteria subclavia und Arteria lusoria (Abgang der Arteria subclavia dextra aus der Aorta descendens. Darüber hinaus treten in bis zu 10% der Fälle cerebrale Aneurysmen auf (Haas, 2010/2011; S.L. Curtis, 2012; Ulmer, 2012).

Die Aortenisthmusstenose kommt in bis 30% Prozent der Fälle beim Turner Syndrom und in bis zu 19% der Fälle beim William-Breuren Syndrom vor (Haas, 2010/2011; Ho et al., 2004; Kim et al., 2011; Wang et al., 2007). Weitere Syndrome, welche mit der Aortenisthmusstenose assoziieren sind das PHACE-Syndrom, das Kabuki-Syndrom, die VACTERL-Assoziation und die CHARGE-Assoziation (Haas, 2010/2011).

### Spontanverlauf

---

Würden die symptomatischen Aortenisthmusstenosen (früher infantile Aortenisthmusstenose) nicht behandelt, würden im Säuglingsalter 90% der Patienten versterben (Ulmer, 2012). Von den unbehandelten Aortenisthmusstenose-Patienten, welche das erste Lebensjahr überleben, würden 25% vor dem 20., ca. 50% vor dem 30. und 85% vor dem 50. Lebensjahr versterben (Campbell, 1970). Bei geringerer Ausprägung der Aortenisthmusstenose können Patienten auch beschwerdefrei älter werden und vereinzelt die 9. oder 10. Lebensdekade erreichen (Herold, 2013). Die häufigste Todesursache durch Aortenisthmusstenose sind Herzinsuffizienz, Aortenruptur, bakterielle Endokarditis und Hirnblutungen (Campbell, 1970). Insgesamt ging die Sterblichkeit durch Aortenisthmusstenose in den USA in den Jahren 1979 bis 2005 um 70 Prozent zurück (Pillutla, Shetty, & Foster, 2009).

Hier muss unterschieden werden, ob es sich um eine kritische Aortenisthmusstenose eines Neugeborenen handelt oder um eine nicht kritische.

Bei der **kritischen Aortenisthmusstenose** des Neugeborenen ist die Aortenisthmusstenose häufig vom hypoplastischen Typ (Ulmer, 2012). Die Blut- und damit die Sauerstoffversorgung der unteren Körperhälfte und ihrer Organe erfolgt im Fötus über den Duktus arteriosus durch das rechte Herz. Verschließt sich der Duktus in den ersten Stunden bis Tagen nach der Geburt, kommt es zu einer akuten Sauerstoffminderversorgung von dem der Engstelle nachfolgenden Organen und Körperteilen. Je nach Ausprägung der Stenose und Kollateralenversorgung kommt es zu fehlenden bzw. sehr schwachen femoralen Pulsen (Rosenthal, 2005).

Beim Neugeborenen entwickelt sich aufgrund der akut erhöhten Nachlast eine Linksherzbelastung. Der linke Ventrikel muss gegen den erhöhten Widerstand der Lumeneinengung arbeiten und es kommt zu einem Rückstau über die Lunge in den rechten Ventrikel und dann zu einer erhöhten Vorlast. Symptome können Dyspnoe, Tachypnoe, Hepatomegalie und Trinkschwäche sein. Aufgrund der ischämischen Zustände der Bauchorgane kommt es zu Niereninsuffizienz mit Oligurie und/oder Anurie, Leberfunktionseinschränkungen und nekrotisierender Enterokolitis (NEC).

Im weiteren Verlauf dekompensiert das linke Herz und es treten Herzinsuffizienz mit Azidose und Schockzustände auf (Gortner, 2012; Haas, 2010/2011; Rosenthal, 2005). Unbehandelt würden, wie bereits oben beschrieben, 90% dieser Kinder versterben (Ulmer, 2012).

Bei einem **nicht kritischen Zustand** präsentiert sich die Aortenisthmusstenose altersabhängig, was mit den pathophysiologischen Mechanismen zusammenhängt. Teilweise kann die Aortenisthmusstenose auch über Jahre klinisch unauffällig bleiben und sich dann als Zufallsbefund bei Routineuntersuchungen präsentieren (Brickner, Hillis, & Lange, 2000; Rosenthal, 2005). Dies hängt von dem Grad der Ausprägung der Aortenisthmusstenose ab (Baumgartner et al., 2010).

Schon beim Neugeborenen können sich hypertone Zustände an den oberen Extremitäten zeigen. Des Weiteren kann der Femoralispuls schwach oder nicht palpabel sein. Auch können erste typische Herzgeräusche (siehe Diagnostik - Auskultation) imponieren. Im Kleinkindalter zeigt sich die gleiche Klinik. Lediglich tauchen hier erste, wenn auch selten, hypertonie-assoziierte Kardiomyopathien auf (Rosenthal, 2005).

Ab dem Erwachsenenalter zeigt sich die Klinik mit 3 Leitsymptomen (Herold, 2013).

Hypertonie-assoziiert treten vermehrt Kopfschmerzen, Nasenbluten, Schwindel und Tinnitus auf (Baumgartner et al., 2010; Herold, 2013). Darüberhinaus kann sich die Aortenisthmusstenose durch hypertensive Retinopathie, intrakranielle Blutungen (siehe Assoziationen Aneurysma), Aortendissektion, Aortenruptur und selten durch Herzstillstand wegen linksventrikulärer Hypertrophie und Arrhythmien zeigen (Campbell, 1970; Rosenthal, 2005).

Durch die Minderdurchblutung der unteren Extremität kommt es zu kalten Füßen, Fatigue der Beine, Claudicatio intermittens und Beinkrämpfen. Die Pulse der unteren Extremität können abgeschwächt sein (Baumgartner et al., 2010).

Die obere Körperhälfte zeigt hohe Blutdruckamplituden mit warmen Extremitäten (Herold, 2013).

## Diagnostik

---

### Auskultation

---

Auskultatorisch kann man einen 1. und einen 2. gespaltenen Herzton hören. Mit einem früh systolischem Klicken und einem meso- bis telesystolischen spindelförmigen Geräusch, welches sich bis in die Diastole ziehen kann. Punktum maximum befindet sich im Erb'schen Punkt (3./4. Interkostalraum links parasternal), mit Fortleitung in den Rücken (Bieber, 2012; Brickner et al., 2000; Herold, 2013). Ggf. kann man noch ein telediastolisches decrescendo Geräusch mit Punktum maximum am Erb'schen Punkt hören. Dies entsteht durch Aorteninsuffizienz bei biskuspidaler Aortenklappe. Des Weiteren kann man das kontinuierliche Strömungsgeräusch etwaiger Kollateralen über der 3.-4. Rippe hören (Rosenthal, 2005).

### EKG

---

Bei Säuglingen mit Aortenisthmusstenose kann sich das EKG unauffällig zeigen, wenn keine kritische CoA vorliegt (Hamdan, 2006). Im späteren Kindes- und Erwachsenenalter können sich typische Zeichen für eine Linksherzhypertrophie darstellen: Sokolow-Lyon-Index:  $S \text{ in } V1 + R \text{ in } V5 / S \text{ in } V2 + R \text{ in } V6 > 3,5 \text{ mV}$  (Brickner et al., 2000; Rosenthal, 2005).

### Blutdruck/Pulsoxometrie

---

Der Blutdruck sollte bei Aortenisthmusstenose-Patienten oder bei Verdacht auf Aortenisthmusstenose an allen 4 Extremitäten gemessen werden, da eine ausgeprägte Blutdruckdifferenz in der Systole zwischen der oberen und der unteren Extremität bestehen kann, wenn keine größeren kollateralen Kreisläufe ausgebildet sind.

Die diastolischen Blutdrücke können äquivalent sein, während bei den systolischen Werten Unterschiede auftreten (Brickner et al., 2000; Haas, 2010/2011; Silversides et al., 2010).

Eine 24h-Blutdruckmessung oder eine Ergometrie dienen zur Evaluierung des Hypertonus und sollten am rechten Arm gemessen werden, weil die Arteria subclavia sinistra teilweise selbst stenotisch verändert sein kann (Haas, 2010/2011).

Bei juvenilen Hypertonikern sollte auch immer an eine Aortenisthmusstenose gedacht werden (Herold, 2013).

## Röntgen

---

Bei Patienten mit Aortenisthmusstenose kann sich im Übersichtsröntgen ein linksverbreitertes Herz zeigen (über die linke Medioclavikularlinie hinaus). Dies wäre ein Hinweis auf eine Linksherzbelastung mit kompensatorischer Linksherzhypertrophie oder Dilatation (Huhmann, Kunitsch, & Dalichau, 1976; Rosenthal, 2005). Des Weiteren können sich erweiterte prästenotische Gefäße darstellen. Insbesondere die Aorta ascendens und die Arteria subclavia sinistra können hier erweitert sein. Darüberhinaus kann sich ein elongierter und betonter Aortenknopf darstellen (Baumgartner et al., 2010; Huhmann et al., 1976).

Zusätzlich können die prä- und poststenotische Aorta descendens erweitert sein und sich als „3er-Zeichen“ darstellen (Brickner et al., 2000; Huhmann et al., 1976). Ein „umgedrehtes E“ kann sich im Röntgen darstellen, wenn der Ösophagus durch die Aorta im Stenosebereich eingeeengt wird (Huhmann et al., 1976).

Rippenusuren können ein Leitsymptom für eine Aortenisthmusstenose sein. Diese zeigen sich meist am Unterrand der 3.-8. Rippe. Sie sind Folgen der Kollateralenbildung zur Versorgung der minderperfundierten unteren Körperhälfte. Die Interkostalarterien sorgen über die Zeit hin für einen Knochenabrieb, weshalb sich die Rippenusuren erst ab dem 5. Lebensjahr im Röntgen präsentieren (Brickner et al., 2000; Hamdan, 2006; Huhmann et al., 1976; Matthews & Quilliam, 1964). Alleinige rechtsseitige Rippenusuren können auf eine stenotisch mit einbezogene Arterie subclavia sinistra hindeuten (Faro, Weinberg, Monson, & Najafi, 1981).

## Echokardiographie

---

Die Echokardiographie wird als eine zuverlässige Methode gesehen, die Aortenisthmusstenose zu diagnostizieren (Haas, 2010/2011).

Untersucht werden sollte die Ausprägung und Lokalisation der Aortenisthmusstenose. Des Weiteren sollten die Patienten auf kardial und extrakardial gelegene assoziierte Fehlbildungen hin untersucht werden (siehe oben beschriebene Assoziationen). Die linksventrikuläre Funktion des Herzens sollte bestimmt und die gegebenenfalls vorhandene linksventrikuläre Hypertrophie dokumentiert werden (Silversides et al., 2010).

Mit Hilfe einer Dopplerflussmessung sollte der Gradientenunterschied zwischen prä- und poststenotischem Aortengefäß berechnet werden (Haas, 2010/2011).

## MRT/CT

---

Eine MRT-Untersuchung sollte bei unzureichenden echokardiographischen Ergebnissen durchgeführt werden (Haas, 2010/2011). Sie sind empfohlen, um anatomische Gegebenheiten im Aortenbogen, abnormale vaskuläre Anomalien und ausgeprägte kollaterale Kreisläufe bei Aortenisthmusstenosepatienten darzustellen und zu untersuchen (Silversides et al., 2010).

Die CT-Untersuchung wird nur als Alternative empfohlen, wenn es Kontraindikationen für eine MRT-Untersuchung gibt (Haas, 2010/2011; Tanous, Benson, & Horlick, 2009). Darüberhinaus sind MRT- und CT- Untersuchungen zum Ausschluss von zerebralen Aneurysmen induziert (Silversides et al., 2010).

## CINE- MRT

---

Der generelle Vorteil der CINE-MRT-Untersuchung im Bezug auf die Aortenisthmusstenose ist die gute Evaluierung der möglichen assoziierten Anomalien, welche sich auf das Flussprofil auswirken können. Es ermöglicht durch das EKG-Gating und durch gegebenenfalls durchgeführte Atem-Gatings eine detaillierte Beobachtung der Funktionsweise des Herzens und der Aorta bis distal der Isthmusstenose. Durch Absättigung des Blutes kann die Morphologie der Stenose genau beurteilt werden (Attenberger Ulrike I., 2011).

## Invasive Angiographie

---

Die diagnostische Katheteruntersuchung zur Gradientenberechnung und zur Darstellung des Gefäßstatus (Kollateralen, Aneurysmen, Stenose) ist nur noch empfohlen im Zusammenhang mit einem sowieso geplanten interventionellen Kathetereingriffen (Haas, 2010/2011). Eine Herzkatheteruntersuchung zur Darstellung der Herzkranzgefäße ist bei Verdacht auf Stenose in den Koronaren bei Aortenisthmusstenosepatienten induziert, da ein erhöhtes Risiko für die koronare Herzkrankheit besteht (Cohen et al., 1989; Silversides et al., 2010).

### Therapieziel und Indikationen

---

Therapieziel ist die Beseitigung oder Überbrückung der Stenose und Erzeugung einer Aorta mit normalen pulsatilem Blutfluss und mit ausreichender Gefäßlumengröße.

Da dies ausschließlich durch chirurgische oder mit dem Katheter erfolgte Eingriffe ermöglicht werden kann, ist bei CoA-Patienten eine Operation oder ein interventioneller Eingriff induziert, wenn einer oder mehrere der folgenden Indikatoren zutreffen (Baumgartner et al., 2010; Haas, 2010/2011). Indikatoren für einen Eingriff bei Aortenisthmusstenose sind laut der European Society of Cardiology in Abbildung 1 dargestellt.

Indications	Class <sup>a</sup>	Level <sup>b</sup>
All patients with a non-invasive pressure difference >20 mmHg between upper and lower limbs, regardless of symptoms but with upper limb hypertension (>140/90 mmHg in adults), pathological blood pressure response during exercise, or significant LVH should have intervention	I	C
Independent of the pressure gradient, hypertensive patients with ≥50% aortic narrowing relative to the aortic diameter at the diaphragm level (on CMR, CT, or invasive angiography) should be considered for intervention	IIa	C
Independent of the pressure gradient and presence of hypertension, patients with ≥50% aortic narrowing relative to the aortic diameter at the diaphragm level (on CMR, CT, or invasive angiography) may be considered for intervention	IIb	C

<sup>a</sup>Class of recommendation.  
<sup>b</sup>Level of evidence.

**Abbildung 1:** Indikatoren für Interventionen bei Aortenisthmusstenose. CMR = Herz-MRT; LVH = linksventrikuläre Hypertrophie; (Baumgartner et al., 2010)

## Medikamentöse Therapie

---

Bei Neugeborenen mit kritischer CoA wird die Stenose mit Prostaglandin behandelt, um den Duktus arteriosus offen zu halten oder wieder zu öffnen. Ziel der Therapie ist es, die weitere Perfusion der distal der Stenose liegenden Körperhälfte sicher zu stellen (Heymann, Berman, Rudolph, & Whitman, 1979).

Weitere internistische Komplikationen der Aortenisthmusstenose, wie häufig auftretende Hypertonie mit Herzinsuffizienz und andere Organinsuffizienzen werden lege artis nach der jeweiligen Erkrankung behandelt (Bocelli et al., 2013; Haas, 2010/2011).

## Chirurgische Therapie

---

Welche operative Therapie durchgeführt wird, richtet sich unter anderem nach dem Alter des Patienten, der Lokalisation und Form der Stenose, als auch nach der Mobilisierbarkeit der Gefäße (Swartz et al., 2011). Die chirurgische Operation gilt heute immer noch als goldener Standard für die native Aortenisthmusstenose bei jungen Patienten (Ulmer, 2012). Allgemein wird eine End-zu-End-Anastomose bei der Erstoperation einer zirkumskripten Aortenisthmusstenose bevorzugt (Silversides et al., 2010; Ulmer, 2012). Bei dieser wird eine postero-laterale Thorakotomie durchgeführt, ohne dass keine Herz-Lungen-Maschine eingesetzt werden muss. Nach ausgiebiger Mobilisation des Aortenbogens und der Aorta descendens wird das stenotische Teilstück entfernt und es wird eine spannungsfreie Anastomosierung der Gefäßenden durchgeführt (Haas, 2010/2011). Ist die Stenose ausgeprägter (hypoplastischer Typ), wird eine erweiterte End-zu-End-Anastomose unter zu Hilfenahme einer Herz-Lungen-Maschine mit medianer Sternotomie durchgeführt. Etwaige Herzfehler können in dieser Operation gleich mit therapiert werden (Ulmer, 2012). Sollte die Aorta nicht ausreichend mobilisierbar sein oder der Abstand zwischen den Gefäßenden zu groß, bietet sich der Einsatz eines Kunststofftransplantat aus Dacron (OP nach Gross) an (Ulmer, 2012). Allerdings besteht dann ein erhöhtes Risiko für Aneurysmata an der Eingriffsstelle (Tanous et al., 2009). Aus dem gleichen Grund werden Patcherweiterungsplastiken heute nicht mehr durchgeführt (Ulmer, 2012). Eine weitere Operationsmethode ist die Subclavia-Flap-Plastik, in welcher die

Arteria Subclavia umgeschlagen wird und aufgeschnitten als Flächenerweiterung für die Aortenwand an der Stenosestelle mit eingenäht wird (Ulmer, 2012). Als letzte OP-Technik, bei der nicht Durchführbarkeit der beschriebenen Möglichkeiten, bleiben noch die Bypassoperationen von der Aorta ascendens oder der Arterie subclavia auf die Aorta descendens (Haas, 2010/2011).

### Interventionelle Therapie

---

Die interventionelle Therapie mit Ballondilatation ist für Patienten unter 6 Monaten nicht empfohlen (Haas, 2010/2011). Für Erwachsene hingegen gilt die Stentimplantation als Mittel der Wahl (Baumgartner et al., 2010). Auch für Re- oder Reststenosen nach bereits erfolgter operativer oder interventioneller Korrektur empfiehlt sich eine interventionelle Ballondilatation (Ulmer, 2012). Letztendlich ist die beste Therapieentscheidung auch aber abhängig vom individuellen Krankheitsbild, dem Erfahrungsschatz des Arztes und den lokalen Gegebenheiten (Chessa, Dua, & Carminati, 2009; Silversides et al., 2010).

