

Aus dem Institut für Sport- und Präventivmedizin  
der Medizinischen Fakultät  
der Universität des Saarlandes

**Retrospektive Analyse echokardiographischer und  
leistungsphysiologischer Parameter bei jugendlichen und  
erwachsenen Leistungssportlern**

**Retrospective analysis of echocardiographic and physiological  
performance parameters in adolescent and adult  
performance athletes**

Dissertation zur Erlangung des Grades eines Doktors  
der medizinischen Fakultät  
der Universität des Saarlandes  
2014

vorgelegt von  
Joachim Thamm  
Geb. am 14.06.1980 in St.Ingbert

1. Tag der Promotion:
2. Dekan:
3. Berichterstatter:

|                                       |                     |
|---------------------------------------|---------------------|
| <b><u>INHALTSVERZEICHNIS.....</u></b> | <b><u>I-III</u></b> |
|---------------------------------------|---------------------|

|  |                    |
|--|--------------------|
| <b><u>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....</u></b> | <b><u>IV-V</u></b> |
|--|--------------------|

|  |                  |
|--|------------------|
| <b><u>TABELLENVERZEICHNIS.....</u></b> | <b><u>VI</u></b> |
|--|------------------|

|  |                   |
|--|-------------------|
| <b><u>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</u></b> | <b><u>VII</u></b> |
|--|-------------------|

|   |                 |
|---|-----------------|
| <b><u>1 ZUSAMMENFASSUNG/SUMMARY .....</u></b> | <b><u>1</u></b> |
|---|-----------------|

|                                 |                 |
|---------------------------------|-----------------|
| <b><u>2 EINLEITUNG.....</u></b> | <b><u>6</u></b> |
|---------------------------------|-----------------|

|  |   |
|--|---|
| 2.1 Physiologische Adaption des Herzens durch Sport..... | 6 |
|--|---|

|                                       |   |
|---------------------------------------|---|
| 2.2 Echokardiographische Befunde..... | 8 |
|---------------------------------------|---|

|   |   |
|---|---|
| 2.3 Kardiale Pathologien und deren Differenzierung durch die Echokardiographie..... | 9 |
|---|---|

|  |    |
|--|----|
| 2.4 Studien echokardiographischer Untersuchungen bei Kadersportlern..... | 11 |
|--|----|

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 2.5 Forschungsdefizit..... | 12 |
|----------------------------|----|

|                      |    |
|----------------------|----|
| 2.6 Studienziel..... | 13 |
|----------------------|----|

|  |                  |
|--|------------------|
| <b><u>3 UNTERSUCHTE SPORTLER UND METHODEN.....</u></b> | <b><u>15</u></b> |
|--|------------------|

|                        |    |
|------------------------|----|
| 3.1 Studiendesign..... | 15 |
|------------------------|----|

|  |    |
|--|----|
| 3.2 Untersuchte Sportler und ihre Sportartenzugehörigkeit..... | 15 |
|--|----|

|                         |    |
|-------------------------|----|
| 3.3 Untersuchungen..... | 17 |
|-------------------------|----|

|   |    |
|---|----|
| 3.3.1 Ärztliche Untersuchung und anthropometrische Messwerte..... | 17 |
|---|----|

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 3.3.2 Echokardiographie..... | 17 |
|------------------------------|----|

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 3.3.3 Ergometrie..... | 18 |
|-----------------------|----|

|   |    |
|---|----|
| 3.4 Zusammensetzung der Untersuchungsgruppen..... | 18 |
|---|----|

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 3.4.1 Querschnittstudie..... | 18 |
|------------------------------|----|

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 3.4.2 Korrelationsanalyse..... | 19 |
|--------------------------------|----|

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 3.4.3 Längsschnittstudie..... | 20 |
|-------------------------------|----|

|                    |    |
|--------------------|----|
| 3.5 Statistik..... | 21 |
|--------------------|----|

|                              |    |
|------------------------------|----|
| 3.5.1 Querschnittstudie..... | 21 |
|------------------------------|----|

|                                |    |
|--------------------------------|----|
| 3.5.2 Korrelationsanalyse..... | 22 |
|--------------------------------|----|

|                               |    |
|-------------------------------|----|
| 3.5.3 Längsschnittstudie..... | 22 |
|-------------------------------|----|

|              |   |           |
|--------------|---|-----------|
| <b>4</b>     | <b>ERGEBNISSE.....</b>  | <b>23</b> |
| <b>4.1</b>   | <b>Querschnittuntersuchung.....</b>   | <b>23</b> |
| <b>4.1.1</b> | <b>Sportler.....</b>  | <b>23</b> |
|              | ≥ 20 Jahre.....   | 23        |
|              | ≥ 18 - < 20 Jahre.....  | 25        |
|              | ≥ 16 - < 18 Jahre.....  | 27        |
|              | ≥ 14 - < 16 Jahre.....  | 28        |
|              | < 14 Jahre.....   | 29        |
| <b>4.1.2</b> | <b>Sportlerinnen.....</b>   | <b>31</b> |
|              | ≥ 20 Jahre.....   | 31        |
|              | ≥ 18 - < 20 Jahre.....  | 32        |
|              | ≥ 16 - < 18 Jahre.....  | 33        |
|              | ≥ 14 - < 16 Jahre.....  | 35        |
|              | < 14 Jahre.....   | 36        |
| <b>4.1.3</b> | <b>Übersicht und Zusammenfassung anthropometrischer und<br/>echokardiographischer Parameter von Kadersportlern.....</b> | <b>38</b> |
| <b>4.2</b>   | <b>Korrelationsanalyse.....</b>   | <b>39</b> |
| <b>4.2.1</b> | <b>Fahrradergometrie Sportler.....</b>  | <b>40</b> |
| <b>4.2.2</b> | <b>Laufbandergometrie Sportler .....</b>  | <b>41</b> |
| <b>4.2.3</b> | <b>Fahrradergometrie Sportlerinnen.....</b>   | <b>42</b> |
| <b>4.2.4</b> | <b>Laufbandergometrie Sportlerinnen.....</b>  | <b>44</b> |
| <b>4.3</b>   | <b>Längsschnittuntersuchung .....</b>   | <b>45</b> |
| <b>4.3.1</b> | <b>Sportler.....</b>  | <b>45</b> |
|              | Enddiastolischer Durchmesser .....  | 45        |
|              | Herzvolumen.....  | 46        |
|              | Linksventrikuläre Muskelmasse.....  | 47        |
| <b>4.3.2</b> | <b>Sportlerinnen.....</b>   | <b>48</b> |
|              | Enddiastolischer Durchmesser.....   | 48        |
|              | Herzvolumen.....  | 49        |
|              | Linksventrikuläre Muskelmasse.....  | 50        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>5</b> | <b>DISKUSSION.....</b>   | <b>51</b> |
| 5.1      | Allgemeiner Teil.....  | 51        |
| 5.2      | Querschnittstudie.....   | 52        |
| 5.2.1    | Linksventrikulärer enddiastolischer Durchmesser (LV-EDD).....              | 52        |
| 5.2.2    | Relation des LV-EDD zur Körperoberfläche (LV-EDD/KOF).....                 | 54        |
| 5.2.3    | Linksventrikuläre Wanddicken (IVS/PW)<br>und relative Wanddicke (RWT)..... | 55        |
| 5.2.4    | Relatives Herzvolumen und allometrischer Bezug des Herzvolumens.....       | 58        |
| 5.2.5    | Linksventrikuläre Muskelmasse nach Devereux und Teichholz.....             | 59        |
| 5.3      | Interpretation der Korrelationsanalysen .....                              | 61        |
| 5.4      | Interpretation der Längsschnittstudie.....                                 | 62        |
| 5.5      | Limitationen.....  | 64        |
| 5.6      | Fazit.....   | 65        |
| <b>6</b> | <b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>   | <b>66</b> |
| <b>7</b> | <b>ANHANG.....</b>   | <b>73</b> |
| <b>8</b> | <b>DANKSAGUNG.....</b>   | <b>94</b> |

## Abkürzungsverzeichnis

| <u>Abkürzung</u>                                     | <u>Einheit</u>                                 | <u>Beschreibung</u>   |
|--|--|---|
| <i>KF</i>  | %  | <i>Körperfettanteil</i>   |
| <i>FFKM</i>  | <i>kg</i>                                      | <i>Fettfreie Körpermasse</i>  |
| <i>KOF</i>   | <i>m<sup>2</sup></i>                           | <i>Körperoberfläche</i>   |
| <i>BMI</i>   | <i>kg/m<sup>2</sup></i>                        | <i>Body-Maß-Index</i>   |
| <i>HF<sub>Ruhe</sub></i>                             | <i>min<sup>-1</sup></i>                        | <i>Herzfrequenz in Ruhe</i>   |
| <i>HF<sub>max</sub></i>                              | <i>min<sup>-1</sup></i>                        | <i>maximale Herzfrequenz bei Belastung</i>  |
| <i>IAS</i>   | <i>km/h oder W</i>                             | <i>Individuelle anaerobe Schwelle</i>   |
| <i>P<sub>max</sub></i>                               | <i>W</i>                                       | <i>maximale Leistung</i>  |
| <i>V<sub>max</sub></i>                               | <i>m/s</i>                                     | <i>maximale Geschwindigkeit</i>   |
| <i>VO<sub>2rel</sub> bzw.<br/>VO<sub>2peak</sub></i> | <i>ml O<sub>2</sub>/min/kg<br/>Körpermasse</i> | <i>relative Sauerstoffaufnahme (laufbandergometrisch bzw.<br/>fahrradergometrisch erbracht)</i>   |
| <i>VO<sub>2max</sub></i>                             | <i>ml O<sub>2</sub>/min</i>                    | <i>maximale Sauerstoffaufnahme</i>  |
| <i>VO<sub>2allom</sub><sup>2/3</sup></i>             | <i>ml/min/kg<sup>2/3</sup></i>                 | <i>Sauerstoffaufnahme mit allometrischem Bezug</i>  |
| <i>VO<sub>2allom</sub><sup>3/4</sup></i>             | <i>ml/min/kg<sup>3/4</sup></i>                 | <i>Sauerstoffaufnahme mit allometrischem Bezug</i>  |
| <i>LV-EDD</i>  | <i>mm</i>                                      | <i>Enddiastolischer Durchmesser des linken Ventrikels im<br/>M-Mode</i>   |
| <i>LV-ESD</i>  | <i>mm</i>                                      | <i>Endsystolischer Durchmesser des linken Ventrikels im<br/>M-Mode</i>  |
| <i>TU(Trainingsumfang)</i>                           | <i>h/Wo</i>                                    | <i>Durchschnittliche Trainingsstunden pro Woche</i>   |
| <i>IVS</i>   | <i>mm</i>                                      | <i>Kammerseptumdicke</i>  |
| <i>PW</i>  | <i>mm</i>                                      | <i>linksventrikuläre Hinterwanddicke</i>  |
| <i>RWT</i>   | %  | <i>relative Wanddicke</i>   |
| <i>RV-EDD</i>  | <i>mm</i>                                      | <i>Rechtsventrikulärer enddiastolischer Durchmesser im<br/>M-Mode</i>   |
| <i>E</i>   | <i>m/s</i>                                     | <i>Geschwindigkeit des transmitralen Blutstroms während<br/>der frühen Diastole</i>   |
| <i>A</i>   | <i>m/s</i>                                     | <i>Geschwindigkeit des transmitralen Blutstroms während<br/>der Vorhofkontraktion</i>   |
| <i>E/A</i>   | -  | <i>Relation der maximalen frühdiastolischen zur<br/>spätdiastolischen transmitralen Einflussgeschwindigkeit<br/>in den linken Ventrikel</i> |

|   |                            |  |
|---|----------------------------|--|
| <i>FV</i>                               | <i>%</i>                   | <i>Fraktionelle Verkürzung</i>   |
| <i>TDL</i>                              | <i>mm</i>                  | <i>totaler diastolischer LV-Längsdurchmesser</i>   |
| <i>EDD/KOF</i>                          | <i>mm/m<sup>2</sup></i>    | <i>EDD bezogen auf die Körperoberfläche</i>  |
| <i>Ao</i>                               | <i>mm</i>                  | <i>Aortenwurzelradius</i>  |
| <i>TEDD<sub>m</sub></i>                 | <i>mm</i>                  | <i>Totaler enddiastolischer Durchmesser auf Mitralklappenebene</i>                       |
| <i>TEDD<sub>p</sub></i>                 | <i>mm</i>                  | <i>Totaler enddiastolischer Durchmesser auf Papillarmuskelebene</i>                      |
| <i>LVM<sub>Dev</sub></i>                | <i>g</i>                   | <i>Linksventrikuläre Muskelmasse nach Devereux</i>                                       |
| <i>LVM<sub>Dev</sub>/KOF</i>            | <i>g/m<sup>2</sup></i>     | <i>Linksventrikuläre Muskelmasse nach Devereux bezogen auf die Körperoberfläche</i>      |
| <i>TDV<sub>Teich</sub></i>              | <i>ml</i>                  | <i>Linksventrikuläres Volumen einschließlich dem Volumen des Myokards nach Teichholz</i> |
| <i>LVM<sub>Teich</sub></i>              | <i>g</i>                   | <i>Linksventrikuläre Muskelmasse nach Teichholz</i>                                      |
| <i>LVM<sub>Teich</sub>/KOF</i>          | <i>g/m<sup>2</sup></i>     | <i>Linksventrikuläre Muskelmasse nach Teichholz bezogen auf die Körperoberfläche</i>     |
| <i>TDV<sub>Dick</sub></i>               | <i>ml</i>                  | <i>Linksventrikuläres Volumen einschließlich dem Volumen des Myokards nach Dickhuth</i>  |
| <i>HV<sub>abs</sub></i>                 | <i>ml</i>                  | <i>absolutes Herzvolumen</i>   |
| <i>HV<sub>rel</sub></i>                 | <i>ml/kg</i>               | <i>relatives Herzvolumen</i>   |
| <i>HV<sub>allom</sub><sup>2/3</sup></i> | <i>ml/kg<sup>2/3</sup></i> | <i>allometrisches Herzvolumen</i>  |
| <i>HV<sub>allom</sub><sup>3/4</sup></i> | <i>ml/kg<sup>3/4</sup></i> | <i>allometrisches Herzvolumen</i>  |

## Tabellenverzeichnis

- Tabelle 1: Sportartenverzeichnis der Männer
- Tabelle 2: Sportartenverzeichnis der Frauen
- Tabelle 3: Korrelationsanalyse echokardiographischer und leistungsphysiologischer Parameter
- Tabelle 4: Alter der Sportlerinnen bei der sportärztlichen Untersuchung und ihr geleisteter Trainingsumfang
- Tabelle 5: Alter der Sportler bei der sportärztlichen Untersuchung und ihr geleisteter Trainingsumfang
- Tabelle 6: Eingangsparameter Sportler  $\geq 20$  Jahre
- Tabelle 7: Eingangsparameter Sportler  $\geq 18 - < 20$  Jahre
- Tabelle 8: Eingangsparameter Sportler  $\geq 16 - < 18$  Jahre
- Tabelle 9: Eingangsparameter Sportler  $\geq 14 - < 16$  Jahre
- Tabelle 10: Eingangsparameter Sportler  $< 14$  Jahre
- Tabelle 11: Eingangsparameter Sportlerinnen  $\geq 20$  Jahre
- Tabelle 12: Eingangsparameter Sportlerinnen  $\geq 18 - < 20$  Jahre
- Tabelle 13: Eingangsparameter Sportlerinnen  $\geq 16 - < 16$  Jahre
- Tabelle 14: Eingangsparameter Sportlerinnen  $\geq 14 - < 16$  Jahre
- Tabelle 15: Eingangsparameter Sportlerinnen  $< 14$  Jahre
- Tabelle 16: Anthropometrische und echokardiographische Werte der Sportler
- Tabelle 17: Anthropometrische und echokardiographische Werte der Sportlerinnen
- Tabelle 18: Korrelationskoeffizienten der Laufbandergometrie
- Tabelle 19: Korrelationskoeffizienten der Fahrradergometrie



## Abbildungsverzeichnis

- Abbildung 1: Korrelation LV-EDD und  $VO_2$  Männer Fahrrad  
Abbildung 2: Korrelation  $HV_{abs}$  und  $VO_2$  Männer Fahrrad  
Abbildung 3: Korrelation  $HV_{allom}^{2/3}$  und  $VO_2$  Männer Fahrrad  
Abbildung 4: Korrelation  $HV_{allom}^{3/4}$  und  $VO_2$  Männer Fahrrad  
Abbildung 5: Korrelation LV-EDD und  $VO_2$  Männer Laufband  
Abbildung 6: Korrelation  $HV_{abs}$  und  $VO_2$  Männer Laufband  
Abbildung 7: Korrelation  $HV_{allom}^{2/3}$  und  $VO_2$  Männer Laufband  
Abbildung 8: Korrelation  $HV_{allom}^{3/4}$  und  $VO_2$  Männer Laufband  
Abbildung 9: Korrelation LV-EDD und  $VO_2$  Frauen Fahrrad  
Abbildung 10: Korrelation  $HV_{abs}$  und  $VO_2$  Frauen Fahrrad  
Abbildung 11: Korrelation  $HV_{allom}^{2/3}$  und  $VO_2$  Frauen Fahrrad  
Abbildung 12: Korrelation  $HV_{allom}^{3/4}$  und  $VO_2$  Frauen Fahrrad  
Abbildung 13: Korrelation LV-EDD und  $VO_2$  Frauen Laufband  
Abbildung 14: Korrelation  $HV_{abs}$  und  $VO_2$  Frauen Laufband  
Abbildung 15: Korrelation  $HV_{allom}^{2/3}$  und  $VO_2$  Frauen Laufband  
Abbildung 16: Korrelation  $HV_{allom}^{3/4}$  und  $VO_2$  Frauen Laufband  
Abbildung 17: Längsschnitt Männer EDD  
Abbildung 18: Längsschnitt Männer  $HV_{abs}$   
Abbildung 19: Längsschnitt Männer  $LVM_{Dev}$   
Abbildung 20: Längsschnitt Frauen EDD  
Abbildung 21: Längsschnitt Frauen  $HV_{abs}$   
Abbildung 22: Längsschnitt Frauen  $LVM_{Dev}$   
Abbildungen 23: Box-Plots Männer  $\geq 20$  Jahre  
Abbildungen 24: Box-Plots Männer  $\geq 18 - < 20$  Jahre  
Abbildungen 25: Box-Plots Männer  $\geq 16 - < 18$  Jahre  
Abbildungen 26: Box-Plots Männer  $\geq 14 - < 16$  Jahre  
Abbildungen 27: Box-Plots Männer  $< 14$  Jahre  
Abbildungen 28: Box-Plots Frauen  $\geq 20$  Jahre  
Abbildungen 29: Box-Plots Frauen  $\geq 18 - < 20$  Jahre  
Abbildungen 30: Box-Plots Frauen  $\geq 16 - < 18$  Jahre  
Abbildungen 31: Box-Plots Frauen  $\geq 14 - < 16$  Jahre  
Abbildungen 32: Box-Plots Frauen  $< 14$  Jahre

## 1 ZUSAMMENFASSUNG/SUMMARY

Zur Abgrenzung einer pathologischen Hypertrophie von einem physiologisch hypertrophierten Herzen wurden in zahlreichen Studien echokardiographische Referenz- und Grenzwerte von Leistungssportlern beschrieben. Allerdings ist die Datenlage für junge Sportler im Alter zwischen 10 und 14 Jahren bisher limitiert. Darüber hinaus fordern einige Autoren, die Organdimensionen auf die Körperdimensionen zu beziehen und zusätzlich auch einen allometrischen Bezug herzustellen. Bisher fand der allometrische Bezug in der Humanmedizin jedoch nur wenig Berücksichtigung, sodass auch in der Sportmedizin bisher keine Normwerte für die Herzdimensionen mit allometrischem Bezug für Sportler existieren. Folglich fehlt auch ein Bezug der allometrischen Herzdimension zur spiroergometrisch ermittelbaren Sauerstoffaufnahme, die das Bruttokriterium der Ausdauerleistungsfähigkeit darstellt. Des Weiteren sind in der themenorientierten Literatur bisher keine längsschnittlichen Untersuchungen der kardialen Dimensionsänderungen bei Leistungs- bzw. Kadersportlern zu finden.

Es war Ziel der vorliegenden Untersuchung, altersabhängige echokardiographische Norm- und Grenzwerte für Landes- und Bundeskaderathleten anhand der am Institut für Sport und Präventivmedizin in Saarbrücken untersuchten Leistungssportler zu definieren und mit der vorhandenen Literatur zu vergleichen. Zusätzlich sollte, sofern möglich, eine längsschnittliche Analyse bei Sportlern erfolgen, die in regelmäßigen Abständen routinemäßig am Olympiastützpunkt in Saarbrücken untersucht wurden. Dafür wurde retrospektiv auf die Gesundheitsuntersuchung von Kader- und Profisportlern, welche zwischen Januar 1993 bis November 2005 am Institut für Sport- und Präventivmedizin des Saarlandes stattfanden, zurückgegriffen. Für diesen Zeitraum konnten 1681 Kadersportler (männliche Sportler: 1089, weibliche Sportler: 592) im Alter zwischen 9 und 41 Jahren eingeschlossen werden. Ebenso sollte der Zusammenhang zwischen der echokardiographisch ermittelten Herzgröße und der ergometrischen Leistungsfähigkeit überprüft werden. Schließlich war es auch Ziel dieser Arbeit zu untersuchen, inwieweit ein allometrischer Bezug der Herzdimensionen mit der Ausdauerleistungsfähigkeit bzw. der maximalen Sauerstoffaufnahme korreliert.

Die in dieser Studie erhobenen echokardiographischen Norm- und Grenzwerte für Leistungssportler stimmen mit den bisher in der Literatur beschriebenen Werten überein. Der mittlere linksventrikuläre enddiastolische Durchmesser (LV-EDD) beträgt in dieser Studie bei den erwachsenen Sportlern  $55 \pm 3$  mm und bei den Sportlerinnen  $50 \pm 4$  mm mit einem oberen Grenzwert (97.5 Perzentile) (OGW) von 66 mm (♂) bzw. 58 mm (♀). Im Alter von 18-20 Jahren ist der mittlere LV-EDD bei beiden Geschlechtern etwa 3-4% niedriger (♂  $53 \pm 3$  mm, OGW 63 mm; ♀  $48 \pm 3$  mm, OGW 55 mm). Bei den Athleten/-innen im Alter zwischen 14-18 Jahren misst der LV-EDD  $52 \pm 3$  mm (♂, OGW 60 mm) bzw.  $47 \pm 3$  mm (♀, OGW 55 mm). Bei Sportlern unter 14 Jahren liegt der LV-EDD für Jungen bei  $47 \pm 3$  mm (OGW 54 mm) und für Mädchen bei  $44 \pm 3$  mm (OGW 52 mm).

Die Septum- (IVS) und linksventrikulären Hinterwanddicken (LV-PW) dieser Studie entsprechen ebenso den bisher publizierten Messwerten. Diese betragen bei den erwachsenen Kaderathleten im Mittel  $10.6 \pm 1.1$  mm (IVS) bzw.  $10.3 \pm 1.1$  mm (LV-PW) mit einem OGW von 15 mm (IVS) bzw. 14 mm (LV-PW). Wanddicken von  $\geq 13$  mm sind hingegen in dieser Untersuchung selten ( $<1\%$ ). Bei erwachsenen Kaderathletinnen dieser Studie beträgt die IVS  $9.1 \pm 1.2$  mm (OGW 11.5 mm) und die LV-PW  $9.0 \pm 1.1$  mm (OGW 11 mm). Die mittlere IVS von Sportlern im Alter von 14-18 Jahren liegt bei  $9.7 \pm 1.1$  mm (OGW 13 mm) und die mittlere LV-PW bei  $9.4 \pm 1.1$  mm (OGW 11.5 mm). Bei den gleichaltrigen Frauen beträgt die IVS etwa  $8.4 \pm 1.0$  mm (OGW 11.5 mm) und die LV-PW etwa  $8.0 \pm 0.9$  mm (OGW 11 mm). Des Weiteren besitzen 10-14 jährige Kadersportler dieser Studie eine IVS von  $8.3 \pm 1.1$  mm (OGW 11 mm) und eine LV-PW von  $7.8 \pm 1.0$  mm (OGW 11 mm). Bei Kaderathletinnen unter 14 Jahren beträgt die mittlere IVS  $7.4 \pm 0.9$  mm (OGW 10 mm) und die mittlere LV-PW  $7.2 \pm 0.9$  mm (OGW 10 mm). Darüber hinaus wird in allen Untersuchungsgruppen eine relative Wanddicke von 44 % nicht überschritten, die sich somit nur marginal vom oberen Grenzwert für Nichtsportler (42%) unterscheidet. Bezüglich der Herzvolumina weisen bei den über 16 jährigen Sportlern erwartungsgemäß die Ausdauersportler die größten relativen Herzvolumina auf (Maximalwerte dieser Studie ♂19 ml/kg, ♀18 ml/kg). Anhand der vorliegenden Ergebnisse scheint jedoch ein einfacher Körpergewichtsbezug bei Kadersportlern unter 14 Jahren mit niedrigen Körperdimensionen problematisch zu sein, da dies zu einer vermeintlichen Überschätzung des relativen Herzvolumens bei diesen Athleten führt. Demnach liegt das relative Herzvolumen junger Kadersportler/-innen unter 14 Jahren im Mittel bei 12.9 ml/kg (♂) bzw. 12.7 ml/kg (♀), wobei die restlichen Alterskollektive relative Herzvolumina von 12.3-12.6 ml/kg (♂) bzw. 11.6-11.8 ml/kg (♀) aufwiesen. Dies kann durch die Anwendung des allometrischen Bezugs insbesondere für junge Athleten relativiert werden ( $<14$  Jahre: ♂47.0 ml/kg<sup>2/3</sup>; ♀44.5 ml/kg<sup>2/3</sup>,  $>16$  Jahre: ♂51.0-53.7 ml/kg<sup>2/3</sup>; ♀45.1-47.5 ml/kg<sup>2/3</sup>). Um die Plausibilität echokardiographisch bestimmter Herzdimensionen zu überprüfen, eignet sich, unter Berücksichtigung aller Untersuchungsgruppen, jedoch der Zusammenhang zwischen absolutem Herzvolumen und maximaler Sauerstoffaufnahme am besten, da sich hierfür höhere Korrelationskoeffizienten ( $r=0.70-0.87$ ) als für den allometrisch gewonnenen Bezug finden ( $r=0.13-0.39$ ). Anhand der längsschnittlichen Beobachtung an einem kleinen Kollektiv von Kadersportlern ( $n=4-11$ ) ergibt sich die größte physiologische Zunahme des linksventrikulären enddiastolischen Durchmessers (LV-EDD), des absoluten Herzvolumens ( $HV_{abs}$ ) und der linksventrikulären Muskelmasse nach Devereux ( $LVM_{Dev}$ ) bereits in jungen Jahren. Dabei vergrößert sich der LV-EDD bei den Sportlern im Alter zwischen 12.5 bis 15 Jahren um etwa 4.5 mm, das  $HV_{abs}$  steigt um etwa 220 ml an und die  $LVM_{Dev}$  wächst um etwa 50 g.

Schlussfolgernd ist festzustellen, dass sich die in der vorliegenden Studie anhand eines großen Kollektivs an Kader- und Leistungssportlern gewonnenen echokardiographischen Referenzwerte in die bisherige Literatur einfügen. Zusätzlich konnten die bisherigen Referenzwerte auf junge Kaderathleten unter 14 Jahren erweitert werden. Darüber hinaus wurden erstmals Grenzwerte der

Herzdimensionen mit allometrischem Bezug definiert. Dies kann zur Beurteilung der physiologischen Herzhypertrophie insbesondere bei jungen Sportlern (unter 14 Jahren) hilfreich sein. Für den klinischen Alltag in der Sportkardiologie sollte anhand der Daten dieser Untersuchung der Zusammenhang zwischen absolutem Herzvolumen und maximaler Sauerstoffaufnahme verwendet werden.

## 1 SUMMARY

To distinguish a pathological hypertrophy from a physiologically hypertrophied heart, numerous studies have investigated echocardiographic reference values and upper limits in competitive athletes. The data available for young athletes aged from 10 to 14 have previously been limited, however. Moreover, a number of authors argue for the relation of organ dimensions to bodily dimensions and, in addition, for the calculation of an allometric ratio. Such allometric calculations have received little attention in human medicine to date, however. Accordingly, sports medicine also lacks reference values for heart dimensions with an allometric ratio for athletes. Also lacking as a result is a relation of the allometric heart dimension to spiroergometric-determined oxygen uptake, which constitutes the gross criterion of endurance performance capacity. Moreover, the literature treating this subject has to date failed to supply any longitudinal studies of changes to cardiac dimensions in elite athletes or competitive athletes.

The goal of the present investigation was thus to utilize data on competitive athletes from the Institute of Sports and Preventive Medicine (Saarbrücken) to define age-dependent echocardiographic reference values/upper limits for elite athletes at state/federal level and to compare these data with the literature. A further aim, insofar as feasible, was to conduct a longitudinal analysis of athletes who had regularly received routine medical examinations at the German Olympic Base in Saarbrücken. To this end, a retrospective analysis was performed on data from medical examinations conducted on elite and professional athletes at the Saarland Institute of Sports and Preventive Medicine between January 1993 and November 2005. For this period, a population of 1681 elite athletes (1089 male athletes; 592 female athletes) between 9 and 41 years of age was obtained. A further study goal was to verify the correlation between heart size (as determined by echocardiography) and ergometric athletic capacity. A fourth and final goal of this work was to investigate the degree of correlation between an allometric ratio of heart dimensions with endurance performance capacity and maximum oxygen uptake.

The echocardiographic reference values and upper limits for competitive athletes obtained by this study correspond to the values given in the literature to date. In this study, the left ventricular end-diastolic diameter (LVEDD) in adult athletes amounted to  $55 \pm 3$  mm for males and  $50 \pm 4$  mm for females, with an upper limit (UL) (97.5 percent) of 66 mm (♂) and 58 mm (♀). In the 18-20 age group, mean LVEDD was some 3-4% lower for both males and females (♂  $53 \pm 3$  mm, UL 63 mm; ♀  $48 \pm 3$  mm, UL 55 mm). For athletes in the 14-18 age group, LVEDD measurements were  $52 \pm 3$  mm (♂ UL 60 mm) and  $47 \pm 3$  mm (♀ UL 55 mm). For athletes under 14 years of age, LVEDD was  $47 \pm 3$  mm (UL 54 mm) for males and  $44 \pm 3$  mm (UL 52 mm) for females. The septum (IVS) and left ventricular posterior wall thicknesses (LVPW) in this study also correspond to measurement data published to date. For adult elite male athletes, mean data were as follows:  $10.6 \pm 1.1$  mm (IVS) and  $10.3 \pm 1.1$  mm (LVPW) with an UL of 15 mm (IVS) and 14 mm (LVPW). Wall thicknesses  $> 13$  mm

were rare in these study data, however (< 1%). For adult elite female athletes in this study, data were IVS  $9.1 \pm 1.2$  mm (UL 11.5 mm) and LVPW  $9.0 \pm 1.1$  mm (UL 11 mm). Data for male athletes in the 14-18 age group return a mean IVS of  $9.7 \pm 1.1$  mm (UL 13 mm) and a mean LVPW of  $9.4 \pm 1.1$  mm (UL 11.5 mm). For females in the same age group, typical IVS was  $8.4 \pm 1.0$  mm (UL 11.5 mm), with a typical LVPW of  $8.0 \pm 0.9$  mm (UL 11 mm). Turning to the 10-14 elite athlete age group, study data returns an IVS of  $8.3 \pm 1.1$  mm (UL 11 mm) and an LVPW of  $7.8 \pm 1.0$  mm (UL 11 mm). For elite female athletes under 14 years of age, mean IVS was  $7.4 \pm 0.9$  mm (UL 10 mm) and mean LVPW  $7.2 \pm 0.9$  mm (UL 10 mm). In addition, no study group returned a relative wall thickness data point exceeding 44%: accordingly, this value deviates only marginally from data for non-athletes (42%). As regards cardiac output in male athletes over 16 years of age, endurance athletes exhibit the greatest relative cardiac output, as expected (upper limits in this study: ♂19 ml/kg, ♀18 ml/kg). The present results would seem to exclude the possibility of a simple body weight correlation for elite athletes of small stature under 14 years of age, however, since this leads to a putative overestimation of the relative cardiac output for athletes in this group. Accordingly, mean relative cardiac output for young elite athletes (male and female) under 14 years of age is 12.9 ml/kg (♂) and 12.7 ml/kg (♀), while the other age populations exhibit a relative cardiac output of 12.3-12.6 ml/kg (♂) and 11.6-11.8 ml/kg (♀). For young athletes in particular, this can be qualified by the application of the allometric ratio (age <14: ♂  $47.0 \text{ ml/kg}^{2/3}$ ; ♀  $44.5 \text{ ml/kg}^{2/3}$ , age >16: ♂  $51.0\text{-}53.7 \text{ ml/kg}^{2/3}$ ; ♀  $45.1\text{-}47.5 \text{ ml/kg}^{2/3}$ ). In order to verify the plausibility of cardiac dimensions obtained via echocardiography, and in consideration of all study groups, the correlation between absolute cardiac output and peak oxygen uptake proves to be the best method, however, as this returns higher correlation coefficients ( $r=0.70\text{-}0.87$ ) than those for the ratio obtained by allometric means ( $r=0.13\text{-}0.39$ ). Data from the longitudinal observation of a small cohort of elite male athletes ( $n = 4\text{-}11$ ) reveal the largest physiological increase in left ventricular end-diastolic diameter (LVEDD), absolute cardiac output ( $CO_{\text{abs}}$ ) and left ventricular myocardium (Devereux method,  $LVM_{\text{Dev}}$ ), even at a young age. Furthermore, LVEDD increases for male athletes aged 12.5 to 15 by approximately 4.5 mm, with  $CO_{\text{abs}}$  rising by approx. 220 ml and  $LVM_{\text{Dev}}$  showing an increment of approx. 50 g.