Bei der interventionellen Therapie wird über einen Gefäßzugang mit einem Ballon versucht die Stenose auf das 2- bis 5-fache ihres eigenen Durchmessers zu dehnen. Als maximales Dehnungsmaß zählt der Durchmesser der prästenotischen Aorta oder der Durchmesser der Aorta auf Diaphragmahöhe. Für Patienten, bei denen noch ein Wachstum zu erwarten ist, wird ein dehnbarer Stent verwendet, der bei Bedarf nachdilatiert werden kann (Haas, 2010/2011). Ob die Stents gecovert oder ungecovert besser sind, ist noch nicht abschließend geklärt (Baumgartner et al., 2010).

## Komplikationen

---

Die OP-Mortalität wird von der EACTS Congenital Database bei Kindern, welche mit End-zu-End Anastomose, Subclavioplastik oder Kunststofftransplantat therapiert wurden mit ungefähr 3 % angegeben. Für andere kompliziertere Operationsverfahren ist die Mortalität mit 7-10 % angegeben ("EACTS Congenital Database," 20.04.2014).

Die Letalität für Kinder wird bei den interventionellen Eingriffen mit bis zu 1 % angegeben (Haas, 2010/2011). Bei den operativen Methoden sind die Verletzungen von N. recurrens, N. phrenicus und des Ductus thoracicus sowie der postoperative Querschnitt mögliche Komplikationen. Währenddessen stehen bei der interventionellen Methode die Gefäßschäden an der Einstichstelle des Katheters als auch im behandelten Gefäß im Vordergrund. Das reflektorische postoperative Ansteigen des Blutdrucks nach Beseitigung der Stenose ist heute unter adäquater medikamentöser Therapie kaum noch zu finden (Haas, 2010/2011).

## Nachsorge

---

Patienten mit Z.n. Aortenisthmusstenose sollten in regelmäßigen Abständen zum Kardiologen zur Nachsorgeuntersuchung gehen. MRT Untersuchungen zur Verlaufsdokumentation von postoperativer Anatomie und möglichen Komplikationen sollten regelmäßig durchgeführt werden falls die echokardiographischen Untersuchungen nicht ausreichen. Mit zunehmendem Alter der Patienten gestaltet sich die Aortenbogendarstellung mittels Echokardiographie nämlich schwieriger. Für Patienten mit Stent wird eine CT-Untersuchung empfohlen (Haas, 2010/2011; Silversides et al., 2010). Bei den Nachsorgeuntersuchungen sollte auf häufige Komplikationen oder Nebenbefunde der Aortenisthmusstenose geachtet werden. Hier ist das Augenmerk auf Bluthochdruck, Herzfehler, koronare Herzerkrankungen, Klappenvitien (BAV) und Aortenaneurysmata im proximalen Teil der Aorta als auch im OP-Gebiet zu richten. Des Weiteren können neuauftretene Kopfschmerzen unklarer Genese ein Zeichen für zerebrale Aneurysmen sein (Cohen et al., 1989; Haas, 2010/2011; Silversides et al., 2010; Toro-Salazar et al., 2002).

Es gibt keine präventiven Maßnahmen um die Entstehung einer Aortenisthmusstenose zu verhindern (Haas, 2010/2011) .

Die Endokarditis-Prophylaxe wird trotz vermehrten Auftretens bei Patienten mit Aortenisthmusstenose nicht empfohlen, mit Ausnahme der ersten sechs Monate nach interventionellen Eingriffen (Wilson et al., 2007).

## Material und Methoden

---

### Patienten

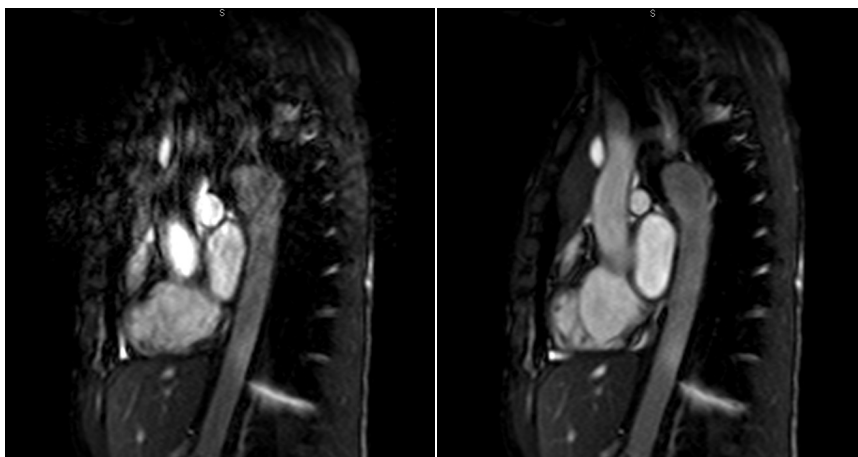
---

Die in dieser Arbeit durchgeführte Studie wurde vor Beginn durch die lokale Ethikkommission genehmigt (No. 25-108 ex 12/13).

Für die Studie wurden retrospektiv Daten von 39 Patienten verwendet. Alle Studienteilnehmer hatten im Zuge von Nachsorgeuntersuchungen bei Zustand nach Aortenisthmusstenoseoperationen oder -eingriffen CINE-MRT-Untersuchungen erhalten. Die CINE-MRT wurden alle an der Klinischen Abteilung für Kinderradiologie, Univ.-Klinik für Radiologie durchgeführt (monozentrisch). Da viele CINE-MRT-Aufnahmen wegen zu starker Artefakte (Abbildung 2) oder anderer Schichtplatzierung für diese Studie nicht zu verwerten waren und teilweise der Aortenbogen nicht zur Gänze abgebildet werden konnte, bestand die Studienpopulation schlussendlich aus 20 PatientInnen (davon 6 weiblich und 14 männlich) mit einem Durchschnittsalter von 23,3 Jahren.

	Aortenisthmus-Patienten
Anzahl	20
- weiblich	6
- männlich	14
Altersbereich	10 - 35
Durchschnittsjahre (Jahre)	23,3 ± 6,68
Untersuchungszeitraum	Nov. 2006 - Feb. 2012

**Tabelle 1:** Patientencharakteristika



**Abbildung 2:** CINE-MRT-Aufnahmen von Aortenbogen in Systole (starke Artefakte) und in Diastole.

Alle Untersuchungen wurden an einem 1,5-Tesla-MRT-System (Magnetom Symphony, Siemens Medical, Erlangen, Deutschland) durchgeführt. Nach Setzen des Basisbildes für die Schichtpositionierung und Absättigung des Blutes (dark blood) zur besseren Darstellung der kardiovaskulären Anatomie und transversalen Akquisition erfolgte die MRT - Aufnahme in HASTE - Technik (Half Fourier Acquisition Single Shot Turbo Spin Echo).

Die CINE-MRT-Aufnahme erfolgte mit folgenden Pulssequenzen:

Wiederholungszeit 73.04 ms, Echozeit 1.4 ms, Flip-Winkel 80°, Matrix von 192 x 134 Pixel, Sichtfeld 270 mm, Phase SFZ 71,9 (siehe Tabelle 2).

Die Bilder wurden mit der so genannten "candy cane"-Ansicht, Sagittal Aorta Cine oder sagittalen Schrägansicht, die den kompletten Aortenbogen darstellt, aufgenommen.

Mit Hilfe der EKG-Triggerung war es möglich den Herzzyklus in 25 gleiche Zeitintervalle zu unterteilen. Die erworbene Durchschnittsschichtdicke war 6,09 mm und die durchschnittliche x / y-Pixelgröße war 1,73 mm.

	CINE-MRT
TR/TE (ms)	73,04/ 1,4
Flipwinkel	80°
Matrix (Pixel)	192 x 134
FOV (mm)	270
Schichtdicke (mm)	6,09 ± 0,43

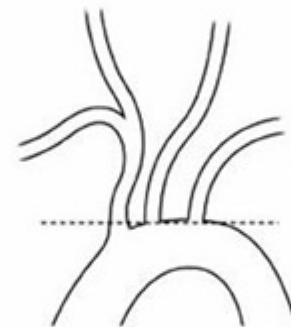
**Tabelle 2:** Übersicht über die wichtigsten Messparameter der verwendeten Pulssequenzen.

Zur Evaluation der erwarteten Schwierigkeit beim Stenten der A. Carotis interna hat sich unter anderem die folgend beschriebene Einteilung des Aortenbogens durchgesetzt (Wholey, 2006). Sie versucht die verschiedenen anatomischen Gegebenheiten des Aortenbogens wiederzugeben und zu klassifizieren. Meistens findet nur eine Klassifikation von Aortenbogentyp I bis III statt (Christos D. Liapis, 2009; Lin et al., 2005; Madhwal et al., 2008). Allerdings wird auch ein Typ IV beschrieben (Wholey, 2006). In der hier beschriebenen Studie wurde auf diese Aortenbogeneinteilung zurückgegriffen, weil sie sowohl den Winkel des Aortenbogens als auch die Lage der Gefäßabgänge berücksichtigt.

### Typ I Bogen:

---

Der Ursprung des Truncus brachiocephalicus liegt parallel in einer Ebene mit der äußeren Krümmung des Aortenbogens am kranialen Punkt. Es gibt keinen Winkel. Der vertikale Abstand des Ursprunges des Truncus brachiocephalicus von der äußeren Krümmung ist kleiner als der Durchmesser der A. Carotis communis sinistra (Christos D. Liapis, 2009).

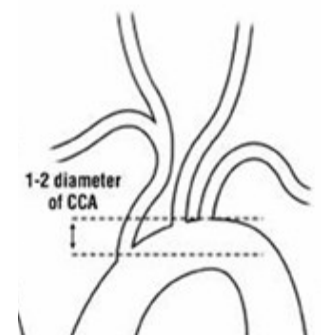


**Abbildung 3:**  
Aortenbogentyp I  
(Burzotta, 2013)

### Typ II Bogen

---

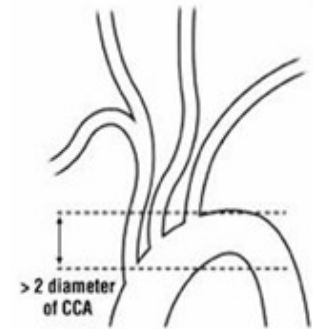
Der Ursprung des Truncus brachiocephalicus liegt zwischen zwei gedachten horizontalen Ebenen, welche sich durch die äußere und die innere Krümmung des Aortenbogens definieren. Der vertikale Abstand des Ursprunges des Truncus Brachiocephalicus von der äußeren Krümmung des Aortenbogens ist ein- bis zweimal so groß wie der Durchmesser der A: Carotis communis sinistra (Christos D. Liapis, 2009).



**Abbildung 4:**  
Aortenbogentyp II  
(Burzotta, 2013)

### Typ III Bogen

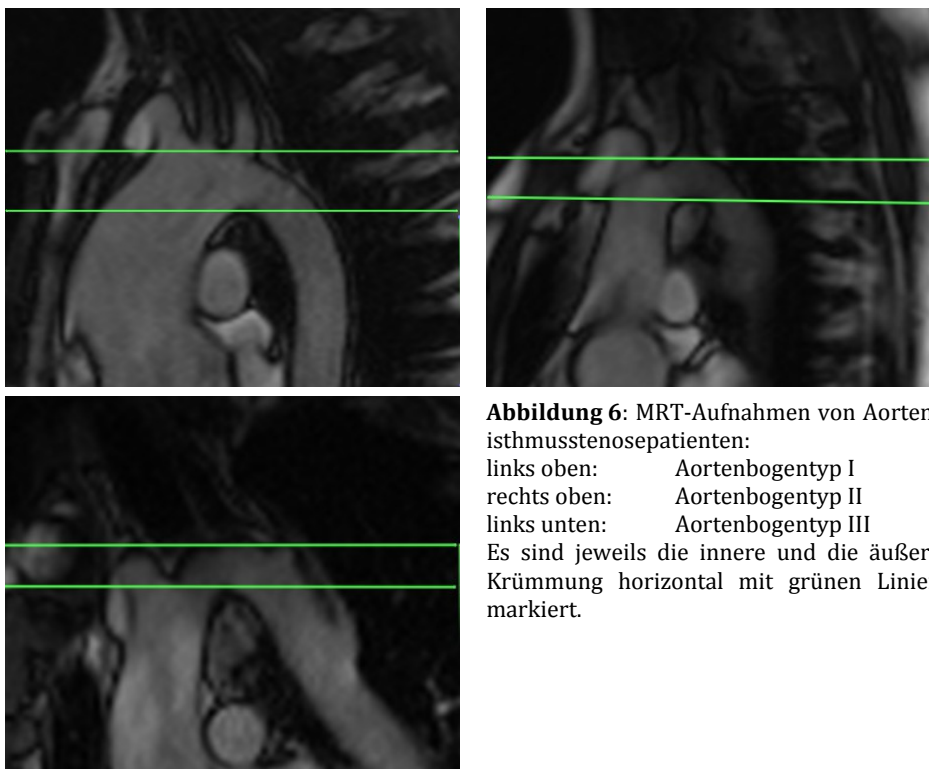
Der Ursprung des Truncus brachiocephalicus liegt kaudal der inneren Krümmung des Aortenbogens. Der vertikale Abstand des Ursprunges des Truncus brachiocephalicus ist größer als zweimal der Durchmesser der A. Carotis communis sinistra (Christos D. Liapis, 2009).



**Abbildung 5:**  
Aortenbogentyp III  
(Burzotta, 2013)

### Typ IV Bogen

Der Aortenbogentyp IV hat einen größeren Winkel. Auch die Länge des Aortenbogens und sein Querdurchmesser sind größer. Dieser Bogentyp ist steht im Zusammenhang mit der sogenannten „Redundancy“, einer überschüssigen Länge der A. Carotis communis. Dieses Phänomen tritt häufiger bei der rechten A. Carotis communis auf. Die Windungen und die überschüssige Schleife liegen dann im proximalen Segment der A. Carotis communis sinistra (Wholey, 2006).



**Abbildung 6:** MRT-Aufnahmen von Aortenisthmusstenosepatienten:

links oben: Aortenbogentyp I  
rechts oben: Aortenbogentyp II  
links unten: Aortenbogentyp III

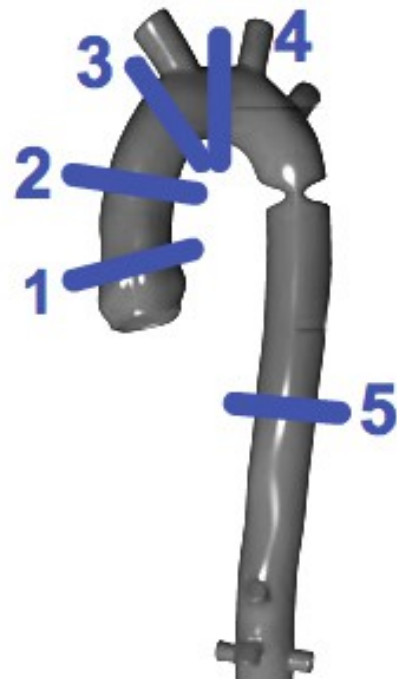
Es sind jeweils die innere und die äußere Krümmung horizontal mit grünen Linien markiert.

Die Aufnahmen wurden als DICOM-Dateien vom MRT-System zu einem dedizierten Forschungs-Open-Source-PACS-Server ([www.dcm4chee.org](http://www.dcm4chee.org)) portiert. Die Bildverarbeitung und Analyse erfolgte an einer Windows-XP-Workstation mit Hilfe von FIJI, einem Open-Source-Bildverarbeitungspaket, welches ein Zusammenschluss von ImageJ (und Imagej2) mit Java, Java 3D und einer Vielzahl von anderen Plugins ist, die in einer vereinheitlichten Menüstruktur organisiert sind (<http://fiji.sc/wiki/index.php/Fiji>).

Die entsprechenden Patientendaten wurden mit Hilfe des *Tudor DICOM Managers* in das Programm geladen und geöffnet. Anschließend wurden unter *Properties* die Pixelgrößen und Schichtdicken der einzelnen MRT-Aufnahmen entsprechend eingegeben. Aus den 25 Zeitintervallaufnahmen des Aortenbogens wurden die End-Systole und die End-Diastole entsprechend der Herzfüllung herausgesucht und weiterführend zwei passende Substack (*make Substack*; anisotrop kalibrierte Stapel) erstellt. Danach wurden die zwei Substacks jeweils mit Hilfe des *Make Isotropic* - Plugins (<http://rsbweb.nih.gov/ij/plugins/make-isotropic/>) entlang der z-Achse entsprechend der Schichtdicke neu skaliert.

Fünf Messpunkte im Aortenbogen wurden bestimmt: Bulbus aortae (1), Aorta ascendens auf Höhe des Tr. pulmonalis (2), kurz vor Abgang des Truncus brachiocephalicus (3), kurz vor Abgang des A. Carotis communis sinistra (4) und Aorta descendens auf Höhe des Zwerchfells (5). Eine schematische Darstellung der Positionen entlang des Aortenbogens ist in Abbildung 7 gezeigt.

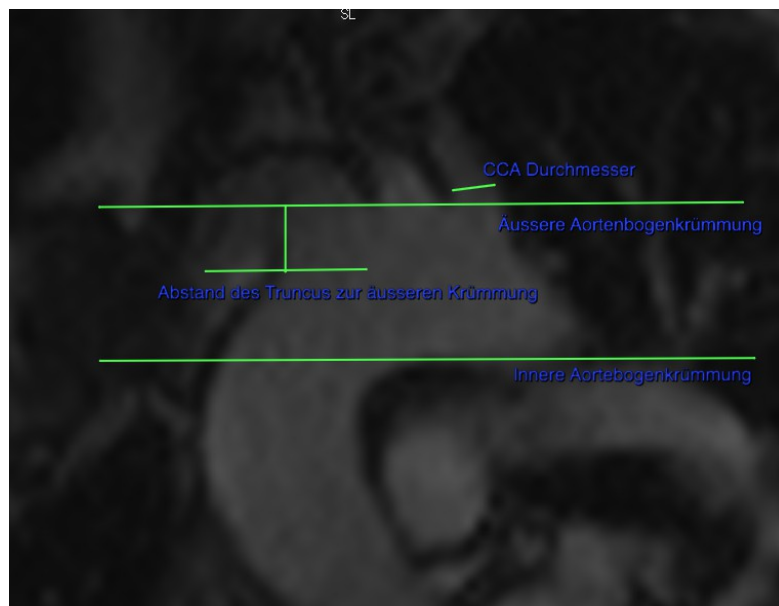
An dem jeweiligen Messpunkt wurde die Gefäßmitte bestimmt und mit Hilfe des *TransfomJ*-Plugins und der *Interaktive Stack Rotation* der Aortenbogen in der jeweiligen Position quer zum Gefäßdurchmesser angeschnitten.



**Abbildung 7:** Darstellung der 5 Messpunkte im Aortenbogen.

Das zu vermessende Gefäß wurde manuell markiert und mit Hilfe von *Analyze/Measure* wurden Fläche, Umfang, größter und kleinster Durchmesser berechnet. Dies wurde mit den Daten aller 20 Patienten an 5 Messpunkten in End-Diastole und End-Systole durchgeführt. Anschließend wurden die jeweiligen Differenzen in Prozent und in absoluten Zahlen berechnet. Insgesamt wurden 200 Messungen durchgeführt und es wurden 1600 Messwerte errechnet.

An einer Mac OS X Workstation wurden die Daten der 20 Patienten mit Hilfe einer weiteren Open-Source-Software (<http://www.osirix-viewer.com>) zur Bestimmung des Aortenbogentyps vermessen. Zuerst wurde der Durchmesser der Arteria Carotis communis sinistra gemessen und danach die obere und untere Krümmung im Aortenbogen mit horizontalen Linien markiert. Anschließend wurde der Ursprung des Truncus brachiocephalicus ebenfalls mit einer horizontalen Linie markiert. Bei komplizierteren, anatomischen Verhältnissen konnte auf vorhandene 3D-Darstellungen der thorakalen Gefäße zurückgegriffen werden, um sich genau zu orientieren. Mit Hilfe dieser Daten wurde der Aortenbogentyp bestimmt. Die Vermessung ist in Abbildung 8 veranschaulicht.



**Abbildung 8:** Darstellung der Bestimmung des Aortenbogentyps mit Hilfe von Osirix.

Der Mittelwert, der Median, die Standardabweichungen, die Spannweite, der minimale und maximale Wert sowie die 25. bis 75. Perzentile wurden für alle 5 Messpunkte in der End-Diastole sowie in der End-Systole und für die Messunterschiede berechnet. Die Bulbusdiastolenfläche wurde auf das Alter bezogen dargestellt und die Daten wurden auf Normalität und Vorhandensein von Ausreißern geprüft. Alle Ausreißer wurden geprüft, um Eingabefehler auszuschließen.

Der Kolmogorov-Smirnov-Test wurde eingesetzt, um die Normalverteilung der Daten zu verifizieren. Anschließend wurden gepaarte t-Tests für alle Messpunkte in Diastole und Systole durchgeführt. Wegen der kleinen Versuchspopulation wurde auf eine genderspezifische Aufschlüsselung der Daten verzichtet. Dennoch mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Test für unabhängige Stichproben auf geschlechtsspezifische Unterschiede in den Durchmessern der Messpunkte hin untersucht.

Um interindividuelle Unterschiede in den drei Aortenbogentypen zu untersuchen wurden die Daten mit Hilfe der Varianzanalyse (ANOVA) in allen Messebenen untersucht. Zeigten sich signifikante Unterschiede in der ANOVA, wurde ein gepaarter t-Test mit Bonferroni-Korrektur für multiple Vergleiche durchgeführt, um die Unterschiede zwischen den einzelnen zu beurteilenden Gruppen zu verifizieren.

Als statistisch signifikant wurden nur p-Werte  $< 0,05$  angesehen.

Die statistische Analyse erfolgte an einer MacOSX Workstation mit Hilfe von IBM SPSS Statistics, Version 20.

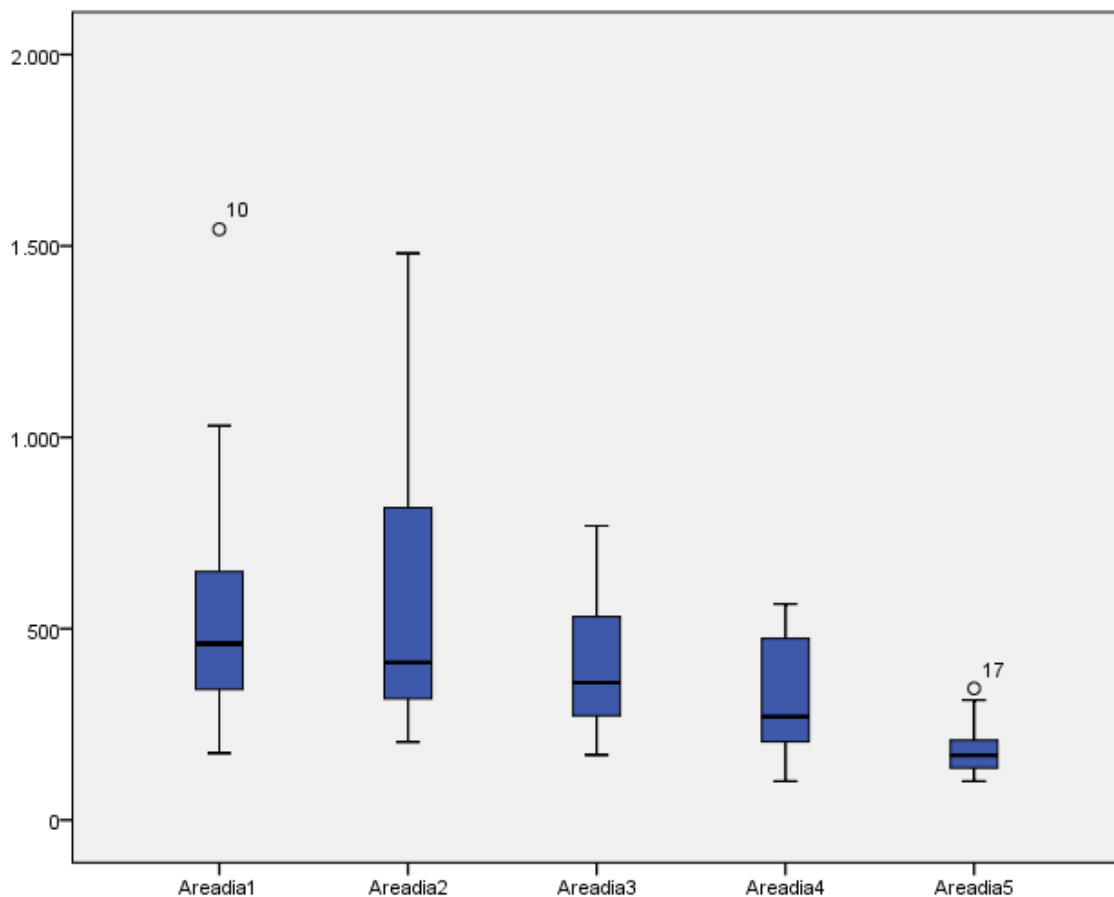
## Ergebnisse

---

### Deskriptive Statistik

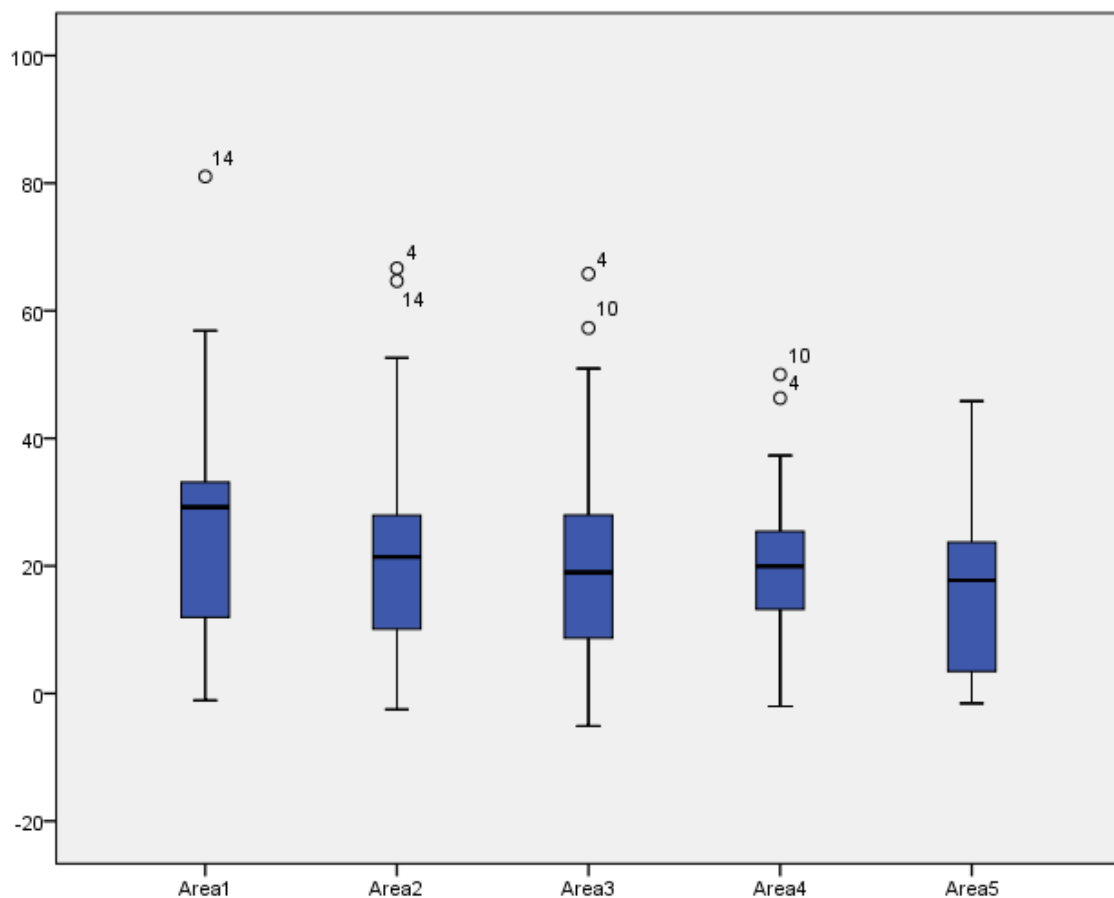
---

Bei allen 20 Patienten konnten die MRT-Daten vollständig ausgewertet werden. Die Mittelwerte und die Standardabweichungen der Flächen, welche in der End-Diastole an den 5 Messpunkten gemessen wurden waren  $530,9 \pm 320,8 \text{ mm}^2$  (Messpunkt 1),  $589,2 \pm 385,2 \text{ mm}^2$  (Messpunkt 2),  $406,8 \pm 183,8 \text{ mm}^2$  (Messpunkt 3),  $317,0 \pm 157,4 \text{ mm}^2$  (Messpunkt 4),  $182,9 \pm 67,0 \text{ mm}^2$  (Messpunkt 5).

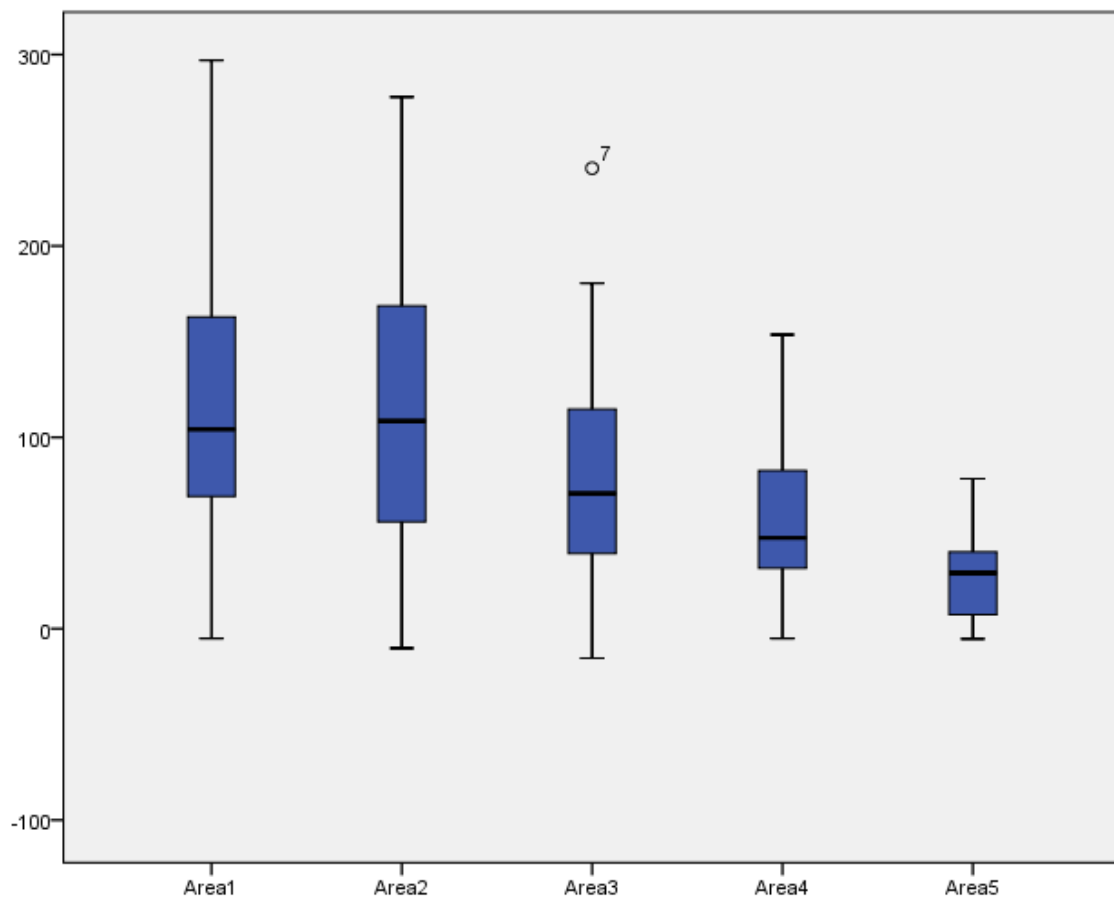


**Abbildung 9:** Boxplot über die Flächen (in  $\text{mm}^2$ ) während der End-Diastole (Areadia) am Bulbus, Aorta ascendens, proximal Truncus brachiocephalicus, proximal Carotis Communis Sinistra, Aorta descendens Höhe Diaphragma

Die durchschnittliche Flächenveränderung zwischen End-Diastole und End-Systole, angegeben in Prozent, war absteigend von Messpunkt 1-5: 28% ( $120,1 \pm 78,9 \text{ mm}^2$ ), 24 % ( $112,1 \pm 76,84 \text{ mm}^2$ ), 22% ( $83,3 \pm 64,3 \text{ mm}^2$ ), 21% ( $57,3 \pm 38,4 \text{ mm}^2$ ) und 16% ( $26,6 \pm 21,0 \text{ mm}^2$ ). Für die größten Durchmesser ergab sich eine prozentuale Veränderung absteigend von Messpunkt 1-5 von 13%, 11%, 10%, 9% und 8%.



**Abbildung 10:** Boxplot über die Flächenänderungen (in %) zwischen der End-Diastole und End-Systole am Bulbus, Aorta ascendens, proximal Truncus brachiocephalicus, proximal Carotis Communis Sinistra, Aorta descendens Höhe Zwerchfell



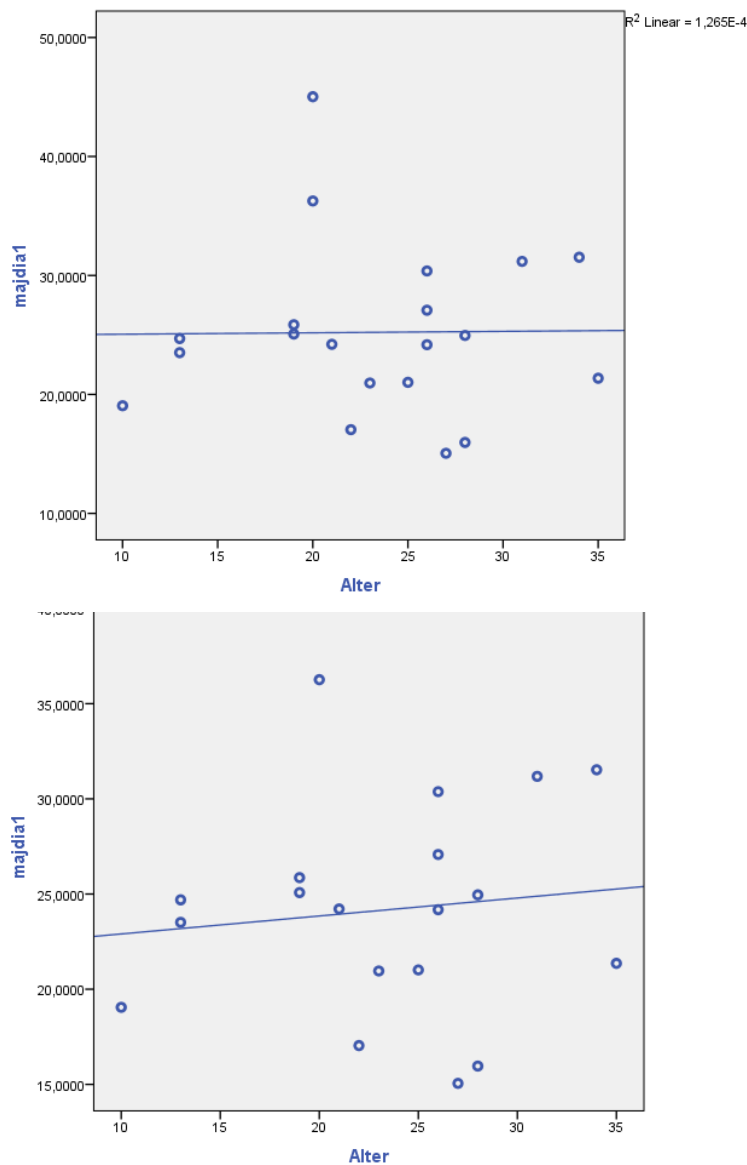
**Abbildung 11:** Boxplot über die Flächenänderungen (in mm<sup>2</sup>) zwischen der End-Diastole und End-Systole am Bulbus, Aorta ascendens, proximal Truncus brachiocephalicus, proximal Carotis Communis Sinistra, Aorta descendens Höhe Zwerchfell

Der Mittelwert und die Standardabweichung sind in Tabelle 3 für alle Messpunkte und alle 4 Messparameter angegeben. Medianwert, Spannweite, Minimum sowie Maximum und die 25., 50. und 75. Perzentile sind im Anhang angegeben.