In conclusion, the present study has shown that the echocardiographic reference values obtained by this study from a large population of elite/competitive athletes are in line with the literature published to date. The study has also extended existing reference value data to young elite athletes under 14 years of age. The study is also the first to define upper limits for cardiac dimensions with an allometric ratio. This may prove useful in evaluating physiological cardiac hypertrophy, especially in young athletes (aged 14 and under). For clinical practice in sports cardiology, the data supplied by this study should be used to apply the correlation between absolute cardiac output and peak oxygen uptake.

## 2 EINLEITUNG

### 2.1 Physiologische Adaption des Herzens durch Sport

Regelmäßiges sportliches Ausdauertraining führt zu einer physiologischen Adaption des Herzens. Ein wöchentliches Training von mindestens fünf Stunden mit einem hohen Anteil einer aerodynamischen Beanspruchung fördert die Ausbildung eines Sportherzens [124]. Ob und in welchem Maße eine Sportherzvergrößerung erreicht wird, unterliegt starken individuellen und interdisziplinären Schwankungen. So kommt es vor allem bei Leistungssportlern des Radsports, bei Langstreckenläufern, bei Skilangläufern oder bei Triathleten zur Ausbildung großer Sportherzen [116]. Diese Größenzunahme resultiert aus einer Anpassung des Herzens und des Herz-Kreislaufsystems mit strukturellen und funktionellen Veränderungen. Im Verlauf regelmäßigen Trainings kommt es zu einer exzentrischen Hypertrophie des Herzmuskels mit gleichzeitiger Erweiterung der Herzkranzgefäße [130]. Ebenso führt kontinuierlicher Sport mit entsprechender Intensität zu einer Erhöhung des Schlagvolumens und des Herzzeitvolumens. Des Weiteren wird eine bessere Kapillarisation und Sauerstoffaufnahme, eine Vergrößerung der arteriovenösen Sauerstoffdifferenz sowie eine Stabilisierung und Senkung des Ruheblutdrucks und des Ruhepulses erreicht [114]. Bereits im Anfangsstadium regelmäßigen Ausdauertrainings können funktionelle Adaptionen des Herzens erfolgen. Schon nach kurzer Trainingszeit kann es zu einer vegetativen Umstimmung mit einer Erhöhung des parasympathischen Tonus in Ruhe kommen. Dieser verstärkte Einfluss führt zu einer sogenannten „Trainingsbradykardie“ [114]. Des Weiteren wird durch eine verbesserte linksventrikuläre Füllungsdynamik [110] und eine Abnahme des peripheren Gefäßwiderstandes [107] bei gleichbleibendem Herzzeitvolumen in Ruhe ein größeres Schlagvolumen ausgeworfen. Diese Ökonomisierung der Herzarbeit in Ruhe bildet eine der Hauptreserven bei Belastungssituationen. So beträgt das Schlagvolumen gesunder Untrainierter etwa 80 ml und kann unter Belastung um 30-50% zunehmen, wobei Hochausdauertrainierte ein Schlagvolumen von mehr als 200 ml erreichen können [29,131]. Somit ist bei einer maximalen Herzfrequenz von etwa 220 minus Lebensalter ein Herzzeitvolumen bei Hochausdauertrainierten von  $> 40$  l/min möglich [29]. Durch eine belastungsinduzierte Zunahme des Herzzeitvolumens und der arteriovenösen Sauerstoffdifferenz wird ein Anstieg der Sauerstoffaufnahme erreicht [38]. Da regelmäßiges Training zu einer besseren Kapillarisation, einer Zunahme von Zahl und Größe der Mitochondrien sowie zu einer vermehrten Aktivität oxidativer Enzyme führt, kann in der arbeitenden Muskulatur eine bessere Sauerstoffausschöpfung stattfinden. Die arteriovenöse Sauerstoffdifferenz, welche in Ruhe 5ml/100ml Blut beträgt, kann bei maximaler Belastung auf 15-17 ml/100ml Blut ansteigen [98]. Dementsprechend kann die Sauerstoffaufnahme eines Hochleistungssportlers mit hohem Ausdaueranteil auf das über zwanzigfache des Ruhewertes ansteigen. Im Vergleich erreichen gesunde Untrainierte einen Anstieg um das 10- bis 12-fache [98]. Die maximale Sauerstoffaufnahme beträgt

bei jüngeren, untrainierten Männern im Mittel 40-45 ml/min · kg und kann bei Hochausdauertrainierten Werte von über 80 ml/min · kg erreichen [73,101].

Hämodynamisch ist der arterielle Blutdruck das Produkt aus Herzzeitvolumen und totalem peripheren Widerstand. Der lineare Anstieg des (v.a. systolischen) Blutdruckes während einer dynamischen Belastung resultiert aus dem stärkeren Anstieg des HZV gegenüber dem vergleichsweise geringeren Abfall des Gefäßwiderstands. Eine kurzfristige statische bzw. isometrische Belastung (z.B. Gewichtheben) führt aufgrund der intramuskulären Kompression und dem Einsatz großer Muskelgruppen sogar zu einer Zunahme des peripheren Gefäßwiderstandes und damit zu einem deutlich stärkeren Anstieg des systolischen und diastolischen Blutdrucks gegenüber dynamischen Ausdauerbelastungen. Besonders ein aerobes Ausdauertraining trägt zur Senkung und Stabilisierung des Ruheblutdrucks bei [32]. Jedoch auch ein kraftorientiertes Training mit submaximaler Intensität und mehreren Wiederholungen wirkt sich positiv auf den Blutdruck aus [42]. Gemeinhin erhöhen statische Belastungen, welche vor allem beim Krafttraining vorkommen, die Druckerbeit des Herzens, dynamische Belastungen die Volumenarbeit des Herzens [34]. Die vermehrte Volumenbelastung bei dynamischen Belastungen führt insbesondere bei Ausdauersportlern zu einer harmonischen Herzvergrößerung mit Hypertrophie und Dilatation aller vier Herzhöhlen. Eine Hyperplasie tritt nicht auf [103]. Ein weiterer wesentlicher Faktor der strukturellen Adaption des Herzens bei regelmäßiger Ausdauerbelastung ( $\geq 6$  Wochen) ist die zunehmende Nachlast durch körperliche Betätigung, welche eine größere diastolische Herzfüllung und Zunahme des enddiastolischen Volumens bedingt. Durch die Zunahme der Wandspannung, welche eine Vergrößerung der mechanischen Belastung in der Systole über eine vermehrte metabolische Beanspruchung und Aktivierung der nukleolären und mitochondrialen DNS abhängigen RNS-Polymerase bedingt, wird die Proteinsynthese stimuliert [37]. Als Resultat regelmäßigen Ausdauertrainings findet ein kompensatorisches Wachstum der Zellen mit Zunahme der Herzmuskelfaserlänge statt, sowie eine Vermehrung der Mitochondrien, Kapillaren und Endothelzellen.

Bereits 1899 wurde durch den finnischen Arzt Henschen perkutorisch eine Herzvergrößerung bei Skilangläufern festgestellt, woraufhin er erstmalig das sogenannte Sporthertz beschrieb [36]. Durch die röntgenologischen Untersuchungen des Freiburger Arztes Reindell konnten Mitte des letzten Jahrhunderts die Erkenntnisse über die besondere Leistungsfähigkeit und Vergrößerung des Herzens durch Sport vorangetrieben werden [93]. In der Folge etablierte sich die Echokardiographie zur Untersuchung physiologischer Adaptionen und Differenzierung pathologischer Hypertrophieformen.



## 2.2 Echokardiographische Befunde

Seltener als allgemein angenommen, kommt es zur Entwicklung eines Sportherzens. Nicht Leistungssport per se, sondern ein hoher Trainingsumfang und eine entsprechende Trainingsintensität mit einem Mindestmaß an Ausdauertraining fördern die Entstehung eines Sportherzens. Wöchentlich müssen mindestens 60-70 km mit entsprechender Intensität gelaufen oder über 150 km mit dem Rad gefahren oder über 15 km geschwommen werden [124]. Erst in diesem Rahmen sind strukturelle Anpassungen des Herzens zu erwarten, welche sich individuell unterschiedlich stark ausprägen und mittels Echokardiographie gemessen werden können. Echokardiographisch besteht beim typischen Sportherz eine exzentrische, linksventrikuläre Hypertrophie [44,48,65,82,106,116]. Die relative Herzgröße beträgt für männliche Normalpersonen 10-12 ml/kg (Grauzone bis 13) und 9-11 ml/kg (Grauzone bis 12) für Frauen. Ein relatives Herzvolumen von 20 ml/kg für männliche Sportler bzw. 19 ml/kg für weibliche Spitzensportlerinnen wird nicht überschritten [48,97]. Genauso kommt es auch nicht zu einer Überschreitung eines absoluten Herzgewichtes von 7,5 g/kg bei Athleten bzw. 7,0 g/kg bei Athletinnen [37]. Beim Sportherz beträgt der klinische Grenzwert der linksventrikulären Muskelmasse (ermittelt nach Devereux) bei den Männern 165 bis 170g/m<sup>2</sup> und reicht bei den Frauen bis 130 g/m<sup>2</sup> [105]. Die beim Sportherz definierten oberen Grenzwerte des linksventrikulären enddiastolischen Durchmessers betragen für Männer 63-67 mm und für Frauen 60-63 mm. Insgesamt ist der LV-EDD 10% höher als bei normal großen Herzen, übertrifft jedoch nur selten eine Grenze von 60 mm [120]. Ebenso wird ein klinischer Grenzwert von 12 mm bezüglich der Septum- und Hinterwanddicken selten durch Spitzensportler überschritten. Große männliche Sportler können linksventrikuläre Wanddicken von bis zu 13 mm erreichen. Etwa 1-2 mm dickere Kammerwände können bei dunkelhäutigen Sportlern gemessen werden. Ob hierbei eine klinische Relevanz besteht, ist noch nicht geklärt [3]. Jedoch lässt das Vorliegen eines normalen bis mäßig erhöhten EDD bei einer LV-Wanddicken von größer 13 mm eine pathologische Hypertrophie vermuten [48,106,116]. Insgesamt führt Training zu keiner Änderung des Hypertrophie-Index, welcher als Maß für das Verhältnis von Wanddicke und Innendurchmesser des linken Ventrikels angesehen wird. Eine bei Bodybuildern (Kraftsportlern) beschriebene Erhöhung des Index bzw. auch die in der Literatur dargestellte konzentrische Hypertrophie, ist am ehesten auf den Missbrauch von Dopingmitteln zurückzuführen [1,97]. Durch symmetrisches Wachstum aller 4 Herzhöhlen beim Sportherz, ist auch der linke Vorhof proportional zum linken Ventrikel vergrößert. Kritische Werte werden ab einer Größe von 45 mm erreicht, wobei analog den Körperdimensionen auch noch Werte bis 50 mm bei großen Ausdauerathleten physiologisch sind [89]. Wichtig ist es, diese Grenzwerte nicht einzeln, sondern im Zusammenhang mit der Funktion des Herzens zu beurteilen. So ist das E/A-Verhältnis, als Ausdruck der diastolischen LV-Funktion, bei physiologischer Herzvergrößerung immer größer als 1,0 [9,75,91,120]. Ebenso haben Hochausdauertrainierte eine normale Auswurf- und Verkürzungsfraktion mit normalem Mitralis-Septum-Abstand von etwa 7-8 mm [48].

### 2.3 Kardiale Pathologien und deren Differenzierung durch die Echokardiographie

Insbesondere Kardiomyopathien, Klappenvitien, Myokarditis sowie kongenitale Anomalien der Koronararterien sind pathologische Veränderungen, welche insbesondere bei jungen Sportlern (<35 Jahre) zum plötzlichen Herztod führen können und welche gewöhnlich mittels Echokardiographie detektiert werden. Bei älteren Sportlern (>35-40 Jahre) steht die koronare Herzerkrankung in der Todesursachenstatistik des plötzlichen Herztodes an erster Stelle [66,121]. Im Vergleich dazu spielt die KHK in jungen Jahren eine eher untergeordnete Rolle, wohingegen die hypertrophe Kardiomyopathie für etwa ein Drittel aller Todesfälle verantwortlich ist [6,11].

Echokardiographisch findet sich bei der HCM (hypertrophe Kardiomyopathie) eine Hypertrophie des linksventrikulären Myokards bei normalen oder verringerten Innenvolumina des linken Ventrikels. LV-Wanddicken von > 13 mm im anterioren Septum oder an der posterioren Wand oder > 15 mm im posterioren Septum oder an der freien Wand des LV sind hochgradig verdächtig für das Vorliegen einer HCM [60]. Allgemein besteht zwischen 13 und 15 mm Wanddicke eine Grauzone, wobei eine Wanddicke von größer als 15 mm in der Regel pathologisch ist [60]. Bei jugendlichen Athleten (14-18 Jahre) sind bereits linksventrikuläre Wanddicken von > 12 mm (Mädchen > 11 mm) bei nicht dilatiertem linken Ventrikel verdächtig [106]. Ebenso deutet eine gestörte diastolische Funktion in Ruhe oder bei Belastung ( $E/A < 1$ ) [22] sowie ein erhöhter Mitralis-Septum-Abstand auf eine pathologische Hypertrophie hin. Bei der obstruktiven Form der hypertrophen Kardiomyopathie (HOCM) kann es zusätzlich durch die Einengung der Auswurfbahn während der Systole zu einer Abnahme der Auswurffraktion unter Belastung kommen [64]. Durch die konzentrische und diffuse Wanddickenzunahme, welche sowohl häufig das Septum (v.a. linksventrikulär betont), als auch gelegentlich den rechten Ventrikel oder die Spitze betrifft, werden Werte um 20 mm oder mehr erreicht und somit eindeutig als pathologisch identifiziert [30]. Schwierigkeiten bestehen bei der Detektion von beginnenden oder nur gering ausgeprägten Formen der pathologischen Hypertrophie. Falls zusätzliche invasive Methoden keine eindeutigen Erkenntnisse bringen, sind regelmäßige echokardiographische Verlaufsbeobachtungen obligat.

Ein wichtiger echokardiographischer Hinweis auf das Vorliegen einer dilatativen Kardiomyopathie (DCM) ist die Dilatation und Volumenzunahme des linken Ventrikels ( $EDD > 55\text{mm}$ ) bei normaler oder verringerter Wanddicke. Somit ist das Verhältnis der Wanddicke zum Innendurchmesser vermindert, was zu einer Erhöhung der maximalen systolischen Wandspannung führt und konsekutiv eine ungünstigere Arbeitsweise bedingt [15,35]. Im Verlauf führt dies zu systolischen ( $EF < 45\%$ ,  $FS < 25\%$ ) und diastolischen ( $E/A < 1$ ) Funktionsverlusten. Gelegentlich sind auch eine atriale Dilatation sowie eine sekundäre Mitral- oder Trikuspidalinsuffizienz nachweisbar. Durch die gestörte Pumpfunktion wird die Entstehung von Thromben gefördert, welche vor allem in der Spitze des linken Ventrikels nachgewiesen werden können.

Eine in unseren Regionen eher selten, durch genetische Prädisposition in der norditalienischen Region Venetien jedoch gehäuft vorkommende Erkrankung, ist die arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie (ARVC) [12,90]. Ein Hauptkriterium der echokardiographischen Diagnostik ist einerseits eine schwere Dilatation und Reduktion der Ejektionsfraktion des rechten Ventrikels. Diese kann sich mit oder ohne Einbeziehung des linken Ventrikels manifestieren. Andererseits stützen im rechten Ventrikel lokalisierte aneurysmatische Areale den Verdacht auf eine ARVC [60]. Eine jeweils rechtsventrikuläre, leichtgradige Dilatation und/oder verminderte Auswurffraktion bei normaler linksventrikulärer Funktion, regionale Hypokinesien sowie eine mäßiggradige segmentale Dilatation sind weitere echokardiographische Kriterien der ARVC, welche weiterer Diagnostik bedürfen [78].

Eine mäßige Vergrößerung des linksventrikulären Innendurchmessers, sowie diskrete und meist apikal lokalisierte segmentale Wandbewegungsstörungen, können unspezifische Hinweise für eine Myokarditis sein [119]. In der Folge kann es zu einer verminderten linksventrikulären Funktion kommen, welche sich im Gegensatz zum gesunden Sportler unter Belastung nicht normalisiert [119]. Ebenso kann ein sonographisch diagnostizierter Perikarderguss bei passender Anamnese Hinweis auf eine entzündliche Genese sein. Eine Differenzierung mit Hilfe weiterer Diagnostik (falls möglich Belastungsechokardiographie, MRT, invasive Methoden, kardialer Gewebedoppler) zur Objektivierung des myokardialen Funktionszustandes ist indiziert.

Die Koronarostien und der proximale epikardiale Verlauf der Koronararterien sind durch die Echokardiographie bei günstigen Schallbedingungen teilweise darstellbar. Kongenitale Anomalien können durch erfahrene Untersucher bei gutem Schallfenster diagnostiziert werden [88]. Am häufigsten ist ein Abgang aus dem falschen Sinus. Dabei entspringt die linke Koronararterie dem rechten Sinus bzw. die rechte Herzkranzarterie dem linken Sinus [8,10,11]. Fehlabgänge oder Missbildungen der Koronararterien sind bei jungen Sportlern (< 35 Jahre) nach der HCM und der Myokarditis eine der häufigsten Ursachen des plötzlichen Herztodes [27,58,123].

Ist eine arterielle Hypertonie bei Sporttreibenden bisher noch nicht bekannt, kann auch hierbei die Echokardiographie Hinweise liefern. Chronischer Bluthochdruck führt im Verlauf häufig primär zu einer konzentrischen Hypertrophie und ist in dieser Ausprägung somit immer von einer exzentrischen Hypertrophie des Sportherzens klar abzugrenzen. Da jedoch auch die direkte (oder sekundäre) Entwicklung einer exzentrischen Hypertrophie durch unzureichende Kompensation möglich ist, wird die Differentialdiagnose erschwert [94,111]. Meist kommt es jedoch in der Folge einer chronischen Druckbelastung zu einer gestörten systolischen und/oder diastolischen Funktion. Ebenso ist in diesem Zusammenhang eine isolierte Vergrößerung und Hypertrophie des linken Ventrikels (asymmetrische Hypertrophie) als pathologisch anzusehen.

## 2.4 Studien echokardiographischer Untersuchungen bei Kadersportlern

In einer frühen Studie von Pelliccia et al. [84], welche an italienischen Kadersportlern diverser olympischer Disziplinen zwischen September 1986 und August 1988 durchgeführt wurde, konnte bei lediglich 16 von 947 Athleten (1,7 %) eine größere linksventrikuläre Wanddicke als 13 mm gemessen werden. Insgesamt reichte die Altersstruktur der Sportler von 13 bis 49 Jahre (im Mittel 22 Jahre). Von den o.g. 16 Sportlern, alle männlichen Geschlechts und zwischen 18 und 27 Jahre alt (im Mittel 22,5 Jahre), waren 15 Ruderer oder Kanuten und einer ein Radfahrer. Alle Athleten mit einer Wanddicke  $\geq 13$  mm hatten einen vergrößerten LV-EDD (55-63 mm) und eine normale fraktionelle Verkürzung (FS:  $37,4 \pm 2,1$  %). Zusammenfassend ist eine linksventrikuläre Wanddicke von größer als 13 mm sehr ungewöhnlich und beschränkt sich in der Studie von Pelliccia et al. praktisch auf Rudersportler mit vergrößerter linker Herzkammer und großen Körperdimensionen (KOF 1,94 - 2,17 m<sup>2</sup>; Mittelwert 2,10 m<sup>2</sup>). Eine LV-Wandhypertrophie bis zu 16 mm scheint in dieser Gruppe durch Training noch physiologisch zu sein.

Sharma et al. [106] beschäftigten sich damit, echokardiographische Grenzwerte für jugendliche Athleten zu bestimmen. Hierfür untersuchten sie 720 heranwachsende Kadersportler und 250 untrainierte Jugendliche der Kontrollgruppe im Alter zwischen 14 und 18 Jahren (mittleres Alter  $15,7 \pm 1,4$  Jahre). Das Risiko einen plötzlichen Herztod aufgrund einer HCM zu erleiden, schätzen sie in diesem Alter als am höchsten ein [64]. Beim Vergleich der Kadersportgruppe mit der untrainierten Kontrollgruppe gab es signifikante Unterschiede bezüglich der Septumdicke, den LV-Wanddicken, dem enddiastolischen Durchmesser und der LV-Muskelmasse (jeweils  $p < 0,001$ ). Im Ergebnis zeigen sich deutlich höhere Werte bei den Kadersportlern. Insgesamt überschritten jedoch lediglich 5 % der Kadersportler dieses Alterskollektives (14-18 Jahre) eine maximale LV-Wanddicken von 11 mm und nur 3 männliche Athleten hatten Wanddicken von größer als 12 mm (0,4% des Gesamtkollektives). Gleichzeitig wurde bei jedem dieser Sportler eine vergrößerte linksventrikuläre Herzkammer (MW  $54,4 \pm 2,1$  mm; 52-60 mm) mit normalem Mitralklappenströmungsfluss festgestellt, was die Autoren jedoch als untypisch für eine Kardiomyopathie werteten. Zum Vergleich wurde bei 70 Jugendlichen, welche an einer hypertrophen Kardiomyopathie erkrankt waren, ein LV-EDD von  $\leq 48$  mm gemessen. Ebenso sollte eine Erhöhung der LV-Wanddicke auf  $\geq 12$  mm bei jugendlichen Kadersportlern ( $\geq 11$  mm bei jugendlichen Kadersportlerinnen) bei gleichzeitig nicht dilatiertem linken Ventrikel laut Sharma et al. eine Trainingspause nach sich ziehen. Hierbei muss die Wanddicke im sportfreien Intervall nochmals beurteilt werden und bis zum Beweis des Gegenteils unter der Verdachtsdiagnose einer HCM laufen [106].

In einer weiteren britischen Studie von Whyte et al. [127], welcher 442 Leistungssportler aus 13 Sportarten im Alter zwischen 18 und 41 ( $\bar{\varnothing} 24,8 \pm 6,0$ ) Jahren angehörten, wurden die größten gemessenen LV-Wanddicken mit 14 mm angegeben. Jedoch beim Großteil der untersuchten Sportler (97,5 %) lagen die maximalen Wanddicken unter 13 mm. Bei den restlichen 2,5 % (11 von 442

Probanden) mit größerer LV-Wanddicke ( $\geq 13$  mm), welche alle männlichen Geschlechts waren und eine normale systolische und diastolische Pumpfunktion besaßen, war jedoch entgegen der Studie von Pelliccia [84], keine Zugehörigkeit zu einer bestimmten Sportart gegeben. Zusammenfassend wurden die Grenzwerte für LV-PW und LV-EDD bei 14 mm bzw. 65 mm für die Männer und bei 11 mm bzw. 60 mm für die Frauen definiert [127].

Laut Sun et al. [112] wurden in einer an chinesischen Spitzensportlern ( $n=339$ ) durchgeführten Studie, die 19 verschiedene und überwiegend olympische Sportarten beinhaltet, die Höchstwerte der linksventrikulären Wanddicke und des enddiastolischen Durchmessers bestätigt. Bei 19 von 165 männlichen Athleten (11,5%) wurde ein linksventrikulärer enddiastolischer Durchmesser von  $\geq 60$  mm gemessen und nur 3 Athleten (1,8 %) hatten eine linksventrikuläre Wanddicke von  $\geq 13$  mm. Ein LV-EDD von  $\geq 50$  mm wurde bei 18 Sportlerinnen (10,3%) gemessen, wobei sieben Sportlerinnen (4,2%) einen LV-EDD von  $\geq 55$  mm aufwiesen. Bei keiner der 174 Leistungssportlerinnen wurde eine größere linksventrikuläre Wanddicke als 11 mm festgestellt. Alle Athleten hatten normale systolische und diastolische Funktionsparameter. Die maximale linksventrikuläre Wanddicke der männlichen Sportler betrug 14 mm und der maximal gemessene LV-EDD 65 mm. Bei den weiblichen Spitzensportlerinnen entsprechend 11 mm (LV-PW) und 62 mm (LV-EDD) [112].

## 2.5 Forschungsdefizit

Echokardiographische Grenzwerte von Leistungssportlern sollten generell nach Alter und Geschlecht definiert werden. In den bisherigen Studien wurde größtenteils zwischen jugendlichen Sportlern (Sharma 14-18 Jahre [106]) und erwachsenen Sportlern unterschieden [84,112,127]. Die Daten echokardiographischer Grenzwerte für Kadersportler unterhalb des vierzehnten Lebensjahres sind bisher stark limitiert [53]. Durch eine frühe Förderung leistungsstarker Nachwuchssportler erzielen jedoch bereits zwölfjährige Sportler unterschiedlicher Sportarten ein Trainingspensum, welches die Entstehung eines Sportherzens bereits in diesem Alter wahrscheinlich macht (siehe Modell der Kaderförderung des Deutschen olympischen Sportbundes; [www.dosb.de/Nachwuchsleistungssportkonzept2012](http://www.dosb.de/Nachwuchsleistungssportkonzept2012)). Altersabhängige Mittel- und Oberwerte sind in der bisherigen Literatur noch nicht genau definiert und fehlen für Athletinnen und Athleten unter 14 Jahren.

Auch das Körpergewicht und das Längenwachstum stehen in Zusammenhang mit der Herzgröße [108]. Unter anderem wurde in der Arbeit von Sharma et al. [106] die linksventrikuläre Wanddicke in Bezug zur Körperoberfläche diskutiert und postuliert. Im Gegensatz zur linksventrikulären Hinterwanddicke (LV-PW) wurde bei keinem größeren Kollektiv aus Kaderathleten der linksventrikuläre enddiastolische Durchmesser mit Bezug zur Körperoberfläche betrachtet, sodass für die verschiedenen Gruppen der Bezug auf anthropometrische Werte nicht vollständig ist.

In einer im Juli 2007 erschienenen Arbeit von Winter et al. werfen die Autoren die Frage auf, ob die Zeit für ein allometrisches Modell gekommen sei [128]. Laut Winter et al. wurde der Proportion des Gesamtorganismus in Relation zu einzelnen Organen bisher zu wenig Bedeutung beigemessen. So sollte nicht nur in der Tierwelt ein exponentieller Bezug der Körpergröße zur Größe eines Organs erfolgen. Folglich wurde daher untersucht, ob ein allometrischer Bezug der Körpergröße zum Herzvolumen bei Kaderathleten Vorteile liefert.

An einem größeren Kollektiv von Leistungs- bzw. Hochleistungssportlern ( $n > 100$ ) wurde bisher kein Vergleich echokardiographisch ermittelter Daten mit leistungsphysiologischen Parametern, insbesondere mit der maximalen Sauerstoffaufnahme als leistungsphysiologischer Kennwert, durchgeführt (Stichprobenzahl in bisherigen Studien ca. 40-100) [2,19,115].

Ein strukturierter Längsschnitt mit definierten Zeitintervallen zur Verlaufsbeobachtung echokardiographischer Parameter bei Leistungs- und Kadersportlern fehlt bisher ebenfalls in der themenorientierten Literatur.

## 2.6 Studienziel

Aufgrund des oben genannten Forschungsdefizits war es Ziel der vorliegenden Arbeit, altersabhängige echokardiographische Norm- und Grenzwerte für Landes- und Bundeskaderathleten zu definieren und mit der vorhandenen Literatur zu vergleichen. Darüber hinaus sollten erstmals Grenzwerte für Kaderathleten unter vierzehn Jahren definiert werden. Weiterhin sollten sportartenspezifische Unterschiede (Ausdauer, Kraft, Spilsport und sonstige Sportarten) bei der Bewertung echokardiographischer Grenzwerte berücksichtigt werden.

Bei bisher fehlender Betrachtung des enddiastolischen Durchmessers in Bezug zur Körperoberfläche an einem größeren Kollektiv von Kaderathleten wurde untersucht, ob dieser echokardiographische Parameter durch den anthropometrischen Bezug sinnvoll zu ergänzen ist. Ebenso wurde im Rahmen dessen überprüft, ob ein allometrischer Bezug des Herzvolumens vernünftig erscheint.

Ein weiteres Ziel war die Überprüfung des Zusammenhanges zwischen Ausdauerleistungsfähigkeit und Herzgröße, unter besonderer Berücksichtigung des allometrischen Bezugs. Hierfür wurden leistungsstarke aktive Sportler, welche definierte Ausbelastungskriterien erfüllten, retrospektiv untersucht.

In einer weiteren Substudie wurde eine längsschnittliche Beobachtung ausgewählter echokardiographischer Parameter durchgeführt ( $LV\text{-}EDD$ ,  $HV_{abs}$ ,  $LVM_{Devereux}$ ). Anhand der in

Saarbrücken untersuchten Kadersportler sollten die querschnittlich erhobenen Daten soweit als möglich im Längsschnitt beurteilt werden.

### 3 UNTERSUCHTE SPORTLER UND METHODEN

#### 3.1 Studiendesign

In dieser retrospektiven Studie wurden Längs- und Querschnittstudien bei Kaderathleten an deren leistungsphysiologisch und echokardiographisch ermittelten Messwerte durchgeführt. Für die Datenanalyse wurde auf die Unterlagen und Aufzeichnungen sportmedizinischer Gesundheitsuntersuchungen von Kader- und Profisportlern am Institut für Sport- und Präventivmedizin des Saarlandes zurückgegriffen. Insgesamt wurden im Zeitraum von Januar 1993 bis November 2005 2028 Leistungssportler (männliche Sportler: 1276; weibliche Sportler: 752) untersucht. Jedoch wurden inkomplette Datensätze sowie Personen, welche am Tag der Untersuchung erkrankt waren, ausgeschlossen. Somit ergab sich ein auswertbares Kollektiv von 1681 Sportlern (männliche Sportler: 1089; weibliche Sportler: 592).

#### 3.2 Untersuchte Sportler und ihre Sportartenzugehörigkeit

Untersucht wurden Sportler, welche mindestens dem Landeskader der Kategorie D ihrer jeweiligen Sportart angehörten. Um eine bessere Vergleichbarkeit mit bereits publizierten Daten zu gewährleisten, wurde eine geschlechtsspezifische und altersspezifische Einteilung vorgenommen. Die Alterseinteilung fand in  $\geq 14$ - <16 Jahre,  $\geq 16$ - <18 Jahre und  $\geq 18$ - <20 Jahre statt. Zusätzlich bildeten die <14 Jahre alten Sportler/-innen und die  $\geq 20$  Jahre alten Sportler/-innen eigene Untersuchungskollektive.

Unter Berücksichtigung statischer und dynamischer Belastungskriterien der arbeitenden Muskulatur und des Herzmuskels konnten die betriebenen Sportarten des vorhandenen Untersuchungskollektives in vier Untergruppen eingeteilt werden. Danach wurden Sportarten, die überwiegend mittels einer hohen dynamischen Belastung betrieben werden, dem Ausdauersport zugeordnet. Zu berücksichtigen ist jedoch, dass typische Ausdauersportarten, wie Rudern und Radfahren, ebenso einen hohen statischen Anteil aufweisen können. Einer hohen statischen Belastung bei geringem dynamischem Anteil sind typische Kraftsportarten wie Geräteturnen und Gewichtheben zuzuordnen. Ein in etwa ausgeglichenes Verhältnis von dynamischer und statischer Beanspruchung, mit tendenzieller Verschiebung zur dynamischen Komponente, wird durch die Spilsportler erzielt (u.a. Fußball). Geringe dynamische Belastung mit divergierender statischer Belastung wird beim Reitsport, Billard oder Wasserski erreicht (Sonstige) [74]. Einen Überblick, welche Disziplin und Sportart welcher Untergruppe zugeteilt wurde, geben die beiden folgenden Tabellen (Tabelle 1 und 2).



Tabelle 1: Sportartenverzeichnis der Männer (n=1089)

| <i>Ausdauersport</i><br>(n=414)   | <i>Spielsport</i><br><i>u. Ähnliche</i><br>(n=560)  | <i>Kraftsport</i><br>(n=91)   | <i>Sonstige</i><br>(n=24)   |
|---|---|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>LA (Mittelstrecke)</i></li> <li>• <i>LA (Langstrecke)</i></li> <li>• <i>Schwimmen</i></li> <li>• <i>Kanu</i></li> <li>• <i>Triathlon</i></li> <li>• <i>Rudern</i></li> <li>• <i>Radsport</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Fußball</i></li> <li>• <i>Handball</i></li> <li>• <i>LA (Sprint)</i></li> <li>• <i>LA (Sprung)</i></li> <li>• <i>Tischtennis</i></li> <li>• <i>Karate</i></li> <li>• <i>Baseball</i></li> <li>• <i>Judo</i></li> <li>• <i>Volleyball</i></li> <li>• <i>Hockey</i></li> <li>• <i>Fechten</i></li> <li>• <i>Basketball</i></li> <li>• <i>Tennis</i></li> <li>• <i>Badminton</i></li> <li>• <i>Squash</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>LA (Wurf)</i></li> <li>• <i>LA (Stoß)</i></li> <li>• <i>Turnen</i></li> <li>• <i>Ringen</i></li> <li>• <i>Gewichtheben</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Kegeln</i></li> <li>• <i>Schießen</i></li> <li>• <i>Billard</i></li> <li>• <i>Reiten</i></li> <li>• <i>Wasserski</i></li> </ul> |

Tabelle 2: Sportartenverzeichnis der Frauen (n=592)

| <i>Ausdauersport</i><br>(n=324)   | <i>Spielsport</i><br><i>und Ähnliche</i><br>(n=197)  | <i>Kraftsport</i><br>(n=17)  | <i>Sonstige</i><br>(n=54)   |
|---|--|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>LA (Mittelstrecke)</i></li> <li>• <i>LA (Langstrecke)</i></li> <li>• <i>Schwimmen</i></li> <li>• <i>Rudern</i></li> <li>• <i>Kanu</i></li> <li>• <i>Triathlon</i></li> <li>• <i>Radsport</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Fußball</i></li> <li>• <i>Handball</i></li> <li>• <i>LA (Sprint)</i></li> <li>• <i>LA (Sprung)</i></li> <li>• <i>Volleyball</i></li> <li>• <i>Tennis</i></li> <li>• <i>Tischtennis</i></li> <li>• <i>Judo</i></li> <li>• <i>Basketball</i></li> <li>• <i>Hockey</i></li> <li>• <i>Fechten</i></li> <li>• <i>Badminton</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>Turnen</i></li> <li>• <i>LA (Wurf)</i></li> <li>• <i>LA (Stoß)</i></li> <li>• <i>Gewichtheben</i></li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <i>RSG</i></li> <li>• <i>Wasserski</i></li> <li>• <i>Schießen</i></li> <li>• <i>Synchron – schwimmen</i></li> <li>• <i>Golf</i></li> <li>• <i>Kegeln</i></li> <li>• <i>Tanzen</i></li> </ul> |

### 3.3 Untersuchungen

#### 3.3.1 Ärztliche Untersuchung und anthropometrische Messwerte

Jede sportärztliche Untersuchung beinhaltete eine ausführliche Anamnese, welche eine Eigenanamnese (Lebensführung, Ernährung, Genussmittel, Beschwerden, zurückliegende Erkrankung, Allergien), eine Sportanamnese (bisherige sportliche Tätigkeit, Sportart, Trainingsumfang und Intensität, Beschwerden beim Sport, Sportverletzungen und Überlastungserscheinungen, Entwicklung der Leistungsfähigkeit) sowie eine Familienanamnese (familiäre Vorbelastung, genetische Disposition) umfasste. Nach einer orientierenden körperlichen Untersuchung wurden die Ruhe-Herzfrequenz und der Ruheblutdruck nach Riva-Rocci gemessen. Des Weiteren wurden das Alter zum Untersuchungszeitpunkt, das Geschlecht, die zugehörige Sportart und Disziplin, das Gewicht und die Größe, der Körperfettanteil, die fettfreie Körpermasse und der Trainingsumfang dokumentiert. Letzterer wurde beschrieben in Trainingsstunden pro Woche (h/Wo). Zusätzlich wurde der BMI (Body-Maß-Index) mit folgender Formel berechnet: Körpergewicht in kg / Körpergröße in m<sup>2</sup> (kg/m<sup>2</sup>) [59]. Die Körperoberfläche (KOF) wurde mittels Formel zur Bestimmung der KOF nach DuBois/DuBois berechnet:  $0,007184 \times \text{Größe (cm)}^{0,725} \times \text{Gewicht (kg)}^{0,425}$  [28].

Die kardiologische Untersuchung beinhaltete ein EKG (12-Kanal Standard EKG), eine Echokardiographie und eine Ergometrie inklusive EKG-Registrierung (Empfehlung verschiedener Gesellschaften für ein kardiovaskuläres Screening bei Sportlern) [11,50,63,86].

#### 3.3.2 Echokardiographie

Die echokardiographische Untersuchung erfolgte mit einem 2,5 MHz Schallkopf (System Five Advantage, Firma GE Ultrasound) und einem 3,5 MHz Schallkopf (System Vingmed CFM 700, Firma Dasonics Sonotron) unter parasternaler und apikaler Anlotung in Linksseitenlage, entsprechend den Richtlinien der Amerikanischen Gesellschaft für Echokardiographie [54,99]. In Ruhe wurden der totale diastolische LV-Längsdurchmesser (TDL), der enddiastolische RV-Durchmesser (RV-EDD), die Kammerseptumdicke (IVS), der enddiastolische und endsystolische LV-Durchmesser (EDD und ESD), die LV-Hinterwanddicke (PW), der Durchmesser des linken Vorhofs (LA) und der Aortenwurzeldurchmesser (AO) gemessen. Aus diesen Messwerten wurden die relative Wanddicke (RWT; im deutschen Schrifttum auch als Hypertrophie-Index bezeichnet) als Verhältnis von Wanddicke zum Innendurchmesser des linken Ventrikels ( $\{IVS+PW\}/LV-EDD$ ) sowie die Verkürzungsfraktion ( $FS((EDD-ESD)/EDD) \cdot 100$  (%)) berechnet [54]. Zur Berechnung des Herzvolumens nach Dickhuth [23] erfolgte die Bestimmung des enddiastolischen linksventrikulären Gesamtdurchmessers ( $TEDD = LV-EDD + IVS + PW$ ) auf Mitralklappenebene ( $TEDD_M$ ) und Papillarmuskelebene ( $TEDD_P$ ). Der totale enddiastolische linksventrikuläre Längsdurchmesser (TL) wurde aus dem Vier-Kammerblick ermittelt. Das Herzvolumen wurde nach unten stehender Formel berechnet [23]:  $TDV = [(TEDD_M^2 \cdot 0,785) + (TEDD_P^2 \cdot 0,435)] \cdot TL/2000$

$$HV [ml] = (TDV \cdot 2,432) + 130.$$

Weitere berechnete Parameter waren das relative Herzvolumen ( $HV_{rel}$ ) sowie die linksventrikuläre Muskelmasse nach Devereux ( $LVM_{Dev}$ ) und Teichholz ( $LVM_{Teich}$ ):

$$HV_{rel}: HV_{abs} / \text{Körpergewicht (kg)} \text{ (ml/kg)} [19].$$

$$LVM_{Dev}: (LV \text{ Masse}) 0,8 \cdot \{1,04[(EDD+IVS+PW)^3-EDD^3]\}+0,6 \text{ (g)} [17].$$

$$LVM_{Teich}: (LV \text{ Masse}) 1,05 \cdot \{[7/(2,4+EDD+IVS+PW)] \cdot (EDD+IVS+PW)^3 - [7/(2,4+EDD)] \cdot (EDD)^3\} \text{ (g)} [113].$$

Zusätzlich wurde das Herzvolumen aufgrund der Empfehlungen von McMahon sowie Winter und Brooks [69,128] allometrisch auf das Körpergewicht in  $kg^{2/3}$  und  $kg^{3/4}$  bezogen. Die diastolische Funktion wurde doppler-echokardiographisch anhand der E- und der A-Welle des transmitralen Einstroms ermittelt [31].

### 3.3.3 Ergometrie

Der stufenförmige Belastungstest der Fahrradergometrie wurde sitzend auf dem elektronisch gebremsten, drehzahlunabhängigen Ergometer der Firma Lode (Excalibur Supersport) durchgeführt. Es wurde bei 50 bzw. 100 Watt gestartet und die Leistung alle drei Minuten bis zur subjektiven Erschöpfung um 25 bzw. 50 Watt gesteigert. Bei der Laufbandergometrie erfolgte die Belastung stufenförmig auf dem Laufband Woodway ELG 2. Die Geschwindigkeit lag zu Beginn bei 2,0 m/s bzw. 2,5 m/s und wurde bis zur subjektiven Erschöpfung alle drei Minuten um 0,5 m/s erhöht. Parameter die hierbei ermittelt wurden, sind die Ruheherzfrequenz ( $HF_{Ruhe}$ ), die maximale Herzfrequenz unter Belastung ( $HF_{max}$ ), die maximale Leistung ( $P_{max}$ ), die maximale Geschwindigkeit ( $V_{max}$ ), die absolute Sauerstoffaufnahme ( $VO_{2abs}$ ) und die individuelle anaerobe Schwelle (IAS). Die individuelle anaerobe Schwelle (IAS) wurde ab dem Jahr 2001 mit dem Computerprogramm, "Ergometric" von HECK (ehemals Lehrstuhl für Sportmedizin, Ruhr Universität Bochum) ermittelt. Davor wurde Sie durch einen erfahrenen Untersucher zeichnerisch nach Stegmann et al. bestimmt [109]. Die absolute Sauerstoffaufnahme wurde für die Fahrradergometrie berechnet und beim Laufband von intern validierten Tabellen entnommen.

$$\text{Formel zur Berechnung des } VO_{2max}: VO_2 = 11 \cdot W + 700 \text{ [ml/min]}.$$

## 3.4. Zusammensetzung der Untersuchungsgruppen

Folgend werden das Studiendesign der drei verschiedenen Substudien und die Zusammensetzungen der Untersuchungskollektive beschrieben.

### 3.4.1 Querschnittstudie

In dieser Studie wurde ein Querschnitt der jeweiligen Kollektive gemäß ihrer Sportartenzugehörigkeit (siehe Tabelle 1 und 2) durchgeführt. Dabei wurden altersabhängig und geschlechtsspezifisch

echokardiographisch ermittelte Parameter verglichen. So fand in einem Untersuchungsintervall ein Vergleich der jeweiligen Parameter zwischen Spiel-, Ausdauer-, Kraftsport und Sonstigen statt. Diese wurden anhand von Box-Plots graphisch dargestellt (Abbildungen siehe Anhang, weitere Erläuterungen siehe Statistik). Im Einzelnen waren dies der linksventrikuläre enddiastolische Durchmesser (LV-EDD), der linksventrikuläre enddiastolische Durchmesser bezogen auf die Körperoberfläche (LV-EDD/KOF), die interventrikuläre Septumdicke (IVS), die Hinterwanddicke (PW), die relative Wanddicke (RWT), das relative Herzvolumen ( $HV_{rel}$ ), das Herzvolumen im allometrischen Bezug ( $HV_{allom}^{2/3}$ ,  $HV_{allom}^{3/4}$ ), die linksventrikuläre Muskelmasse nach Devereux ( $LVM_{Dev}$ ) und Teichholz ( $LVM_{Teich}$ ).

### 3.4.2 Korrelationsanalyse

Im Rahmen dieses Studienteils wurde untersucht, inwieweit echokardiographische und leistungsphysiologische Parameter korrelieren. So wurden die Beziehungen von LV-EDD bzw. absolutem HV zur ergometrisch erbrachten Leistungsfähigkeit in Korrelationsanalysen erfasst. Insgesamt fanden nur Sportler Beachtung, welche kardiopulmonale Ausbelastungskriterien erfüllten. Diese wurden mit Hilfe der Herzfrequenz definiert. Unterschieden wurde hierbei, ob die Leistung auf dem Fahrradergometer oder dem Laufband erbracht wurde. Eingeschlossen wurden Sportler, deren maximale Herzfrequenz mindestens 95% der Faustformel 220 Schläge pro Minute minus Lebensalter in der Laufbandergometrie erreichte ( $HF = 220 - LA * 0,95$ ). Dies entsprach bei der Fahrradergometrie einer Herzfrequenz von 200 minus Lebensalter ( $HF = 200 - LA * 0,95$ ) [39,47,55,72]. Neben geschlechtsspezifischen fahrrad- und laufbandergometrischen Korrelationen des Gesamtkollektives wurde in einer weiteren Analyse untersucht, wie die echokardiographischen und leistungsphysiologischen Parameter der älter als achtzehnjährigen Kadersportler korrelieren. Einen Überblick, welche Korrelationsanalysen durchgeführt wurden, bietet die folgende Tabelle (siehe Tabelle 3).

Tabelle 3: Korrelationsanalyse echokardiographischer und leistungsphysiologischer Parameter

| <u>Fahrradergometer(Gesamt:♂495,♀311)</u>                        | <u>Laufbandergometer(Gesamt:♂254,♀167)</u>                      |
|--|---|
| <i>LV-EDD vs. <math>VO_{2peak}</math></i>                        | <i>LV-EDD vs. <math>VO_{2max}</math></i>                        |
| <i>LV-EDD/KOF vs. <math>VO_{2max}</math></i>                     | <i>LV-EDD/KOF vs. <math>VO_{2rel}</math></i>                    |
| <i>LV-EDD/KG vs. <math>VO_{2max}</math></i>                      | <i>LV-EDD/KG vs. <math>VO_{2rel}</math></i>                     |
| <i>LV-EDD vs. <math>P_{max}</math></i>                           | <i>LV-EDD vs. IAS</i>   |
| <i><math>HV_{abs}</math> vs. <math>VO_{2peak}</math></i>         | <i><math>HV_{abs}</math> vs. <math>VO_{2max}</math></i>         |
| <i><math>HV_{allom}^{2/3}</math> vs. <math>VO_{2peak}</math></i> | <i><math>HV_{allom}^{2/3}</math> vs. <math>VO_{2max}</math></i> |
| <i><math>HV_{allom}^{2/3}</math> vs. <math>VO_{2max}</math></i>  | <i><math>HV_{allom}^{2/3}</math> vs. <math>VO_{2rel}</math></i> |
| <i><math>HV_{allom}^{3/4}</math> vs. <math>VO_{2peak}</math></i> | <i><math>HV_{allom}^{3/4}</math> vs. <math>VO_{2max}</math></i> |
| <i><math>HV_{allom}^{3/4}</math> vs. <math>VO_{2max}</math></i>  | <i><math>HV_{allom}^{3/4}</math> vs. <math>VO_{2rel}</math></i> |
| <i><math>HV_{abs}</math> vs. <math>P_{max}</math></i>            | <i><math>HV_{abs}</math> vs. <math>P_{max}</math></i>           |
| <i><math>HV_{rel}</math> vs. <math>P_{max}</math></i>            | <i><math>HV_{rel}</math> vs. <math>P_{max}</math></i>           |
|  | <i><math>HV_{rel}</math> vs. IAS</i>                            |
|  | <i><math>HV_{abs}</math> vs. IAS</i>                            |

### 3.4.3 Längsschnittstudie

In der Längsschnittuntersuchung werden die Veränderungen des enddiastolischen Durchmessers (LV-EDD), des absoluten Herzvolumens (HV<sub>abs</sub>) und der linksventrikulären Muskelmasse nach Devereux (LVM<sub>Dev</sub>) einzelner Sportler im Verlauf dargestellt. Voraussetzung für die Längsschnittstudie war, dass mindestens drei verschiedene Messwerte eines Sportlers bzw. einer Sportlerin zu unterschiedlichen Untersuchungszeitpunkten vorlagen. So sollte die sportärztliche Untersuchung in drei aufeinander folgenden, dem jeweiligen Alterskollektiv zugeordneten, Jahren stattfinden. Wurde zum Beispiel ein Sportler im Alter von <14 Jahren, im Alter von ≥14 - <16 Jahren und im Alter von ≥16 - <18 Jahren untersucht, wurde er in diese Substudie aufgenommen. Danach wurden Sportler welche gleiche Untersuchungszeitpunkte aufwiesen, in Gruppen zusammengefasst und die Mittelwerte graphisch dargestellt. Bei den Männern entfielen hierbei 6 Personen in die Altersgruppe der kleiner 14- bis 18-jährigen (Gruppe 1, rote Schrift), 9 Personen in die Gruppe der 14-20 jährigen (Gruppe 2, blaue Schrift) und 11 Personen in die Gruppe der 16- bis älter 20-jährigen (Gruppe 3, grüne Schrift). Bei den Frauen entfielen, entsprechend der Einteilung bei den Männern, 5 Sportlerinnen in Gruppe 1 (rote Schrift), 4 Sportlerinnen in Gruppe 2 (blaue Schrift) und 4 Sportlerinnen in die dritte Gruppe (grüne Schrift). In der graphischen Darstellung sind die jeweiligen Messzeitpunkte angegeben und ein entsprechendes Alterskollektiv als Mittelwert mit der 2,5-97,5%-Perzentile dargestellt. Der Trainingsumfang (TU, in Stunden pro Woche) zum Zeitpunkt der Untersuchung ist in den folgenden Tabellen (Tabelle 4 und 5) dem jeweiligen Alter beim Untersuchungszeitpunkt nachgestellt. Unterhalb einer jeden Spalte sind die Mittelwerte mit Standardabweichung in einer separaten Zeile angegeben.

Tabelle 4: Alter der Sportlerinnen bei der sportärztlichen Untersuchung und ihr geleisteter Trainingsumfang (n=13)

| Initialien   | Sportart   | < 14<br>Jahre | TU<br>(h/Wo) | 14-16<br>Jahre | TU<br>(h/Wo) | 16-18<br>Jahre | TU<br>(h/Wo) | 18-20<br>Jahre | TU<br>(h/Wo) | > 20<br>Jahre | TU<br>(h/Wo) |
|--------------|------------|---------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|---------------|--------------|
| B.M.         | Schwimmen  | 11,3          | 8,75         | 15,2           | 10,5         | 17,3           | 10,5         |                |              |               |              |
| M.N.         | Tennis, LA | 11,1          | k.A.         | 15,0           | 7,0          | 17,1           | 7,0          |                |              |               |              |
| N.M.         | RSG        | 12,3          | 7,0          | 14,4           | 8,75         | 16,2           | 8,75         |                |              |               |              |
| S.M.         | Schwimmen  | 12,1          | 12,0         | 14,1           | 10,5         | 16,1           | 10,5         |                |              |               |              |
| S.S.         | Schwimmen  | 12,5          | 8,75         | 14,5           | 10,5         | 16,5           | 14,0         |                |              |               |              |
| <b>MW+SD</b> |            | 11,9<br>±0,6  | 9,2<br>±0,6  | 14,7<br>±0,5   | 9,5<br>±1,6  | 16,6<br>±0,5   | 10,2<br>±2,6 |                |              |               |              |
| M.A.         | Triathlon  |               |              | 14,0           | 21,0         | 16,4           | 19,5         | 19,1           | 21,0         |               |              |
| S.L.         | LA(Sprint) |               |              | 15,1           | 4,5          | 17,8           | 10,5         | 19,5           | 10,5         |               |              |
| F.J.         | LA(Sprint) |               |              | 15,7           | 7,0          | 17,8           | 10,5         | 19,6           | 10,5         |               |              |
| P.M.         | Badminton  |               |              | 14,5           | 7,0          | 17,2           | 14,0         | 19,1           | 16,0         |               |              |
| <b>MW+SD</b> |            |               |              | 14,8<br>±0,8   | 9,8<br>±7,5  | 17,3<br>±0,6   | 13,6<br>±4,1 | 19,3<br>±0,3   | 14,4<br>±5,0 |               |              |
| B.C.         | Badminton  |               |              |                |              | 17,1           | 7,0          | 19,3           | 14,0         | 21,1          | 15,75        |
| H.A.         | Rudern     |               |              |                |              | 16,9           | 14,0         | 18,9           | 19,25        | 20,8          | 19,25        |
| O.P.         | Badminton  |               |              |                |              | 16,9           | 15,75        | 19,5           | 17,5         | 23,4          | 15,75        |
| W.L.         | Rudern     |               |              |                |              | 17,6           | 14,0         | 18,9           | 15,75        | 24,0          | 16,5         |
| <b>MW+SD</b> |            |               |              |                |              | 17,1<br>±0,3   | 12,7<br>±3,9 | 19,2<br>±0,3   | 16,6<br>±2,3 | 22,3<br>±1,6  | 16,8<br>±1,7 |

Tabelle 5: Alter der Sportler bei der sportärztlichen Untersuchung und ihr geleisteter Trainingsumfang (n=26)

| Initialen    | Sportart      | < 14<br>Jahre | TU<br>(h/Wo) | 14-16<br>Jahre | TU<br>(h/Wo) | 16-18<br>Jahre | TU<br>(h/Wo)  | 18-20<br>Jahre | TU<br>(h/Wo)  | > 20<br>Jahre | TU<br>(h/Wo) |
|--------------|---------------|---------------|--------------|----------------|--------------|----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|--------------|
| B.J.         | Rudern        | 13,4          | 7,0          | 14,3           | 12,5         | 16,3           | 14,0          |                |               |               |              |
| K.A.         | Schwimmen     | 13,5          | 8,75         | 15,6           | 8,75         | 17,8           | 10,5          |                |               |               |              |
| S.P.         | Schwimmen     | 11,3          | 8,75         | 15,1           | 14,0         | 17,1           | 12,25         |                |               |               |              |
| W.A.         | Schwimmen     | 13,2          | 8,75         | 15,1           | 10,5         | 16,1           | 22,75         |                |               |               |              |
| S.F.         | Schwimmen     | 11,8          | 10,5         | 14,1           | 10,5         | 17,1           | 26,25         |                |               |               |              |
| T.O.         | Schwimmen     | 12,0          | 8,75         | 15,0           | 14,0         | 17,9           | 10,5          |                |               |               |              |
| <b>MW+SD</b> |               | 12,6<br>±1,0  | 8,75<br>±1,1 | 14,9<br>±0,6   | 11,7<br>±2,1 | 17,0<br>±0,7   | 16,0<br>±6,8  |                |               |               |              |
| H.A.         | Fußball       |               |              | 14,5           | 5,25         | 17,0           | k.A.          | 18,7           | 10,5          |               |              |
| H.A.         | Kanu          |               |              | 14,6           | 8,75         | 16,9           | 21,0          | 18,8           | 15,75         |               |              |
| J.J.         | Badminton     |               |              | 14,4           | 10,5         | 16,6           | 10,5          | 19,1           | 12,25         |               |              |
| K.B.         | Judo          |               |              | 15,5           | 7,0          | 16,5           | 12,25         | 18,3           | 10,5          |               |              |
| S.M.         | Judo          |               |              | 15,1           | 8,75         | 17,5           | 7,0           | 19,1           | 8,75          |               |              |
| S.K-U.       | LA(Langlauf)  |               |              | 15,7           | 7,0          | 16,7           | 7,0           | 18,6           | 10,5          |               |              |
| W.F.         | Schwimmen     |               |              | 14,9           | 10,5         | 16,6           | 14,0          | 18,0           | 10,5          |               |              |
| W.C.         | Schwimmen     |               |              | 15,1           | 10,5         | 16,9           | 12,25         | 19,9           | 17,5          |               |              |
| Z.C.         | Schießen      |               |              | 15,9           | 7,0          | 17,9           | 14,0          | 19,9           | 12,25         |               |              |
| <b>MW+SD</b> |               |               |              | 15,1<br>±0,5   | 8,4<br>±1,9  | 17,0<br>±0,5   | 12,25<br>±4,5 | 18,9<br>±0,6   | 12,1<br>±2,8  |               |              |
| C.J.         | Badminton     |               |              |                |              | 17,1           | 12,25         | 19,1           | 12,25         | 21,0          | 17,5         |
| H.M.         | Triathlon     |               |              |                |              | 16,6           | 17,5          | 18,2           | 24,5          | 20,1          | 29,75        |
| K.P.         | Schwimmen     |               |              |                |              | 17,0           | 10,5          | 19,1           | 12,25         | 21,0          | 14,0         |
| A.L.         | LA(10-Ka.)    |               |              |                |              | 16,1           | 10,5          | 18,1           | 10,5          | 20,7          | 12,25        |
| B.J.         | LA(Mittelst.) |               |              |                |              | 17,7           | 10,5          | 19,8           | 10,5          | 20,5          | 10,5         |
| F.M.         | Triathlon     |               |              |                |              | 16,4           | 17,5          | 19,7           | 28,0          | 22,2          | 28,0         |
| H.B.         | LA(Langst.)   |               |              |                |              | 17,9           | 14,0          | 18,9           | 14,0          | 20,9          | 10,5         |
| K.C.         | LA(Langst.)   |               |              |                |              | 17,6           | k.A.          | 18,5           | k.A.          | 20,5          | k.A.         |
| K.M.         | Schwimmen     |               |              |                |              | 16,9           | 14,0          | 19,8           | 17,5          | 20,7          | 17,5         |
| R.J.         | Badminton     |               |              |                |              | 17,8           | 12,25         | 19,9           | 14,0          | 23,6          | 21,5         |
| S.M.         | Schwimmen     |               |              |                |              | 16,4           | 15,75         | 19,6           | 14,0          | 24,4          | 19,25        |
| <b>MW+SD</b> |               |               |              |                |              | 17,0<br>±0,6   | 13,5<br>±2,7  | 19,2<br>±0,7   | 15,75<br>±5,9 | 21,4<br>±1,4  | 18,1<br>±6,8 |

### 3.5 Statistik

Die Dateneingabe und die statistische Auswertung erfolgten mit dem Programm Statistica 6.1 (Stat-Soft, Tulsa, OK, USA).

#### 3.5.1 Querschnittstudie

Zur Bestimmung der p-Werte wurde zunächst mit Hilfe des Kolmogoroff-Smirnov-Test mit Lilliforsschranke überprüft, ob Normalverteilung vorlag. Bei einer Signifikanz größer zwanzig Prozent ( $p > 0,20$ ) lag Normalverteilung vor und es wurde weiter mittels T-Test für unabhängige Stichproben parametrisch getestet. Wurde diese Voraussetzung nicht erfüllt, kamen nicht parametrische Testverfahren zur Anwendung. Hierbei wurden statistisch signifikante Unterschiede mittels Kruskal-Wallis-ANOVA und Mann-Whitney-U-Test einschließlich Bonferroni-Korrektur überprüft.

Den einzelnen Box-Plots (siehe Anhang) ist der Median zu entnehmen. Hierbei liegen jeweils 50% der Messwerte oberhalb und unterhalb dieses Zentralwertes. Des Weiteren bezeichnet die 25-75% Perzentile den Bereich, in den 50% aller Messwerte fallen. Er ist in der Legende des jeweiligen Box-Plots als Kästchen abgebildet. Mit der 2,5-97,5% Perzentile werden 95% der Werte erfasst, d.h. mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% liegen die Messwerte in diesem Bereich. Aufgrund nicht immer vorhandener Normalverteilung werden im Ergebnisteil die Mittelwerte (MW) mit Standardabweichung sowie der Median angegeben. Dieser entspricht bei gegebener Normalverteilung annähernd dem Mittelwert. Letzterer ist aus den Graphiken im Anhang nicht ersichtlich, wird aber im Ergebnisteil mit erfasst.

### 3.5.2 Korrelationsanalyse

Die Testung auf Zusammenhänge zwischen leistungsphysiologisch ermittelten Werten und echokardiographischen Parametern erfolgte mittels Pearson-Moment-Produkt-Korrelation. Das Alpha-Signifikanzniveau wurde auf 0,05 gesetzt.

### 3.5.3 Längsschnittstudie

In dieser Studie wurde ein t-Test für abhängige Stichproben durchgeführt. Die p-Werte sind angegeben und bei Signifikanz mit einem Stern markiert.

## 4 ERGEBNISSE

### 4.1 Querschnittuntersuchung

Einer jeden Studie sind echokardiographisch und leistungsphysiologisch erbrachte Mittelwerte (MW) mit Standardabweichung (SD) sportartensortiert in einer Tabelle vorangestellt. Dies sind im Einzelnen das Durchschnittsalter, die Körpergröße, das Körpergewicht, die Körperoberfläche, die Septumdicke, der linksventrikuläre enddiastolische Durchmesser, die linksventrikuläre Wanddicke, die linksventrikuläre Muskelmasse nach Devereux (auch bezogen auf die Körperoberfläche), die maximale Sauerstoffaufnahme (auch im allometrischen Bezug<sup>2/3</sup>) und der Trainingsumfang in Stunden pro Woche.

#### 4.1.1 Sportler

≥ 20 Jahre (s. Abbildungen 23 im Anhang)

Tabelle 6: Eingangsparameter Sportler ≥ 20 Jahre

| <b>Sport<br/>MW±SD</b>          | <b>Anzahl<br/>(n)</b> | <b>Alter<br/>(Jahre)</b> | <b>Größe<br/>(cm)</b> | <b>Gewicht<br/>(kg)</b> | <b>KOF<br/>(m<sup>2</sup>)</b> | <b>IVS<br/>(mm)</b> | <b>LV-<br/>EDD<br/>(mm)</b> | <b>LV-<br/>PW<br/>(mm)</b> | <b>LVM-<br/>Dev.<br/>(g)</b> | <b>LVM/<br/>KOF<br/>(g/m<sup>2</sup>)</b> | <b>VO<sub>2</sub>max<br/>(ml/min/<br/>kg)</b> | <b>VO<sub>2</sub> allom<sup>2/3</sup><br/>(ml/min/kg<sup>2/3</sup>)</b> | <b>TU<br/>(Stunde<br/>/Woche)</b> |
|---------------------------------|-----------------------|--------------------------|-----------------------|-------------------------|--------------------------------|---------------------|-----------------------------|----------------------------|------------------------------|---|---|---|-----------------------------------|
| <b>Fußball</b>                  | 149                   | 26,7<br>± 4,0            | 181,2<br>± 6,8        | 77,9<br>± 7,7           | 2,0<br>± 0,1                   | 10,9<br>± 1,1       | 54,8<br>± 3,4               | 10,5<br>± 1,0              | 231,9<br>± 37,8              | 116,8<br>± 16,8                           | 49,2<br>± 5,2                                 | 209,3<br>± 20,8   | 13,3<br>± 4,7                     |
| <b>Handball</b>                 | 25                    | 25,5<br>± 2,9            | 190,6<br>± 8,2        | 88,4<br>± 8,3           | 2,2<br>± 0,1                   | 10,3<br>± 1,2       | 56,6<br>± 3,1               | 10,7<br>± 0,9              | 239,7<br>± 39,0              | 110,1<br>± 13,8                           | 45,6<br>± 7,3                                 | 201,7<br>± 24,5   | 10,7<br>± 3,4                     |
| <b>LA (Mittel-<br/>strecke)</b> | 13                    | 23,5<br>± 2,2            | 183,2<br>± 5,5        | 73,0<br>± 7,0           | 1,9<br>± 0,1                   | 10,2<br>± 1,3       | 54,0<br>± 2,7               | 9,9<br>± 1,1               | 208,1<br>± 28,4              | 108,1<br>± 15,8                           | 64,8<br>± 5,0                                 | 270,3<br>± 19,3   | 12,6<br>± 2,9                     |
| <b>LA (Lang-<br/>strecke)</b>   | 9                     | 25,0<br>± 5,2            | 181,6<br>± 8,5        | 66,2<br>± 7,9           | 1,9<br>± 0,2                   | 10,8<br>± 1,0       | 54,9<br>± 3,0               | 10,3<br>± 1,1              | 230,3<br>± 43,9              | 123,5<br>± 15,1                           | 69,6<br>± 2,7                                 | 281,1<br>± 17,0   | 14,3<br>± 4,2                     |
| <b>LA (Wurf<br/>/Stoß)</b>      | 7                     | 22,8<br>± 2,5            | 188,9<br>± 5,0        | 97,0<br>± 8,6           | 2,2<br>± 0,1                   | 10,0<br>± 1,0       | 54,5<br>± 2,2               | 9,4<br>± 1,0               | 202,0<br>± 34,7              | 89,6<br>± 12,4                            | 43,6<br>± 9,7                                 | 199,5<br>± 41,3   | 10,2<br>± 0,7                     |
| <b>Schwimmen</b>                | 12                    | 22,9<br>± 2,4            | 183,4<br>± 6,8        | 78,0<br>± 6,8           | 2,0<br>± 0,1                   | 10,2<br>± 0,9       | 55,5<br>± 3,5               | 9,9<br>± 0,6               | 218,0<br>± 33,8              | 109,0<br>± 16,2                           | 56,9<br>± 6,2                                 | 242,4<br>± 22,2   | 12,7<br>± 3,0                     |
| <b>Triathlon</b>                | 13                    | 23,0<br>± 2,7            | 181,8<br>± 4,2        | 73,8<br>± 4,6           | 1,9<br>± 0,1                   | 11,1<br>± 1,6       | 55,5<br>± 4,7               | 10,9<br>± 1,9              | 249,5<br>± 63,5              | 128,1<br>± 31,2                           | 64,5<br>± 3,5                                 | 270,2<br>± 14,5   | 21,3<br>± 6,7                     |
| <b>Rudern</b>                   | 34                    | 23,2<br>± 2,3            | 188,8<br>± 7,6        | 82,6<br>± 9,8           | 2,1<br>± 0,2                   | 11,3<br>± 1,0       | 56,8<br>± 3,3               | 11,1<br>± 0,9              | 262,4<br>± 38,6              | 125,1<br>± 13,1                           | 58,4<br>± 8,9                                 | 252,9<br>± 33,9   | 18,2<br>± 4,3                     |
| <b>Ringen</b>                   | 7                     | 22,8<br>± 2,8            | 172,4<br>± 6,9        | 73,6<br>± 10,0          | 1,9<br>± 0,2                   | 9,9<br>± 0,8        | 51,4<br>± 3,4               | 9,7<br>± 0,5               | 185,4<br>± 24,5              | 99,9<br>± 13,8                            | 55,0<br>± 2,7                                 | 229,6<br>± 4,3  | 12,0<br>± 5,0                     |
| <b>Kegeln</b>                   | 12                    | 29,7<br>± 8,0            | 179,5<br>± 7,1        | 82,7<br>± 13,2          | 2,0<br>± 0,2                   | 9,8<br>± 0,7        | 51,8<br>± 2,9               | 10,1<br>± 0,7              | 189,4<br>± 14,1              | 94,2<br>± 7,1                             | 42,8<br>± 7,4                                 | 184,6<br>± 27,2   | 4,5<br>± 1,9                      |
| <b>Gewicht-<br/>Heben</b>       | 15                    | 27,5<br>± 4,1            | 176,1<br>± 5,5        | 103,5<br>± 23,8         | 2,2<br>± 0,2                   | 10,3<br>± 1,0       | 53,9<br>± 4,4               | 9,5<br>± 1,4               | 204,1<br>± 45,0              | 92,7<br>± 12,0                            | 32,3<br>± 6,8                                 | 148,8<br>± 23,5   | 13,3<br>± 2,2                     |
| <b>Badminton</b>                | 42                    | 23,8<br>± 2,6            | 181,3<br>± 6,4        | 75,0<br>± 8,7           | 2,0<br>± 0,2                   | 10,6<br>± 1,2       | 53,9<br>± 3,0               | 10,4<br>± 1,2              | 220,8<br>± 36,3              | 113,2<br>± 16,7                           | 53,3<br>± 4,9                                 | 225,4<br>± 20,4   | 16,3<br>± 3,8                     |



Der größte Mittelwert (MW) des LV-EDD der älter zwanzigjährigen Sportler wird mit  $55,8 \text{ mm} \pm 3,4 \text{ mm}$  bei den Ausdauerathleten gemessen. Anhand der Box-Plots (s. Anhang Abbildungen 23) wird deutlich, dass der Median des LV-EDD der Spielsportler (Median  $55 \text{ mm}$ ) etwa dem der Ausdauersportler entspricht. Die niedrigsten Durchmesser wurden bei den sonstigen Sportlern festgestellt (MW  $51,1 \text{ mm} \pm 2,8 \text{ mm}$ , Median  $51 \text{ mm}$ ), wobei diese signifikant niedriger liegen als die der Ausdauer- und Spielsportler ( $p < 0,001$ ).