Messpunkt			Messpunkt		
1	Area dia	530,88 ± 320,83	4	Area dia	317,04 ± 157,43
	Peri dia	78,74 ± 22,05		Peri dia	60,82 ± 16,12
	Maj dia	25,22 ± 7,15		Maj dia	19,88 ± 5,42
	Min dia	24,91 ± 7,02		Min dia	19,04 ± 4,99
	Area sys	651,03 ± 354,63		Area sys	374,33 ± 175,38
	Peri sys	87,66 ± 22,20		Peri sys	66,17 ± 16,84
	Maj sys	28,20 ± 7,22		Maj sys	21,62 ± 5,57
	Min sys	27,72 ± 6,95		Min sys	20,82 ± 5,06
2	Area dia	589,19 ± 385,20	5	Area dia	182,93 ± 67,02
	Peri dia	81,78 ± 26,14		Peri dia	46,78 ± 8,39
	Maj dia	26,35 ± 8,42		Maj dia	15,18 ± 2,61
	Min dia	25,96 ± 8,31		Min dia	14,09 ± 2,72
	Area sys	701,26 ± 419,11		Area sys	209,50 ± 71,01
	Peri sys	90,12 ± 26,46		Peri sys	50,55 ± 8,28
	Maj sys	28,99 ± 8,50		Maj sys	16,34 ± 2,65
	Min sys	28,47 ± 8,36		Min sys	15,91 ± 2,69
3	Area dia	406,76 ± 183,80			
	Peri dia	69,67 ± 15,73			
	Maj dia	22,55 ± 5,13			
	Min dia	21,93 ± 4,86			
	Area sys	490,02 ± 207,42			
	Peri sys	76,59 ± 16,47			
	Maj sys	24,81 ± 5,51			
	Min sys	24,09 ± 5,00			

**Tabelle 3:** Mittelwert und Standardabweichung von den 5 Messpunkten. Fläche in mm<sup>2</sup> (Area), Umfang in mm (Peri), Maximaler Durchmesser in mm (Maj) und minimaler Durchmesser in mm (Min) in Diastole (dia) und Systole (sys)

Der größte end-diastolische Durchmesser des Bulbus Aortae bei allen 20 Patienten wurde auf einem Scatter-Block gegen das Alter dargestellt und eine Anpassungslinie hineingelegt. Da ein Patient eine deutliche Abweichung nach oben zeigte (Bulbusdurchmesser in der End - Diastole > 4,5 cm) wurde er überprüft und für einen weiteren Scatter-Block aus der Darstellung entfernt. Die hier durchgelegte Anpassungslinie zeigte eine deutlichere altersabhängige Steigerung des größten end-diastolischen Durchmessers des Bulbus Aortae (Abbildung 12). Der Patient mit der deutlichen Abweichung zeigte in der Überprüfung keine Messfehler.



**Abbildung 12:** Scatter-Block vom größten end-diastolischen Durchmesser aufs Alter dargestellt. Mit (oben) und ohne (unten) Ausreiser.

Der durchgeführte Test auf Binominalverteilung einer Stichprobe für die nicht gleichmäßige Verteilung von Männern und Frauen zeigte keine Signifikanz ( $p = 0,115$ ).

Auch die Verteilung der drei Aortenbogentypen mit ungleicher Wahrscheinlichkeit zeigte im Chi-Quadrat-Test einer Stichprobe keine Signifikanz ( $p = 0,157$ ).

**Übersicht über Hypothesentest**

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die durch Geschlecht = männlich und weiblich definierten Kategorien treten mit den Wahrscheinlichkeiten 0,5 und 0,5 auf.	Test auf Binomialverteilung einer Stichprobe	,115 <sup>1</sup>	Nullhypothese behalten.
2	Die Kategorien von Aortenbogentyp treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test einer Stichprobe	,157	Nullhypothese behalten.

**Abbildung 13:** Wahrscheinlichkeitsdarstellung Alter und Aortenbogentyp auf Normalverteilung

Das Alter der Patienten entspricht laut Kolmogorov-Smirnov-Test einer Normalverteilung. Ebenso end-diastolische und end-systolische Flächen, Umfänge und Durchmesser. Auch die Größenunterschiede zwischen diastolischer und systolischer Fläche, Umfang und Durchmesser entsprechen einer Normalverteilung. Die gesamten detaillierten Testergebnisse befinden sich im Anhang.

Nach dem Beweis der Normalverteilung konnten gepaarte t-Tests für alle Messpunkte durchgeführt werden. Es zeigten sich an allen 5 Messpunkten signifikante Unterschiede in Fläche, Umfang und Durchmesser zwischen Diastole und Systole ( $p < 0,001$ ). Tabelle 4 zeigt die jeweiligen durchschnittlichen Änderungen von Diastole zu Systole in der statistischen Auswertung.

**Test bei gepaarten Stichproben**

		Gepaarte Differenzen					T	df	Sig. (2- seitig)
		Mittelwert	Standardabweichung	Standardfehler des Mittelwertes	95% Konfidenzintervall der Differenz				
					Untere	Obere			
Paaren 1	Areadia1 - Areasys1	-120,14	78,9	17,64	-157,07	-83,22	-6,81	19	,000
Paaren 2	Peridia1 - Perisys1	-8,92	5,25	1,17	-11,37	-6,46	-7,60	19	,000
Paaren 3	majdia1 - majsys1	-2,98	1,70	0,38	-3,77	-2,18	-7,86	19	,000
Paaren 4	mindia1 - minsys1	-2,8	1,74	0,39	-3,61	-1,98	-7,20	19	,000
Paaren 5	Areadia2 - Areasys2	-112,07	76,85	17,18	-148,04	-76,11	-6,52	19	,000
Paaren 6	Peridia2 - Perisys2	-8,34	5,03	1,12	-10,69	-5,99	-7,42	19	,000
Paaren 7	majdia2 - majsys2	-2,64	1,63	0,37	-3,40	-1,88	-7,23	19	,000
Paaren 8	mindia2 - minsys2	-2,52	1,69	0,38	-3,31	-1,73	-6,66	19	,000
Paaren 9	Areadia3 - Areasys3	-83,25	64,29	14,38	-113,34	-53,16	-5,79	19	,000
Paaren 10	Peridia3 - Perisys3	-6,92	5,30	1,19	-9,40	-4,44	-5,84	19	,000
Paaren 11	majdia3 - majsys3	-2,27	1,67	0,37	-3,05	-1,49	-6,09	19	,000
Paaren 12	mindia3 - minsys3	-2,17	1,62	0,36	-2,92	-1,41	-5,99	19	,000
Paaren 13	Areadia4 - Areasys4	-57,29	38,43	8,59	-75,27	-39,30	-6,67	19	,000
Paaren 14	Peridia4 - Perisys4	-5,36	3,25	0,72	-6,88	-3,83	-7,37	19	,000
Paaren 15	majdia4 - majsys4	-1,74	1,09	0,24	-2,25	-1,23	-7,17	19	,000
Paaren 16	mindia4 - minsys4	-1,78	1,05	0,24	-2,27	-1,29	-7,56	19	,000
Paaren 17	Areadia5 - Areasys5	-26,58	21,00	4,69	-36,40	-16,75	-5,66	19	,000
Paaren 18	Peridia5 - Perisys5	-3,77	2,66	0,60	-5,01	-2,52	-6,33	19	,000
Paaren 19	majdia5 - majsys5	-1,16	0,77	0,17	-1,52	-0,80	-6,71	19	,000
Paaren 20	mindia5 - minsys5	-1,01	0,86	0,19	-1,41	-0,61	-5,25	19	,000

**Tabelle 4:** Statistische Auswertung der Unterschiede zwischen Systole und Diastole im Aortenbogen. Angaben in mm und auf die zweite Nachkommastelle gerundet.

Statistische Unterschiede zwischen Männern und Frauen bezüglich der Gefäßquerschnittsflächen, des Umfangs oder der Durchmesser des Aortenbogens konnten nicht belegt werden. Auch die Änderungen der Gefäße zwischen Systole und Diastole zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen dem männlichen und dem weiblichen Geschlecht. Tabelle 5 bildet die geschlechterspezifischen Unterschiede zwischen den maximalen enddiastolischen Durchmessern ab. Alle weiteren genderspezifischen Ergebnisse befinden sich im Anhang.

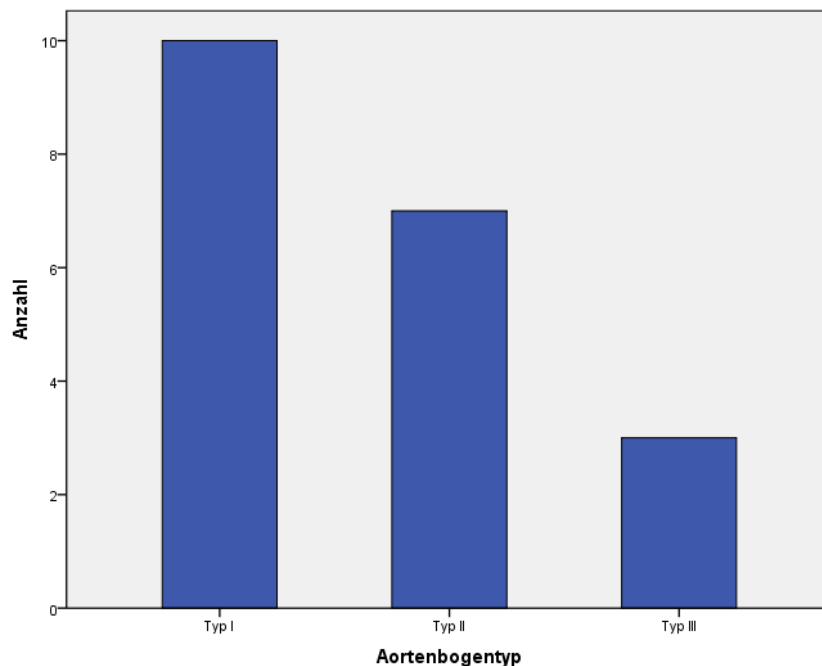
		<b>Bericht</b>				
<b>Geschlecht</b>		<b>majdia1</b>	<b>majdia2</b>	<b>majdia3</b>	<b>majdia4</b>	<b>majdia5</b>
	Mittelwert	26,51	27,39950	23,00000	19,88628	15,21707
männlich	N	14	14	14	14	14
	Standardabweichung	7,892763	9,368857	5,472072	5,237305	2,8386870
	Mittelwert	22,21100	23,90300	21,49300	19,85983	15,09183
weiblich	N	6	6	6	6	6
	Standardabweichung	4,064193	5,536058	4,518979	6,363598	2,2341002
	Mittelwert	25,21900	26,35055	22,54790	19,87835	15,17950
insg.	N	20	20	20	20	20
	Standardabweichung	7,145066	8,415737	5,134561	5,424416	2,613505

**Tabelle 5:** Statistische Auswertung des geschlechtsspezifischen Größenunterschiedes des diastolischen Durchmessers im Aortenbogen

## Aortenbogentypen

---

Bei allen 20 Patienten gab es keinen extremen Aortenbogentyp IV. 10 Patienten hatten einen Aortenbogen vom Typ I (50%), 7 vom Typ II (35%) und 3 Patienten hatten einen Aortenbogentyp III (15%).



**Abbildung 14:** Balkendiagramm über die Verteilung der Aortenbogentypen über die Studienpopulation.

Die folgenden Ergebnisse entstanden ohne Varianzhomogenität und Normalverteilung, deshalb sind signifikante Ergebnisse nur unter Vorbehalt zu sehen (siehe Methodendiskussion).

Zwischen den einzelnen 5 Messpunkten gab es bei den drei Aortenbogentypen einige signifikante Unterschiede. Bei den diastolischen Werten am Messpunkt 3 und bei den diastolischen und systolischen Werten an Messpunkt 4 gab es in der einfaktorielle ANOVA Signifikanzen. Auch der Unterschied zwischen den Herzphasen zeigte beim minimalen Durchmesser an Messpunkt 2 signifikante Unterschiede.

Die detaillierten signifikanten Ergebnisse sind in Tabelle 6 dargestellt, alle anderen befinden sich im Anhang.

### Einfaktorielle ANOVA

		Quadratsumme	df	Mittel der	F	Signifik
min2	Zwischen den Gruppen	16,920	2	8,460	3,842	,042
	Innerhalb der Gruppen	37,430	17	2,202		
	Gesamt	54,349	19			
Areadia3	Zwischen den Gruppen	228509,268	2	114254,634	4,698	,024
	Innerhalb der Gruppen	413413,249	17	24318,426		
	Gesamt	641922,517	19			
Peridia3	Zwischen den Gruppen	1708,050	2	854,025	4,852	,022
	Innerhalb der Gruppen	2992,317	17	176,019		
	Gesamt	4700,367	19			
majdia3	Zwischen den Gruppen	183,364	2	91,682	4,908	,021
	Innerhalb der Gruppen	317,546	17	18,679		
	Gesamt	500,911	19			
mindia3	Zwischen den Gruppen	155,836	2	77,918	4,518	,027
	Innerhalb der Gruppen	293,173	17	17,245		
	Gesamt	449,009	19			
Areadia4	Zwischen den Gruppen	155275,564	2	77637,782	4,182	,033
	Innerhalb der Gruppen	315613,221	17	18565,484		
	Gesamt	470888,785	19			
Peridia4	Zwischen den Gruppen	1701,968	2	850,984	4,472	,028
	Innerhalb der Gruppen	3234,949	17	190,291		
	Gesamt	4936,918	19			
majdia4	Zwischen den Gruppen	202,783	2	101,392	4,838	,022
	Innerhalb der Gruppen	356,279	17	20,958		
	Gesamt	559,062	19			
mindia4	Zwischen den Gruppen	149,073	2	74,536	3,921	,040
	Innerhalb der Gruppen	323,201	17	19,012		
	Gesamt	472,274	19			
Areasys4	Zwischen den Gruppen	195719,819	2	97859,909	4,280	,031
	Innerhalb der Gruppen	388703,318	17	22864,901		
	Gesamt	584423,137	19			
Perisys4	Zwischen den Gruppen	1811,335	2	905,668	4,302	,031
	Innerhalb der Gruppen	3579,030	17	210,531		
	Gesamt	5390,365	19			
majsys4	Zwischen den Gruppen	205,505	2	102,752	4,546	,026
	Innerhalb der Gruppen	384,264	17	22,604		
	Gesamt	589,769	19			
minsys4	Zwischen den Gruppen	155,629	2	77,815	4,004	,038
	Innerhalb der Gruppen	330,374	17	19,434		
	Gesamt	486,003	19			

**Tabelle 6:** Einfaktorielle ANOVA für Aortenbogentypen (nur signifikante Ergebnisse)

Die gepaarten t-Tests mit Bonferroni-Korrektur zur detaillierten Überprüfung zwischen den drei Aortenbogentypen ergaben für den Unterschied zwischen Diastole und Systole im kleinsten Durchmesser an Messpunkt 2 eine Signifikanz ( $p = 0,045$ ) zwischen dem Aortenbogen Typ I und Typ III.

Die diastolischen Werte für Fläche, Umfang und maximaler und minimaler Durchmesser an Messpunkt 3 unterschieden sich signifikant zwischen Aortenbogentyp I und II (Fl.:  $p = 0,032$ ; Umf.:  $p = 0,028$ ; min. D.:  $p = 0,029$ ; max. D.:  $p = 0,034$ ).

### Mehrfachvergleiche

#### Bonferroni

Abhängige Variable	(I) Aorten- bogentyp	(J) Aorten- bogentyp	Mittlere Differenz (I-J)	Standardfehler	Signifikanz	95%-Konfidenzintervall	
						Untergrenze	Obergrenze
min2	Typ I	Typ II	-1,0208286	,7312370	,542	-2,962260	,920602
		Typ III	-2,6457333 <sup>*</sup>	,9767733	<b>,045</b>	-5,239062	-,052405
	Typ II	Typ I	1,0208286	,7312370	,542	-,920602	2,962260
		Typ III	-1,6249048	1,0239366	,393	-4,343452	1,093642
	Typ III	Typ I	2,6457333 <sup>*</sup>	,9767733	<b>,045</b>	,052405	5,239062
		Typ II	1,6249048	1,0239366	,393	-1,093642	4,343452
Areadia3	Typ I	Typ II	220,1800571 <sup>*</sup>	76,8498768	<b>,032</b>	16,143974	424,216140
		Typ III	197,0998667	102,6546871	,215	-75,447874	469,647607
	Typ II	Typ I	-220,1800571 <sup>*</sup>	76,8498768	<b>,032</b>	-424,216140	-16,143974
		Typ III	-23,0801905	107,6113519	1,000	-308,787854	262,627473
	Typ III	Typ I	-197,0998667	102,6546871	,215	-469,647607	75,447874
		Typ II	23,0801905	107,6113519	1,000	-262,627473	308,787854
Peridia3	Typ I	Typ II	19,1300571 <sup>*</sup>	6,5381483	<b>,028</b>	1,771302	36,488812
		Typ III	16,7588667	8,7335412	,216	-6,428647	39,946380
	Typ II	Typ I	-19,1300571 <sup>*</sup>	6,5381483	<b>,028</b>	-36,488812	-1,771302
		Typ III	-2,3711905	9,1552388	1,000	-26,678309	21,935928
	Typ III	Typ I	-16,7588667	8,7335412	,216	-39,946380	6,428647
		Typ II	2,3711905	9,1552388	1,000	-21,935928	26,678309
majdia3	Typ I	Typ II	6,1935571 <sup>*</sup>	2,1298771	<b>,029</b>	,538743	11,848371
		Typ III	5,7070333	2,8450517	,183	-1,846566	13,260633
	Typ II	Typ I	-6,1935571 <sup>*</sup>	2,1298771	<b>,029</b>	-11,848371	-,538743
		Typ III	-,4865238	2,9824245	1,000	-8,404848	7,431800
	Typ III	Typ I	-5,7070333	2,8450517	,183	-13,260633	1,846566
		Typ II	,4865238	2,9824245	1,000	-7,431800	8,404848
mindia3	Typ I	Typ II	5,8138286 <sup>*</sup>	2,0465055	<b>,034</b>	,380365	11,247292
		Typ III	4,9497333	2,7336854	,264	-2,308189	12,207656
	Typ II	Typ I	-5,8138286 <sup>*</sup>	2,0465055	<b>,034</b>	-11,247292	-,380365
		Typ III	-,8640952	2,8656809	1,000	-8,472465	6,744275
	Typ III	Typ I	-4,9497333	2,7336854	,264	-12,207656	2,308189
		Typ II	,8640952	2,8656809	1,000	-6,744275	8,472465
Areadia4	Typ I	Typ II	164,6125714	67,1473030	,076	-13,663222	342,888364
		Typ III	198,6886667	89,6941631	,122	-39,448940	436,826274