In Bezug des linksventrikulären enddiastolischen Durchmessers auf die Körperoberfläche liegen die Mittelwerte und Mediane der Spiel- und Ausdauerathleten auf dem gleichen Niveau (MW  $27,5 \pm 1,8 \text{ mm/m}^2$ , Median  $27,4 \text{ mm/m}^2$  [Spiel] bzw.  $27,9 \pm 1,9 \text{ mm/m}^2$ , Median  $27,7 \text{ mm/m}^2$  [Ausdauer]). Sie sind signifikant höher als die Messwerte der Sonstigen ( $26,0 \text{ mm/m}^2 \pm 1,7 \text{ mm/m}^2$ , Median  $26,6 \text{ mm/m}^2$ ) und der Kraftsportler ( $25,6 \text{ mm/m}^2 \pm 2,2 \text{ mm/m}^2$ , Median  $25,0 \text{ mm/m}^2$ ) (jeweils  $p < 0,001$ , außer Spiel vs. Sonstige  $p < 0,01$ ). Der Median der Kraftsportler ist, in Bezug des LV-EDD auf die Körperoberfläche, am niedrigsten.

Die gemessenen interventrikulären Septumdicken und Hinterwanddicken sind bei den Spiel- (IVS: MW  $10,6 \pm 1,0 \text{ mm}$ , Median  $11,0 \text{ mm}$ ; PW: MW  $10,4 \pm 1,0 \text{ mm}$ , Median  $10,5 \text{ mm}$ ) und Ausdauersportlern (IVS: MW  $10,8 \pm 1,2 \text{ mm}$ , Median  $11,0 \text{ mm}$ ; PW: MW  $10,5 \pm 1,1 \text{ mm}$ , Median  $10,5 \text{ mm}$ ) annähernd gleich. Die Septumdicken der Kraftsportler ( $p < 0,01$ ) und sonstigen Sportler ( $p < 0,001$ ) sind deutlich niedriger. Signifikant kleinere Hinterwanddicken (MW  $9,5 \pm 1,2 \text{ mm}$ , Median  $9,5 \text{ mm}$ ) haben die Kraftsportler im Vergleich zu den Ausdauer- und Spielsportlern ( $p < 0,001$ ).

Die geringsten Unterschiede der einzelnen Gruppen bestehen bei der relativen Wanddicken. Die Mittelwerte liegen um  $38 \% \pm 1 \%$  mit konstanten Höchstwerten (97,5%-Perzentile) von  $\sim 43 \%$  bei allen Sportarten.

Beim relativen Herzvolumen haben die Ausdauerathleten den höchsten Mittelwert und Median (MW  $13,5 \pm 1,5 \text{ ml/kg}$ , Median  $13,3 \text{ ml/kg}$ ). Ihre Volumina sind deutlich erhöht im Verhältnis zu denen der Spielsportler (MW  $12,7 \pm 1,3 \text{ ml/kg}$ , Median  $12,5 \text{ ml/kg}$ ,  $p < 0,001$ ), der Sonstigen ( $p < 0,001$ ) und denen der Kraftsportler ( $p < 0,001$ ). Im Vergleich dieser drei Gruppen (Spielsportler, Kraftsportler und sonstige Sportler) wurde festgestellt, dass hier die Volumina der Kraftsportler und Sonstigen hinter denen der Spielsportler zurück bleiben. Insgesamt haben die Kraftsportler die niedrigsten Messwerte (MW  $10,1 \pm 1,6 \text{ ml/kg}$ , Median  $9,7 \text{ ml/kg}$ ) und ihre Volumina liegen signifikant ( $p < 0,05$ ) unterhalb derer der sonstigen Sportler (Sonstige:  $10,7 \pm 0,8 \text{ ml/kg}$ , Median  $10,6 \text{ ml/kg}$ ). Bezüglich des allometrischen Bezugs des Herzvolumens kann auf die Feststellung zum relativen Herzvolumen verwiesen werden. So besitzen auch hier die Kraftsportler und sonstigen Sportler deutlich niedrigere Messwerte als die Spiel- und Ausdauerathleten ( $p < 0,001$ ). Der Median der Ausdauerathleten ist jeweils am höchsten.

Bei der Bestimmung der linksventrikulären Muskelmasse nach Devereux und in Bezug auf die Körperoberfläche haben wiederum die Ausdauersportler die höchsten Werte (MW  $120 \pm 19,5 \text{ g/m}^2$ ; Median  $\sim 122 \text{ g/m}^2$ ). Diese sind signifikant erhöht im Vergleich zu den Werten der Spisportler (MW  $114 \pm 17 \text{ g/m}^2$ ; Median  $\sim 113,5 \text{ g/m}^2$ ,  $p < 0,01$ ), den Sonstigen (MW  $92 \pm 9,5 \text{ g/m}^2$ ; Median  $\sim 94 \text{ g/m}^2$ ,  $p < 0,001$ ) und den Kraftsportlern (MW  $95 \pm 15 \text{ g/m}^2$ ; Median  $\sim 95,5 \text{ g/m}^2$ ,  $p < 0,001$ ). Somit liegen die Messwerte der beiden letztgenannten Gruppen ebenfalls signifikant unterhalb der Messwerte der Spisportler ( $p < 0,001$ ). Nach der Bestimmung der Muskelmasse nach Teichholz mit Bezug auf die Körperdimension sind die Ausdauer- und Spisportler auf einem ähnlichen Niveau. Signifikant niedriger ( $p < 0,001$ ) sind die Werte der sonstigen Sportler und der Kraftsportler, welche sich im Vergleich miteinander nur unwesentlich unterscheiden.

$\geq 18$  -  $< 20$  Jahre (s. Abbildungen 24 im Anhang)

Tabelle 7: Eingangparameter Sportler  $\geq 18$  -  $< 20$  Jahre

| Sport (MW $\pm$ SD)       | Anzahl (n) | Alter (Jahre)     | Größe (cm)         | Gewicht (kg)       | KOF (m <sup>2</sup> ) | IVS (mm)          | LV-EDD (mm)       | LV-PW (mm)        | LVM -Dev. (g)       | LVM/KOF (g/m <sup>2</sup> ) | V <sub>02max</sub> (ml/min/kg) | VO <sub>2</sub> allom <sup>2/3</sup> ml/min/kg <sup>2/3</sup> | TU (Stunde /Woche) |
|---------------------------|------------|-------------------|--------------------|--------------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|---|--------------------|
| <b>Fußball</b>            | 17         | 19,1<br>$\pm 0,7$ | 177,8<br>$\pm 7,7$ | 72,5<br>$\pm 8,1$  | 1,9<br>$\pm 0,1$      | 10,5<br>$\pm 1,2$ | 52,6<br>$\pm 3,2$ | 10,0<br>$\pm 1,2$ | 205,0<br>$\pm 32,7$ | 108,4<br>$\pm 17,6$         | 51,9<br>$\pm 5,4$              | 216,4<br>$\pm 19,7$   | 9,4<br>$\pm 3,0$   |
| <b>LA(Sprung/Sprint)</b>  | 9          | 18,9<br>$\pm 0,7$ | 178,9<br>$\pm 2,8$ | 73,3<br>$\pm 5,7$  | 1,9<br>$\pm 0,1$      | 9,4<br>$\pm 1,6$  | 51,8<br>$\pm 2,3$ | 8,6<br>$\pm 1,0$  | 168,2<br>$\pm 34,0$ | 87,6<br>$\pm 14,6$          | 52,2<br>$\pm 2,8$              | 218,4<br>$\pm 11,8$   | 10,1<br>$\pm 2,2$  |
| <b>LA (Mittelstrecke)</b> | 14         | 18,9<br>$\pm 0,7$ | 181,6<br>$\pm 5,4$ | 70,1<br>$\pm 6,8$  | 1,9<br>$\pm 0,1$      | 9,8<br>$\pm 1,0$  | 53,8<br>$\pm 3,7$ | 9,3<br>$\pm 0,6$  | 194,7<br>$\pm 32,6$ | 102,7<br>$\pm 17,3$         | 60,4<br>$\pm 9,0$              | 249,4<br>$\pm 32,1$   | 12,4<br>$\pm 3,1$  |
| <b>LA (Wurf/Stoß)</b>     | 14         | 18,7<br>$\pm 0,7$ | 186,3<br>$\pm 6,3$ | 89,6<br>$\pm 13,6$ | 2,1<br>$\pm 0,2$      | 10,8<br>$\pm 1,0$ | 51,5<br>$\pm 2,9$ | 10,6<br>$\pm 1,5$ | 208,8<br>$\pm 30,6$ | 97,2<br>$\pm 10,7$          | 47,7<br>$\pm 8,5$              | 211,8<br>$\pm 32,7$   | 10,2<br>$\pm 3,5$  |
| <b>Schwimmen</b>          | 14         | 19,1<br>$\pm 0,5$ | 183,5<br>$\pm 5,2$ | 74,9<br>$\pm 6,5$  | 2,0<br>$\pm 0,1$      | 10,2<br>$\pm 1,1$ | 53,6<br>$\pm 3,4$ | 10,0<br>$\pm 1,2$ | 206,8<br>$\pm 29,2$ | 105,4<br>$\pm 16,1$         | 57,2<br>$\pm 6,7$              | 240,4<br>$\pm 23,7$   | 12,9<br>$\pm 4,0$  |
| <b>Triathlon</b>          | 11         | 18,8<br>$\pm 0,6$ | 179,1<br>$\pm 5,7$ | 72,2<br>$\pm 8,1$  | 1,9<br>$\pm 0,1$      | 10,8<br>$\pm 1,4$ | 54,7<br>$\pm 3,2$ | 9,7<br>$\pm 1,1$  | 220,4<br>$\pm 40,4$ | 115,4<br>$\pm 17,6$         | 66,1<br>$\pm 8,2$              | 273,8<br>$\pm 27,1$   | 21,8<br>$\pm 6,0$  |
| <b>Rudern</b>             | 11         | 18,7<br>$\pm 0,5$ | 189,6<br>$\pm 6,8$ | 84,6<br>$\pm 10,4$ | 2,1<br>$\pm 0,2$      | 10,8<br>$\pm 1,4$ | 54,8<br>$\pm 3,4$ | 10,8<br>$\pm 1,0$ | 236,0<br>$\pm 42,6$ | 111,0<br>$\pm 16,5$         | 58,7<br>$\pm 5,0$              | 256,5<br>$\pm 12,7$   | 15,6<br>$\pm 2,4$  |
| <b>Ringens</b>            | 7          | 18,6<br>$\pm 0,6$ | 171,2<br>$\pm 5,1$ | 71,1<br>$\pm 9,4$  | 1,8<br>$\pm 0,1$      | 10,6<br>$\pm 0,3$ | 49,9<br>$\pm 4,7$ | 10,1<br>$\pm 0,6$ | 190,0<br>$\pm 28,0$ | 103,7<br>$\pm 11,4$         | 54,6<br>$\pm 1,4$              | 225,8<br>$\pm 14,3$   | 8,5<br>$\pm 2,1$   |
| <b>Radsport</b>           | 5          | 18,8<br>$\pm 0,7$ | 177,3<br>$\pm 5,0$ | 68,5<br>$\pm 5,1$  | 1,8<br>$\pm 0,1$      | 10,1<br>$\pm 0,3$ | 54,9<br>$\pm 2,5$ | 9,2<br>$\pm 0,4$  | 202,5<br>$\pm 16,1$ | 110,1<br>$\pm 13,4$         | 69,6<br>$\pm 4,6$              | 284,3<br>$\pm 14,0$   | 10,5<br>$\pm 1,2$  |
| <b>Badminton</b>          | 22         | 18,9<br>$\pm 0,6$ | 181,0<br>$\pm 6,9$ | 71,0<br>$\pm 7,3$  | 1,9<br>$\pm 0,1$      | 9,9<br>$\pm 1,2$  | 53,5<br>$\pm 2,6$ | 9,5<br>$\pm 1,1$  | 196,7<br>$\pm 35,4$ | 103,1<br>$\pm 15,6$         | 57,3<br>$\pm 5,2$              | 237,2<br>$\pm 21,2$   | 14,7<br>$\pm 4,8$  |

Aufgrund geringer Fallzahlen (nur 7-8 Probanden) wurden die Messwerte der sonstigen Sportarten im folgenden Ergebnisteil nicht mit einbezogen, sind jedoch in den Box-Plots abgebildet. Den höchsten mittleren enddiastolischen Durchmesser hat die Ausdauergruppe (MW  $54,2 \pm 3,2 \text{ mm}$ , Median  $54,5 \text{ mm}$ ), wobei der Maximalwert mit  $61 \text{ mm}$  (97,5% Perzentile) gemessen wurde. Dann folgen die Spisportler (MW  $53,2 \pm 2,8 \text{ mm}$ , Median  $53 \text{ mm}$ ), deren Messwerte nur knapp oberhalb der Werte der Kraftsportler (MW  $52,2 \text{ mm} \pm 2,7 \text{ mm}$ , Median  $52 \text{ mm}$ ) liegen. Signifikant höher ist nur der LV-EDD der Ausdauergruppe gegenüber dem der Kraftsportgruppe ( $p < 0,01$ ).

Bezieht man den EDD auf die Körperoberfläche, haben die Ausdauer- und Spielsportler einen etwa gleich großen Median (Ausdauer 27,8 mm/m<sup>2</sup>, Spiel 28,2 mm/m<sup>2</sup>). Sowohl der Mittelwert (25,4 mm/m<sup>2</sup> ± 2,3 mm/m<sup>2</sup>) als auch der Median (25,2 mm/m<sup>2</sup>) der Kraftsportgruppe ist am niedrigsten (p<0,001).

Bezüglich der Septumdicke (MW 10,7 ± 0,8 mm, Median 10,5 mm), der Hinterwanddicke (MW 10,3 ± 1,0 mm, Median 10,0 mm) und der relativen Wanddicke (Median bei 41%) sind die Messwerte der Kraftsportler am höchsten und signifikant erhöht gegenüber denen der Spielsportler (p<0,01). Hingegen ergeben sich beim Vergleich von IVS, PW und RWT zwischen den Ausdauer- und Spielsportlern keine eindeutigen Unterschiede.

Die größten Herzvolumina (relativen Herzvolumens, HV<sub>allom</sub><sup>2/3</sup>, HV<sub>allom</sub><sup>3/4</sup>) dieses Alterskollektives besitzen die Ausdauerathleten. Ihre Messwerte sind signifikant erhöht gegenüber den Werten der Spielsportler (p<0,05) und der Kraftsportler (p<0,01). Auch die Volumina der Spielsportgruppe sind höhere als die der Kraftsportgruppe (p<0,01).

Bei der linksventrikulären Muskelmasse nach Teichholz (bezogen auf die KOF) gibt es keine deutlichen Unterschiede im Vergleich der Gruppen miteinander (nicht signifikant). Bei der Muskelmassenbestimmung nach Devereux sind die Messwerte der Ausdauersportler (MW 108 ± 17 g/m<sup>2</sup>, Median ~108 g/m<sup>2</sup>) signifikant (p<0,05) erhöht gegenüber denen der Kraftsportler (MW 100 ± 11 g/m<sup>2</sup>, Median ~98 g/m<sup>2</sup>) und denen der Spielsportler (MW 102 ± 17 g/m<sup>2</sup>, Median ~98 g/m<sup>2</sup>).

≥16 - <18 Jahre (s. Abbildungen 25 im Anhang)

Tabelle 8: Eingangsparemeter Sportler ≥16 - &lt;18 Jahre

| Sport (MW±SD)             | Anzahl (n) | Alter (Jahr)  | Größe (cm)     | Gewicht (kg)   | KOF (m <sup>2</sup> ) | IVS (mm)      | LV-EDD (mm)   | LV-PW (mm)    | LVM-Dev. (g)    | LVM/KOF (g/m <sup>2</sup> ) | VO <sub>2max</sub> (ml/min/kg) | VO <sub>2allom</sub> <sup>2/3</sup> (ml/min/kg <sup>2/3</sup> ) | TU (Stunden/Woche) |
|---------------------------|------------|---------------|----------------|----------------|-----------------------|---------------|---------------|---------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|---|--------------------|
| <b>Fußball</b>            | 55         | 16,6<br>± 0,4 | 177,8<br>± 6,2 | 70,7<br>± 7,1  | 1,9<br>± 0,1          | 10,2<br>± 0,8 | 51,3<br>± 3,4 | 10,1<br>± 1,1 | 194,4<br>± 36,3 | 103,6<br>± 18,8             | 54,0<br>± 5,6                  | 222,6<br>± 20,9   | 6,8<br>± 1,4       |
| <b>Handball</b>           | 34         | 16,6<br>± 0,5 | 183,8<br>± 5,3 | 76,9<br>± 9,7  | 2,0<br>± 0,1          | 9,9<br>± 1,3  | 52,1<br>± 3,1 | 9,8<br>± 1,0  | 190,7<br>± 35,4 | 95,6<br>± 15,1              | 53,8<br>± 2,4                  | 228,2<br>± 12,6   | 6,7<br>± 2,2       |
| <b>LA Sprint/Sprung</b>   | 10         | 16,9<br>± 0,6 | 179,0<br>± 9,0 | 70,6<br>± 6,3  | 1,9<br>± 0,1          | 9,5<br>± 1,2  | 51,9<br>± 2,2 | 8,9<br>± 1,3  | 174,2<br>± 37,0 | 92,0<br>± 15,3              | 52,0<br>± 2,2                  | 214,4<br>± 10,4   | 7,7<br>± 1,9       |
| <b>LA (Mittelstrecke)</b> | 10         | 16,9<br>± 0,5 | 177,9<br>± 3,8 | 63,3<br>± 2,4  | 1,8<br>± 0,1          | 9,5<br>± 0,9  | 53,1<br>± 1,9 | 9,0<br>± 0,9  | 181,1<br>± 20,3 | 100,9<br>± 9,7              | 66,6<br>± 1,6                  | 266,2<br>± 7,6  | 10,3<br>± 1,5      |
| <b>LA (Langstrecke)</b>   | 6          | 17,4<br>± 0,5 | 178,6<br>± 6,2 | 60,1<br>± 6,5  | 1,8<br>± 0,1          | 9,9<br>± 0,9  | 51,6<br>± 4,4 | 9,6<br>± 0,9  | 187,1<br>± 42,2 | 105,8<br>± 18,1             | 67,3<br>± 4,6                  | 265,5<br>± 28,4   | 10,9<br>± 3,6      |
| <b>LA (Wurf/Diskus)</b>   | 8          | 16,7<br>± 0,6 | 178,1<br>± 4,9 | 80,8<br>± 5,2  | 2,0<br>± 0,1          | 10,5<br>± 1,3 | 50,1<br>± 1,9 | 9,8<br>± 0,8  | 185,3<br>± 23,2 | 93,0<br>± 9,5               | 46,2<br>± 3,4                  | 199,4<br>± 13,1   | 9,2<br>± 2,6       |
| <b>Schwimmen</b>          | 16         | 17,1<br>± 0,6 | 180,8<br>± 4,7 | 69,9<br>± 6,4  | 1,9<br>± 0,1          | 10,2<br>± 0,8 | 53,5<br>± 3,5 | 9,8<br>± 1,0  | 203,0<br>± 31,8 | 107,5<br>± 16,4             | 61,3<br>± 6,0                  | 252,1<br>± 22,1   | 14,0<br>± 5,2      |
| <b>Kanu</b>               | 13         | 17,0<br>± 0,5 | 178,1<br>± 5,6 | 70,5<br>± 7,5  | 1,9<br>± 0,1          | 9,7<br>± 1,1  | 51,9<br>± 2,5 | 9,4<br>± 1,0  | 182,9<br>± 29,1 | 97,2<br>± 12,4              | 54,6<br>± 8,0                  | 224,5<br>± 25,5   | 14,1<br>± 4,5      |
| <b>Triathlon</b>          | 13         | 16,9<br>± 0,6 | 179,2<br>± 5,2 | 67,2<br>± 4,0  | 1,8<br>± 0,1          | 10,3<br>± 0,8 | 54,5<br>± 2,4 | 9,7<br>± 1,1  | 209,5<br>± 30,3 | 113,4<br>± 15,6             | 62,8<br>± 4,7                  | 255,3<br>± 19,2   | 15,8<br>± 4,9      |
| <b>Rudern</b>             | 25         | 17,0<br>± 0,5 | 186,6<br>± 5,8 | 78,1<br>± 8,9  | 2,0<br>± 0,1          | 10,5<br>± 1,3 | 53,1<br>± 3,0 | 10,2<br>± 1,1 | 210,9<br>± 33,7 | 104,0<br>± 14,9             | 57,6<br>± 4,8                  | 245,8<br>± 16,7   | 13,9<br>± 1,9      |
| <b>Ringern</b>            | 11         | 17,0<br>± 0,3 | 172,6<br>± 8,7 | 70,4<br>± 14,4 | 1,8<br>± 0,2          | 9,8<br>± 1,1  | 50,0<br>± 2,9 | 9,2<br>± 1,4  | 178,3<br>± 44,3 | 96,8<br>± 17,3              | 53,0<br>± 1,7                  | 217,7<br>± 15,0   | 9,3<br>± 3,0       |
| <b>Radsport</b>           | 9          | 16,9<br>± 0,7 | 176,2<br>± 5,7 | 65,0<br>± 5,4  | 1,8<br>± 0,1          | 9,7<br>± 0,9  | 53,4<br>± 3,2 | 9,1<br>± 1,1  | 189,1<br>± 36,6 | 104,7<br>± 16,8             | 69,6<br>± 3,7                  | 279,4<br>± 14,8   | 9,3<br>± 1,7       |
| <b>Badminton</b>          | 13         | 17,1<br>± 0,5 | 179,9<br>± 8,4 | 67,3<br>± 6,6  | 1,9<br>± 0,1          | 9,5<br>± 1,3  | 51,2<br>± 2,3 | 9,3<br>± 1,1  | 174,5<br>± 31,7 | 94,2<br>± 16,2              | 55,8<br>± 4,3                  | 225,1<br>± 16,3   | 11,9<br>± 4,2      |

Wegen zu geringer Probandenzahlen der sonstigen Sportler (n<5) fanden bei diesem Alterskollektiv nur die Kraft-, Ausdauer- und Spportsportler Berücksichtigung.

Der enddiastolische Durchmesser der Ausdauersportler (MW 53,2 ± 2,9 mm, Median 53,5 mm) liegt oberhalb der Spiel- (MW 51,6 ± 3,0 mm, Median 51,5 mm) und Kraftsportler (MW 50,9 ± 2,4 mm, Median 52 mm) (p<0,001). Auch in Bezug des LV-EDD zur Körperoberfläche haben die Ausdauerathleten den größten Mittelwert (28,0 ± 2,4 mm/m<sup>2</sup>) und Median (27,8 mm/m<sup>2</sup>). Ihre Messwerte sind signifikant erhöht gegenüber den Werten der anderen beiden Gruppen (p<0,01).

Keine signifikanten Unterschiede bestehen im Vergleich der mittleren Septumdicke, der Hinterwanddicke und der relativen Wanddicke. So liegt die mittlere Septumdicke bei allen drei Gruppen bei etwa 10 mm, die mittlere Hinterwanddicke zwischen 9,5 und 10 mm und die relative Wanddicke bei etwa 38%.

Das größte relative Herzvolumen haben die Ausdauerathleten (MW 13,1 ± 1,3 ml/kg, Median 13,0 ml/kg). Damit liegt es deutlich (p<0,001) über dem der Spportsportler (MW 12,0 ± 1,0 ml/kg, Median

11,9 ml/kg) und dem der Kraftsportler (MW 11,3 ± 1,3 ml/kg, Median 11,2 ml/kg). Auch mit allometrischem Bezug sind die Herzvolumina der Spiel- und Kraftsportgruppe signifikant niedriger als selbige der Ausdauersportgruppe (p<0,001).

Die Ausdauerathleten besitzen die größten linksventrikulären Muskelmassen bezogen auf die Körperoberfläche. Nach Devereux beträgt ihr Mittelwert 105 ± 15 g/m<sup>2</sup> (Median 104 g/m<sup>2</sup>) und ist somit deutlich erhöht im Verhältnis zu dem der Spielsportgruppe (p<0,01) und dem der Kraftsportler (p<0,05), welche mittlere Muskelmassen von < 100 g/m<sup>2</sup> haben (Median im Bereich von 95-97 g/m<sup>2</sup>).

### ≥14 - <16 Jahre (s. Abbildungen 26 im Anhang)

Tabelle 9: Eingangsparmeter Sportler ≥14 - <16 Jahre

| Sport (MW±SD)                                | Anzahl (n) | Alter (Jahre) | Größe (cm)      | Gewicht (kg)   | KOF (m <sup>2</sup> ) | IVS (mm)      | LV-EDD (mm)   | LV-PW (mm)   | LVM-Dev. (g)    | LVM/KOF (g/m <sup>2</sup> ) | VO <sub>2max</sub> (ml/min/kg) | VO <sub>2</sub> allom <sup>2/3</sup> (ml/min/kg <sup>2/3</sup> ) | TU (Stunde/Woche) |
|--|------------|---------------|-----------------|----------------|-----------------------|---------------|---------------|--------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|--|-------------------|
| <b>Fußball</b>                               | 97         | 14,9<br>± 0,6 | 173,9<br>± 6,9  | 62,8<br>± 8,0  | 1,8<br>± 0,1          | 9,3<br>± 1,2  | 50,1<br>± 3,1 | 8,9<br>± 1,1 | 162,8<br>± 29,8 | 92,5<br>± 14,0              | 53,1<br>± 4,2                  | 210,8<br>± 19,8  | 6,0<br>± 1,8      |
| <b>Handball</b>                              | 19         | 15,5<br>± 0,4 | 182,6<br>± 7,0  | 71,6<br>± 12,6 | 1,9<br>± 0,2          | 9,0<br>± 1,5  | 51,6<br>± 2,2 | 9,0<br>± 1,1 | 167,3<br>± 30,6 | 87,4<br>± 13,0              | 51,3<br>± 6,8                  | 210,6<br>± 27,4  | 6,2<br>± 1,5      |
| <b>Volleyball</b>                            | 6          | 14,9<br>± 0,7 | 186,0<br>± 6,6  | 71,8<br>± 10,0 | 2,0<br>± 0,2          | 9,0<br>± 1,4  | 51,4<br>± 5,8 | 8,8<br>± 0,7 | 163,0<br>± 26,1 | 83,5<br>± 10,4              | 41,2<br>± 12,5                 | 170,2<br>± 50,0  | 6,1<br>± 1,8      |
| <b>Tennis</b>                                | 7          | 15,1<br>± 0,5 | 174,0<br>± 8,9  | 62,1<br>± 7,4  | 1,7<br>± 0,2          | 9,9<br>± 1,0  | 50,3<br>± 3,1 | 9,4<br>± 1,0 | 176,9<br>± 31,2 | 100,5<br>± 11,3             | 55,6<br>± 2,5                  | 219,8<br>± 14,7  | 11,2<br>± 2,6     |
| <b>Schwimmen</b>                             | 18         | 15,1<br>± 0,5 | 174,9<br>± 5,2  | 61,6<br>± 7,4  | 1,7<br>± 0,1          | 9,7<br>± 1,0  | 51,0<br>± 3,1 | 9,2<br>± 0,9 | 175,1<br>± 27,3 | 100,2<br>± 14,0             | 60,1<br>± 3,9                  | 236,5<br>± 14,0  | 9,8<br>± 3,0      |
| <b>Triathlon</b>                             | 10         | 15,3<br>± 0,3 | 174,6<br>± 4,9  | 60,6<br>± 5,7  | 1,7<br>± 0,1          | 10,0<br>± 1,1 | 51,2<br>± 3,7 | 9,0<br>± 1,0 | 177,6<br>± 28,0 | 102,3<br>± 13,9             | 62,5<br>± 5,2                  | 245,0<br>± 20,8  | 13,3<br>± 3,3     |
| <b>Rudern</b>                                | 19         | 14,8<br>± 0,5 | 179,0<br>± 4,6  | 69,0<br>± 7,9  | 1,9<br>± 0,1          | 9,4<br>± 0,9  | 50,0<br>± 3,6 | 9,3<br>± 0,7 | 166,5<br>± 26,2 | 89,2<br>± 12,3              | 55,1<br>± 8,3                  | 225,3<br>± 30,1  | 10,7<br>± 1,9     |
| <b>Badminton</b>                             | 9          | 15,0<br>± 0,5 | 170,6<br>± 8,5  | 58,3<br>± 9,2  | 1,7<br>± 0,2          | 9,7<br>± 1,0  | 47,0<br>± 4,1 | 8,7<br>± 1,0 | 147,5<br>± 36,1 | 87,4<br>± 16,1              | 54,6<br>± 7,9                  | 211,6<br>± 34,0  | 12,4<br>± 4,2     |
| <b>Turnen,<br/>Ringens,<br/>Gewichtheben</b> | 7          | 15,0<br>± 0,7 | 165,6<br>± 15,8 | 68,4<br>± 29,9 | 1,7<br>± 0,4          | 8,7<br>± 1,6  | 50,4<br>± 4,6 | 8,5<br>± 1,6 | 155,2<br>± 52,0 | 87,9<br>± 13,1              | 45,1<br>± 9,5                  | 176,8<br>± 24,1  | 8,25<br>± 1,7     |

Die Mediane des LV-EDD liegen bei den Spiel- und Ausdauersportlern auf dem gleichen Niveau (Median bei 50,5 - 51 mm). Auf einen Vergleich mit den sonstigen Sportlern und den Kraftsportlern wurde, wie bereits bei den ≥16 - <18 jährigen Kaderathleten, wegen zu geringer Probandenzahlen verzichtet. In Relation zur Körperoberfläche (EDD/KOF) liegt der Median der Spiel- und Ausdauersportler bei 28 – 28,5 mm/m<sup>2</sup>. Statistisch signifikante Unterschiede bestehen nicht.

Die Septumdicke, die Hinterwanddicke, die relative Wanddicke und das relative Herzvolumen differiert nur unwesentlich zwischen der Spiel- und Ausdauergruppe. Die Ausdauerathleten haben tendenziell etwas höhere Werte, ohne sich jedoch signifikant von den Spielsportlern zu unterscheiden.

Im allometrischen Bezug des Herzvolumens (HV<sub>allom</sub><sup>2/3</sup> und HV<sub>allom</sub><sup>3/4</sup>) sind die Messwerte der Ausdauersportler (MW 51,4 ± 5,9 ml/kg<sup>2/3</sup>, Median 51,0 ml/kg<sup>2/3</sup> bzw. MW 36,3 ± 4,2 ml/kg<sup>3/4</sup>, Median 36,1 ml/kg<sup>3/4</sup>) signifikant (p<0,05) höher als die der Spielsportler (MW 49,3 ± 4,9 ml/kg<sup>2/3</sup>, Median 48,9 ml/kg<sup>2/3</sup> bzw. MW 34,8 ± 3,8 ml/kg<sup>3/4</sup>, Median 34,9 ml/kg<sup>3/4</sup>).

Die linksventrikuläre Muskelmasse nach Devereux bezogen auf die Körperoberfläche beträgt bei den Ausdauerathleten im Mittel 96 ± 15 g/m<sup>2</sup> (Median ~ 96 g/m<sup>2</sup>) und bei den Spielsportlern 91 ± 14 g/m<sup>2</sup> (Median ~ 91 g/m<sup>2</sup>). Nach Teichholz (in Bezug zur KOF) betragen die Mittelwerte für Ausdauersport 91 ± 11 g/m<sup>2</sup> (Median ~ 91 g/m<sup>2</sup>) und für Spielsport 88 ± 11 g/m<sup>2</sup> (Median ~ 88 g/m<sup>2</sup>). Somit sind die Messwerte der Ausdauergruppe jeweils signifikant größer als die der Spielsportgruppe (p<0,05).

< 14 Jahre (s. Abbildungen 27 im Anhang)

Tabelle 10: Eingangsparemeter Sportler < 14 Jahre

| Sport (MW±SD)      | Anzahl (n) | Alter (Jahre) | Größe (cm)     | Gewicht (kg)  | KOF (m <sup>2</sup> ) | IVS (mm)     | LV-EDD (mm)   | LV-PW (mm)   | LVM-Dev. (g)    | LVM/KOF (g/m <sup>2</sup> ) | VO <sub>2max</sub> (ml/min/kg) | VO <sub>2</sub> allom <sup>2/3</sup> (ml/min/kg) <sup>2/3</sup> | TU (Stunden/Woche) |
|--------------------|------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------|--------------|---------------|--------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|---|--------------------|
| <b>Fußball</b>     | 62         | 13,4<br>± 0,4 | 164,9<br>± 8,4 | 53,7<br>± 9,6 | 1,6<br>± 0,2          | 8,6<br>± 1,1 | 47,8<br>± 2,9 | 8,0<br>± 1,1 | 131,8<br>± 27,7 | 83,1<br>± 12,8              | 54,3<br>± 5,3                  | 203,5<br>± 18,7   | 5,5<br>± 1,9       |
| <b>Tennis</b>      | 16         | 12,9<br>± 0,6 | 155,1<br>± 7,8 | 44,0<br>± 8,0 | 1,4<br>± 0,2          | 8,0<br>± 1,0 | 45,1<br>± 2,5 | 7,5<br>± 0,7 | 110,2<br>± 19,2 | 78,7<br>± 8,1               | 52,5<br>± 2,5                  | 184,9<br>± 16,2   | 10,2<br>± 2,3      |
| <b>Tischtennis</b> | 9          | 12,2<br>± 1,0 | 151,1<br>± 7,6 | 41,2<br>± 4,7 | 1,3<br>± 0,1          | 7,2<br>± 0,6 | 43,9<br>± 2,1 | 6,8<br>± 0,4 | 91,2<br>± 8,8   | 69,2<br>± 9,6               | 52,7<br>± 7,5                  | 181,5<br>± 24,9   | 9,9<br>± 1,5       |
| <b>Schwimmen</b>   | 19         | 12,8<br>± 0,8 | 161,8<br>± 6,6 | 49,1<br>± 9,7 | 1,5<br>± 0,2          | 8,5<br>± 1,1 | 46,4<br>± 3,5 | 8,2<br>± 1,0 | 128,5<br>± 31,1 | 85,0<br>± 13,4              | 58,2<br>± 5,0                  | 211,8<br>± 19,8   | 9,6<br>± 2,5       |
| <b>Turnen</b>      | 9          | 12,8<br>± 0,6 | 149,7<br>± 5,7 | 38,9<br>± 3,9 | 1,3<br>± 0,1          | 7,4<br>± 0,6 | 43,7<br>± 2,4 | 7,3<br>± 0,5 | 96,1<br>± 9,0   | 75,0<br>± 7,5               | 55,6<br>± 4,7                  | 187,7<br>± 14,9   | 11,7<br>± 3,3      |

Beim enddiastolischen Durchmesser der Altersgruppe der unter Vierzehnjährigen haben die Spiel- und Ausdauersportler vergleichbare Mittelwerte (Spiel 46,9 ± 3,1 mm, Ausdauer 46,8 ± 3,4 mm) und Mediane (jeweils 47,0 mm). Niedrigere Mittelwerte (p<0,01) besitzen die Kraftsportler (MW 43,7 ± 2,4 mm, Median 44,0 mm). Ein umgekehrtes Verhältnis zeigt sich beim EDD bezogen auf die Körperoberfläche. Hier haben die Kraftsportler den höchsten Mittelwert mit 34,3 ± 3,5 mm/m<sup>2</sup> (Median 33,6 mm). Bei der Spiel- und Ausdauergruppen ergeben sich Mittelwerte um 31 mm/m<sup>2</sup> (Ausdauer 30,9 ± 2,4 mm/m<sup>2</sup>, Spiel 31,2 ± 3,0 mm/m<sup>2</sup>, Median bei jeweils ~ 31 mm) womit deren Werte signifikant unterhalb derer der Kraftsportgruppe (p<0,01) liegen.

Die Septumdicken der Spiel- (MW 8,3 ± 1,1 mm, Median 8,0 mm, p < 0,01) und Ausdauergruppe (MW 8,5 ± 1,1 mm, Median 8,5 mm, p < 0,05) liegen deutlich über denen der Kraftsportgruppe (7,4 ± 0,6 mm, Median 7,5 mm). Die größten Hinterwanddicken wurden bei den Ausdauerathleten gemessen (97,5%-Perzentile: 10,5 mm), welche somit auch im Vergleich zu denen der Kraftsportler signifikant erhöht sind (p<0,05). Alle drei Gruppen haben eine relative Wanddicken von 35 ± 1% (Median).

Das relative Herzvolumen ist mit  $\sim 13$  ml/kg (Median) bei den jeweiligen Gruppen in etwa gleich. Ebenso sind die Werte des HV allom<sup>2/3</sup> und HV allom<sup>3/4</sup> nahezu identisch. So lagen die Mittelwerte und Mediane bei  $\sim 46 - 47$  ml/kg<sup>2/3</sup> bzw. bei  $\sim 33 - 34$  ml/kg<sup>3/4</sup>.

Die linksventrikulären Muskelmassen, berechnet nach Devereux und Teichholz, weichen im interdisziplinären Vergleich nur unwesentlich voneinander ab. So liegt die linksventrikuläre Muskelmasse bei allen drei Gruppen im Mittel bei etwa  $80$  g/m<sup>2</sup> gemäß der Bestimmung nach Devereux und etwa bei  $85$  g/m<sup>2</sup> gemäß der Bestimmung nach Teichholz. Statistisch signifikante Unterschiede bestehen bei dem Vergleich der Messwerte nicht.

## 4.1.2 Sportlerinnen

≥ 20 Jahre (s. Abbildungen 28 im Anhang)

Tabelle 11: Eingangsparameter Sportlerinnen ≥ 20 Jahre

| Sport (MW±SD)      | Anzahl (n) | Alter (Jahre) | Größe (cm)     | Gewicht (kg)  | KOF (m <sup>2</sup> ) | IVS (mm)     | LV-EDD (mm)   | LV-PW (mm)   | LVM -Dev. (g)   | LVM/KOF (g/m <sup>2</sup> ) | V <sub>O2max</sub> (ml/min/kg) | VO <sub>2</sub> allom <sup>2/3</sup> (ml/min/kg) <sup>2/3</sup> | TU (Stunden/Woche) |
|--------------------|------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------|--------------|---------------|--------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|---|--------------------|
| Handball           | 6          | 21,7<br>± 2,3 | 181,5<br>± 6,8 | 74,1<br>± 7,6 | 1,9<br>± 0,1          | 8,7<br>± 1,3 | 51,2<br>± 3,3 | 8,8<br>± 1,0 | 157,9<br>± 27,4 | 79,8<br>± 15,0              | 47,6<br>± 5,6                  | 201,7<br>± 17,5   | 9,5<br>± 2,2       |
| LA (Sprint/Sprung) | 7          | 23,1<br>± 2,4 | 171,5<br>± 9,3 | 61,4<br>± 7,1 | 1,7<br>± 0,1          | 8,7<br>± 1,3 | 47,5<br>± 2,3 | 8,1<br>± 1,1 | 126,7<br>± 29,5 | 77,3<br>± 14,1              | 49,2<br>± 3,2                  | 193,9<br>± 8,5  | 11,8<br>± 1,7      |
| LA (Mittelstrecke) | 7          | 21,4<br>± 1,2 | 174,5<br>± 5,4 | 60,4<br>± 6,4 | 1,7<br>± 0,1          | 8,8<br>± 0,9 | 48,7<br>± 3,4 | 8,9<br>± 0,9 | 152,4<br>± 34,4 | 86,1<br>± 15,9              | 57,2<br>± 6,6                  | 226,1<br>± 21,6   | 12,6<br>± 3,2      |
| Triathlon          | 5          | 26,1<br>± 4,1 | 168,0<br>± 4,2 | 57,3<br>± 3,9 | 1,6<br>± 0,1          | 8,8<br>± 1,7 | 50,2<br>± 2,4 | 9,1<br>± 1,0 | 162,1<br>± 24,5 | 95,8<br>± 13,6              | 65,4<br>± 4,6                  | 252,3<br>± 17,1   | 18,9<br>± 5,9      |
| Rudern             | 66         | 24,0<br>± 2,8 | 179,7<br>± 7,0 | 73,0<br>± 8,6 | 1,9<br>± 0,1          | 9,9<br>± 1,0 | 51,9<br>± 3,4 | 9,6<br>± 1,0 | 192,3<br>± 29,0 | 97,4<br>± 12,9              | 52,4<br>± 4,4                  | 219,0<br>± 17,9   | 17,3<br>± 4,6      |
| Badminton          | 36         | 22,6<br>± 2,0 | 169,7<br>± 7,8 | 62,0<br>± 7,2 | 1,7<br>± 0,1          | 8,9<br>± 0,9 | 49,4<br>± 2,5 | 8,6<br>± 0,7 | 151,9<br>± 23,6 | 88,0<br>± 12,4              | 48,9<br>± 7,9                  | 195,4<br>± 27,9   | 16,5<br>± 4,4      |
| Kegeln             | 10         | 26,4<br>± 5,7 | 167,6<br>± 7,0 | 65,0<br>± 7,0 | 1,7<br>± 0,1          | 8,1<br>± 0,5 | 45,4<br>± 3,1 | 8,9<br>± 0,8 | 124,2<br>± 16,7 | 72,0<br>± 8,7               | 38,5<br>± 4,3                  | 154,0<br>± 13,9   | 4,5<br>± 1,6       |

Bei diesem Alterskollektiv wurde auf eine Untersuchung mit den Kraftsportlerinnen aufgrund zu geringer Probandenzahlen ( $n < 5$ ) verzichtet. Den höchsten Mittelwert des enddiastolischen Durchmessers haben die Ausdauerathletinnen mit  $51,3 \pm 3,6$  mm. Auch der Median des LV-EDD der Ausdauerathletinnen ist mit 51,7 mm am höchsten. Ihre Messwerte sind signifikant erhöht ( $p < 0,001$ ) gegenüber denen der Spielsportlerinnen (MW  $49,3 \pm 2,9$  mm, Median 49,5 mm) und denen der sonstigen Sportlerinnen (MW  $45,8 \pm 2,8$  mm; Median 46 mm,  $p < 0,001$ ). Beim EDD bezogen auf die Körperoberfläche haben die Spielsportlerinnen den höchsten Mittelwert mit  $28,5 \pm 2,0$  mm/m<sup>2</sup> (Median: 28,2 mm/m<sup>2</sup>). Etwas darunter liegen die Messwerte der Ausdauerathletinnen (MW  $27,8 \pm 2,3$  mm/m<sup>2</sup>, Median: 27,4 mm/m<sup>2</sup>), gefolgt von denen der sonstigen Kadersportlerinnen (MW  $26,5 \pm 2,0$  mm/m<sup>2</sup>, Median: 26,5 mm/m<sup>2</sup>). Die Werte der Spielsportler sind signifikant erhöht gegenüber denen der Ausdauerathletinnen ( $p < 0,05$ ) und denen der sonstigen Sportler ( $p < 0,01$ ).

Die größten Septum- und Hinterwanddicken in dieser Altersklasse haben die Ausdauerathletinnen (IVS: MW  $9,5 \pm 1,2$  mm, Median 10 mm; PW: MW  $9,3 \pm 1,1$  mm, Median 9,5 mm). Ihre Septumdicke hebt sich deutlich nach oben hin ( $p < 0,001$ ) von der Spielsportgruppe (MW  $8,8 \pm 1,1$  mm, Median 8,5 mm) und der sonstigen Sportarten (MW  $8,3 \pm 0,6$  mm, Median 8 mm) ab. Die Hinterwanddicke der Ausdauerathletinnen ist dagegen nur gegenüber den Spielsportlerinnen (MW  $8,6 \pm 1,0$  mm, Median 8,5 mm) erhöht ( $p < 0,001$ ) und liegt mit den sonstigen Sportlerinnen in einem ähnlichen Bereich (MW  $8,8 \pm 0,9$  mm, Median 8,9 mm,  $p > 0,05$ ).

Die 97,5%-Perzentile der Messwerte der relativen Wanddicke beträgt bei allen drei Gruppen etwa 43%. Insgesamt sind die Werte der Ausdauerathletinnen und der sonstigen Sportlerinnen im Vergleich zu denen der Spielsportlerinnen erhöht ( $p < 0,05$ ).



Beim Mittelwert des relativen Herzvolumens (berechnet nach Dickhuth) liegen Spielsportlerinnen und Ausdauersportlerinnen auf einem Niveau. Beide haben im Mittel mit  $12,1 \pm 1,4$  ml/kg (Median 11,8 ml/kg, Ausdauer) bzw.  $11,8 \pm 1,1$  ml/kg (Median 11,8 ml/kg, Spiel) ein deutlich größeres Herzvolumen ( $p < 0,001$ ) als die sonstigen Sportlerinnen ( $9,9 \pm 1,2$  ml/kg, Median 9,8 ml/kg).

Beim relativen Herzvolumen mit allometrischem Bezug haben die Ausdauer- (MW  $49,2 \pm 4,9$  ml/kg<sup>2/3</sup>, Median  $\sim 49$  ml/kg<sup>2/3</sup> bzw. MW  $34,6 \pm 3,5$  ml/kg<sup>3/4</sup>, Median  $\sim 34$  ml/kg<sup>3/4</sup>) und Spielsportgruppe (MW  $46,7 \pm 4,1$  ml/kg<sup>2/3</sup>, Median  $\sim 47$  ml/kg<sup>2/3</sup> bzw. MW  $33,1 \pm 2,9$  ml/kg<sup>3/4</sup>, Median  $\sim 33$  ml/kg<sup>3/4</sup>) signifikant höhere Volumina ( $p < 0,001$ ) als die Gruppe der sonstigen Sportarten (MW  $39,2 \pm 4,1$  ml/kg<sup>2/3</sup>, Median  $\sim 39$  ml/kg<sup>2/3</sup> bzw. MW  $27,7 \pm 3,1$  ml/kg<sup>3/4</sup>, Median  $\sim 28$  ml/kg<sup>3/4</sup>). Ebenso sind die Volumina der Spielsportlerinnen niedriger ( $p < 0,01$  für HVallom<sup>2/3</sup> und  $p < 0,05$  für HVallom<sup>3/4</sup>) als die der Kraftsportlerinnen.

Bei der linksventrikulären Muskelmasse mit Körperdimensionsbezug, berechnet nach Devereux und Teichholz, erreichen die Ausdauersportlerinnen die höchsten Messwerte (LVM-Devereux: MW  $95 \pm 14$  g/m<sup>2</sup>, Median:  $\sim 97,5$  g/m<sup>2</sup> und LVM-Teichholz: MW  $89 \pm 10$  g/m<sup>2</sup>, Median:  $\sim 91$  g/m<sup>2</sup>). Sie haben im Mittel eine deutlich größere Muskelmasse als die Spielsportlerinnen (LVM-Devereux: MW  $86 \pm 14$  g/m<sup>2</sup>, Median:  $\sim 85$  g/m<sup>2</sup>,  $p < 0,001$  und LVM-Teichholz: MW  $84 \pm 12$  g/m<sup>2</sup>, Median:  $\sim 85$  g/m<sup>2</sup>,  $p < 0,01$ ) und die sonstigen Sportlerinnen (LVM-Devereux: MW  $73 \pm 9$  g/m<sup>2</sup>, Median:  $\sim 74$  g/m<sup>2</sup> und LVM-Teichholz: MW  $77 \pm 7$  g/m<sup>2</sup>, Median:  $\sim 78$  g/m<sup>2</sup>, jeweils  $p < 0,001$ ). Die Muskelmasse der Spielsportgruppe ist wiederum signifikant höher als die der Gruppe der sonstigen Sportarten ( $p < 0,05$  für LVM-Teichholz/KOF und  $p < 0,01$  für LVM-Devereux/KOF).

$\geq 18$  -  $< 20$  Jahre (s. Abbildungen 29 im Anhang)

Tabelle 12: Eingangsparemeter Sportlerinnen  $\geq 18$  -  $< 20$  Jahre

| Sport (MW $\pm$ SD) | Anzahl (n) | Alter (Jahre)     | Größe (cm)         | Gewicht (kg)      | KOF (m <sup>2</sup> ) | IVS (mm)         | LV-EDD (mm)       | LV-PW (mm)       | LVM-Dev. (g)        | LVM/KOF (g/m <sup>2</sup> ) | VO <sub>2max</sub> (ml/min/kg) | VO <sub>2allom</sub> <sup>2/3</sup> (ml/min/kg) <sup>2/3</sup> | TU (Stunden/Woche) |
|---------------------|------------|-------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|------------------|-------------------|------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|--|--------------------|
| LA (Sprint/Sprung)  | 6          | 18,9<br>$\pm 0,7$ | 168,2<br>$\pm 8,5$ | 55,2<br>$\pm 4,2$ | 1,6<br>$\pm 0,1$      | 8,2<br>$\pm 0,5$ | 46,6<br>$\pm 2,5$ | 7,8<br>$\pm 0,5$ | 119,7<br>$\pm 7,1$  | 73,9<br>$\pm 5,0$           | 48,9<br>$\pm 3,6$              | 186,0<br>$\pm 11,9$  | 9,0<br>$\pm 2,8$   |
| LA (Mittelstrecke)  | 13         | 18,7<br>$\pm 0,6$ | 172,4<br>$\pm 4,9$ | 58,1<br>$\pm 3,3$ | 1,7<br>$\pm 0,1$      | 8,3<br>$\pm 0,8$ | 46,4<br>$\pm 2,8$ | 8,7<br>$\pm 1,1$ | 130,2<br>$\pm 22,4$ | 77,1<br>$\pm 13,2$          | 54,5<br>$\pm 3,8$              | 211,2<br>$\pm 14,3$  | 10,5<br>$\pm 2,1$  |
| LA (Wurf/Stoß)      | 7          | 18,4<br>$\pm 0,3$ | 171,5<br>$\pm 6,0$ | 68,8<br>$\pm 6,8$ | 1,8<br>$\pm 0,1$      | 8,9<br>$\pm 1,1$ | 46,4<br>$\pm 2,1$ | 8,3<br>$\pm 1,1$ | 132,0<br>$\pm 26,0$ | 72,9<br>$\pm 12,7$          | 41,6<br>$\pm 3,9$              | 170,5<br>$\pm 16,8$  | 7,9<br>$\pm 1,8$   |
| Rudern              | 17         | 18,8<br>$\pm 0,4$ | 179,1<br>$\pm 4,6$ | 72,8<br>$\pm 6,3$ | 1,9<br>$\pm 0,1$      | 9,1<br>$\pm 1,2$ | 51,1<br>$\pm 3,2$ | 8,6<br>$\pm 0,8$ | 162,2<br>$\pm 29,2$ | 84,9<br>$\pm 14,5$          | 50,1<br>$\pm 5,4$              | 208,7<br>$\pm 19,1$  | 18,7<br>$\pm 3,2$  |
| Badminton           | 22         | 19,0<br>$\pm 0,7$ | 170,6<br>$\pm 7,5$ | 62,3<br>$\pm 8,0$ | 1,7<br>$\pm 0,1$      | 8,9<br>$\pm 0,9$ | 48,5<br>$\pm 3,1$ | 8,4<br>$\pm 0,8$ | 142,9<br>$\pm 21,8$ | 82,6<br>$\pm 8,7$           | 50,2<br>$\pm 4,8$              | 198,4<br>$\pm 20,3$  | 14,8<br>$\pm 4,2$  |

Aufgrund geringer Probandenzahlen (n=7) sind Vergleiche von echokardiographischen Parametern der Kraftsportlerinnen und sonstigen Sportlerinnen dieses Alterskollektives nicht sicher verwertbar.

Daher wurden die Messwerte dieser beiden Gruppen im Ergebnisteil nicht berücksichtigt und nur die Spilsportgruppe mit der Ausdauergruppe verglichen. Die Spilsportlerinnen haben einen mittleren LV-EDD von  $48,5 \pm 2,7$  mm (Median 48,5 mm). Im Ergebnis entsprechen die Messwerte in etwa denen der Ausdauersportlerinnen (MW  $48,7 \pm 3,8$  mm, Median 47,8 mm). Auch durch Bezug des LV-EDD auf die Körperoberfläche ergeben sich keine relevanten Veränderungen der Messwerte der beiden Gruppen im Verhältnis zueinander ( $p=0,11$ ).

Die Septum- und Hinterwanddicken, sowie die relative Wanddicke der Spiel- und Ausdauerathletinnen unterscheiden sich nur unwesentlich. Die Mediane und Mittelwerte sind annähernd gleich groß.

Auch die Herzvolumina (relatives HV,  $HV_{allom}^{2/3}$ ,  $HV_{allom}^{3/4}$ ) der Kaderathletinnen des Spiel- und Ausdauersports liegen in fast identischen Bereichen.

Die mittlere linksventrikuläre Muskelmasse nach Devereux und Teichholz bezogen auf die Körperoberfläche ist bei beiden Gruppen ähnlich groß. Die Messwerte der Spiel- (LVM-Devereux: MW  $81 \pm 10$  g/m<sup>2</sup>, Median:  $\sim 81$  g/m<sup>2</sup> und LVM-Teichholz: MW  $81 \pm 7$  g/m<sup>2</sup>, Median:  $\sim 82$  g/m<sup>2</sup>) und Ausdauersportlerinnen (LVM-Devereux: MW  $82 \pm 15$  g/m<sup>2</sup>, Median:  $\sim 84$  g/m<sup>2</sup> und LVM-Teichholz: MW  $81 \pm 11$  g/m<sup>2</sup>, Median:  $\sim 81$  g/m<sup>2</sup>) zeigen keine signifikanten Unterschiede zueinander.

### $\geq 16$ - $< 18$ Jahre (s. Abbildungen 30 im Anhang)

Tabelle 13: Eingangsparemeter Sportlerinnen  $\geq 16$  -  $< 18$  Jahre

| Sport (MW $\pm$ SD) | Anzahl (n) | Alter (Jahre)     | Größe (cm)         | Gewicht (kg)      | KOF (m <sup>2</sup> ) | IVS (mm)         | LV-EDD (mm)       | LV-PW (mm)       | LVM-Dev. (g)        | LVM/KOF (g/m <sup>2</sup> ) | VO <sub>2max</sub> (ml/min/kg) | VO <sub>2allom</sub> <sup>2/3</sup> (ml/min/kg) <sup>2/3</sup> | TU (Stunden/Woche) |
|---------------------|------------|-------------------|--------------------|-------------------|-----------------------|------------------|-------------------|------------------|---------------------|-----------------------------|--------------------------------|--|--------------------|
| Handball            | 6          | 16,9<br>$\pm 0,6$ | 171,5<br>$\pm 2,0$ | 64,8<br>$\pm 5,3$ | 1,8<br>$\pm 0,1$      | 8,3<br>$\pm 1,3$ | 47,1<br>$\pm 3,2$ | 8,2<br>$\pm 1,5$ | 128,2<br>$\pm 33,7$ | 72,7<br>$\pm 18,8$          | 47,4<br>$\pm 2,6$              | 190,4<br>$\pm 12,3$  | 6,1<br>$\pm 1,5$   |
| LA (Sprint/Sprung)  | 11         | 17,1<br>$\pm 0,6$ | 168,5<br>$\pm 5,3$ | 58,5<br>$\pm 5,9$ | 1,7<br>$\pm 0,1$      | 7,7<br>$\pm 1,1$ | 46,7<br>$\pm 1,3$ | 7,5<br>$\pm 0,7$ | 113,5<br>$\pm 15,1$ | 68,3<br>$\pm 9,4$           | 48,4<br>$\pm 4,4$              | 188,1<br>$\pm 14,5$  | 8,8<br>$\pm 2,5$   |
| LA (Mittelstrecke)  | 15         | 17,2<br>$\pm 0,5$ | 173,0<br>$\pm 4,4$ | 57,2<br>$\pm 3,4$ | 1,7<br>$\pm 0,1$      | 8,5<br>$\pm 1,1$ | 47,5<br>$\pm 2,9$ | 8,3<br>$\pm 0,9$ | 132,5<br>$\pm 18,6$ | 78,8<br>$\pm 10,2$          | 51,0<br>$\pm 4,6$              | 196,3<br>$\pm 17,5$  | 10,3<br>$\pm 2,6$  |
| LA (Wurf/Stoß)      | 5          | 17,0<br>$\pm 0,4$ | 173,5<br>$\pm 4,3$ | 65,8<br>$\pm 6,0$ | 1,8<br>$\pm 0,1$      | 7,8<br>$\pm 0,8$ | 46,5<br>$\pm 2,2$ | 8,0<br>$\pm 0,9$ | 118,2<br>$\pm 18,9$ | 65,9<br>$\pm 8,0$           | 40,2<br>$\pm 4,1$              | 161,8<br>$\pm 12,7$  | 8,1<br>$\pm 2,0$   |
| Schwimmen           | 13         | 17,1<br>$\pm 0,6$ | 167,2<br>$\pm 4,6$ | 59,9<br>$\pm 4,2$ | 1,7<br>$\pm 0,1$      | 9,0<br>$\pm 0,8$ | 48,8<br>$\pm 1,5$ | 8,7<br>$\pm 0,8$ | 148,2<br>$\pm 16,3$ | 88,7<br>$\pm 9,9$           | 54,5<br>$\pm 4,7$              | 213,0<br>$\pm 17,4$  | 11,3<br>$\pm 2,8$  |
| Triathlon           | 6          | 16,7<br>$\pm 0,6$ | 169,1<br>$\pm 6,4$ | 62,0<br>$\pm 6,4$ | 1,7<br>$\pm 0,1$      | 9,5<br>$\pm 0,9$ | 50,4<br>$\pm 3,0$ | 8,8<br>$\pm 0,7$ | 163,6<br>$\pm 28,9$ | 95,3<br>$\pm 12,6$          | 54,1<br>$\pm 3,3$              | 214,2<br>$\pm 18,7$  | 15,4<br>$\pm 4,2$  |
| Rudern              | 7          | 17,1<br>$\pm 0,4$ | 174,9<br>$\pm 6,6$ | 65,0<br>$\pm 8,9$ | 1,8<br>$\pm 0,1$      | 9,1<br>$\pm 0,9$ | 48,9<br>$\pm 2,5$ | 8,7<br>$\pm 1,6$ | 149,9<br>$\pm 29,8$ | 83,3<br>$\pm 11,1$          | 53,3<br>$\pm 7,3$              | 213,2<br>$\pm 22,8$  | 13,0<br>$\pm 2,0$  |
| Badminton           | 10         | 17,1<br>$\pm 0,4$ | 169,4<br>$\pm 4,7$ | 58,7<br>$\pm 3,2$ | 1,7<br>$\pm 0,1$      | 8,2<br>$\pm 0,6$ | 47,4<br>$\pm 2,6$ | 7,8<br>$\pm 0,9$ | 123,5<br>$\pm 12,6$ | 73,8<br>$\pm 8,0$           | 52,5<br>$\pm 2,6$              | 204,2<br>$\pm 10,8$  | 10,0<br>$\pm 4,0$  |

Aufgrund zu geringer Fallzahlen der Sonstigen- und der Kraftsportlerinnen ( $n < 5$ ) dieser Altersklasse wurde nur ein Quervergleich Spiel gegen Ausdauer durchgeführt. Der linksventrikuläre

enddiastolische Durchmesser der Spielsportlerinnen beträgt im Mittel  $47,0 \pm 2,1$  mm (Median 47 mm) und ist somit niedriger als der bei Ausdauerathletinnen festgestellte LV-EDD ( $48,1 \pm 3,1$  mm, Median 48 mm) ( $p < 0,05$ ). Gleiches gilt bei der Betrachtung des EDD in Bezug zur Körperoberfläche (Spiel: MW  $27,9 \pm 1,6$  mm/m<sup>2</sup>, Median 27,9 mm/m<sup>2</sup>, Ausdauer: MW  $28,6 \pm 2,0$  mm/m<sup>2</sup>, Median 28,8 mm/m<sup>2</sup>,  $p < 0,05$ ).

Die größten Septum- und Hinterwanddicken werden bei den Ausdauersportlerinnen gemessen. Sie sind deutlich größer als bei den Spielsportlerinnen ( $p < 0,01$ ). Keine signifikanten Unterschiede bestehen bei den relativen Wanddicken. Ihr Mittelwert liegt bei  $34 \pm 1\%$ . Der Median der Spielsportgruppe beträgt 33,7%, der der Ausdauersportgruppe 34,9%.

Das relative Herzvolumen (berechnet nach Dickhuth) der Ausdauersportlerinnen (MW:  $12,1 \pm 1,3$  ml/kg, Median 12,0 ml/kg) ist signifikant größer als das der Spielsportlerinnen (MW:  $11,0 \pm 1,0$  ml/kg, Median 11,1 ml/kg) ( $p < 0,001$ ). Mit allometrischem Bezug des Herzvolumens sind die Volumina der Ausdauergruppe gegenüber der Spielsportgruppe ebenfalls signifikant erhöht ( $p < 0,001$ ).

Die linksventrikuläre Muskelmasse nach Devereux mit Körperdimensionsbezug beträgt bei den Kaderathletinnen des Spielsports im Mittel  $72 \pm 9,5$  ml/m<sup>2</sup> (Median  $\sim 72$  ml/m<sup>2</sup>) und bei denen des Ausdauersport  $84 \pm 13$  ml/m<sup>2</sup> (Median  $\sim 85$  ml/m<sup>2</sup>). Bei LVM-Teich/KOF liegen die Mittelwerte für Spiel bei  $75 \pm 8,5$  ml/m<sup>2</sup> (Median  $\sim 76$  ml/m<sup>2</sup>) und für Ausdauer bei  $84 \pm 10$  ml/m<sup>2</sup> (Median  $\sim 83$  ml/m<sup>2</sup>). Nach beiden Berechnungen haben die Ausdauersportlerinnen signifikant größere linksventrikuläre Muskelmassen ( $p < 0,001$ ).