	Typ II	Typ I	-164,6125714	67,1473030	,076	-342,888364	13,663222
		Typ III	34,0760952	94,0250312	1,000	-215,559947	283,712138
	Typ III	Typ I	-198,6886667	89,6941631	,122	-436,826274	39,448940
		Typ II	-34,0760952	94,0250312	1,000	-283,712138	215,559947
Peridia4	Typ I	Typ II	17,0957714	6,7980555	,067	-,953036	35,144579
		Typ III	21,0215333	9,0807206	,100	-3,087740	45,130807
	Typ II	Typ I	-17,0957714	6,7980555	,067	-35,144579	,953036
		Typ III	3,9257619	9,5191818	1,000	-21,347624	29,199147
	Typ III	Typ I	-21,0215333	9,0807206	,100	-45,130807	3,087740
		Typ II	-3,9257619	9,5191818	1,000	-29,199147	21,347624
majdia4	Typ I	Typ II	5,8547429	2,2560352	,057	-,135021	11,844506
		Typ III	7,3272667	3,0135714	,079	-,673752	15,328285
	Typ II	Typ I	-5,8547429	2,2560352	,057	-11,844506	,135021
		Typ III	1,4725238	3,1590812	1,000	-6,914823	9,859870
	Typ III	Typ I	-7,3272667	3,0135714	,079	-15,328285	,673752
		Typ II	-1,4725238	3,1590812	1,000	-9,859870	6,914823
mindia4	Typ I	Typ II	5,1442714	2,1487561	,085	-,560667	10,849209
		Typ III	6,0840333	2,8702699	,147	-1,536520	13,704587
	Typ II	Typ I	-5,1442714	2,1487561	,085	-10,849209	,560667
		Typ III	,9397619	3,0088604	1,000	-7,048749	8,928273
	Typ III	Typ I	-6,0840333	2,8702699	,147	-13,704587	1,536520
		Typ II	-,9397619	3,0088604	1,000	-8,928273	7,048749
Areasys4	Typ I	Typ II	190,2548000	74,5178136	,062	-7,589666	388,099266
		Typ III	213,6304667	99,5395590	,140	-50,646623	477,907556
	Typ II	Typ I	-190,2548000	74,5178136	,062	-388,099266	7,589666
		Typ III	23,3756667	104,3458103	1,000	-253,661999	300,413332
	Typ III	Typ I	-213,6304667	99,5395590	,140	-477,907556	50,646623
		Typ II	-23,3756667	104,3458103	1,000	-300,413332	253,661999
Perisys4	Typ I	Typ II	18,2701000	7,1504544	,061	-,714325	37,254525
		Typ III	20,6121000	9,5514488	,137	-4,746954	45,971154
	Typ II	Typ I	-18,2701000	7,1504544	,061	-37,254525	,714325
		Typ III	2,3420000	10,0126389	1,000	-24,241512	28,925512
	Typ III	Typ I	-20,6121000	9,5514488	,137	-45,971154	4,746954
		Typ II	-2,3420000	10,0126389	1,000	-28,925512	24,241512
majsys4	Typ I	Typ II	6,2316286*	2,3429655	.050	,011066	12,452192
		Typ III	6,7948667	3,1296913	,133	-1,514450	15,104183
	Typ II	Typ I	-6,2316286*	2,3429655	.050	-12,452192	-,011066
		Typ III	,5632381	3,2808079	1,000	-8,147292	9,273769
	Typ III	Typ I	-6,7948667	3,1296913	,133	-15,104183	1,514450
		Typ II	-,5632381	3,2808079	1,000	-9,273769	8,147292
minsys4	Typ I	Typ II	5,3037143	2,1724695	,078	-,464183	11,071611
		Typ III	6,1346667	2,9019458	,149	-1,569987	13,839320
	Typ II	Typ I	-5,3037143	2,1724695	,078	-11,071611	,464183
		Typ III	,8309524	3,0420658	1,000	-7,245719	8,907624
	Typ III	Typ I	-6,1346667	2,9019458	,149	-13,839320	1,569987
		Typ II	-,8309524	3,0420658	1,000	-8,907624	7,245719

\*. Die Differenz der Mittelwerte ist auf dem Niveau 0.05 signifikant.

**Tabelle 7:** Bonferroni-Korrektur für die signifikanten Ergebnisse aus der ANOVA, signifikante Ergebnisse sind blau hinterlegt.

## Diskussion

---

Die Aorta besitzt eine komplexe Gefäßstruktur mit vielen Funktionen. Während im thorakalen Teil die Windkesselfunktion für die elastische Dehnung in der Systole und den Blutfluss in der Diastole maßgeblich ist, sorgt der distale Teil der Aorta (abdominalis) für die Weiterleitung des Blutes (Hager et al., 2002; Zervos-Kopp, 2013). Bei Patienten welche einen Eingriff aufgrund einer Aortenisthmusstenose hatten sind die normalen anatomischen Gegebenheiten im thorakalen Bereich der Aorta verändert. Im Folgenden sollen die Ergebnisse der CINE-MRT-Untersuchungen bei Patienten welche einen Eingriff aufgrund einer Aortenisthmusstenose hatten im Bezug auf ihre anatomischen Verhältnisse als auch auf die unterschiedlichen Dehnungen in Diastole und Systole diskutiert werden.

## Methodendiskussion

---

Die Studie weist einige Limitationen auf. Die Studienpopulation ist relativ klein, wodurch die Gruppen der verschiedenen Aortenbogentypen zu klein sind, um signifikanzbestimmende Untersuchungen auf interindividuelle Gruppenunterschiede durchzuführen. Es wurde dennoch die ANOVA durchgeführt, um ggf. eine Tendenz zu erkennen.

Des Weiteren wurde die Studie retrospektiv durchgeführt, dadurch konnten einige erst jetzt interessante Parameter nicht erhoben werden. Beispielsweise haben auch Körpergröße, Gewicht, Blutdruck, BSA (Body Surface Area) einen Einfluss auf die Maße des Aortenbogens und wären interessant gewesen (Vasan, Larson, Benjamin, & Levy, 1995).

Schlussendlich ist die vorbestehende Studienlage in Bezug auf die Durchmesserunterschiede zwischen Systole und Diastole, welche gefunden wurden, sehr dünn. Rengier et al. führte 2012 eine erste Studie mit gesunden Probanden durch und verglich sie retrospektiv mit einigen kleinen anderen Studien (10 Patienten) von aortenbogenverändernden Erkrankungen (Rengier et al., 2012). Leider lagen seine und die hier verwendeten Messpunkte nicht bei allen Punkten exakt aufeinander.

Da die Voxelgröße mit durchschnittlich 18 mm<sup>3</sup> beim CINE-MRT recht groß ist, gehen womöglich kleinste Unterschiede bei der Aortenbogenvermessung verloren.

### Aortenbogendurchmesser

In einer Studie von Hager et al. waren die Maße für die Aortenbogendurchmesser an fast exakt den gleichen Messpunkten wie in der hier beschriebenen Studie mit Hilfe eines HCT gemessen worden (Hager et al., 2002). Da er keine Angabe zum Zeitpunkt seiner Messung (Diastole oder Systole) angibt, wurden sie mit den enddiastolischen maximalen Durchmesserwerten verglichen, weil die Diastole im Herzzyklus länger dauert. Messpunkt 1 könnte nicht verglichen werden, weil sich dieser zwischen den Studien unterschied.

Im Vergleich der Werte zeigt sich folgendes (Hager et al. vs. unsere Ergebnisse in Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung in mm):

Messpunkt 2:	29,8 $\pm$ 4,0	vs. 26,4 $\pm$ 8,4
Messpunkt 3:	29,4 $\pm$ 4,2	vs. 22,5 $\pm$ 5,1
Messpunkt 4:	27,7 $\pm$ 3,7	vs. 19,9 $\pm$ 5,4
Messpunkt 5:	24 $\pm$ 3,5	vs. 16,3 $\pm$ 2,6

Je weiter distal der Messpunkt im Aortenbogen liegt, desto kleiner sind die untersuchten Patienten im Vergleich zur gesunden Population von Hager et al. in ihren Aortenbogendurchmessern.

Der generell kleinere Durchmesser der Werte im Vergleich zu Hagers et al. Werten könnte dadurch erklärt werden, dass dort möglicherweise einige systolische Messwerte verwendet wurden. Darüber hinaus war seine Studienpopulation wesentlich älter (50,2  $\pm$  16,5 vs. 23,30  $\pm$  6,6 in Jahren). Ausgehend von der Studienlage, dass der Aortenbogen mit zunehmendem Alter seinen Durchmesser erhöht, erklären sich die Durchmesserunterschiede über alle 4 hier verglichenen Messpunkte (Hager et al., 2002; Kaplan et al., 2007; Simon E. Meyer, 1958; Vasan et al., 1995).

In der gleichen Studie (Hager et al., 2002) wurden deshalb noch die durchschnittlichen Veränderungen des Durchmessers pro Jahr in cm angegeben (Tabelle 8).

Aortic level	Slope (cm/y)	Intercept (cm)	r	r <sup>2</sup>	P value
Aortic valve sinus	0.0124	2.36	0.443	0.196	<.001
Ascending aorta (maximum)	0.0153	2.32	0.612	0.375	<.001
Proximal to innominate artery	0.0136	2.26	0.536	0.287	<.001
Proximal transverse arch	0.0117	2.19	0.524	0.274	<.001
Distal transverse arch	0.0118	2.02	0.474	0.224	<.001
Aortic isthmus	0.0078	2.08	0.327	0.106	.006
Diaphragm	0.0124	1.80	0.590	0.348	<.001

**Tabelle 8:** Durchschnittliche Veränderung der Aorta in cm pro Jahr (Slope) an 7 Messpunkten (Hager et al., 2002).

Bereinigt um den Altersunterschied (auf den Mittelwert) ergeben sich folgende Werte: (Hager et al. vs. unsere Ergebnisse in Mittelwert in mm):

Messpunkt 2:	25,7	vs.	26,4
Messpunkt 3:	25,7	vs.	22,5
Messpunkt 4:	24,6	vs.	19,9
Messpunkt 5:	20,7	vs.	16,3

Der Durchmesserunterschied ist nach der Alterskorrektur wesentlich kleiner. Die übrig bleibenden Differenzen sind am ehesten durch die unterschiedlichen Messmethoden (HCT vs. CINE-MRT) zu erklären. Schon in einer weiteren Studie von Hager et al. wurde darauf hingewiesen, dass die Aortenbogendurchmesser bei CoA Patienten im HCT kleiner sind als im MRT (Hager et al., 2004).

Die Progression der Differenz zwischen Messpunkt 2-5 lässt sich damit allerdings nicht erklären.

Aufgrund dieser Problematik wurden zwei weitere Studien herangezogen. Für Messpunkt 1 wurde auf eine Publikation von Burman et al. zurückgegriffen (Burman, Keegan, & Kilner, 2008). Er untersuchte den Unterschied zwischen Systole und Diastole an der Aortenwurzel bei gesunden Probanden mit Hilfe einer CINE-MRT-Untersuchung. Messpunkt 1 ist bei ihm als „Sinotubular junction dimension“ betitelt. Da er in zwei verschiedenen Schnittebenen die Messungen durchführte (coronal LVOT plane vs. sagittal LVOT plane) und sich die Werte minimal voneinander unterschieden, wurde der größte diastolische Durchmesser mit seinem größeren diastolischen Durchmesser verglichen. Bezüglich der Altersaufschlüsselung wurde seine Altersgruppe 20-29 Jahre als Referenz genommen, da sie dem Altersdurchschnitt dieser Studie ( $23,30 \pm 6,6$  in Jahren)

am nächsten liegt. Die Messergebnisse für Messpunkt 1 in Männer und Frauen aufgeteilt (Burman et al. vs. unsere Ergebnisse in Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung in mm) sind:

Männer: 23,7  $\pm$  3,5 vs. 26,5  $\pm$  7,9;  
Frauen: 21,5  $\pm$  2,7 vs. 22,2  $\pm$  4,1.

Die zweite Studie auf die sich bezogen wurde, ist von Rengier et al. (Rengier et al., 2012). Sie untersuchte unter anderem die Dehnung des Aortenbogens zwischen Systole und Diastole in einer gesunden Population mit Hilfe eines CINE-MRT. Lediglich 2 Messpunkte stimmen exakt mit der in dieser Arbeit beschriebenen Studie überein. Messpunkt A1 wird bei uns in der Studie als Messpunkt 2 betitelt und Messpunkt A5 beschreibt Messpunkt 5. Die Durchmesser sind jeweils in maximalen diastolischen Durchmessern angegeben.

In der Studie werden die Probanden nach Alter (unter und über 50 Jahre) unterteilt, sodass die Gruppe der unter 50jährigen zum Vergleich herangezogen wurde (39  $\pm$  9 Jahre). Folgende Werte ergaben sich (Rengier et al. vs. unsere Ergebnisse in Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung in mm):

Messpunkt 2: 27,2  $\pm$  3,1 vs. 26,4  $\pm$  8,4  
Messpunkt 5: 17,4  $\pm$  2,1 vs. 15,2  $\pm$  2,6.

Ausgehend davon, dass die zunehmende Dehnung des Aortenbogens im Alter untersuchungsmethodenunabhängig (CT oder MRT) ist, werden die oben beschriebenen alterskorrigierenden Faktoren der CT-Studie unter Vorbehalt auch hier eingesetzt. Daraus ergeben sich folgende Werte (Rengier et al. vs. unsere Ergebnisse in Mittelwert in mm):

Messpunkt 2: 24,7 vs. 26,4  
Messpunkt 5: 15,4 vs. 15,2

## Dehnungsverhalten

Die Studie zeigt signifikante Unterschiede in den Durchmessern der thorakalen Aorta zwischen Systole und Diastole bei Patienten mit Z.n. Aortenisthmusstenose, mit Durchmesseränderungen bis zu 35% (5,9mm) des thorakalen Durchmessers. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen bereits vorher durchgeführte Studien bei gesunden Populationen und jenen mit angeborenen Herzfehlern, obwohl diese wesentlich ältere Studienpopulationen hatten (Hussain et al., 2012; Rengier et al., 2012).

	Gesunde Probanden (Rengier et al., 2012)		CoA- Patienten	
	AAo	DAo	AAo	DAo
Alter (Mittelw. $\pm$ SD)	50,2 $\pm$ 16,5		23,30 $\pm$ 6,6	
Messort	AAo	DAo	AAo	DAo
Mittelw. $\pm$ SD in mm	2,9 $\pm$ 1,1	1,9 $\pm$ 0,7	2,6 $\pm$ 1,6	1,2 $\pm$ 0,77
Median in mm	2,5	1,9	2,3	1,3
25-75 percentile in mm	2,2 - 3,6	1,5 - 2,4	1,7 - 4,4	0,4 - 1,6
Range in mm	1,2 - 6,9	0,8 - 4,1	- 0,2 - 5,2	0 - 2,7
Mittelw. $\pm$ SD in %	10,9 $\pm$ 4,6	11,6 $\pm$ 5,0	11,0 $\pm$ 8,1	7,9 $\pm$ 5,6
Median in %	10,0	11,5	11,0	8,6
25-75 percentile in %	7,6 - 12,9	8,2 - 13,7	5,1 - 14,6	2,9 - 11,5
Range in %	4,0 - 27,4	3,8 - 27,5	- 0,95 - 29,30	0 - 22,17

**Tabelle 9:** Angabe der Dehnungswerte zwischen Systole und Diastole von Rengier et al. vs. eigene Werte in % und mm. AAo= Aorta ascendens; DAo= Aorta Descendens

Die bisherige Studienlage zeigt, dass die Aorta und ihre thorakalen Anteile bei Aortenisthmusstenosepatienten vergleichsweise schnell an Elastizität im Alter verlieren und schon in einer Studie von Lombardi et al. konnte gezeigt werden, dass bereits sehr junge Patienten (Durchschnittlich 9 Jahre) mit Aortenisthmusstenose abnormal geringe Elastizitäten der Aorta ascendens aufwiesen (Devos et al., 2014; Lombardi, Northrup, McNamara, Sugeng, & Weismann, 2013). Erklärt wird die frühere Steifheit der Aorta bei Aortenisthmusstenosepatienten mit einer zystischen Mediannekrose, in deren Folge es zu Fibrose der elastischen Fasern und zu frühen Fragmentationen kommt (Isner et al., 1987; Niwa et al., 2001).

In Anbetracht des Altersunterschiedes zwischen der vorliegenden Studienpopulation und der Vergleichspopulation ist am ehesten davon auszugehen, dass die Wandelastizität bei diesen, für das Alter vergleichsweise geringen Wandveränderungen, eingeschränkt ist. Im Gegensatz zur gesunden Population von Rengier et al. nimmt die Durchmesseränderung bei Patienten mit Aortenisthmusstenose nach distal ab (Rengier et al., 2012).

## Genderspezifikation

---

Die Frauen hatten im Durchschnitt an allen Messpunkten kleinere Durchmesser des Aortenbogens auch wenn sich statistisch keine signifikanten Unterschiede belegen ließen. Dieser Unterschied zwischen den Geschlechtern konnte schon in früheren Studien gezeigt werden (Hager et al., 2002; Rengier et al., 2012). Wegen der kleinen Patientenpopulation wurde auf eine weiterführende genderspezifische Aufschlüsselung der Untersuchungsergebnisse verzichtet

## Altersspezifikation

---

In früheren Studien konnte gezeigt werden, dass der Durchmesser des Aortenbogens mit zunehmendem Alter größer wird (Hager et al., 2002; Kaplan et al., 2007; Vasan et al., 1995). Auch in der jetzigen Studie zeigte sich ein zunehmender Durchmesser der Aorta je älter die Patienten sind. Allerdings musste aufgrund der sehr kleinen Studienpopulation ein junger Patient (20 Jahre) mit einem sehr großen Aortenbulbusdurchmesser ( $>4,5\text{cm}$ ) aus der Darstellung herausgenommen werden. Auf eine genaue Analyse wurde aufgrund der kleinen Patientenpopulation und der geringen Altersspanne verzichtet.