≥14 - <16 Jahre (s. Abbildungen 31 im Anhang)

Tabelle 14: Eingangsparameter Sportlerinnen ≥14 - &lt;16 Jahre

| Sport (MW±SD)              | Anzahl (n) | Alter (Jahre) | Größe (cm)     | Gewicht (kg)  | KOF (m <sup>2</sup> ) | IVS (mm)     | LV-EDD (mm)   | LV-PW (mm)   | LVM-Dev. (g)    | LVM/KOF (g/m <sup>2</sup> ) | VO <sub>2max</sub> (ml/min/kg) | VO <sub>2allom</sub> <sup>2/3</sup> (ml/min/kg) <sup>2/3</sup> | TU (Stunden/Woche) |
|----------------------------|------------|---------------|----------------|---------------|-----------------------|--------------|---------------|--------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|--|--------------------|
| <b>Fußball</b>             | 30         | 14,6<br>± 0,5 | 162,2<br>± 6,9 | 55,8<br>± 8,9 | 1,6<br>± 0,1          | 8,0<br>± 0,9 | 45,6<br>± 2,5 | 7,6<br>± 0,8 | 112,5<br>± 19,6 | 70,8<br>± 10,4              | 47,6<br>± 2,7                  | 181,0<br>± 13,6  | 5,9<br>± 2,6       |
| <b>Handball</b>            | 24         | 15,1<br>± 0,5 | 169,0<br>± 7,1 | 60,9<br>± 8,0 | 1,7<br>± 0,1          | 8,2<br>± 0,8 | 46,4<br>± 3,3 | 8,0<br>± 0,7 | 121,9<br>± 19,4 | 71,8<br>± 9,2               | 45,9<br>± 3,9                  | 180,6<br>± 13,0  | 5,8<br>± 2,3       |
| <b>LA (Sprint/Sprung)</b>  | 8          | 15,4<br>± 0,4 | 167,6<br>± 6,6 | 54,3<br>± 5,0 | 1,6<br>± 0,1          | 8,1<br>± 0,8 | 45,3<br>± 2,7 | 7,8<br>± 0,7 | 113,7<br>± 11,4 | 70,8<br>± 6,6               | 48,5<br>± 3,0                  | 183,3<br>± 12,0  | 8,5<br>± 2,6       |
| <b>LA (Mittel-Strecke)</b> | 6          | 15,2<br>± 0,3 | 171,1<br>± 6,0 | 54,2<br>± 4,3 | 1,6<br>± 0,1          | 8,1<br>± 1,0 | 47,7<br>± 3,2 | 7,7<br>± 0,3 | 122,6<br>± 18,2 | 79,8<br>± 13,5              | 53,7<br>± 3,2                  | 201,9<br>± 10,6  | 7,3<br>± 1,7       |
| <b>Tennis</b>              | 5          | 15,2<br>± 0,2 | 167,7<br>± 4,8 | 56,7<br>± 4,6 | 1,6<br>± 0,1          | 8,3<br>± 0,6 | 46,5<br>± 2,3 | 7,3<br>± 0,3 | 115,9<br>± 12,7 | 70,7<br>± 6,1               | 48,4<br>± 3,2                  | 185,9<br>± 15,3  | 9,5<br>± 1,6       |
| <b>Tischtennis</b>         | 5          | 14,7<br>± 0,3 | 165,5<br>± 3,8 | 52,7<br>± 7,6 | 1,6<br>± 0,1          | 7,8<br>± 0,4 | 47,5<br>± 1,3 | 7,4<br>± 0,5 | 116,1<br>± 11,5 | 74,2<br>± 8,3               | 47,7<br>± 4,7                  | 178,0<br>± 12,5  | 9,8<br>± 1,6       |
| <b>Schwimmen</b>           | 16         | 15,0<br>± 0,5 | 167,5<br>± 4,4 | 57,1<br>± 5,4 | 1,6<br>± 0,1          | 8,6<br>± 1,2 | 48,3<br>± 2,2 | 8,4<br>± 0,9 | 139,0<br>± 23,5 | 84,6<br>± 12,8              | 53,1<br>± 5,5                  | 204,1<br>± 20,7  | 11,6<br>± 2,4      |
| <b>Triathlon</b>           | 11         | 15,0<br>± 0,7 | 164,4<br>± 5,9 | 56,0<br>± 6,2 | 1,6<br>± 0,1          | 8,6<br>± 0,9 | 47,4<br>± 1,9 | 8,3<br>± 1,0 | 133,9<br>± 24,0 | 83,2<br>± 12,0              | 55,1<br>± 5,2                  | 209,8<br>± 22,7  | 15,1<br>± 3,5      |
| <b>Rudern</b>              | 5          | 15,5<br>± 0,3 | 172,5<br>± 8,0 | 62,5<br>± 8,2 | 1,7<br>± 0,2          | 9,0<br>± 1,4 | 48,3<br>± 1,9 | 8,0<br>± 1,3 | 139,3<br>± 30,7 | 80,1<br>± 17,7              | 46,9<br>± 3,7                  | 185,7<br>± 16,6  | 9,6<br>± 3,0       |
| <b>Badminton</b>           | 8          | 15,3<br>± 0,5 | 168,5<br>± 4,5 | 56,7<br>± 4,0 | 1,6<br>± 0,1          | 8,4<br>± 0,9 | 46,6<br>± 1,8 | 8,1<br>± 0,6 | 124,9<br>± 15,0 | 76,2<br>± 9,6               | 47,9<br>± 4,1                  | 183,9<br>± 17,1  | 9,5<br>± 2,4       |
| <b>RSG</b>                 | 10         | 14,4<br>± 0,3 | 158,7<br>± 6,2 | 46,7<br>± 5,1 | 1,4<br>± 0,1          | 7,6<br>± 1,1 | 44,4<br>± 3,1 | 7,1<br>± 0,8 | 100,2<br>± 26,6 | 68,4<br>± 13,4              | 47,2<br>± 4,5                  | 169,6<br>± 12,8  | 8,6<br>± 1,0       |

Aufgrund zu geringer Probandenzahlen der Kraftsportlerinnen (n<5) wurde auf eine Untersuchung dieser verzichtet. Den höchsten mittleren LV-EDD haben die Ausdauerathletinnen mit  $47,8 \pm 2,5$  mm (Median 48,3 mm). Damit liegt ihr mittlerer Durchmesser deutlich über dem der Spielsportgruppe (MW  $46,3 \pm 2,8$  mm, Median 46,5 mm,  $p < 0,01$ ) und dem der Sonstigen (MW  $44,8 \pm 2,9$  mm, Median 44 mm,  $p < 0,001$ ). Im Bezug des LV-EDD zur Körperoberfläche ergeben sich bei der Gruppe der sonstigen Sportlerinnen die höchsten Mittelwerte (MW  $30,0 \pm 2,0$  mm/m<sup>2</sup>, Median 30,5 mm/m<sup>2</sup>). Der Mittelwert der Ausdauerathleten liegt mit  $29,3 \pm 2,0$  mm/m<sup>2</sup> (Median 29,3 mm/m<sup>2</sup>) nur unwesentlich darunter. Signifikant niedrigere Durchmesser im Bezug des LV-EDD zur Körperoberfläche haben die Spielsportlerinnen ( $28,4 \pm 2,2$  mm/m<sup>2</sup>, Median 28,5 mm/m<sup>2</sup>) gegenüber den Sonstigen ( $p < 0,05$ ) und den Ausdauerathletinnen ( $p < 0,05$ ).

Die größte Septumdicke mit im Mittel  $8,5 \pm 1,0$  mm haben die Ausdauersportlerinnen (Median 8,3 mm), wobei ihr Septum nur unwesentlich dicker ist als das der Spielsportlerinnen (MW  $8,2 \pm 0,9$  mm, Median 8,0 mm). Allerdings ist es signifikant dicker als das der sonstigen Sportlerinnen (MW  $7,6 \pm 1,0$  mm, Median 7,5 mm,  $p < 0,01$ ). Mit im Mittel  $8,1 \pm 0,9$  mm (Median 8,0 mm) haben die Ausdauerathletinnen auch die größte Hinterwanddicke. Ihnen folgen die Spielsportlerinnen mit im Mittel  $7,7 \pm 0,8$  mm (Median 7,5 mm,  $p < 0,05$ ) und die Sonstigen mit im Mittel  $7,2 \pm 0,7$  mm (Median 7,0 mm,  $p < 0,001$ ). Die relative Wanddicke ist wiederum über alle drei Gruppen etwa gleich groß (etwa  $34 \pm 1\%$ ).

Das größte relative Herzvolumen haben im Mittel die Ausdauersportlerinnen mit  $12,3 \pm 1,2$  ml/kg (Median 12,1 ml/kg). Ein nicht signifikant "geringeres" Herzvolumen liegt bei den sonstigen Sportlerinnen (MW  $11,9 \pm 1,5$  ml/kg, Median 11,7 ml/kg) vor. Bei den Spisportlerinnen (MW  $11,2 \pm 1,1$  ml/kg, Median 11,2 ml/kg  $p < 0,001$ ) wurde hingegen ein signifikant niedrigeres Volumen festgestellt. Wird das Herzvolumen im allometrischem Bezug betrachtet zeigt sich eine ähnliche Verteilung, wobei die Volumina der Ausdauergruppe hierbei ebenfalls deutlich erhöht sind im Vergleich zu den Volumina der Gruppe der sonstigen Sportlerinnen ( $p < 0,05$ ).

Die mittlere linksventrikulären Muskelmasse nach Devereux und Teichholz, bezogen auf die Körperoberfläche, ist am größten bei der Ausdauergruppe. Nach Devereux beträgt der Mittelwert  $81 \pm 13$  g/m<sup>2</sup> (Median  $\sim 81$  g/m<sup>2</sup>) und nach Teichholz  $82 \pm 10$  g/m<sup>2</sup> (Median  $\sim 82$  g/m<sup>2</sup>). Somit ist die Muskelmasse der Ausdauergruppe wiederum signifikant höher als die der Spisportgruppe (jeweils  $p < 0,001$ ) und die der sonstigen Sportlerinnen (Devereux:  $p < 0,001$ , Teichholz:  $p < 0,01$ ). Beim interdisziplinären Vergleich der beiden letztgenannten Gruppen gibt es keine signifikanten Unterschiede.

#### < 14 Jahre (s. Abbildungen 32 im Anhang)

Tabelle 15: Eingangsparmeter Sportlerinnen < 14 Jahre

| Sport (MW±SD)      | Anzahl (n) | Alter (Jahre) | Größe (cm)      | Gewicht (kg)  | KOF (m <sup>2</sup> ) | IVS (mm)     | LV-EDD (mm)   | LV-PW (mm)   | LVM-Dev. (g)    | LVM/KOF (g/m <sup>2</sup> ) | VO <sub>2max</sub> (ml/min/kg) | VO <sub>2allom</sub> <sup>2/3</sup> (ml/min/kg) <sup>2/3</sup> | TU (Stunden/Woche) |
|--------------------|------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------------|--------------|---------------|--------------|-----------------|-----------------------------|--------------------------------|--|--------------------|
| <b>Fußball</b>     | 15         | 13,3<br>± 0,4 | 159,9<br>± 6,5  | 51,1<br>± 9,5 | 1,5<br>± 0,2          | 8,0<br>± 0,7 | 44,2<br>± 2,7 | 7,3<br>± 0,7 | 103,7<br>± 13,5 | 68,8<br>± 7,3               | 46,3<br>± 2,9                  | 170,9<br>± 12,1  | 5,0<br>± 1,7       |
| <b>Tennis</b>      | 9          | 12,8<br>± 0,7 | 164,5<br>± 7,4  | 47,3<br>± 6,4 | 1,5<br>± 0,1          | 7,8<br>± 0,5 | 43,3<br>± 3,2 | 7,5<br>± 0,8 | 100,6<br>± 19,4 | 67,2<br>± 10,3              | 49,5<br>± 3,4                  | 178,8<br>± 15,8  | 11,0<br>± 2,2      |
| <b>Tischtennis</b> | 8          | 12,6<br>± 1,0 | 155,4<br>± 10,2 | 43,8<br>± 9,9 | 1,4<br>± 0,2          | 6,7<br>± 0,5 | 44,4<br>± 4,3 | 6,6<br>± 0,5 | 88,0<br>± 17,9  | 63,4<br>± 8,7               | 52,4<br>± 6,8                  | 182,2<br>± 13,0  | 8,5<br>± 2,9       |
| <b>Schwimmen</b>   | 23         | 12,4<br>± 0,7 | 159,5<br>± 6,9  | 46,8<br>± 6,8 | 1,5<br>± 0,1          | 7,9<br>± 0,9 | 45,7<br>± 2,2 | 7,7<br>± 1,1 | 114,0<br>± 21,4 | 78,0<br>± 10,2              | 54,5<br>± 3,8                  | 195,6<br>± 12,9  | 9,9<br>± 1,7       |
| <b>Turnen</b>      | 10         | 10,5<br>± 0,8 | 136,7<br>± 6,1  | 30,4<br>± 4,1 | 1,1<br>± 0,1          | 6,7<br>± 0,7 | 39,6<br>± 2,3 | 6,1<br>± 0,5 | 68,4<br>± 11,9  | 63,0<br>± 7,9               | 52,9<br>± 8,5                  | 164,7<br>± 26,0  | 9,2<br>± 1,8       |
| <b>RSG</b>         | 20         | 12,3<br>± 1,1 | 151,5<br>± 9,3  | 37,1<br>± 7,1 | 1,3<br>± 0,2          | 6,9<br>± 0,7 | 41,8<br>± 2,7 | 6,6<br>± 0,8 | 80,8<br>± 15,0  | 63,4<br>± 6,6               | 52,9<br>± 5,1                  | 175,0<br>± 11,8  | 9,3<br>± 2,4       |

Die enddiastolischen Durchmesser der Spiel- ( $44,7 \pm 3,3$  mm, Median 45 mm) und Ausdauergruppe ( $45,8 \pm 2,3$  mm, Median 46 mm) sind nahezu identisch. Somit haben beide Gruppen deutlich größere LV-EDD als die Kraftsportgruppe ( $39,6 \pm 2,3$  mm, Median 39,3 mm,  $p < 0,001$ ) und die Sonstigen ( $41,9 \pm 2,6$  mm, Median 42 mm,  $p < 0,001$ ). Beim EDD bezogen auf die Körperoberfläche zeigt sich ein umgekehrtes Bild. Hier haben die Kraftsportlerinnen die höchsten Werte (MW:  $36,7 \pm 2,7$  mm/m<sup>2</sup>, Median 36,6 mm/m<sup>2</sup>). Diese sind deutlich erhöht (jeweils  $p < 0,001$ ) im Vergleich zu den Werten der Spiel- (MW  $29,9 \pm 2,8$  mm/m<sup>2</sup>, Median 29,8 mm/m<sup>2</sup>), Ausdauer- (MW  $31,4 \pm 2,9$  mm/m<sup>2</sup>, Median 31,1 mm/m<sup>2</sup>) und sonstigen Sportlerinnen (MW  $33,0 \pm 3,0$  mm/m<sup>2</sup>, 33,2 mm/m<sup>2</sup>).

Die Spiel- und Ausdauerathletinnen haben ähnliche Septum- und Hinterwanddicken. Sie liegen mit im Mittel  $7,9 \pm 0,9$  mm (IVS Ausdauer, Median 7,7 mm) und  $7,6 \pm 0,8$  mm (IVS Spiel, Median 7,5 mm) bzw. im Mittel  $7,7 \pm 1,0$  mm (PW Ausdauer, Median 7,5 mm) und  $7,3 \pm 0,8$  mm (PW Spiel, Median 7,3 mm) signifikant über denen der Kraftgruppe (IVS: MW  $6,7 \pm 0,7$  mm, Median 6,7 mm, [p<0,001], PW: MW  $6,1 \pm 0,5$  mm, Median 6,1 mm, [p<0,001]) und den Sonstigen (IVS: MW  $6,9 \pm 0,7$  mm, Median 6,9 mm, [p<0,01], PW: MW  $6,6 \pm 0,7$  mm, Median 6,5 mm, [p<0,01]).

Die relative Wanddicke ist bei allen vier Gruppen in etwa gleich groß und liegt im Mittel bei etwa  $33 \pm 1\%$ . Ein oberer Grenzwert (97,5%-Perzentile) von 43% wird nicht überschritten.

Das relative Herzvolumen der Kraftsportlerinnen der unter 14-jährigen Kaderathletinnen ist mit einem Mittelwert von  $14,4 \pm 1,7$  ml/kg (Median 14,1 ml/kg) am größten. Ein ähnlich großes relatives Volumen haben nur die sonstigen Sportlerinnen dieses Alterskollektives (MW  $13,3 \pm 1,8$  ml/kg, Median 13,7 ml/kg). Deutlich kleinere Volumina als die Kraftsportlerinnen haben die Ausdauerathletinnen (MW  $13,0 \pm 1,4$  ml/kg, Median 12,8 ml/kg, p<0,05) und die Spilsportlerinnen (MW  $11,8 \pm 1,2$  ml/kg, Median 11,9 ml/kg, p<0,001). Die Volumina der Spilsportgruppe sind gegenüber allen anderen Gruppen am niedrigsten (mindestens p<0,01). Durch den allometrischen Bezug nähern sich die Mittelwerte und Mediane aller Gruppen an. Signifikant erhöht bleiben nur die Werte der Ausdauerathletinnen im Vergleich zu denen der Spilsportlerinnen (p<0,001 für HVallom<sup>2/3</sup> und HVallom<sup>3/4</sup>), sowie Ausdauer vs. Sonstige (p<0,05 für HVallom<sup>2/3</sup>) und Kraft vs. Spiel (p<0,01 für HVallom<sup>3/4</sup>).

Die größte linksventrikuläre Muskelmasse bezogen auf die Körperoberfläche haben die Ausdauerathletinnen (nach Devereux: MW  $77 \pm 10$  g/m<sup>2</sup>; Median 76,5 g/m<sup>2</sup>; nach Teichholz:  $82 \pm 8$  g/m<sup>2</sup>, Median 81,5 g/m<sup>2</sup>). Ihre LVM ist signifikant größer als die Muskelmasse der Spilsportgruppe (nach Devereux MW  $67 \pm 8,5$  g/m<sup>2</sup>, Median 68 g/m<sup>2</sup>, [p<0,001]; nach Teichholz: MW  $74 \pm 7$  g/m<sup>2</sup>, Median 74 g/m<sup>2</sup>, [p<0,001]) und die der Sonstigen (nach Devereux: MW  $63 \pm 7$  g/m<sup>2</sup>, Median 63 g/m<sup>2</sup>, [p<0,001]; nach Teichholz: MW  $74 \pm 6$  g/m<sup>2</sup>, 74 g/m<sup>2</sup>, [p<0,001]). Bei Berechnung der Muskelmasse nach Devereux für die Kraftsportlerinnen (MW  $63 \pm 8$  g/m<sup>2</sup>, Median 62,5 g/m<sup>2</sup>) zeigt sich, dass diese signifikant niedriger ist, als die der Ausdauerathletinnen (p<0,001). In der Berechnung nach Teichholz haben die Kraft- und Ausdauerathletinnen ähnlich große Muskelmassen (Kraftsport nach Teichholz MW  $78 \pm 7$  g/m<sup>2</sup>, Median 78,5 g/m<sup>2</sup>, [p=0,092]).

#### 4.1.3 Übersicht und Zusammenfassung anthropometrischer und echokardiographischer Parameter von Kadersportlern

In den folgenden beiden Tabellen (Tabelle 16 und 17) sind anthropometrische und echokardiographische Mittelwerte mit Standardabweichung sowie die oberen Grenzwerte (97,5%-Perzentile) der Kadersportler/-innen der jeweiligen Alterskollektive zusammengefasst. Hierbei wird die jeweils betriebene Sportart nicht berücksichtigt.

Tabelle 16 Anthropometrische und echokardiographische Werte der Sportler

Oberer Wert: Mittelwert und Standardabweichung; unterer Wert : 97,5% Perzentile (oberer Grenzwert)

| Alter<br>(n=1089) | Größe<br>[cm] | Gewicht<br>[kg] | LVEDD          | EDD/KOF                       | IVS                | PW                 | RWT          | HV               | HV                               | HV                               |
|-------------------|---------------|-----------------|----------------|-------------------------------|--------------------|--------------------|--------------|------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|                   |               |                 | [mm]<br>97,5%  | [mm/m <sup>2</sup> ]<br>97,5% | [mm]<br>97,5%      | [mm]<br>97,5%      | [%]<br>97,5% | [ml/kg]<br>97,5% | [ml/kg <sup>2/3</sup> ]<br>97,5% | [ml/kg <sup>3/4</sup> ]<br>97,5% |
| > 20              | 182<br>±11    | 79<br>±8        | 55 ± 3<br>62   | 27 ± 2<br>31                  | 10,6 ± 1,1<br>12,5 | 10,3 ± 1,1<br>12,5 | 38 ± 3<br>43 | 12,6 ± 1,6<br>16 | 53,7 ± 6,3<br>67                 | 37,3 ± 4,4<br>47                 |
| 18-20             | 181<br>±8     | 74<br>±10       | 53 ± 3<br>59   | 28 ± 2<br>32                  | 10,2 ± 1,2<br>12,5 | 9,7 ± 1,1<br>12,5  | 37 ± 4<br>44 | 12,6 ± 1,5<br>15 | 52,6 ± 5,6<br>63                 | 36,8 ± 4,0<br>44                 |
| 16-18             | 180<br>±7     | 72<br>±10       | 52 ± 3<br>58,5 | 27 ± 2<br>31                  | 10,0 ± 1,1<br>12   | 9,7 ± 1,1<br>11,5  | 36 ± 4<br>44 | 12,3 ± 1,3<br>15 | 51,0 ± 4,9<br>61                 | 35,8 ± 3,4<br>43                 |
| 14-16             | 175<br>±8     | 64<br>±10       | 50 ± 3<br>56,5 | 28 ± 2<br>34                  | 9,4 ± 1,1<br>11    | 9,0 ± 1,0<br>11    | 36 ± 4<br>43 | 12,5 ± 1,6<br>16 | 49,8 ± 5,2<br>62                 | 35,3 ± 3,7<br>44                 |
| < 14              | 161<br>±9     | 50<br>±10       | 47 ± 3<br>52,5 | 31 ± 3<br>38                  | 8,3 ± 1,1<br>10,5  | 7,8 ± 1,0<br>10,5  | 35 ± 4<br>43 | 12,9 ± 1,9<br>16 | 47,0 ± 4,2<br>55                 | 34,0 ± 3,1<br>40                 |

Tabelle 17 Anthropometrische und echokardiographische Werte der Sportlerinnen

Oberer Wert: Mittelwert und Standardabweichung; unterer Wert : 97,5% Perzentile (oberer Grenzwert)

| Alter<br>(n=592) | Größe<br>[cm] | Gewicht<br>[kg] | LVEDD          | EDD/KOF                       | IVS               | PW               | RWT          | HV               | HV                               | HV                               |
|------------------|---------------|-----------------|----------------|-------------------------------|-------------------|------------------|--------------|------------------|----------------------------------|----------------------------------|
|                  |               |                 | [mm]<br>97,5%  | [mm/m <sup>2</sup> ]<br>97,5% | [mm]<br>97,5%     | [mm]<br>97,5%    | [%]<br>97,5% | [ml/kg]<br>97,5% | [ml/kg <sup>2/3</sup> ]<br>97,5% | [ml/kg <sup>3/4</sup> ]<br>97,5% |
| > 20             | 175<br>±9     | 66<br>±10       | 50 ± 4<br>56,5 | 28 ± 2<br>33                  | 9,1 ± 1,2<br>11   | 9,0 ± 1,1<br>11  | 36 ± 4<br>43 | 11,8 ± 1,4<br>15 | 47,4 ± 5,3<br>57                 | 33,4 ± 3,8<br>40                 |
| 18-20            | 172<br>±7     | 64<br>±8        | 48 ± 3<br>54,5 | 28 ± 2<br>31                  | 8,8 ± 1,0<br>10,5 | 8,5 ± 0,9<br>10  | 36 ± 4<br>43 | 11,7 ± 1,2<br>13 | 45,8 ± 4,5<br>53                 | 31,7 ± 3,2<br>37                 |
| 16-18            | 170<br>±6     | 59<br>±6        | 47 ± 3<br>53   | 28 ± 2<br>32                  | 8,5 ± 1,0<br>10,5 | 8,2 ± 0,9<br>10  | 35 ± 4<br>44 | 11,6 ± 1,3<br>14 | 45,1 ± 4,5<br>54                 | 32,1 ± 3,2<br>39                 |
| 14-16            | 166<br>±7     | 57<br>±8        | 47 ± 3<br>52   | 29 ± 2<br>33                  | 8,2 ± 0,9<br>10   | 7,8 ± 0,8<br>10  | 34 ± 4<br>43 | 11,6 ± 1,3<br>15 | 44,4 ± 4,2<br>56                 | 31,7 ± 3,0<br>40                 |
| < 14             | 157<br>±11    | 45<br>±11       | 44 ± 3<br>50,5 | 32 ± 4<br>39                  | 7,4 ± 0,9<br>9,5  | 7,2 ± 0,9<br>9,5 | 33 ± 4<br>40 | 12,7 ± 1,7<br>16 | 44,5 ± 3,7<br>51                 | 32,5 ± 2,9<br>38                 |

## 4.2 Korrelationsanalyse

Zunächst sind in einer Tabelle alle Korrelationskoeffizienten zwischen betrachteten leistungsphysiologischen und echokardiographischen Parametern für männlichen und weiblichen Kaderathleten zusammengefasst. Dabei wird weiter unterschieden zwischen fahrrad- und laufbandergometrisch ermittelten leistungsphysiologischen Kennwerten. Ebenso sind einerseits die Korrelationskoeffizienten des Gesamtkollektives (enthält alle Sportler unabhängig von ihrem Alter bei der Ergometrie) und andererseits nur die der über achtzehnjährigen Sportler-/innen aufgeführt. Folgend sind graphisch Korrelationen leistungsphysiologischer Ergometrien mit der daraus ermittelten maximalen oder relativen Sauerstoffaufnahme und echokardiographischer Parameter von Kadersportlern dargestellt.

Tabelle 18: Korrelationskoeffizienten der Laufbandergometrie

| Korrelation                                       | Frauen gesamt<br>Laufband (n=167) | Frauen >18 Jahre<br>Laufband (n=28) | Männer gesamt<br>Laufband (n=248) | Männer >18 Jahre<br>Laufband (n=53) |
|---|-----------------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------------|
| HV <sub>abs</sub> vs.<br>VO <sub>2max</sub>       | r=0,74<br>(p<0,001)               | r=0,73<br>(p<0,001)                 | r=0,85<br>(p<0,001)               | r=0,76<br>(p<0,001)                 |
| HV allom <sup>2/3</sup> vs.<br>VO <sub>2rel</sub> | r=0,53<br>(p<0,001)               | r=0,66<br>(p<0,001)                 | r=0,53<br>(p<0,001)               | r=0,58<br>(p<0,001)                 |
| HV allom <sup>2/3</sup> vs.<br>VO <sub>2max</sub> | r=0,23<br>(p<0,01)                | r=0,44<br>(p<0,05)                  | r=0,38<br>(p<0,001)               | r=0,39<br>(p<0,01)                  |
| HV allom <sup>3/4</sup> vs.<br>VO <sub>2rel</sub> | r=0,55<br>(p<0,001)               | r=0,69<br>(p<0,001)                 | r=0,52<br>(p<0,001)               | r=0,62<br>(p<0,001)                 |
| HV allom <sup>3/4</sup> vs.<br>VO <sub>2max</sub> | r=0,13<br>(p=0,094)               | r=0,39<br>(p<0,05)                  | r=0,24<br>(p<0,001)               | r=0,31<br>(p<0,05)                  |
| IAS vs. LV-EDD                                    | r=0,28<br>(p<0,001)               | r=0,35<br>(p=0,06)                  | r=0,33<br>(p<0,001)               | r=0,28<br>(p<0,05)                  |
| IAS vs. HV <sub>rel</sub>                         | r=0,51<br>(p<0,001)               | r=0,72<br>(p<0,001)                 | r=0,46<br>(p<0,001)               | r=0,71<br>(p<0,001)                 |
| IAS vs. HV <sub>abs</sub>                         | r=0,21<br>(p<0,01)                | r=0,27<br>(p=0,14)                  | r=0,33<br>(p<0,001)               | r=0,29<br>(p<0,05)                  |
| LV-EDD vs.<br>VO <sub>2max</sub>                  | r=0,57<br>(p<0,001)               | r=0,61<br>(p<0,001)                 | r=0,70<br>(p<0,001)               | r=0,55<br>(p<0,001)                 |
| LV-EDD/Kg vs.<br>VO <sub>2max</sub>               | r=0,36<br>(p<0,001)               | r=0,38<br>(p<0,001)                 | r=-0,04<br>(p=0,57)               | r=0,27<br>(p<0,001)                 |
| LV-EDD/KOF vs.<br>VO <sub>2max</sub>              | r=0,35<br>(p<0,001)               | r=0,32<br>(p<0,001)                 | r=0,04<br>(p=0,49)                | r=0,17<br>(p<0,01)                  |
| V <sub>max</sub> vs. HV <sub>rel</sub>            | r=0,50<br>(p<0,001)               | r=0,72<br>(p<0,001)                 | r=0,42<br>(p<0,001)               | r=0,67<br>(p<0,001)                 |
| V <sub>max</sub> vs. HV <sub>abs</sub>            | r=0,22<br>(p<0,01)                | r=0,30<br>(p=0,10)                  | r=0,41<br>(p<0,001)               | r=0,26<br>(p=0,06)                  |



Tabelle 19: Korrelationskoeffizienten der Fahrradergometrie

| Korrelation  | Frauen gesamt<br>Fahrrad (n=310) | Frauen >18 Jahre<br>Fahrrad (n=157) | Männer gesamt<br>Fahrrad (n=489) | Männer >18 Jahre<br>Fahrrad (n=248) |
|--|----------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|
| HV <sub>abs</sub> vs.<br>VO <sub>2peak</sub>       | r=0,87<br>(p<0,001)              | r=0,80<br>(p<0,001)                 | r=0,70<br>(p<0,001)              | r=0,54<br>(p<0,001)                 |
| HV <sub>abs</sub> vs.<br>P <sub>max</sub>          | r=0,87<br>(p<0,001)              | r=0,80<br>(p<0,001)                 | r=0,70<br>(p<0,001)              | r=0,54<br>(p<0,001)                 |
| HV allom <sup>2/3</sup> vs.<br>VO <sub>2max</sub>  | r=0,42<br>(p<0,001)              | r=0,58<br>(p<0,001)                 | r=0,33<br>(p<0,001)              | r=0,44<br>(p<0,001)                 |
| HV allom <sup>2/3</sup> vs.<br>VO <sub>2peak</sub> | r=0,46<br>(p<0,001)              | r=0,59<br>(p<0,001)                 | r=0,47<br>(p<0,001)              | r=0,49<br>(p<0,001)                 |
| HV allom <sup>3/4</sup> vs.<br>VO <sub>2max</sub>  | r=0,54<br>(p<0,001)              | r=0,60<br>(p<0,001)                 | r=0,39<br>(p<0,001)              | r=0,53<br>(p<0,001)                 |
| HV allom <sup>3/4</sup> vs.<br>VO <sub>2peak</sub> | r=0,31<br>(p<0,001)              | r=0,53<br>(p<0,001)                 | r=0,38<br>(p<0,001)              | r=0,41<br>(p<0,001)                 |
| LV-EDD vs.<br>VO <sub>2peak</sub>                  | r=0,81<br>(p<0,001)              | r=0,70<br>(p<0,001)                 | r=0,62<br>(p<0,001)              | r=0,42<br>(p<0,001)                 |
| LV-EDD vs.<br>P <sub>max</sub>                     | r=0,81<br>(p<0,001)              | r=0,70<br>(p<0,001)                 | r=0,62<br>(p<0,001)              | r=0,42<br>(p<0,001)                 |
| LV-EDD/Kg vs.<br>VO <sub>2max</sub>                | r=0,34<br>(p<0,001)              | r=0,33<br>(p<0,001)                 | r=0,45<br>(p<0,001)              | r=0,39<br>(p<0,001)                 |
| LV-EDD/KOF vs.<br>VO <sub>2max</sub>               | r=0,25<br>(p<0,001)              | r=0,17<br>(p<0,05)                  | r=0,40<br>(p<0,001)              | r=0,35<br>(p<0,001)                 |
| P <sub>max</sub> vs.<br>HV <sub>rel</sub>          | r=-0,12<br>(p=0,04)              | r=0,31<br>(p<0,001)                 | r=0,08<br>(p=0,07)               | r=0,32<br>(p<0,001)                 |

#### 4.2.1 Fahrradergometrie Sportler

Beziehung zwischen berechneter Sauerstoffaufnahme bei der Fahrradergometrie (VO<sub>2peak</sub>, ml O<sub>2</sub>/min) und dem echokardiographischen linksventrikulären enddiastolischen Durchmesser (LV-EDD, mm) bzw. dem absolutem Herzvolumen (ml) (Abbildungen 1 und 2).