Die Häufigkeitsverteilung der verschiedenen Aortenbogentypen ist in einer Veröffentlichung von Burzotta et al. 2013 mit 66% Typ I, 23 % Typ II und 11 % Typ III angegeben worden (Burzotta, 2013). Bei unserer Patientenpopulation war der Typ I mit 50 %, der Typ II mit 35% und der Typ III mit 15 % vorhanden. Typ III tritt in beiden Untersuchungen mit fast der gleichen Häufigkeit auf, während der Typ II bei Patienten mit Aortenisthmusstenose in dieser Studie häufiger vorkommt und Typ I seltener auftritt. Eine Erklärung für diesen Unterschied könnte der oben beschriebene geringere Aortenbogendurchmesser proximal der A. Carotis communis sinistra sein (im Vergleich zu gesunden Probanden), welcher maßgeblich die Klassifikation des Aortenbogens nach dem gewählten Schema beeinflussen kann.

Signifikante Unterschiede<sup>1</sup> zwischen den Aortenbogentypen traten an Messpunkt 2 bei der Änderung zwischen Systole und Diastole des kleinsten Durchmessers bei Typ I und III auf ( $p=0,045$ ). Eine Erklärung konnte dafür nicht gefunden werden, da sich auch bei Fläche, Umfang und größerem Durchmesser keine signifikanten Unterschiede zeigten. Bei Messpunkt 3 waren die 4 diastolischen Messparameter (Fläche, Umfang, max. und min. Durchmesser) zwischen Typ I und II signifikant<sup>1</sup> unterschiedlich ( $p= 0,032$ ;  $p= 0,028$ ,  $p= 0,029$ ;  $p= 0,034$ ). Die Werte beim Typ I waren signifikant<sup>1</sup> größer. An Messpunkt 4 war der größte systolische Durchmesser beim Typ I signifikant<sup>1</sup> größer als bei Typ II ( $p=0,05$ ). Insgesamt sind diese Werte aufgrund der sehr geringen Untersuchungspopulation und der teilweise sehr kleinen Untergruppenpopulationen (Typ III Aortenbögen traten nur bei 3 Patienten auf) gar nicht aussagekräftig (siehe Methodendiskussion). Es bietet sich an mit einer größeren Versuchspopulation hier eine Folgestudie durchzuführen, um unter Varianzhomogenität und Normalverteilung aussagekräftigere Ergebnisse zu erlangen.

---

<sup>1</sup> Unter Varianzhomogenitäts- und Normalverteilungsvorbehalt

In der Gesamtübersicht der Messpunkte der Studie und ihre Vergleichswerte in Studien mit gesunden Probanden ergibt sich schlussendlich folgendes Bild:

Bei Patienten welche einen Eingriff aufgrund einer Aortenisthmusstenose hatten ist davon auszugehen, dass die Aortenwurzel im Durchschnitt einen größeren Durchmesser hat als bei gesunden Probanden. Gleiches trifft auf die Aorta ascendens zu. Der Aortendurchmesser proximal des Truncus brachiocephalicus scheint eher gleich denen der gesunden Probanden zu sein. Der Durchmesser proximal der A. carotis communis sinistra ist im Durchschnitt kleiner als bei der gesunden Vergleichspopulation. Die Aorta descendens ist in unserer Untersuchung im Vergleich zu Publikationen mit gesunden Probanden am ehesten gleich. Es liegt nahe, dass diese Ergebnisse im Zusammenhang mit dem vermehrten Auftreten von Aortenaneurysmata und den hypoplastischen Aortenbögen bei einigen Aortenisthmusstenosepatienten stehen (Pedersen et al., 2011; Ulmer, 2012).

Die Durchmesseränderungen zwischen Systole und Diastole sind bei Patienten welche eine Aortenisthmusstenose hatten ebenfalls verringert.

Es zeigt sich, dass bei Patienten zwar die Lumeneinengung am Isthmus therapiert werden kann, die generalisierte Arteriopathie (hier im Aortenbogen) aber bestehen bleibt.

Der interindividuelle Vergleich der Aortenbogentypen lässt aufgrund der zu geringen Studienpopulation keine Schlussfolgerung zu.

## Literaturverzeichnis

---

- Attenberger Ulrike I., R., Val M., Schönberg, Stefan O. (2011). *Essentials der klinischen MRT*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Baumgartner, H., Bonhoeffer, P., De Groot, N. M., de Haan, F., Deanfield, J. E., Galie, N., . . . Guidelines, E. S. C. C. f. P. (2010). ESC Guidelines for the management of grown-up congenital heart disease (new version 2010). *Eur Heart J*, 31(23), 2915-2957. doi: 10.1093/eurheartj/ehq249
- Becker, A. E., Becker, M. J., & Edwards, J. E. (1970). Anomalies associated with coarctation of aorta: particular reference to infancy. *Circulation*, 41(6), 1067-1075.
- Bieber, C., Baenkler, Hanns-Wolf, Arastéh, Keikawus, Brandt, Roland, Chatterjee, Tushar. (2012). *Duale Reihe Innere Medizin* (3. Auflage ed.): Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Bocelli, A., Favilli, S., Pollini, I., Bini, R. M., Ballo, P., Chiappa, E., & Zuppiroli, A. (2013). Prevalence and long-term predictors of left ventricular hypertrophy, late hypertension, and hypertensive response to exercise after successful aortic coarctation repair. *Pediatr Cardiol*, 34(3), 620-629. doi: 10.1007/s00246-012-0508-0
- Brickner, M. E., Hillis, L. D., & Lange, R. A. (2000). Congenital heart disease in adults. First of two parts. *N Engl J Med*, 342(4), 256-263. doi: 10.1056/NEJM200001273420407
- Burman, E. D., Keegan, J., & Kilner, P. J. (2008). Aortic root measurement by cardiovascular magnetic resonance: specification of planes and lines of measurement and corresponding normal values. *Circ Cardiovasc Imaging*, 1(2), 104-113. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.108.768911
- Burzotta, F., Nerla R, Pirozzolo G, Di Noi P, Saffioti S, Coluccia V, Mongiardo R, Trani C. (2013). IMPACT OF AORTIC ARCH VARIANTS ON PROCEDURAL TIMES IN PATIENTS UNDEGOING CAROTID STENTING. 34° Congresso Nazionale Società Italiana Cardiologia Invasiva.: Università Cattolica del Sacro Cuore, Istituto di Cardiologia, Roma, Italia.
- Campbell, M. (1970). Natural history of coarctation of the aorta. *Br Heart J*, 32(5), 633-640.
- Chessa, M., Dua, J. S., & Carminati, M. (2009). Long-term outcome after balloon angioplasty of coarctation of the aorta in adolescents and adults: is

- aneurysm formation an issue? *Catheter Cardiovasc Interv*, 74(3), 529. doi: 10.1002/ccd.22131
- Christos D. Liapis, M., Efthimios D. Avgerinos, MD, Achilles Chatziioannou, MD. (2009). The Aortic Arch: Markers, Imaging, and Procedure Planning for Carotid Intervention. *VascularDiseaseManagement*, 6(1).
- Cohen, M., Fuster, V., Steele, P. M., Driscoll, D., & McGoon, D. C. (1989). Coarctation of the aorta. Long-term follow-up and prediction of outcome after surgical correction. *Circulation*, 80(4), 840-845.
- Devos, D. G., Rietzschel, E., Heyse, C., Vandemaele, P., Van Bortel, L., Babin, D., . . . Achten, R. (2014). MR pulse wave velocity increases with age faster in the thoracic aorta than in the abdominal aorta. *J Magn Reson Imaging*. doi: 10.1002/jmri.24592
- E A C T S      C o n g e n i t a l      D a t a b a s e .      ( 2 0 . 0 4 . 2 0 1 4 ) .  
[http://www.eactscongenitaldb.org/db/public-reports.py?  
fnc=r42&dbname=database](http://www.eactscongenitaldb.org/db/public-reports.py?fnc=r42&dbname=database)
- Faro, R. S., Weinberg, M., Monson, D. O., & Najafi, H. (1981). Coarctation of the aorta: four unusual instances. *Ann Thorac Surg*, 31(3), 251-254.
- Ferguson, E. C., Krishnamurthy, R., & Oldham, S. A. (2007). Classic imaging signs of congenital cardiovascular abnormalities. *Radiographics*, 27(5), 1323-1334. doi: 10.1148/rg.275065148
- Gerhard, A., Gabriela Aust, Anreas Doll, Jürgen Engele, Joachim Kirsch, Siegfried Mense, Dieter Reißig, Jürgen Salvetter, Wolfgang Schmidt, Frank Schmitz, Erik Schulte, Katharina Spanel-Borowksi, Werner Wolff, Laurenz J. Wurzinger, & Zilch, H.-G. (2007). *Duale Reihe Anatomie* Stuttgart: Georg Thieme Verlag.
- Gortner, L., Meyer, Sascha, Sitzmann, Friedrich Carl. (2012). *Duale Reihe Pädiatrie* (4. Auflage ed.): Stuttgart: Thieme.
- Haas, N. A., P. Ewert, A. Hage, C. Schlensak. (2010/2011). 9 Leitlinie Pädiatrische Kardiologie: Aortenisthmusstenose. *Deutsche Gesellschaft für Pädiatrische Kardiologie*.
- Hager, A., Kaemmerer, H., Leppert, A., Prokop, M., Blucher, S., Stern, H., & Hess, J. (2004). Follow-up of adults with coarctation of the aorta: comparison of helical CT and MRI, and impact on assessing diameter changes. *Chest*, 126(4), 1169-1176. doi: 10.1378/chest.126.4.1169

- Hager, A., Kaemmerer, H., Rapp-Bernhardt, U., Blucher, S., Rapp, K., Bernhardt, T. M., . . . Hess, J. (2002). Diameters of the thoracic aorta throughout life as measured with helical computed tomography. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 123(6), 1060-1066.
- Hamdan, M. A. (2006). Coarctation of the Aorta: A Comprehensive Review. *J Arab Neonatal Forum*(3), 5-13.
- Herold, G. (2013). *Innere Medizin*: Köln.
- Heymann, M. A., Berman, W., Jr., Rudolph, A. M., & Whitman, V. (1979). Dilatation of the ductus arteriosus by prostaglandin E1 in aortic arch abnormalities. *Circulation*, 59(1), 169-173.
- Ho, V. B., Bakalov, V. K., Cooley, M., Van, P. L., Hood, M. N., Burklow, T. R., & Bondy, C. A. (2004). Major vascular anomalies in Turner syndrome: prevalence and magnetic resonance angiographic features. *Circulation*, 110(12), 1694-1700. doi: 10.1161/01.CIR.0000142290.35842.B0
- Huhmann, W., Kunitsch, G., & Dalichau, H. (1976). [Coarctation of the aorta on the plain chest x-ray (author's transl)]. *Dtsch Med Wochenschr*, 101(41), 1477-1481. doi: 10.1055/s-0028-1104294
- Hussain, T., Lossnitzer, D., Bellsham-Revell, H., Valverde, I., Beerbaum, P., Razavi, R., . . . Greil, G. F. (2012). Three-dimensional dual-phase whole-heart MR imaging: clinical implications for congenital heart disease. *Radiology*, 263(2), 547-554. doi: 10.1148/radiol.12111700
- Isner, J. M., Donaldson, R. F., Fulton, D., Bhan, I., Payne, D. D., & Cleveland, R. J. (1987). Cystic medial necrosis in coarctation of the aorta: a potential factor contributing to adverse consequences observed after percutaneous balloon angioplasty of coarctation sites. *Circulation*, 75(4), 689-695.
- James, A. D., David A. Zvara. (2008). *Anesthesia for Cardiac Surgery* (Third ed.): New York: John Wiley & Sons.
- Kaplan, S., Aronow, W. S., Lai, H., DeLuca, A. J., Weiss, M. B., Dilmanian, H., . . . Belkin, R. N. (2007). Prevalence of an increased ascending and descending thoracic aorta diameter diagnosed by multislice cardiac computed tomography in men versus women and in persons aged 23 to 50 years, 51 to 65 years, 66 to 80 years, and 81 to 88 years. *Am J Cardiol*, 100(10), 1598-1599. doi: 10.1016/j.amjcard.2007.06.059
- Kim, H. K., Gottliebson, W., Hor, K., Backeljauw, P., Gutmark-Little, I., Salisbury, S. R., . . . Fleck, R. (2011). Cardiovascular anomalies in Turner syndrome:

- spectrum, prevalence, and cardiac MRI findings in a pediatric and young adult population. *AJR Am J Roentgenol*, 196(2), 454-460. doi: 10.2214/AJR.10.4973
- Lin, S. C., Trocciola, S. M., Rhee, J., Dayal, R., Chaer, R., Morrissey, N. J., . . . Faries, P. L. (2005). Analysis of anatomic factors and age in patients undergoing carotid angioplasty and stenting. *Ann Vasc Surg*, 19(6), 798-804. doi: 10.1007/s10016-005-8045-4
- Lindinger, A., Schwedler, G., & Hense, H. W. (2010). Prevalence of congenital heart defects in newborns in Germany: Results of the first registration year of the PAN Study (July 2006 to June 2007). *Klin Padiatr*, 222(5), 321-326. doi: 10.1055/s-0030-1254155
- Lombardi, K. C., Northrup, V., McNamara, R. L., Sugeng, L., & Weismann, C. G. (2013). Aortic stiffness and left ventricular diastolic function in children following early repair of aortic coarctation. *Am J Cardiol*, 112(11), 1828-1833. doi: 10.1016/j.amjcard.2013.07.052
- Madhwal, S., Rajagopal, V., Bhatt, D. L., Bajzer, C. T., Whitlow, P., & Kapadia, S. R. (2008). Predictors of difficult carotid stenting as determined by aortic arch angiography. *J Invasive Cardiol*, 20(5), 200-204.
- Matthews, E. K., & Quilliam, J. P. (1964). Rib Notching. *Br Med J*, 2(5418), 1152.
- Niwa, K., Perloff, J. K., Bhuta, S. M., Laks, H., Drinkwater, D. C., Child, J. S., & Miner, P. D. (2001). Structural abnormalities of great arterial walls in congenital heart disease: light and electron microscopic analyses. *Circulation*, 103(3), 393-400.
- Obata, S., Mukai, S., Morimoto, H., Hiraoka, T., Uchida, H., & Yamane, Y. (2013). Successful Ascending Aorta-Abdominal Aorta Bypass Graft through the Left Thoracic Cavity in a Patient with Atypical Coarctation. *Ann Vasc Dis*, 6(3), 670-673. doi: 10.3400/avd.cr.13-00039
- Pedersen, T. A., Munk, K., Andersen, N. H., Lundorf, E., Pedersen, E. B., Hjortdal, V. E., & Emmertsen, K. (2011). High long-term morbidity in repaired aortic coarctation: weak association with residual arch obstruction. *Congenit Heart Dis*, 6(6), 573-582. doi: 10.1111/j.1747-0803.2011.00575.x
- Pees, C., Haas, N. A., & Lange, P. E. (1999). [The clinical diagnosis of aortic isthmus stenosis]. *Dtsch Med Wochenschr*, 124(45), 1329-1334. doi: 10.1055/s-2007-1024538

- Pillutla, P., Shetty, K. D., & Foster, E. (2009). Mortality associated with adult congenital heart disease: Trends in the US population from 1979 to 2005. *Am Heart J*, *158*(5), 874-879. doi: 10.1016/j.ahj.2009.08.014
- Pschyrembel, W., der Pschyrembel-Redaktion des Verlages. (2014). *Klinisches Wörterbuch*. Berlin, New York: Walter De Gruyter Incorporated.
- Rengier, F., Weber, T. F., Henninger, V., Bockler, D., Schumacher, H., Kauczor, H. U., & von Tengg-Kobligh, H. (2012). Heartbeat-related distension and displacement of the thoracic aorta in healthy volunteers. *Eur J Radiol*, *81*(1), 158-164. doi: 10.1016/j.ejrad.2010.08.023
- Rosenthal, E. (2005). Coarctation of the aorta from fetus to adult: curable condition or life long disease process? *Heart*, *91*(11), 1495-1502. doi: 10.1136/hrt.2004.057182
- S.L. Curtis, M. B., P. Wilde, J. Aw, S. Chakrabarti, M. Hamilton, R. Martin, M. Turner, and A.G. Stuart. (2012). Results of Screening for Intracranial Aneurysms in Patients with Coarctation of the Aorta. *AJNR Am. J. Neuroradiol.*, *33*, 1182-1186.
- Samanek, M., Goetzova, J., Fiserova, J., & Skovranek, J. (1976). Differences in muscle blood flow in upper and lower extremities of patients after correction of coarctation of the aorta. *Circulation*, *54*(3), 377-381.
- Silversides, C. K., Kiess, M., Beauchesne, L., Bradley, T., Connelly, M., Niwa, K., . . . Therrien, J. (2010). Canadian Cardiovascular Society 2009 Consensus Conference on the management of adults with congenital heart disease: outflow tract obstruction, coarctation of the aorta, tetralogy of Fallot, Ebstein anomaly and Marfan's syndrome. *Can J Cardiol*, *26*(3), e80-97.
- Simon E. Meyer, W. W. (1958). Das Volumen, die Volumendehnbarkeit und die Druck-Längen-Beziehungen des gesamten aortalen Windkessels in Abhängigkeit von Alter, Hochdruck und Arteriosklerose. *Klin Wochenschr.*, *36*(9), 424-432.
- Swartz, M. F., Atallah-Yunes, N., Meagher, C., Schiralli, M. P., Cholette, J., Orié, J., . . . Alfieris, G. M. (2011). Surgical strategy for aortic coarctation repair resulting in physiologic arm and leg blood pressures. *Congenit Heart Dis*, *6*(6), 583-591. doi: 10.1111/j.1747-0803.2011.00589.x
- Tanous, D., Benson, L. N., & Horlick, E. M. (2009). Coarctation of the aorta: evaluation and management. *Curr Opin Cardiol*, *24*(6), 509-515. doi: 10.1097/HCO.0b013e328330cc22

- Toro-Salazar, O. H., Steinberger, J., Thomas, W., Rocchini, A. P., Carpenter, B., & Moller, J. H. (2002). Long-term follow-up of patients after coarctation of the aorta repair. *Am J Cardiol*, *89*(5), 541-547.
- Ulmer, H. E. (2012). Aortenisthmusstenose Viel mehr als eine angeborene Engstelle der Hauptschlagader. *Herzblatt* *1*(1).
- Vasan, R. S., Larson, M. G., Benjamin, E. J., & Levy, D. (1995). Echocardiographic reference values for aortic root size: the Framingham Heart Study. *J Am Soc Echocardiogr*, *8*(6), 793-800.
- Vogt, M., Kuhn, A., Baumgartner, D., Baumgartner, C., Busch, R., Kostolny, M., & Hess, J. (2005). Impaired elastic properties of the ascending aorta in newborns before and early after successful coarctation repair: proof of a systemic vascular disease of the prestenotic arteries? *Circulation*, *111*(24), 3269-3273. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.104.529792
- Wang, C. C., Hwu, W. L., Wu, E. T., Lu, F., Wang, J. K., & Wu, M. H. (2007). Outcome of pulmonary and aortic stenosis in Williams-Beuren syndrome in an Asian cohort. *Acta Paediatr*, *96*(6), 906-909. doi: 10.1111/j.1651-2227.2007.00308.x
- Wholey, M. H. (2006). Anatomical and technical considerations of CAS. *Endovascular Today*, *8*, 60-64.
- Wilson, W., Taubert, K. A., Gewitz, M., Lockhart, P. B., Baddour, L. M., Levison, M., . . . Outcomes Research Interdisciplinary Working, G. (2007). Prevention of infective endocarditis: guidelines from the American Heart Association: a guideline from the American Heart Association Rheumatic Fever, Endocarditis, and Kawasaki Disease Committee, Council on Cardiovascular Disease in the Young, and the Council on Clinical Cardiology, Council on Cardiovascular Surgery and Anesthesia, and the Quality of Care and Outcomes Research Interdisciplinary Working Group. *Circulation*, *116*(15), 1736-1754. doi: 10.1161/CIRCULATIONAHA.106.183095
- Zervos-Kopp, J. (2013). *Anatomie, Biologie und Physiologie: Ergotherapie Prüfungswissen*. . Stuttgart: Georg Thieme Verlag.

# Anhang

	Mittelwert	Median	Standardabweichung	Spannweite	Minimum	Maximum	Perzentile		
							25	50	75
Geschlecht	1,30	1,00	,470	1	1	2	1,00	1,00	2,00
Alter	23,30	24,00	6,681	25	10	35	19,25	24,00	27,75
Aortenbogen typ	1,65	1,50	,745	2	1	3	1,00	1,50	2,00
Areadia1	530,884250	461,105000	320,8314079	1368,5400	174,9600	1543,5000	340,467500	461,105000	686,917500
Peridia1	78,738850	76,549000	22,0518741	91,3160	47,5800	138,8960	64,822750	76,549000	91,446000
majdia1	25,219000	24,455500	7,1450659	29,9690	15,0540	45,0230	20,971750	24,455500	29,552000
mindia1	24,914550	24,023000	7,0222776	28,8520	14,7980	43,6500	20,644000	24,023000	29,524250
Areasys1	651,031300	536,325000	354,6338285	1486,1700	264,6000	1750,7700	445,142500	536,325000	807,485000
Perisys1	87,655650	82,046500	22,2028429	90,4900	57,2950	147,7850	74,189250	82,046500	100,528000
majsys1	28,197500	26,525500	7,2209684	29,8280	18,3570	48,1850	24,018000	26,525500	32,592500
minsys1	27,711150	25,741500	6,9518634	27,9930	18,2700	46,2630	23,561000	25,741500	31,544250
Area1	120,147050	104,220000	78,8972111	302,0800	-5,1200	296,9600	68,868250	104,220000	173,582500
Peri1	8,916800	8,877500	5,2491901	21,3410	-1,4050	19,9360	5,483250	8,877500	12,191750
maj1	2,978500	2,963000	1,6956255	7,1450	-,4020	6,7430	1,923750	2,963000	3,722500
min1	2,796600	2,666500	1,7365014	6,4520	-,1730	6,2790	1,873750	2,666500	3,600500
Areadia2	589,193650	411,820000	385,1989107	1276,6600	203,8400	1480,5000	297,910000	411,820000	838,205000
Peridia2	81,779250	71,707000	26,1417215	85,0940	50,6890	135,7830	60,770250	71,707000	102,012250
majdia2	26,350550	22,956000	8,4157379	27,3300	16,1480	43,4780	19,540750	22,956000	33,022250
mindia2	25,956100	22,841500	8,3054028	27,2840	16,0720	43,3560	19,374000	22,841500	32,442750
Areasys2	701,264750	507,575000	419,1078031	1425,4100	219,5200	1644,9300	398,042500	507,575000	993,360000
Perisys2	90,120950	80,460000	26,4583516	91,9300	52,0340	143,9640	70,196500	80,460000	111,659500
majsys2	28,990300	25,510000	8,4966126	29,9840	16,7180	46,7020	22,901500	25,510000	35,923500
minsys2	28,475850	25,315500	8,3600467	28,1280	16,7180	44,8460	21,907500	25,315500	35,200000
Area2	112,071100	108,509500	76,8478332	288,0700	-10,2400	277,8300	53,828250	108,509500	170,957500
Peri2	8,341700	8,309500	5,0279066	17,4740	-,8460	16,6280	3,526500	8,309500	12,629500
maj2	2,639750	2,333000	1,6330036	5,4640	-,2180	5,2460	1,716250	2,333000	4,401500
min2	2,519750	2,363500	1,6912941	6,0120	-,3540	5,6580	,961000	2,363500	3,658750
Areadia3	406,765200	359,065000	183,8080401	598,2920	170,5200	768,8120	272,201500	359,065000	549,720000
Peridia3	69,663850	66,650500	15,7285638	51,9240	46,2610	98,1850	58,089500	66,650500	83,193250
majdia3	22,547900	21,576500	5,1345618	16,8120	15,3960	32,2080	18,847000	21,576500	26,709000
mindia3	21,931100	21,098500	4,8612800	16,2910	14,1020	30,3930	18,311750	21,098500	25,146750
Areasys3	490,015300	454,230000	207,4201902	658,0700	184,2400	842,3100	316,284500	454,230000	700,530000
Perisys3	76,585600	75,285000	16,4666535	55,1680	47,8650	103,0330	62,845250	75,285000	93,516750
majsys3	24,814550	24,284500	5,5123463	18,6070	15,4720	34,0790	20,225000	24,284500	30,198500
minsys3	24,098250	23,789500	4,9995961	16,8690	15,1620	32,0310	19,911000	23,789500	29,309500
Area3	83,250100	70,698000	64,2908055	256,0000	-15,3600	240,6400	34,245000	70,698000	119,070000
Peri3	6,921750	6,269500	5,3008808	19,6940	-2,6460	17,0480	3,212000	6,269500	11,231500

maj3	2,266650	1,956000	1,6651551	5,8340	-,5500	5,2840	1,030500	1,956000	3,671750
min3	2,167150	1,848000	1,6177677	5,9210	-,4600	5,4610	1,021000	1,848000	3,104250
Areadia4	317,044300	270,480000	157,4281433	462,5600	101,9200	564,4800	199,642500	270,480000	478,550000
Peridia4	60,817450	57,215500	16,1194840	47,3710	35,7670	83,1380	49,836250	57,215500	77,350500
majdia4	19,878350	18,649500	5,4244169	17,3970	11,3920	28,7890	16,372000	18,649500	25,756250
mindia4	19,041600	18,465500	4,9856296	15,5970	10,9860	26,5830	15,462250	18,465500	23,951750
Areasys4	374,330050	323,430000	175,3827599	564,4800	123,4800	687,9600	254,790000	323,430000	552,352500
Perisys4	66,173750	63,179000	16,8434979	54,5680	38,5700	93,1380	56,202500	63,179000	83,147250
majsys4	21,620900	20,660500	5,5713965	17,3730	12,6120	29,9850	18,277250	20,660500	26,620500
minsys4	20,819500	19,936500	5,0575775	16,8970	12,3160	29,2130	17,860250	19,936500	25,493500
Area4	57,285750	47,430000	38,4339755	158,7200	-,51200	153,6000	31,252500	47,430000	83,430000
Peri4	5,356300	4,873000	3,2507592	12,8130	-,14520	11,3610	3,222500	4,873000	7,319500
maj4	1,742550	1,680500	1,0862744	4,3370	-,5910	3,7460	,822000	1,680500	2,815500
min4	1,777900	1,430500	1,0520977	4,1240	,2160	4,3400	1,092750	1,430500	2,538000
Areadia5	182,926450	168,880000	67,0234367	241,9300	101,9200	343,8500	131,587500	168,880000	209,790000
Peridia5	46,783100	45,507500	8,3865602	29,6170	34,8030	64,4200	40,723500	45,507500	51,290250
majdia5	15,179500	14,847500	2,6135050	9,5620	11,3920	20,9540	13,081750	14,847500	16,419250
mindia5	14,902000	14,438500	2,7153755	9,6380	11,2560	20,8940	12,800750	14,438500	16,279500
Areasys5	209,504300	204,010000	71,0138289	286,1600	105,8400	392,0000	155,403750	204,010000	239,985000
Perisys5	50,548150	50,580500	8,2782549	33,6830	37,2290	70,9120	43,886250	50,580500	54,558750
majsys5	16,340400	16,399500	2,6490812	10,3450	12,0320	22,3770	14,465000	16,399500	17,681000
minsys5	15,913300	15,946500	2,6906602	11,1050	11,2000	22,3050	13,751750	15,946500	17,286250
Area5	26,577850	29,084000	20,9963828	83,6900	-,52900	78,4000	6,540000	29,084000	40,720500
Peri5	3,765050	4,155500	2,6615445	9,6050	-,12610	8,3440	1,992500	4,155500	5,353750
maj5	1,160900	1,318000	,7740492	2,6540	,0000	2,6540	,426250	1,318000	1,641250
min5	1,011300	1,131500	,8610490	2,7790	-,4160	2,3630	,053500	1,131500	1,723000

### Übersicht über Hypothesentest

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
1	Die durch Geschlecht = männlich und weiblich definierten Kategorien treten mit den Wahrscheinlichkeiten 0,5 und 0,5 auf.	Test auf Binomialverteilung einer Stichprobe	,115 <sup>1</sup>	Nullhypothese behalten.
2	Die Kategorien von Alter treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test einer Stichprobe	,993	Nullhypothese behalten.
3	Die Kategorien von Aortenbogen treten mit gleichen Wahrscheinlichkeiten auf.	Chi-Quadrat-Test einer Stichprobe	,157	Nullhypothese behalten.
4	Die Verteilung von Areadia1 ist normal mit Mittelwert 530,88 und Standardabweichung 320,83.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,337	Nullhypothese behalten.
5	Die Verteilung von Peridia1 ist normal mit Mittelwert 78,74 und Standardabweichung 22,05.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,715	Nullhypothese behalten.
6	Die Verteilung von majdia1 ist normal mit Mittelwert 25,22 und Standardabweichung 7,15.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,654	Nullhypothese behalten.
7	Die Verteilung von mindia1 ist normal mit Mittelwert 24,91 und Standardabweichung 7,02.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,724	Nullhypothese behalten.
8	Die Verteilung von Areasys1 ist normal mit Mittelwert 651,03 und Standardabweichung 354,63.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,280	Nullhypothese behalten.
9	Die Verteilung von Perisys1 ist normal mit Mittelwert 87,66 und Standardabweichung 22,20.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,564	Nullhypothese behalten.
10	Die Verteilung von majsys1 ist normal mit Mittelwert 28,20 und Standardabweichung 7,22.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,514	Nullhypothese behalten.
11	Die Verteilung von minsys1 ist normal mit Mittelwert 27,71 und Standardabweichung 6,95.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,590	Nullhypothese behalten.
12	Die Verteilung von Area1 ist normal mit Mittelwert 120,15 und Standardabweichung 78,90.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,760	Nullhypothese behalten.

Asymptotische Signifikanzniveaus werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

### Übersicht über Hypothesentest

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
23	Die Verteilung von minsys2 ist normal mit Mittelwert 28,48 und Standardabweichung 8,36.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,490	Nullhypothese behalten.
24	Die Verteilung von Area2 ist normal mit Mittelwert 112,07 und Standardabweichung 76,85.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,945	Nullhypothese behalten.
25	Die Verteilung von Peri2 ist normal mit Mittelwert 8,34 und Standardabweichung 5,03.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,980	Nullhypothese behalten.
26	Die Verteilung von maj2 ist normal mit Mittelwert 2,64 und Standardabweichung 1,63.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,738	Nullhypothese behalten.
27	Die Verteilung von min2 ist normal mit Mittelwert 2,52 und Standardabweichung 1,69.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,977	Nullhypothese behalten.
28	Die Verteilung von Areadia3 ist normal mit Mittelwert 406,77 und Standardabweichung 183,81.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,641	Nullhypothese behalten.
29	Die Verteilung von Peridia3 ist normal mit Mittelwert 69,66 und Standardabweichung 15,73.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,673	Nullhypothese behalten.
30	Die Verteilung von majdia3 ist normal mit Mittelwert 22,55 und Standardabweichung 5,13.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,699	Nullhypothese behalten.
31	Die Verteilung von mindia3 ist normal mit Mittelwert 21,93 und Standardabweichung 4,86.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,789	Nullhypothese behalten.
32	Die Verteilung von Areasys3 ist normal mit Mittelwert 490,02 und Standardabweichung 207,42.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,738	Nullhypothese behalten.

Asymptotische Signifikanzniveaus werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

<sup>1</sup>Für diesen Test wird die exakte Signifikanz angezeigt.

### Übersicht über Hypothesentest

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
13	Die Verteilung von Peri1 ist normal mit Mittelwert 8,92 und Standardabweichung 5,25.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,995	Nullhypothese behalten.
14	Die Verteilung von maj1 ist normal mit Mittelwert 2,98 und Standardabweichung 1,70.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,899	Nullhypothese behalten.
15	Die Verteilung von min1 ist normal mit Mittelwert 2,80 und Standardabweichung 1,74.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,933	Nullhypothese behalten.
16	Die Verteilung von Areadia2 ist normal mit Mittelwert 589,19 und Standardabweichung 385,20.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,135	Nullhypothese behalten.
17	Die Verteilung von Peridia2 ist normal mit Mittelwert 81,78 und Standardabweichung 26,14.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,250	Nullhypothese behalten.
18	Die Verteilung von majdia2 ist normal mit Mittelwert 26,35 und Standardabweichung 8,42.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,236	Nullhypothese behalten.
19	Die Verteilung von mindia2 ist normal mit Mittelwert 25,96 und Standardabweichung 8,31.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,261	Nullhypothese behalten.
20	Die Verteilung von Areasys2 ist normal mit Mittelwert 701,26 und Standardabweichung 419,11.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,247	Nullhypothese behalten.
21	Die Verteilung von Perisys2 ist normal mit Mittelwert 90,12 und Standardabweichung 26,46.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,363	Nullhypothese behalten.
22	Die Verteilung von majsys2 ist normal mit Mittelwert 28,99 und Standardabweichung 8,50.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,429	Nullhypothese behalten.

Asymptotische Signifikanzniveaus werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

<sup>1</sup>Für diesen Test wird die exakte Signifikanz angezeigt.

### Übersicht über Hypothesentest

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
33	Die Verteilung von Perisys3 ist normal mit Mittelwert 76,59 und Standardabweichung 16,47.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,852	Nullhypothese behalten.
34	Die Verteilung von majsys3 ist normal mit Mittelwert 24,81 und Standardabweichung 5,51.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,888	Nullhypothese behalten.
35	Die Verteilung von minsys3 ist normal mit Mittelwert 24,10 und Standardabweichung 5,00.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,866	Nullhypothese behalten.
36	Die Verteilung von Area3 ist normal mit Mittelwert 83,25 und Standardabweichung 64,29.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,625	Nullhypothese behalten.
37	Die Verteilung von Peri3 ist normal mit Mittelwert 6,92 und Standardabweichung 5,30.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,907	Nullhypothese behalten.
38	Die Verteilung von maj3 ist normal mit Mittelwert 2,27 und Standardabweichung 1,67.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,531	Nullhypothese behalten.
39	Die Verteilung von min3 ist normal mit Mittelwert 2,17 und Standardabweichung 1,62.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,717	Nullhypothese behalten.
40	Die Verteilung von Areadia4 ist normal mit Mittelwert 317,04 und Standardabweichung 157,43.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,722	Nullhypothese behalten.
41	Die Verteilung von Peridia4 ist normal mit Mittelwert 60,82 und Standardabweichung 16,12.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,783	Nullhypothese behalten.
42	Die Verteilung von majdia4 ist normal mit Mittelwert 19,88 und Standardabweichung 5,42.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,800	Nullhypothese behalten.

Asymptotische Signifikanzniveaus werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist 0,05.

<sup>1</sup>Für diesen Test wird die exakte Signifikanz angezeigt.

### Übersicht über Hypothesentest

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
43	Die Verteilung von mindia4 ist normal mit Mittelwert 19,04 und Standardabweichung 4,99.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,956	Nullhypothese behalten.
44	Die Verteilung von Areasys4 ist normal mit Mittelwert 374,33 und Standardabweichung 175,38.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,752	Nullhypothese behalten.
45	Die Verteilung von Perisys4 ist normal mit Mittelwert 66,17 und Standardabweichung 16,84.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,974	Nullhypothese behalten.
46	Die Verteilung von majsys4 ist normal mit Mittelwert 21,62 und Standardabweichung 5,57.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,978	Nullhypothese behalten.
47	Die Verteilung von minsys4 ist normal mit Mittelwert 20,82 und Standardabweichung 5,06.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,932	Nullhypothese behalten.
48	Die Verteilung von Area4 ist normal mit Mittelwert 57,29 und Standardabweichung 38,43.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,498	Nullhypothese behalten.
49	Die Verteilung von Peri4 ist normal mit Mittelwert 5,36 und Standardabweichung 3,25.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,517	Nullhypothese behalten.
50	Die Verteilung von maj4 ist normal mit Mittelwert 1,74 und Standardabweichung 1,09.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,980	Nullhypothese behalten.
51	Die Verteilung von min4 ist normal mit Mittelwert 1,78 und Standardabweichung 1,05.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,488	Nullhypothese behalten.
52	Die Verteilung von Area5 ist normal mit Mittelwert 182,93 und Standardabweichung 67,02.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,438	Nullhypothese behalten.