Abbildung 1

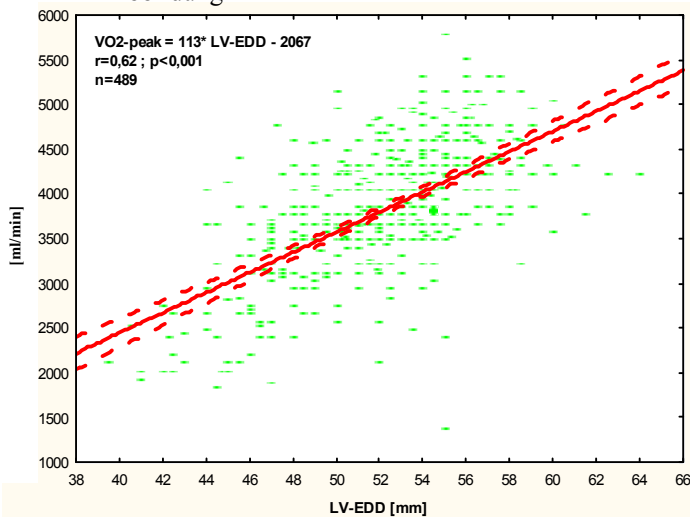
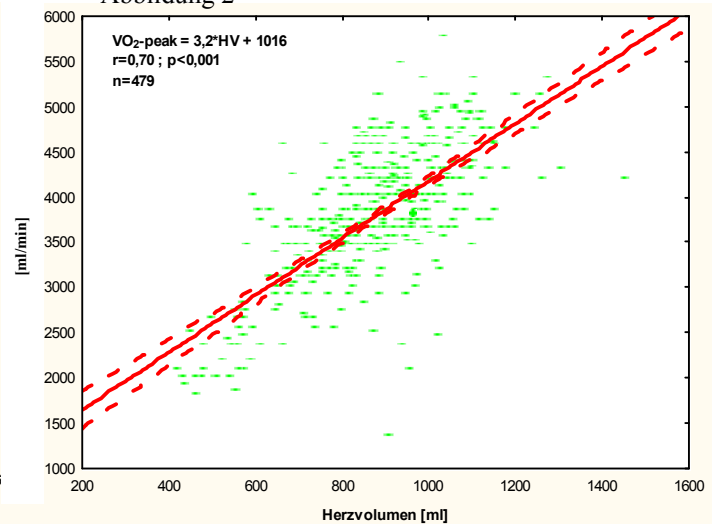


Abbildung 2



Beziehung zwischen berechneter relativer Sauerstoffaufnahme bei der Fahrradergometrie ( $\text{VO}_2\text{peak}$ , ml  $\text{O}_2/\text{min}/\text{Kg}$  Körpergewicht) und den allometrischen Herzvolumina ( $\text{HV allom}^{2/3}$  und  $\text{HV allom}^{3/4}$ ) (Abbildungen 3 und 4).

Abbildung 3

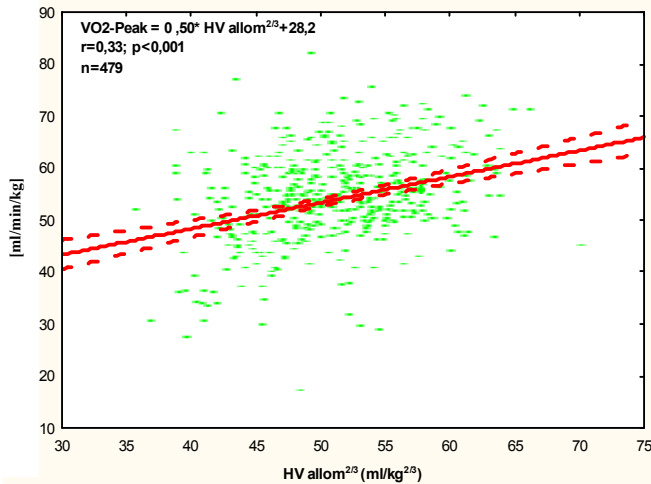
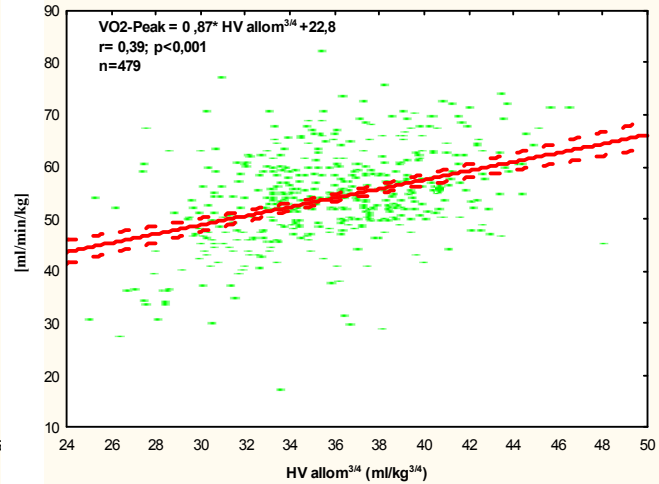


Abbildung 4



In den Abbildungen 1 und 2 erkennt man einen linearen Zusammenhang zwischen der maximalen Sauerstoffaufnahme und dem linksventrikulären enddiastolischen Durchmesser bzw. dem absoluten Herzvolumen (Korrelationskoeffizient:  $r \sim 0,62$  für EDD bzw.  $\sim 0,70$  für das absolute HV). Für die Korrelation des allometrischen Herzvolumens mit der relativen Sauerstoffaufnahme sind die Zusammenhänge weniger stark ausgeprägt (Abb. 3 und 4). Die Korrelationskoeffizienten betragen  $r = 0,33$  ( $\text{HV allom}^{2/3}$ ) bzw.  $r = 0,39$  und weisen somit auf eher schwache bis mäßige Zusammenhänge hin.

#### 4.2.2 Laufbandergometrie Sportler

Beziehung zwischen tabellarisch ermittelter Sauerstoffaufnahme bei der Laufbandergometrie ( $\text{VO}_2\text{max}$ , ml  $\text{O}_2/\text{min}$ ) und dem echokardiographischen linksventrikulären enddiastolischen Durchmesser (LV-EDD, mm) bzw. dem absolutem Herzvolumen (ml) (Abbildungen 5 und 6).

Abbildung 5

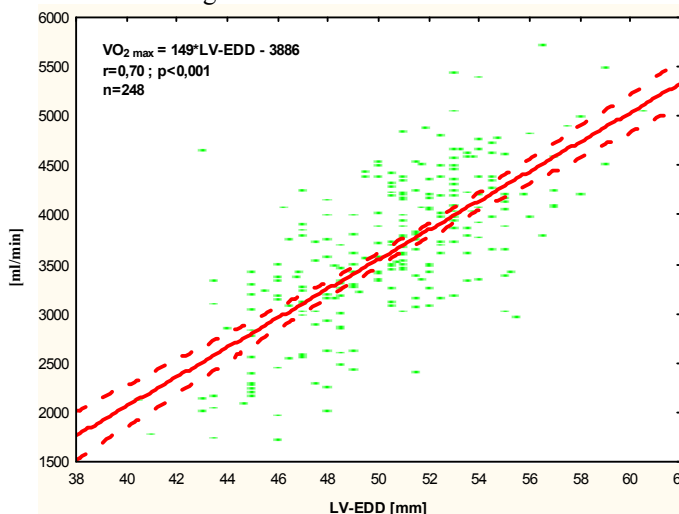
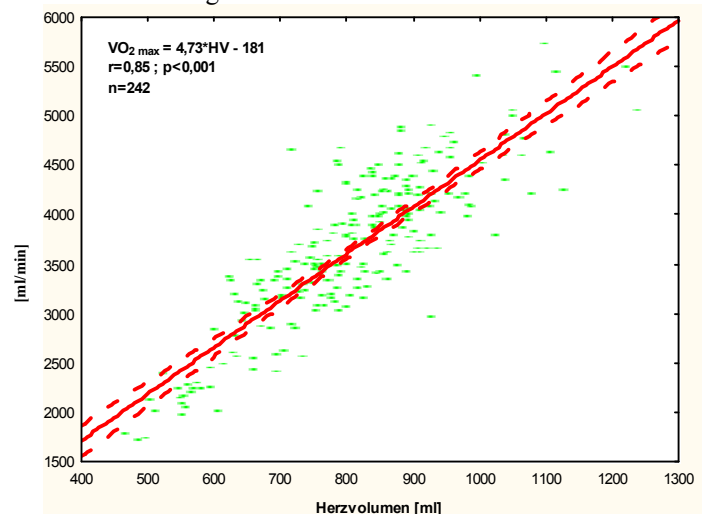
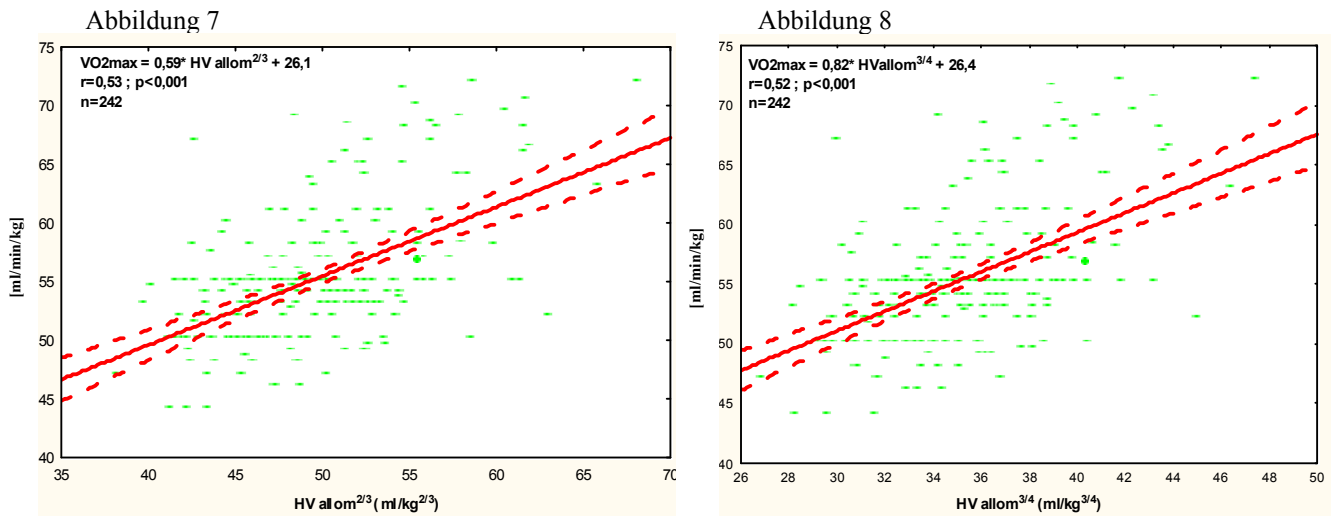


Abbildung 6



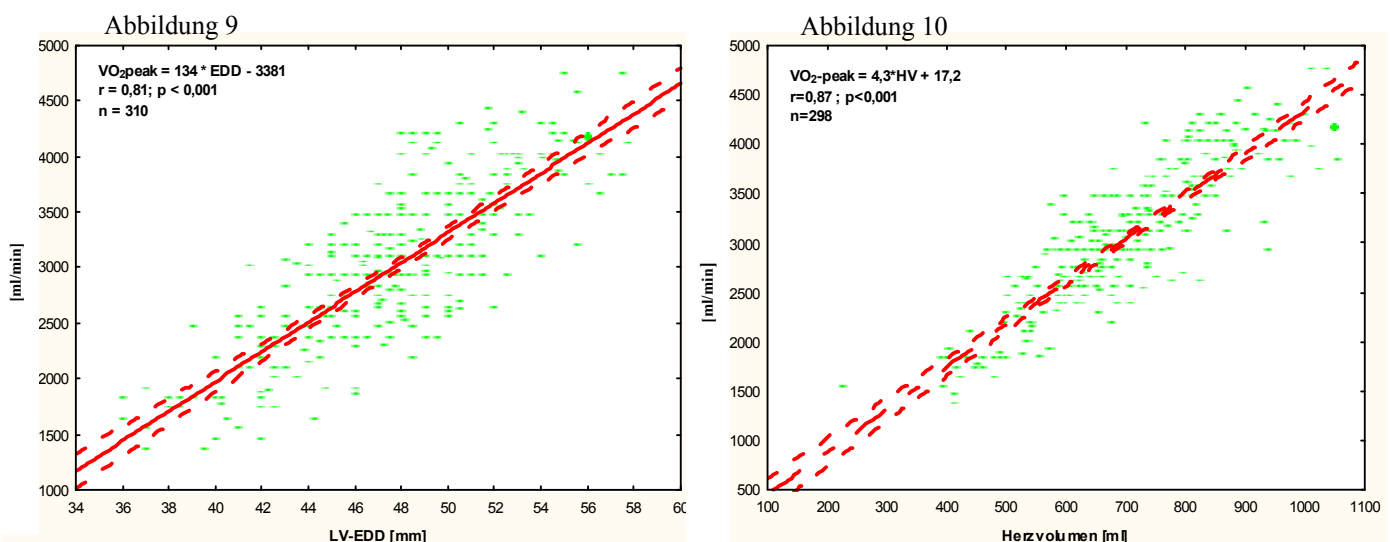
Beziehung zwischen tabellarisch ermittelter relativer Sauerstoffaufnahme bei der Laufbandergometrie ( $\text{VO}_2\text{max}$ , ml  $\text{O}_2/\text{min}/\text{kg}$  Körpergewicht) und dem allometrischen Herzvolumen ( $\text{HV allom}^{2/3}$  und  $\text{HV allom}^{3/4}$ ) (Abbildungen 7 und 8).



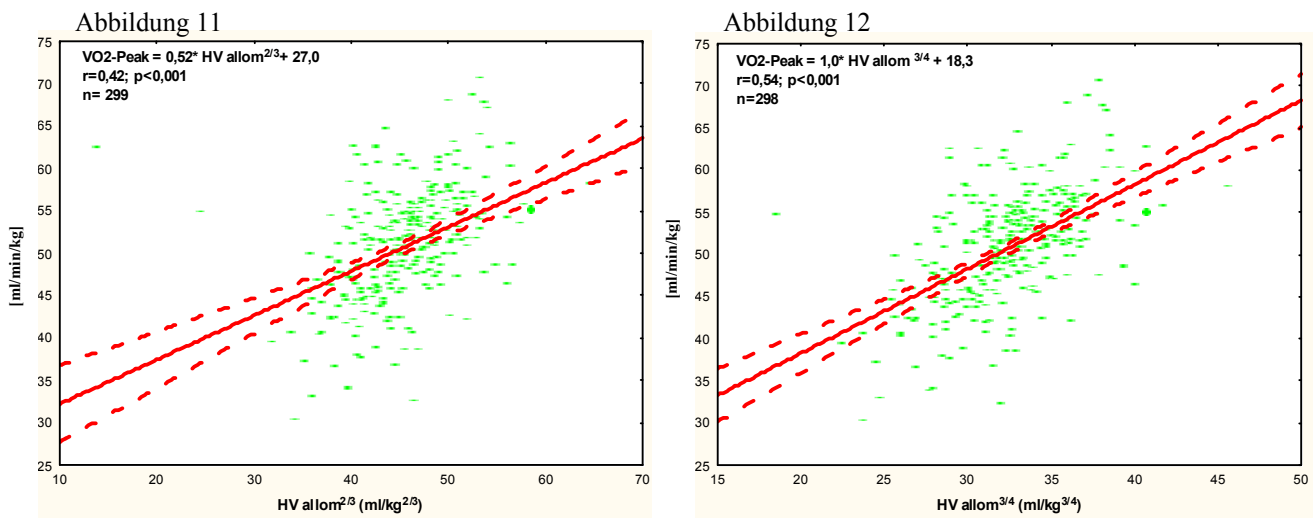
Die maximale Sauerstoffaufnahme der Laufbandergometrie korreliert mit dem LV-EDD (Abb.5). Zwischen der maximalen Sauerstoffaufnahme und dem absolutem Herzvolumen besteht ebenfalls ein hoher linearer Zusammenhang (Abb.6). Der jeweilige Korrelationskoeffizient beträgt  $\sim 0,70$  (LV-EDD) bzw.  $\sim 0,85$  (absolutes HV). Durch die Korrelation der relativen Sauerstoffaufnahme mit dem allometrischen Herzvolumen (Abb. 7 und 8) konnte eine Untersuchung des Zusammenhangs mit Körperdimensionsbezug erfolgen. Auffallend waren hierbei deutlich schwächere Korrelationskoeffizienten ( $\text{HV allom}^{2/3}$ :  $r = 0,53$ ;  $\text{HV allom}^{3/4}$ :  $r = 0,52$ ).

#### 4.2.3 Fahrradergometrie Sportlerinnen

Beziehung zwischen berechneter Sauerstoffaufnahme bei der Fahrradergometrie ( $\text{VO}_2\text{peak}$ , ml  $\text{O}_2/\text{min}$ ) und dem echokardiographischen linksventrikulären enddiastolischen Durchmesser (LV-EDD, mm) bzw. dem absoluten Herzvolumen (ml) (Abbildungen 9 und 10).



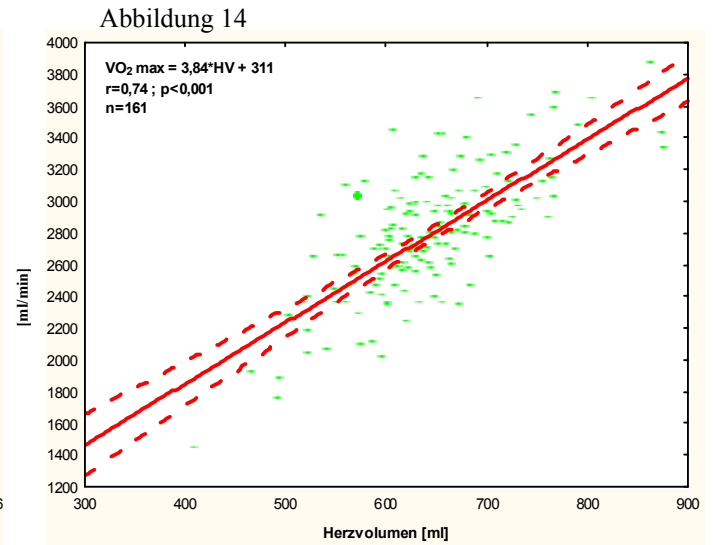
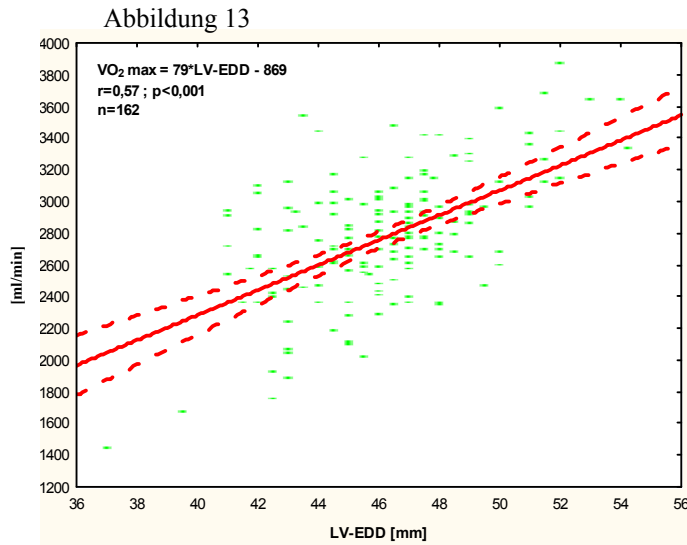
Beziehung zwischen berechneter relativer Sauerstoffaufnahme bei der Fahrradergometrie ( $\text{VO}_2\text{peak}$ , ml  $\text{O}_2/\text{min}/\text{Kg}$  Körpergewicht) und dem allometrischen Herzvolumen ( $\text{HV allom}^{2/3}$  und  $\text{HV allom}^{3/4}$ ) (Abbildungen 11 und 12).



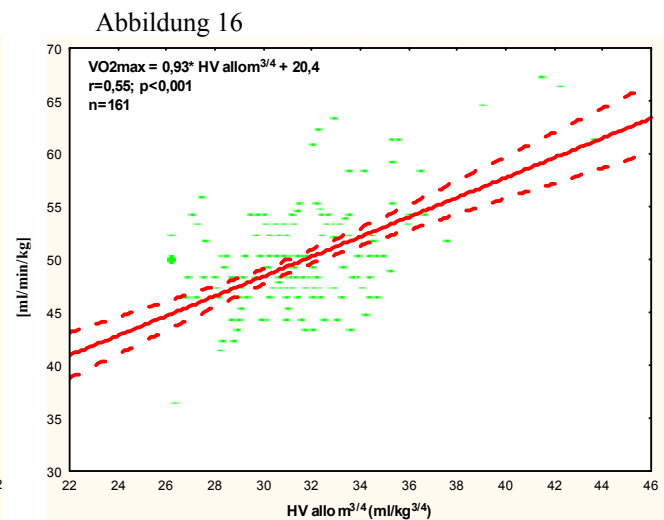
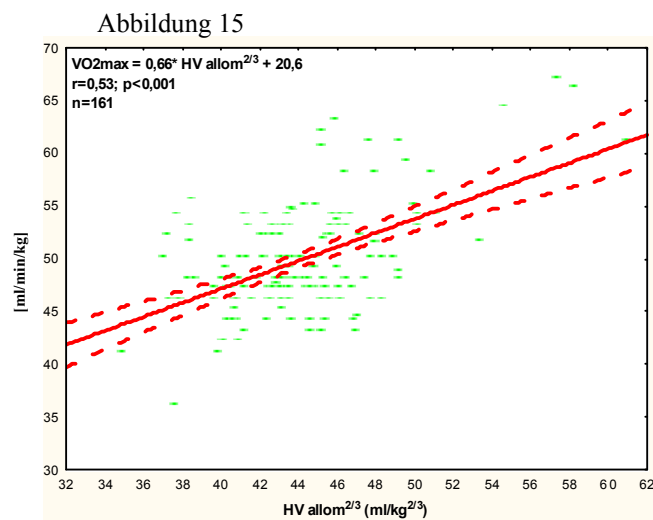
Bei der Fahrradergometrie der Frauen des Gesamtkollektives korreliert ( $r \sim 0,81$ ) die maximale Sauerstoffaufnahme mit dem LV-EDD (s. Abbildung 9). Einen noch höheren Korrelationskoeffizienten ( $r \sim 0,87$ ) und somit ein ebenfalls hoher linearer Zusammenhang ergab sich bei der Korrelation von  $\text{VO}_{2\text{max}}$  mit dem absoluten Herzvolumen (s. Abbildung 10). Anders ist dies bei der Korrelation der relativen maximalen Sauerstoffaufnahme (ml  $\text{O}_2/\text{min}/\text{kg}$  Körpergewicht, s. Abbildungen 11 und 12) mit den allometrischen Herzvolumina. Bei der Untersuchung mit Körperdimensionsbezug sind die Korrelationskoeffizienten ( $r=0,42$   $\text{HV allom}^{2/3}$ ;  $r=0,54$   $\text{HV allom}^{3/4}$ ) deutlich niedriger.

### 3.2.4 Laufbandergometrie Sportlerinnen

Beziehung zwischen tabellarisch ermittelter Sauerstoffaufnahme bei der Laufbandergometrie ( $\text{VO}_2\text{max}$ , ml  $\text{O}_2/\text{min}$ ) und dem echokardiographischen linksventrikulären enddiastolischen Durchmesser (LV-EDD, mm) bzw. dem absolutem Herzvolumen (ml) (Abbildungen 13 und 14).



Beziehung zwischen tabellarisch ermittelter relativer Sauerstoffaufnahme bei der Laufbandergometrie ( $\text{VO}_2\text{max}$ , ml  $\text{O}_2/\text{min}/\text{kg}$  Körpergewicht) und dem allometrischem Herzvolumen ( $\text{HV allom}^{2/3}$  und  $\text{HV allom}^{3/4}$ ) (Abbildungen 15 und 16).



In den Abbildung 13 und 14 wurde die laufbandergometrisch ermittelte Sauerstoffaufnahme mit dem LV-EDD und absolutem HV korreliert. Es ergaben sich etwas geringere Korrelationskoeffizienten als bei der Fahrradergometrie der gleichaltrigen Probanden (LV-EDD:  $r \sim 0,57$ ;  $\text{HV}_{\text{abs}}$ :  $r \sim 0,74$ ). In den Abbildungen 15 und 16 zeigen sich bei der Korrelation von relativer Sauerstoffaufnahme mit dem allometrischen Herzvolumen ( $r=0,53$   $\text{HV allom}^{2/3}$ ;  $r=0,55$   $\text{HV allom}^{3/4}$ ) ähnliche

Korrelationskoeffizienten wie bei den laufbandergometrisch ermittelten Parametern der gleichaltrigen Männer ( $r=0,53$  HVallom<sup>2/3</sup>;  $r=0,52$  HVallom<sup>3/4</sup>).

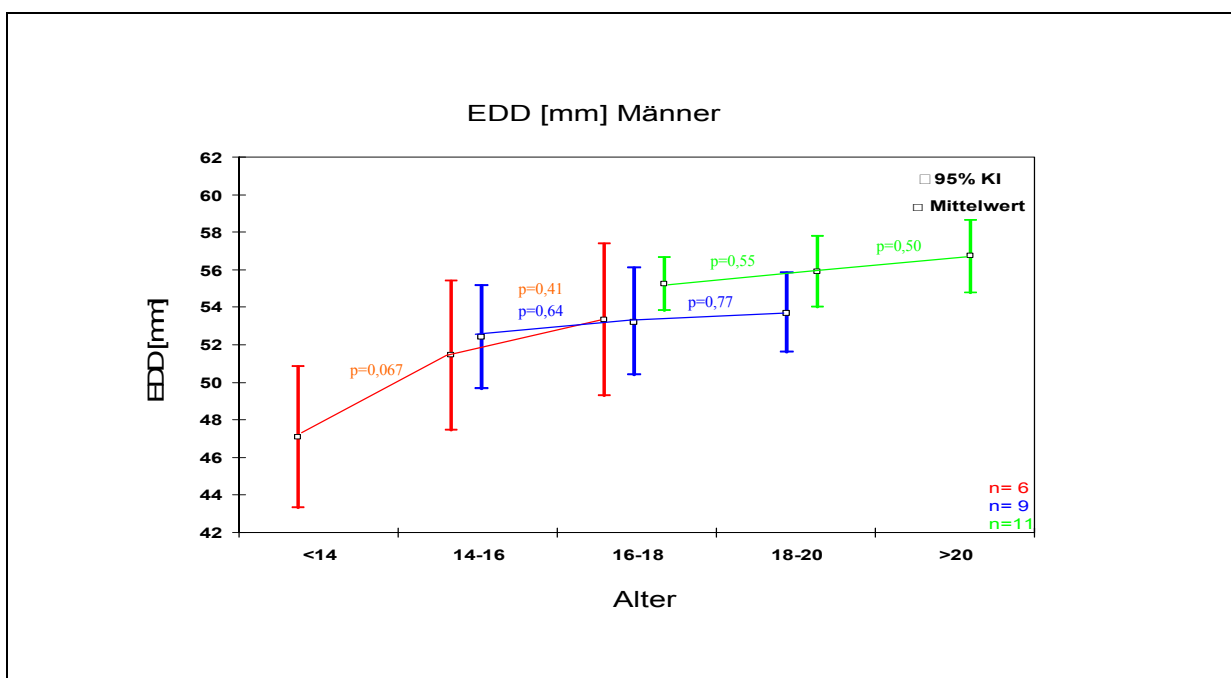
### 4.3 Längsschnittuntersuchung

Dargestellt sind echokardiographisch bestimmte Herz-Parameter (LV-EDD, HV absolut, LVM nach Devereux) im Altersgang von Kadersportlern. Die unterschiedlichen Messwerte der einzelnen Sportler an einem Untersuchungszeitpunkt wurden zu Durchschnittswerten zusammengefasst und anhand eines Mittelwertes mit Standardabweichung graphisch dargestellt. In den jeweiligen Graphiken finden sich alle drei gebildeten Alterskollektive wieder (s. Methodikteil) und sind zur besseren Unterscheidung farblich abgebildet. In der jeweiligen Legende wird angegeben, wie viele Personen jeweils in die Analyse mit einbezogen wurden. Die p-Werte sind aufgeführt und signifikante Unterschiede mit einem Stern markiert.

#### 4.3.1 Sportler

#### Enddiastolischer Durchmesser

Abbildung 17

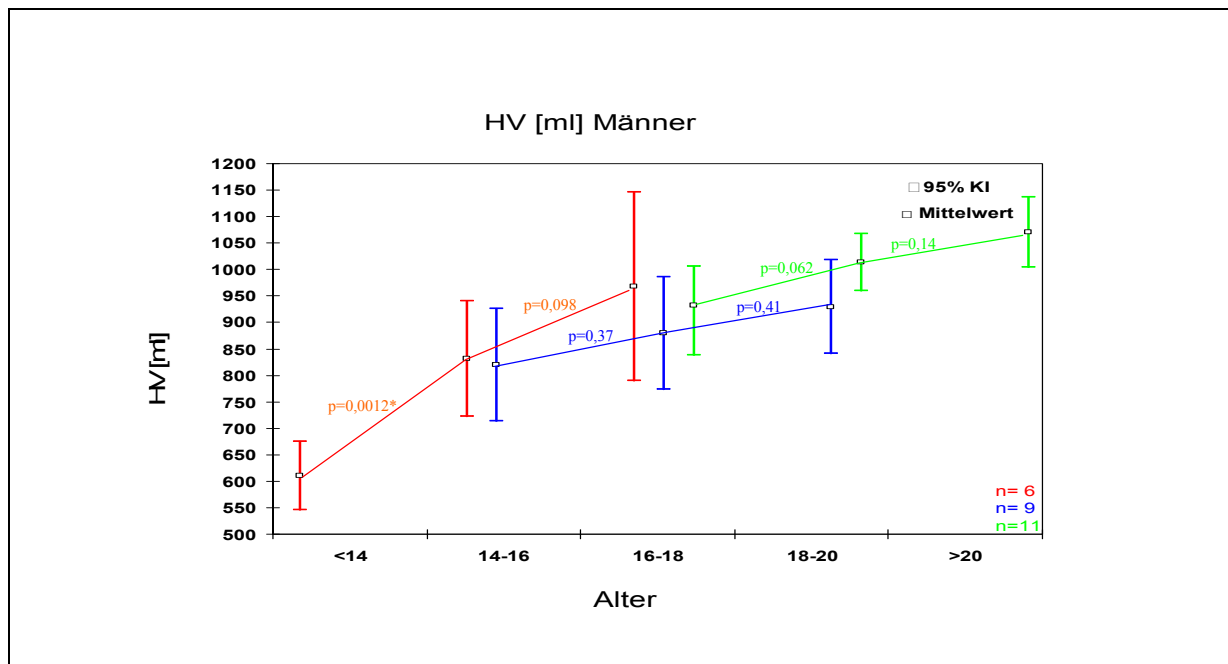


Anhand dieser Graphik ist zu erkennen, dass bei allen drei Alterskollektiven ein stetiger Anstieg der Mittelwerte des enddiastolischen Durchmessers stattfindet. Am stärksten ausgeprägt ist dieser beim ersten Alterskollektiv (rote Balken). Der Mittelwert des LV-EDD der unter 14-jährigen Kaderathleten misst  $47,0 \pm 3,8$  mm, im Alter von 14-16 Jahren  $51,6 \pm 4,0$  mm und mit 16-18 Jahren  $53,6 \pm 4,1$  mm.

Statistisch signifikante Unterschiede der Messwerte bestehen jedoch nicht. Bei dem zweiten Alterskollektiv von 14-20 Jahren (blaue Balken) beträgt der Mittelwert der 14-16 jährigen  $52,2 \pm 3,9$  mm. Mit 16-18 Jahren liegt der mittlere LV-EDD bei  $53,1 \pm 4,1$  mm und mit 18-20 Jahren bei  $53,6 \pm 3,1$  mm. Ähnlich verhalten sich die Messwerte des dritten Alterskollektives (grüne Balken). Beim Start der Untersuchungsreihe lag der mittlere LV-EDD der 16-18 jährigen Kadersportler bei  $55,1 \pm 2,2$  mm, mit 18-20 Jahren bei  $55,8 \pm 3,0$  mm, und mit  $> 20$  Jahre bei  $56,7 \pm 3,1$  mm. Signifikante Anstiege des enddiastolischen Durchmessers wurde bei diesen Kaderathleten nicht beobachtet.