Asymptotische Signifikanz werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist

<sup>1</sup>Für diesen Test wird die exakte Signifikanz angezeigt.

### Übersicht über Hypothesentest

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
53	Die Verteilung von Peridia5 ist normal mit Mittelwert 46,78 und Standardabweichung 8,39.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,767	Nullhypothese behalten.
54	Die Verteilung von majdia5 ist normal mit Mittelwert 15,18 und Standardabweichung 2,61.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,692	Nullhypothese behalten.
55	Die Verteilung von mindia5 ist normal mit Mittelwert 14,90 und Standardabweichung 2,72.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,802	Nullhypothese behalten.
56	Die Verteilung von Areasys5 ist normal mit Mittelwert 209,50 und Standardabweichung 71,01.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,204	Nullhypothese behalten.
57	Die Verteilung von Perisys5 ist normal mit Mittelwert 50,55 und Standardabweichung 8,28.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,538	Nullhypothese behalten.
58	Die Verteilung von majsys5 ist normal mit Mittelwert 16,34 und Standardabweichung 2,65.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,317	Nullhypothese behalten.
59	Die Verteilung von minsys5 ist normal mit Mittelwert 15,91 und Standardabweichung 2,69.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,495	Nullhypothese behalten.
60	Die Verteilung von Area5 ist normal mit Mittelwert 26,58 und Standardabweichung 21,00.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,922	Nullhypothese behalten.
61	Die Verteilung von Peri5 ist normal mit Mittelwert 3,77 und Standardabweichung 2,66.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,995	Nullhypothese behalten.

Asymptotische Signifikanz werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist

<sup>1</sup>Für diesen Test wird die exakte Signifikanz angezeigt.

### Übersicht über Hypothesentest

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
62	Die Verteilung von maj5 ist normal mit Mittelwert 1,16 und Standardabweichung 0,77.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,909	Nullhypothese behalten.
63	Die Verteilung von min5 ist normal mit Mittelwert 1,01 und Standardabweichung 0,86.	Kolmogorov-Smirnov-Test einer Stichprobe	,888	Nullhypothese behalten.

Asymptotische Signifikanz werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist

<sup>1</sup>Für diesen Test wird die exakte Signifikanz angezeigt.



### Übersicht über Hypothesentest

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
42	Die Verteilung von Perisys4 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	1,000 <sup>d</sup>	Nullhypothese behalten.
43	Die Verteilung von majsys4 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	1,000 <sup>d</sup>	Nullhypothese behalten.
44	Die Verteilung von minsys4 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	,968 <sup>d</sup>	Nullhypothese behalten.
45	Die Verteilung von Area4 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	,904 <sup>d</sup>	Nullhypothese behalten.
46	Die Verteilung von Peri4 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	,841 <sup>1</sup>	Nullhypothese behalten.
47	Die Verteilung von maj4 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	1,000 <sup>d</sup>	Nullhypothese behalten.
48	Die Verteilung von min4 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	,802 <sup>d</sup>	Nullhypothese behalten.
49	Die Verteilung von Areadia5 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	1,000 <sup>d</sup>	Nullhypothese behalten.
50	Die Verteilung von Peridia5 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	1,000 <sup>d</sup>	Nullhypothese behalten.
51	Die Verteilung von majdia5 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	1,000 <sup>d</sup>	Nullhypothese behalten.

Asymptotische Signifikanz werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05

<sup>1</sup>Für diesen Test wird die exakte Signifikanz angezeigt.

### Übersicht über Hypothesentest

	Nullhypothese	Test	Sig.	Entscheidung
52	Die Verteilung von mindia5 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	,968 <sup>d</sup>	Nullhypothese behalten.
53	Die Verteilung von Areasy5 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	1,000 <sup>d</sup>	Nullhypothese behalten.
54	Die Verteilung von Perisys5 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	,968 <sup>d</sup>	Nullhypothese behalten.
55	Die Verteilung von majsys5 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	,770 <sup>d</sup>	Nullhypothese behalten.
56	Die Verteilung von minsys5 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	,968 <sup>d</sup>	Nullhypothese behalten.
57	Die Verteilung von Area5 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	,397 <sup>1</sup>	Nullhypothese behalten.
58	Die Verteilung von Peri5 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	,659 <sup>d</sup>	Nullhypothese behalten.
59	Die Verteilung von maj5 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	,397 <sup>1</sup>	Nullhypothese behalten.
60	Die Verteilung von min5 ist über Kategorien von Geschlecht gleich.	Mann-Whitney-U-Test unabhängiger Stichproben	,659 <sup>d</sup>	Nullhypothese behalten.

Asymptotische Signifikanz werden angezeigt. Das Signifikanzniveau ist ,05

<sup>1</sup>Für diesen Test wird die exakte Signifikanz angezeigt.

Test der Homogenität der Varianzen

	Levene-Statistik	df1	df2	Signifikanz
Areadia1	1,311	2	17	,295
Peridia1	,591	2	17	,564
majdia1	,578	2	17	,572
mindia1	,554	2	17	,585
Areasys1	2,418	2	17	,119
Perisys1	1,976	2	17	,169
majsys1	1,607	2	17	,230
minsys1	2,174	2	17	,144
Area1	3,320	2	17	,061
Peri1	,851	2	17	,444
maj1	1,402	2	17	,273
min1	,523	2	17	,602
Areadia2	4,313	2	17	,031
Peridia2	3,130	2	17	,070
majdia2	2,779	2	17	,090
mindia2	3,135	2	17	,069
Areasys2	5,555	2	17	,014
Perisys2	3,953	2	17	,039
majsys2	4,261	2	17	,032
minsys2	3,781	2	17	,044
Area2	1,452	2	17	,262
Peri2	1,309	2	17	,296
maj2	,462	2	17	,638
min2	2,204	2	17	,141
Areadia3	3,609	2	17	,049
Peridia3	1,944	2	17	,174
majdia3	2,973	2	17	,078
mindia3	1,323	2	17	,292
Areasys3	7,269	2	17	,005
Perisys3	3,784	2	17	,044
majsys3	4,539	2	17	,026
minsys3	2,544	2	17	,108
Area3	,838	2	17	,450
Peri3	,379	2	17	,690
maj3	,227	2	17	,799
min3	,420	2	17	,663
Areadia4	,292	2	17	,751
Peridia4	,007	2	17	,994
majdia4	,077	2	17	,926
mindia4	,057	2	17	,945
Areasys4	,761	2	17	,482
Perisys4	,104	2	17	,902
majsys4	,185	2	17	,833
minsys4	,016	2	17	,984
Area4	2,008	2	17	,165
Peri4	,495	2	17	,618
maj4	,785	2	17	,472
min4	1,118	2	17	,350
Areadia5	1,009	2	17	,385
Peridia5	,970	2	17	,399
majdia5	,744	2	17	,490
mindia5	,911	2	17	,421
Areasys5	3,437	2	17	,056
Perisys5	2,838	2	17	,086
majsys5	2,357	2	17	,125
minsys5	2,617	2	17	,102
Area5	2,352	2	17	,125
Peri5	,201	2	17	,820
maj5	,493	2	17	,619
min5	,287	2	17	,754

Einfaktorielle ANOVA

		Quadratsumme	df	Mittel der Quadrate	F	Signifikanz
Areadia1	Zwischen den Gruppen	178760,006	2	89380,003	,855	,443
	Innerhalb der Gruppen	1776963,047	17	104527,238		
	Gesamt	1955723,053	19			
Peridia1	Zwischen den Gruppen	886,636	2	443,318	,902	,424
	Innerhalb der Gruppen	8352,781	17	491,340		
	Gesamt	9239,418	19			
majdia1	Zwischen den Gruppen	83,317	2	41,659	,799	,466
	Innerhalb der Gruppen	886,670	17	52,157		
	Gesamt	969,987	19			
mindia1	Zwischen den Gruppen	81,285	2	40,643	,807	,462
	Innerhalb der Gruppen	855,650	17	50,332		
	Gesamt	936,935	19			
Areasys1	Zwischen den Gruppen	262438,327	2	131219,164	1,049	,372
	Innerhalb der Gruppen	2127099,567	17	125123,504		
	Gesamt	2389537,894	19			
Perisys1	Zwischen den Gruppen	1020,815	2	510,407	1,040	,375
	Innerhalb der Gruppen	8345,544	17	490,914		
	Gesamt	9366,358	19			
majsys1	Zwischen den Gruppen	101,053	2	50,526	,965	,401
	Innerhalb der Gruppen	889,652	17	52,332		
	Gesamt	990,705	19			
minsys1	Zwischen den Gruppen	104,671	2	52,336	1,094	,357
	Innerhalb der Gruppen	813,568	17	47,857		
	Gesamt	918,240	19			
Area1	Zwischen den Gruppen	25196,136	2	12598,068	2,301	,130
	Innerhalb der Gruppen	93074,493	17	5474,970		
	Gesamt	118270,628	19			
Peri1	Zwischen den Gruppen	93,617	2	46,808	1,851	,187
	Innerhalb der Gruppen	429,909	17	25,289		
	Gesamt	523,526	19			
maj1	Zwischen den Gruppen	9,742	2	4,871	1,845	,188
	Innerhalb der Gruppen	44,885	17	2,640		
	Gesamt	54,628	19			
min1	Zwischen den Gruppen	13,980	2	6,990	2,744	,093
	Innerhalb der Gruppen	43,313	17	2,548		
	Gesamt	57,293	19			
Areadia2	Zwischen den Gruppen	734080,578	2	367040,289	2,993	,077
	Innerhalb der Gruppen	2085105,237	17	122653,249		
	Gesamt	2819185,815	19			
Peridia2	Zwischen den Gruppen	3480,424	2	1740,212	3,113	,070
	Innerhalb der Gruppen	9503,979	17	559,058		
	Gesamt	12984,402	19			
majdia2	Zwischen den Gruppen	346,818	2	173,409	2,951	,079
	Innerhalb der Gruppen	998,850	17	58,756		
	Gesamt	1345,668	19			
mindia2	Zwischen den Gruppen	365,797	2	182,899	3,291	,062
	Innerhalb der Gruppen	944,817	17	55,577		
	Gesamt	1310,615	19			
Areasys2	Zwischen den Gruppen	705569,061	2	352784,530	2,279	,133
	Innerhalb der Gruppen	2631806,601	17	154812,153		
	Gesamt	3337375,662	19			
Perisys2	Zwischen den Gruppen	2792,931	2	1396,465	2,259	,135
	Innerhalb der Gruppen	10507,912	17	618,112		
	Gesamt	13300,843	19			
majsys2	Zwischen den Gruppen	296,163	2	148,081	2,341	,126
	Innerhalb der Gruppen	1075,493	17	63,264		
	Gesamt	1371,656	19			
minsys2	Zwischen den Gruppen	269,631	2	134,816	2,166	,145
	Innerhalb der Gruppen	1058,286	17	62,252		
	Gesamt	1327,917	19			
Area2	Zwischen den Gruppen	14506,471	2	7253,235	1,262	,308
	Innerhalb der Gruppen	97699,729	17	5747,043		
	Gesamt	112206,200	19			
Peri2	Zwischen den Gruppen	120,972	2	60,486	2,862	,085
	Innerhalb der Gruppen	359,345	17	21,138		
	Gesamt	480,317	19			
maj2	Zwischen den Gruppen	14,136	2	7,068	3,289	,062
	Innerhalb der Gruppen	36,532	17	2,149		
	Gesamt	50,667	19			
min2	Zwischen den Gruppen	16,920	2	8,460	3,842	,042
	Innerhalb der Gruppen	37,430	17	2,202		
	Gesamt	54,349	19			
Areadia3	Zwischen den Gruppen	228509,268	2	114254,634	4,698	,024
	Innerhalb der Gruppen	413413,249	17	24318,426		

	Gesamt	641922,517	19			
Peridia3	Zwischen den Gruppen	1708,050	2	854,025	4,852	,022
	Innerhalb der Gruppen	2992,317	17	176,019		
	Gesamt	4700,367	19			
majdia3	Zwischen den Gruppen	183,364	2	91,682	4,908	,021
	Innerhalb der Gruppen	317,546	17	18,679		
	Gesamt	500,911	19			
mindia3	Zwischen den Gruppen	155,836	2	77,918	4,518	,027
	Innerhalb der Gruppen	293,173	17	17,245		
	Gesamt	449,009	19			
Areasys3	Zwischen den Gruppen	208941,859	2	104470,930	2,919	,081
	Innerhalb der Gruppen	608497,712	17	35793,983		
	Gesamt	817439,571	19			
Perisys3	Zwischen den Gruppen	1234,608	2	617,304	2,679	,097
	Innerhalb der Gruppen	3917,255	17	230,427		
	Gesamt	5151,863	19			
majsys3	Zwischen den Gruppen	146,814	2	73,407	2,899	,083
	Innerhalb der Gruppen	430,519	17	25,325		
	Gesamt	577,333	19			
minsys3	Zwischen den Gruppen	105,301	2	52,650	2,422	,119
	Innerhalb der Gruppen	369,623	17	21,743		
	Gesamt	474,923	19			
Area3	Zwischen den Gruppen	8234,923	2	4117,461	,996	,390
	Innerhalb der Gruppen	70297,923	17	4135,172		
	Gesamt	78532,846	19			
Peri3	Zwischen den Gruppen	110,339	2	55,169	2,214	,140
	Innerhalb der Gruppen	423,549	17	24,915		
	Gesamt	533,887	19			
maj3	Zwischen den Gruppen	10,913	2	5,456	2,221	,139
	Innerhalb der Gruppen	41,769	17	2,457		
	Gesamt	52,682	19			
min3	Zwischen den Gruppen	11,726	2	5,863	2,623	,102
	Innerhalb der Gruppen	38,000	17	2,235		
	Gesamt	49,726	19			
Areadia4	Zwischen den Gruppen	155275,564	2	77637,782	4,182	,033
	Innerhalb der Gruppen	315613,221	17	18565,484		
	Gesamt	470888,785	19			
Peridia4	Zwischen den Gruppen	1701,968	2	850,984	4,472	,028
	Innerhalb der Gruppen	3234,949	17	190,291		
	Gesamt	4936,918	19			
majdia4	Zwischen den Gruppen	202,783	2	101,392	4,838	,022
	Innerhalb der Gruppen	356,279	17	20,958		
	Gesamt	559,062	19			
mindia4	Zwischen den Gruppen	149,073	2	74,536	3,921	,040
	Innerhalb der Gruppen	323,201	17	19,012		
	Gesamt	472,274	19			
Areasys4	Zwischen den Gruppen	195719,819	2	97859,909	4,280	,031
	Innerhalb der Gruppen	388703,318	17	22864,901		
	Gesamt	584423,137	19			
Perisys4	Zwischen den Gruppen	1811,335	2	905,668	4,302	,031
	Innerhalb der Gruppen	3579,030	17	210,531		
	Gesamt	5390,365	19			
majsys4	Zwischen den Gruppen	205,505	2	102,752	4,546	,026
	Innerhalb der Gruppen	384,264	17	22,604		
	Gesamt	589,769	19			
minsys4	Zwischen den Gruppen	155,629	2	77,815	4,004	,038
	Innerhalb der Gruppen	330,374	17	19,434		
	Gesamt	486,003	19			
Area4	Zwischen den Gruppen	2756,444	2	1378,222	,926	,415
	Innerhalb der Gruppen	25309,795	17	1488,811		
	Gesamt	28066,239	19			
Peri4	Zwischen den Gruppen	7,712	2	3,856	,340	,717
	Innerhalb der Gruppen	193,069	17	11,357		
	Gesamt	200,781	19			
maj4	Zwischen den Gruppen	1,790	2	,895	,738	,493
	Innerhalb der Gruppen	20,629	17	1,213		
	Gesamt	22,420	19			
min4	Zwischen den Gruppen	,105	2	,053	,043	,958
	Innerhalb der Gruppen	20,926	17	1,231		
	Gesamt	21,031	19			
Areadia5	Zwischen den Gruppen	1350,425	2	675,212	,137	,873
	Innerhalb der Gruppen	84000,256	17	4941,192		
	Gesamt	85350,680	19			
Peridia5	Zwischen den Gruppen	29,177	2	14,589	,190	,829
	Innerhalb der Gruppen	1307,176	17	76,893		
	Gesamt	1336,353	19			
majdia5	Zwischen den Gruppen	1,931	2	,965	,128	,880
	Innerhalb der Gruppen	127,847	17	7,520		
	Gesamt	129,778	19			

mindia5	Zwischen den Gruppen	2,354	2	1,177	,145	,866
	Innerhalb der Gruppen	137,738	17	8,102		
	Gesamt	140,092	19			
Areasys5	Zwischen den Gruppen	3986,760	2	1993,380	,369	,697
	Innerhalb der Gruppen	91829,554	17	5401,738		
	Gesamt	95816,314	19			
Perisys5	Zwischen den Gruppen	50,022	2	25,011	,340	,717
	Innerhalb der Gruppen	1252,039	17	73,649		
	Gesamt	1302,061	19			
majsys5	Zwischen den Gruppen	4,354	2	2,177	,287	,754
	Innerhalb der Gruppen	128,981	17	7,587		
	Gesamt	133,335	19			
minsys5	Zwischen den Gruppen	4,847	2	2,424	,310	,737
	Innerhalb der Gruppen	132,706	17	7,806		
	Gesamt	137,553	19			
Area5	Zwischen den Gruppen	707,105	2	353,553	,784	,473
	Innerhalb der Gruppen	7669,008	17	451,118		
	Gesamt	8376,114	19			
Peri5	Zwischen den Gruppen	3,572	2	1,786	,232	,796
	Innerhalb der Gruppen	131,021	17	7,707		
	Gesamt	134,593	19			
maj5	Zwischen den Gruppen	,487	2	,243	,380	,690
	Innerhalb der Gruppen	10,897	17	,641		
	Gesamt	11,384	19			
min5	Zwischen den Gruppen	,445	2	,223	,277	,761
	Innerhalb der Gruppen	13,641	17	,802		
	Gesamt	14,087	19			