### Herzvolumen

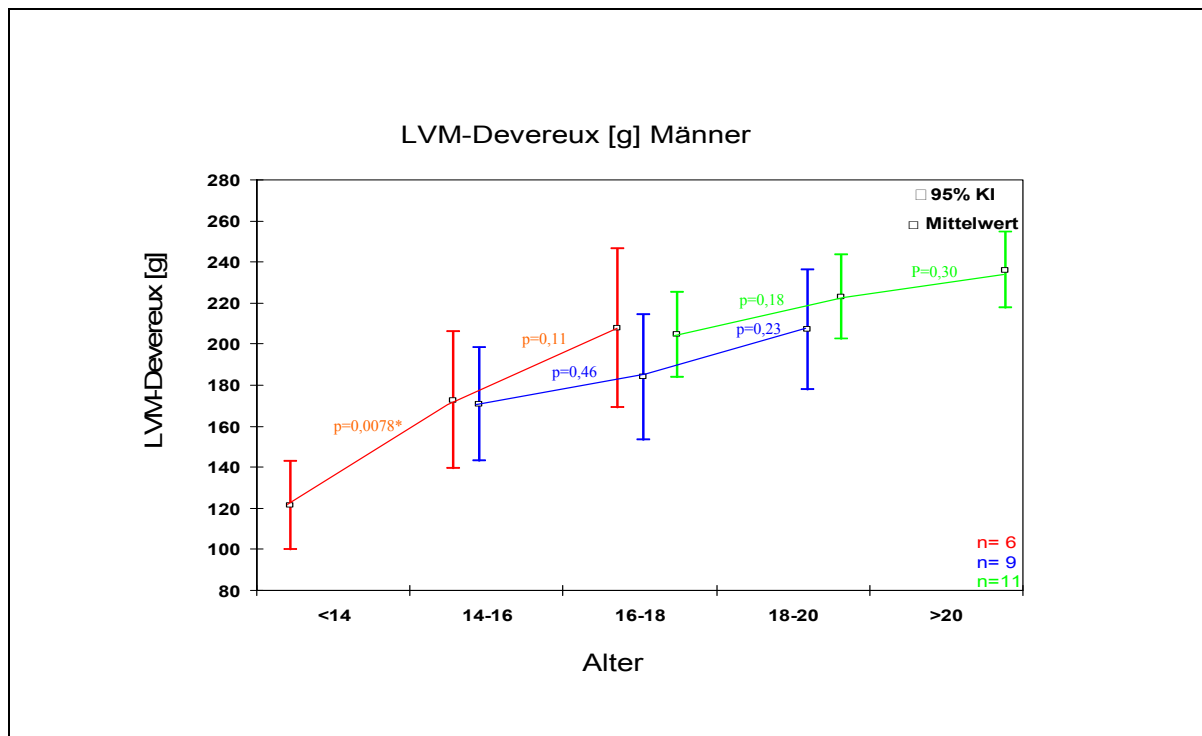
Abbildung 18



Dieser Graphik ist zu entnehmen, dass bei allen drei Alterskollektiven ein stetiger Anstieg im Mittelwert des absoluten Herzvolumens zu verzeichnen ist. Beim ersten Kollektiv (<14-18 Jahre; rote Balken) liegt der Mittelwert der unter 14-jährigen bei  $618 \pm 61$  ml, mit 14-16 Jahren bereits bei  $836 \pm 103$  ml und mit 16-18 Jahren bei  $972 \pm 142$  ml. Hierbei findet auch ein signifikanter Anstieg des Herzvolumens der unter 14-jährigen bis zum nächsten Untersuchungszeitpunkt statt ( $p < 0,01$ ). Beim zweiten Kollektiv (14-20 Jahre; blau Balken) ist ebenfalls ein Anstieg der Mittelwerte zu beobachten. So liegt das mittlere Herzvolumen im Alter von 14-16 Jahren bei  $825 \pm 137$  ml, mit 16-18 Jahren bei  $884 \pm 136$  ml und mit 18-20 Jahren bei  $934 \pm 115$  ml. Signifikante Unterschiede zwischen den Messwerten zu den jeweiligen Untersuchungszeitpunkten bestehen hierbei jedoch nicht. Bei der Betrachtung des dritten Alterskollektives (16- >20 Jahre; grüne Balken) ist eine ähnliche Herzvolumenentwicklung zu erkennen. So steigen die Mittelwerte von  $936 \pm 109$  ml (16-18 Jahre), über  $1017 \pm 80$  ml (18-20 Jahre), auf  $1073 \pm 91$  ml (>20 Jahre) an, ohne jedoch signifikant ihr Volumen zu vergrößern.

### Linksventrikuläre Muskelmasse

Abbildung 19



Dargestellt ist der Verlauf der linksventrikulären Muskelmasse berechnet nach Devereux zu den bereits vorbeschriebenen Untersuchungszeitpunkten. Im ersten Kollektiv (<14-18 Jahre; rote Balken) liegt der Mittelwert der LVM der <14 jährigen Kadersportler bei  $121 \pm 21$  g. Bei der nächsten sportärztlichen Untersuchung im Alter von 14-16 Jahren misst die durchschnittliche Muskelmasse bereits  $173 \pm 32$  g, um danach auf  $209 \pm 38$  g im Alter von 16-18 Jahren anzusteigen. Das Kollektiv 14-20 jähriger Kadersportler (blaue Balken) hat eine mittlere linksventrikuläre Muskelmasse zum ersten Beobachtungszeitpunkt von  $171 \pm 35$  g. Mit 16-18 Jahren ist der Mittelwert der LVM auf  $185 \pm 39$  g angestiegen und mit 18-20 Jahren liegt er bei etwa  $207 \pm 37$  g. Im letzten Kollektiv (Alter 16 - > 20 Jahre; grüne Balken) liegt der Mittelwert der LVM der 16-18 jährigen Athleten bei  $205 \pm 30$  g, bei den 18-20 jährigen Athleten bei  $223 \pm 30$  g und bei den >20 jährigen Athleten bei  $236 \pm 27$  g. Ein signifikanter Anstieg der linksventrikulären Muskelmasse ( $p < 0,01$ ) im Rahmen zweier aufeinander folgender sportärztlicher Untersuchungen, findet nur beim ersten Kollektiv von <14 Jahre zu 14-16 Jahre statt (rote Balken).

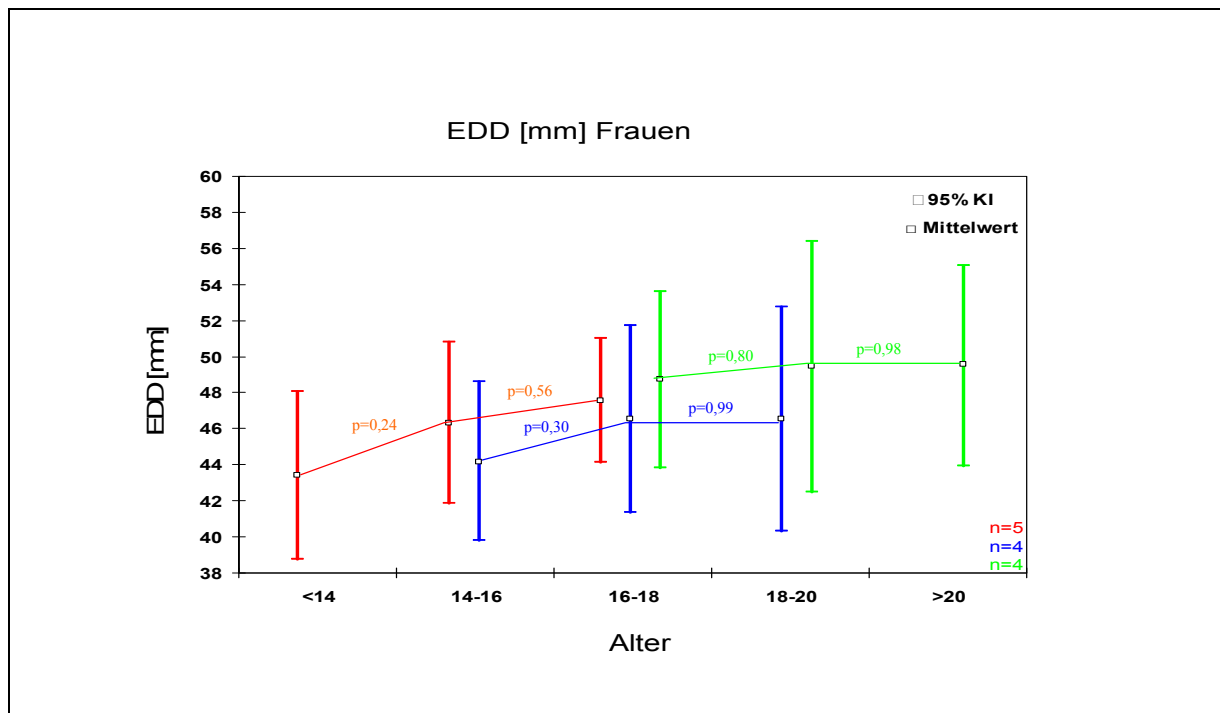


### 4.3.2 Sportlerinnen

Aufgrund sehr geringer Probandenzahlen (n=4-5) sind die statistischen Unterschiede zwischen den verschiedenen Gruppen nicht sicher verwertbar. Trotzdem sollen die folgenden Abbildungen einen Überblick über den Altersgang der ausgewählten Herzparameter (LV-EDD, absolutes HV, LVM-Devereux) der weiblichen Kadersportlerinnen geben. Gleichwohl sind zur sicheren Verifizierung der Messwerte größere Untersuchungskollektive wünschenswert.

#### Enddiastolischer Durchmesser

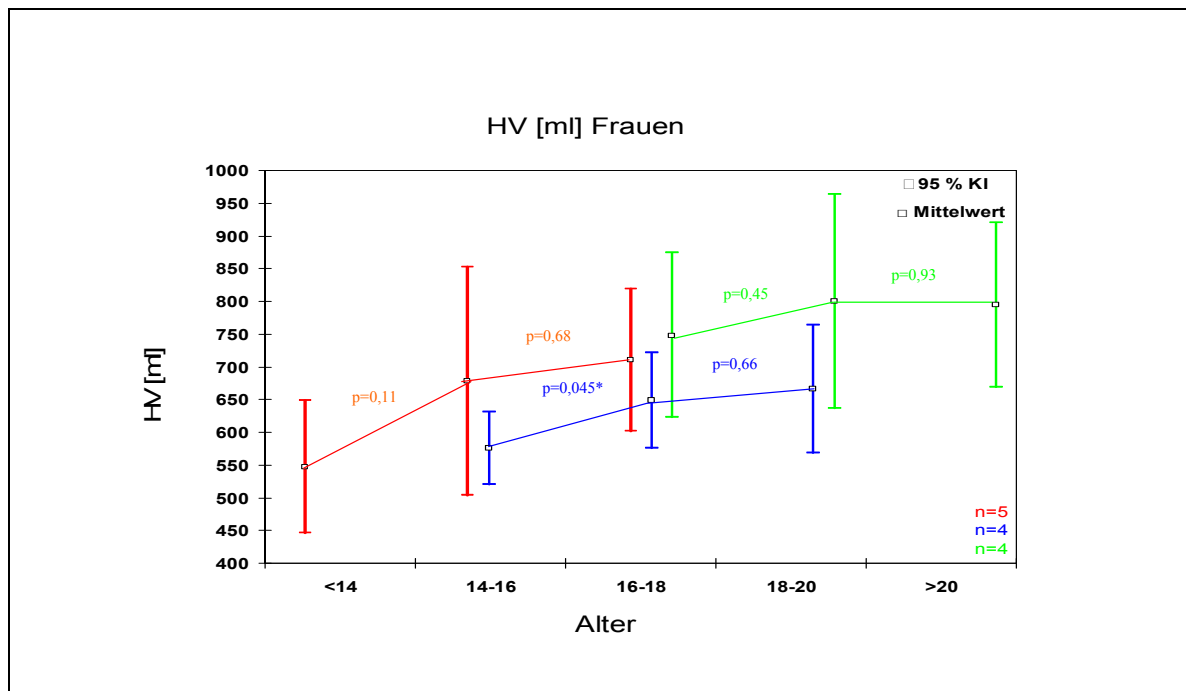
Abbildung 20



Dargestellt ist der linksventrikuläre enddiastolische Durchmesser, welcher beim ersten Alterskollektiv (rote Balken) bei den <14 jährigen Kaderathletinnen im Mittel  $43,5 \pm 3,6$  mm misst. Im Alter von 14-16 Jahren beträgt der Mittelwert des LV-EDD  $46,3 \pm 3,5$  mm und mit 16-18 Jahren  $47,5 \pm 4,7$  mm. Somit zeigt diese Gruppe einen stetigen, wenn auch nicht signifikanten, Anstieg des enddiastolischen Durchmessers. Beim zweiten Alterskollektiv (blaue Balken) liegt der Mittelwert der 14-16 jährigen bei  $44,2 \pm 2,7$  mm, mit 16-18 Jahren bei  $46,5 \pm 3,1$  mm und mit 18-20 Jahren ebenfalls bei  $46,5 \pm 3,8$  mm. Wiederum zeigt sich kein signifikanter Unterschied beim LV-EDD im Altersgang dieser Athletinnen. Im dritten Alterskollektiv (grüne Balken) liegt der Mittelwert der 16-18 jährigen bei  $49,8 \pm 3,0$  mm, um dann auf  $50,5 \pm 4,2$  mm im Alter von 18-20 Jahren anzusteigen. Danach (>20 Jahre) erfolgt kein Anstieg des mittleren LV-EDD mehr (MW  $50,6 \pm 3,3$  mm).

Herzvolumen

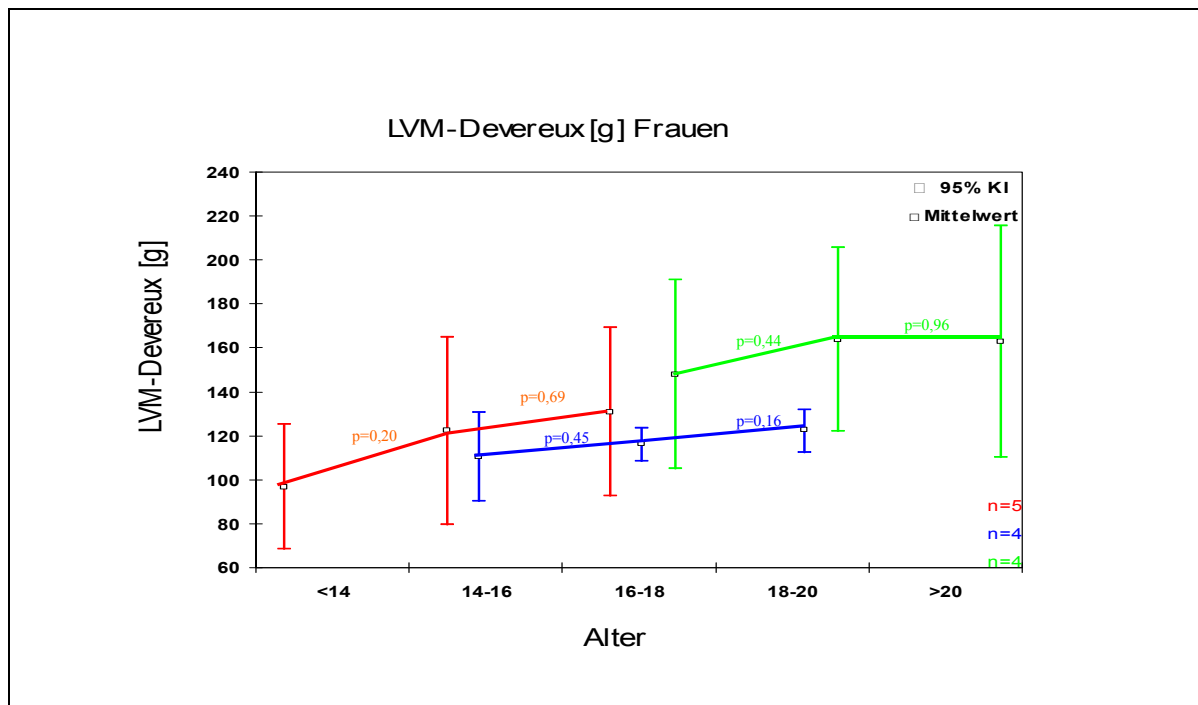
Abbildung 21



Der graphischen Darstellung des absoluten Herzvolumens des ersten Alterskollektives (rote Balken) ist ein stetiger Anstieg der Mittelwerte im zeitlichen Verlauf zu entnehmen. So beträgt das mittlere Herzvolumen im Alter von <14 Jahre  $546 \pm 80$  ml, mit 14-16 Jahren  $676 \pm 139$  ml und mit 16-18 Jahren  $707 \pm 86$  ml. Auffallend ist hier eine große Spannweite (2,5%-97,5%-Perzentile) bei den 14-16-jährigen mit Werten zwischen 500 und 850 ml. Beim zweiten Untersuchungskollektiv (blaue Balken) ist ebenfalls ein Anstieg der Mittelwerte im Altersgang zu erkennen. So beträgt der Mittelwert mit 14-16 Jahren  $575 \pm 31$  ml, mit 16-18 Jahren  $640 \pm 41$  ml und mit 18-20 Jahren  $656 \pm 55$  ml. Hierbei findet, die niedrigen Fallzahlen vernachlässigt, auch eine signifikante Herzvolumenzunahme ( $p < 0,05$ ) im Vergleich der Untersuchung 14-16 Jahre zu 16-18 Jahre statt. Auch beim dritten Alterskollektiv (grüne Balken) wird ein Anstieg der Mittelwerte des absoluten Herzvolumens von 16-18 Jahren gegenüber 18-20 Jahren erreicht (von  $747 \pm 76$  ml auf  $797 \pm 100$  ml). Auf selbigem Niveau bleibt der Mittelwert des Herzvolumens im Alter von >20 Jahren ( $792 \pm 77$  ml).

Linksventrikuläre Muskelmasse

Abbildung 22



Die Mittelwerte der linksventrikulären Muskelmasse nach Devereux nehmen im Altersgang des ersten Untersuchungskollektives (<14-18 Jahre; rote Balken) stetig zu. Bei den <14-jährigen liegt der Mittelwert bei  $97 \pm 23$  g, mit 14-16 Jahren bei  $122 \pm 34$  g und mit 16-18 Jahren bei  $131 \pm 31$  g. Das zweite Alterskollektiv (14-20 Jahren), welches durch die blauen Balken veranschaulicht wird, zeigt ebenfalls einen stetigen Zuwachs der Mittelwerte der LVM nach Devereux. So steigen die Messwerte der LVM im Mittel von  $111 \pm 12$  g (14-16 Jahre), über  $117 \pm 5$  g (16-18 Jahre), auf  $123 \pm 6$  g an (18-20 Jahre). Lässt man die geringen Probandenzahlen wiederum außen vor, bestehen auch bei diesem Vergleich keine signifikanten Unterschiede. Im Kollektiv der 16- >20-jährigen Kaderathletinnen (grüne Balken) liegt der Mittelwert des Kollektives der 16-18-jährigen Sportlerinnen bei  $148 \pm 27$  g und steigt zum nächsten Untersuchungszeitpunkt (18-20 Jahre) auf  $164 \pm 26$  g an. Danach (>20 Jahre) bleibt er mit  $163 \pm 33$  g auf demselben Niveau. Bei geringer Probandenzahl ( $n=4$ ) ergeben sich keine signifikanten Unterschiede.

## 5 DISKUSSION

### 5.1 Allgemeiner Teil

Regelmäßiges Training führt zu einer physiologischen Hypertrophie der Herzmuskulatur [124]. Insbesondere ein hoher Anteil eines aeroben Ausdauertrainings mit entsprechender Intensität führt zu funktionellen und strukturellen Veränderungen des Myokards [101]. Schwierigkeiten ergeben sich in der Unterscheidung einer beginnenden pathologischen Hypertrophie von einem physiologisch auftrainierten Herzen bei Kaderathleten. Die Echokardiographie liefert neben Anamnese, körperlicher Untersuchung und Ruhe-EKG, oft entscheidende Hinweise in der Erkennung pathologischer Prozesse [15,30,35,60,78,88,106,119]. Daher wurden seit Anfang der 90er Jahre in mehreren Studien Referenz- und Grenzwerte echokardiographischer Parameter für Kaderathleten definiert [53,84,106,112,127].

In einem Artikel der Frankfurter Rundschau wurde berichtet, dass die Olympiasieger/-innen (vor allem zu sehen an den Olympiasiegerinnen des Schwimmsports der olympischen Spiele in London 2012) immer jünger werden [82]. Somit ist anzunehmen, dass viele Sportler schon in jungen Jahren ein so großes Trainingspensum leisten, wodurch bereits strukturelle Herzveränderungen möglich sind. Allerdings besteht im Vergleich zu erwachsenen Sportlern eine limitierte Datenlage [53]. Echokardiographische Referenz- und Grenzwerte sind teilweise unvollständig oder fehlen gänzlich. Daher wurden in dieser Studie erstmals echokardiographische Referenzwerte für 10-14-jährige Bundes- und Landeskaderathleten definiert.

Das Ausmaß der Herzmuskelhypertrophie bei Leistungssportlern wird unter anderem durch die Anthropometrie limitiert [23,108]. Daher sollten echokardiographische Parameter bei Kadersportlern zunehmend mit Bezug zur Körperdimension betrachtet werden. Sharma et al. beschrieben vornehmlich die linksventrikuläre Hinterwanddicke (LV-PW) in Bezug zur Körperoberfläche [106]. Allerdings bezog Sharma den enddiastolischen Durchmesser nicht auf die Körperoberfläche. Dies sollte im Rahmen dieser Arbeit an einem größeren Kollektiv von Kadersportlern erfolgen.

Laut M. Winter und George A. Brooks [128] sowie McMahon [69] wird dem Verhältnis zwischen Körpergröße und Organgröße eines Organismus bisher zu wenig Bedeutung beigemessen. Deshalb wird in der vorliegenden Untersuchung ein allometrischer Bezug des Körpergewichts zum Herzvolumen hergestellt. Da es bei Leistungssportlern eine Grauzone zwischen pathologischem und physiologischem Herzwachstum gibt, sollte untersucht werden, ob ein allometrischer Bezug zur frühen Detektion krankhafter Prozesse von Vorteil ist.

Anhand einer Korrelationsanalyse wurde der Zusammenhang zwischen Herzgröße und Ausdauerleistungsfähigkeit untersucht. Vergleichbare Studien erreichten bisher nicht die Fallzahlen

der vorliegenden Substudie [2,19,21,115]. Ob ein allometrischer Bezug bei der Zusammenhangstestung hierbei von Vorteil ist, wird versucht zu klären.

In einer längsschnittlichen Beobachtung wird der linksventrikuläre enddiastolische Durchmesser, die linksventrikuläre Muskelmasse und das absolute Herzvolumen von Kaderathleten im Altersgang untersucht. Eine vergleichbare Studie fehlt in der bisherigen Literatur. Lediglich das Herzvolumen saarländischer Nachwuchsfußballer wurde von Meyer et al. im längsschnittlichen Verlauf beschrieben [71]. Ebenso wurde der enddiastolische Durchmesser im Altersgang nur bei Kaderathleten des Biathlonsports dargestellt [18].

## 5.2 Querschnittstudie

Die in der Querschnittstudie erhobenen echokardiographischen Daten stimmen mit den bisher in der Literatur beschriebenen Durchschnitts- und Grenzwerten überein [3,26,50,51,68,79,84,97,106,108,112,122,127].

### 5.2.1 Linksventrikulärer enddiastolischer Durchmesser (LV-EDD)

Insgesamt ist in dieser Studie der mittlere linksventrikuläre enddiastolische Durchmesser der Ausdauersportler/-innen größer als die gleichaltriger Spilsportler/-innen. Letztere haben durchschnittlich größere enddiastolische Durchmesser als die Kraftsportgruppe, welche wiederum in der Regel über denen der Sonstigen liegen. Höhere linksventrikuläre enddiastolische Durchmesser bei Kaderathleten des Ausdauersports gegenüber Kraftsportlern sind bekannt [67,81,85,108]. Teilweise ist der LV-EDD der Ausdauerathleten in dieser Studie auch signifikant erhöht im Vergleich zu dem der Spilsportler (s. Box-Plots des LV-EDD Abb. 25, 28, 29, 30).

Der Vergleich des LV-EDD der  $\geq 20$  jährigen Kaderathleten ( $\bar{O}$  Alter:  $25,5 \pm 4,1$  Jahre) aller Sportarten der vorliegenden Studie (s. Tabelle 16 und 17), mit den von Pelliccia et al. ( $\bar{O}$  Alter: 22 Jahre) und Whyte et al. ( $\bar{O}$  Alter:  $25,5 \pm 4,1$  Jahre) erhobenen echokardiographischen Messwerten von erwachsenen Kaderathleten, liefert ähnliche Referenz- und Grenzwerte [84,127]. Der mittlere LV-EDD der untersuchten Kadersportler liegt bei  $54,7 \pm 3,5$  mm (Spannweite: 46 - 66 mm, 2,5-97,5%-Perzentile 48 - 62 mm). Er entspricht somit den von Pelliccia (LV-EDD: MW  $54,2 \pm 4,0$  mm, Spannweite: 44 - 66 mm) und Whyte (LV-EDD: MW  $54,1 \pm 4,1$ mm, Spannweite: 42 - 71 mm) publizierten Werten. Der Höchstwert des LV-EDD dieser Studie (66 mm) entspricht in etwa dem von Sun et al. berichteten Wert bei chinesischen Spitzensportlern (65 mm) [112]. Entgegen der Studie von Sun (Alter der untersuchten Sportler reicht von 18 - 34 Jahre), in der 11,5 % der Athleten einen LV-EDD  $\geq 60$  mm besitzen, haben in dieser Studie nur 6,4 % (33 von 515) der über achtzehnjährigen Kadersportler einen LV-EDD  $\geq 60$  mm. Ähnliche Größendimensionen beschreiben Pelliccia (4%) und

Whyte (5,8%). In Übersichtsarbeiten von Urhausen und Kindermann et al. beschreiben die Autoren, dass sofern der LV-EDD  $\geq 60$  mm misst, die Körperoberfläche dann mindestens  $1,82 \text{ m}^2$  beträgt [116,120,122]. Basierend auf diesen Ergebnissen hat ein achtzehnjähriger Triathlet der vorliegenden Studie mit  $1,89 \text{ m}^2$  die geringste Körperoberfläche bei gleichzeitig vergrößertem LV-EDD ( $\geq 60$  mm).

Auch die Messwerte des LV-EDD der  $\geq 20$  jährigen ( $\bar{O}$  Alter:  $23,6 \pm 3,1$  Jahre) Kaderathletinnen (s. Tabelle 17) entsprechen den in der Literatur beschriebenen Werten [84,127]. Der mittlere LV-EDD beträgt  $50,1 \pm 3,6$  mm (Spannweite 39 - 58 mm, 2,5-97,5%-Perzentile 42 - 56,5 mm) und ist somit mit den Messwerten von Pelliccia (LV-EDD: MW  $48,4 \pm 3,7$  mm, Spannweite: 40 - 61 mm) und Whyte (LV-EDD: MW  $49,6 \pm 3,1$  mm, Spannweite: 42 - 60 mm) vergleichbar. Ein oberer Grenzwert von 62 mm, wie er bei einer chinesischen Kadersportlerin gemessen wurde [112], wird jedoch nicht erreicht (Grenzwert dieser Studie 58 mm).

Im Alter zwischen 18 und 20 Jahren sind die linksventrikulären enddiastolischen Durchmesser der Kadersportler/-innen insgesamt etwa 3-4% niedriger. Nach den vorliegenden Studienergebnissen misst der mittlere LV-EDD der Sportlerinnen dieser Altersklasse  $48,3 \pm 3,3$  mm (Spannweite 42 - 57,5 mm, 2,5%-97,5%-Perzentile 42 - 54,5 mm). Der LV-EDD der gleichaltrigen Kaderathleten beträgt im Mittel  $53,3 \pm 3,0$  mm (Spannweite 43 - 61 mm, 2,5%-97,5%-Perzentile 47 - 59 mm).

Sharma et al. [106] definierten Referenz- und Grenzwerte des LV-EDD für jugendliche Leistungssportler (14-18 Jahre,  $\bar{O}$   $15,4 \pm 1,1$  Jahre). Für weibliche Sportlerinnen beträgt er  $47,7 \pm 3,3$  mm (Spannweite 41 - 55 mm) und für die männlichen Kadersportler  $51,6 \pm 3,3$  mm (Spannweite 42 - 60 mm). Folgende Referenz- und Grenzwerte des enddiastolischen Durchmessers konnten in dieser Studie für  $\geq 14$  -  $<16$  jährige Kaderathleten ( $15,0 \pm 0,6$  Jahre) und für  $\geq 16$  -  $<18$  jährige Kaderathleten ( $16,8 \pm 0,5$  Jahre) definiert werden: Bei den  $\geq 16$  -  $<18$  jährigen Sportlern misst der mittlere LV-EDD  $52,1 \pm 3,0$  mm (Spannweite 44 - 60 mm, 2,5-97,5%-Perzentile 46 - 58 mm) und bei den gleichaltrigen Sportlerinnen  $47,5 \pm 2,7$  mm (Spannweite 39,5 - 54 mm, 2,5-97,5%-Perzentile 41,5 - 53 mm). Im Alter von  $\geq 14$  -  $<16$  Jahre beträgt der mittlere LV-EDD der Athleten  $50,4 \pm 3,2$  mm (Spannweite 41 - 59 mm, 2,5-97,5%-Perzentile 44 - 56,5 mm) und selbiger der Athletinnen  $46,6 \pm 2,8$  mm (Spannweite 37 - 53 mm, 2,5-97,5%-Perzentile 41 - 52 mm). Ein oberer Grenzwert von 60 mm bei den Kadersportlern bzw. 55 mm bei den Kadersportlerinnen wird nicht überschritten. Somit konnten die Werte von Sharma et al. [106] bestätigt werden und zusätzlich eine Unterscheidung und Einteilung der Referenz- und Grenzwerte des LV-EDD in 14-16 jährige- und 16-18 jährige Sportler erfolgen.

Die Datenlage echokardiographischer Parameter von sehr jungen Kadersportlern ist begrenzt [53]. Die von Koch et al. beschriebenen enddiastolischen Durchmesser 10-15- jähriger Kaderathleten können durch diese Studienergebnisse bestätigt werden. In dieser Studie beträgt der mittlere LV-EDD der  $<14$ -jährigen Kadersportler ( $\bar{O}$  Alter  $13,1 \pm 0,7$  Jahre, Spannweite 10,7 - 13,9 Jahre)  $46,6 \pm 3,2$  mm

(Spannweite 39,5 - 54 mm, 2,5-97,5%-Perzentile 40,5 - 52,5 mm). Der LV-EDD der <14-jährigen Kadersportlerinnen ( $\bar{x}$  Alter  $12,4 \pm 1,2$  Jahre, Spannweite 9,5 - 13,9 Jahre) misst  $43,6 \pm 3,5$  mm (Spannweite 36 - 52 mm, 2,5-97,5%-Perzentile 36 - 50,5 mm). Ein oberer Grenzwert von 54 mm ( $\bar{x}$ ) bzw. 52 mm ( $\bar{x}$ ) wird durch sehr junge Kaderathleten bzw. Kaderathletinnen nicht überschritten.

### 5.2.2 Relation des LV-EDD zur Körperoberfläche (LV-EDD/KOF)

Laut Pelliccia et al. [87] trägt unter anderem eine große Körperoberfläche zur linksventrikulären Herzvergrößerung bei. Auch Sun et al. beschreibt, dass die linksventrikuläre Kammergröße in deutlichem Zusammenhang mit der Körperoberfläche steht [112]. Daher wird in der themenorientierten Literatur die linksventrikuläre Muskelmasse vornehmlich auf die Körperoberfläche bezogen [84,106,112]. Nur wenige Studien stellen jedoch einen Bezug des linksventrikulären enddiastolischen Durchmessers zur Körperoberfläche her [5,87]. In einer norwegischen Untersuchung an gesunden Probanden konnte gezeigt werden, dass durch den Bezug des LV-EDD auf die Körperoberfläche geschlechtsspezifische Unterschiede, wie sie in der isolierten Betrachtung des LV-EDD vorkommen, weit weniger ausgeprägt sind [52]. Dies ist auch anhand der vorliegenden Studienergebnisse zu sehen. Isoliert betrachtet liegt der mittlere LV-EDD der männlichen Sportler 3-5 mm höher als selbiger gleichaltriger weiblicher Sportlerinnen dieser Studie. In Bezug des LV-EDD auf die Körperoberfläche bestehen jedoch nur marginale Unterschiede im Mittelwert, wobei die geschlechtsspezifischen Unterschiede nur  $\pm 1$  mm/m<sup>2</sup> betragen (s. Tabelle 16 und 17). Ein oberer Grenzwert (97,5%-Perzentile) von 33 mm/m<sup>2</sup> wird durch die  $\geq 16$ -jährigen Kadersportler/-innen nicht überschritten. Ihr mittlerer LV-EDD/KOF liegt bei  $27-28 \pm 2$  mm/m<sup>2</sup>. Höhere enddiastolische Durchmesser in Relation zur Körperoberfläche haben in dieser Studie jedoch die <14-jährigen Kadersportler und Sportlerinnen mit im Mittel  $31 \pm 3$  mm/m<sup>2</sup> ( $\bar{x}$ ; 97,5%-Perzentile 38 mm/m<sup>2</sup>) bzw.  $32 \pm 4$  mm/m<sup>2</sup> ( $\bar{x}$ , 97,5%-Perzentile 39 mm/m<sup>2</sup>). Bereits anhand einer sportartensortierten Tabelle von Pelliccia et al. [87] ist zu erkennen, dass kleine, schwächere Sportler größere linksventrikuläre enddiastolische Durchmesser bezogen auf ihre Körperoberfläche besitzen. Hierbei haben männliche Leistungsturner mit im Mittel  $31,8 \pm 2,8$  mm/m<sup>2</sup> den größten EDD bezogen auf die Körperoberfläche. Sie sind aber mit  $17,0 \pm 3,3$  Jahre das mit Abstand jüngste Untersuchungskollektiv, haben die im Mittel kleinsten LV-EDD ( $46,4 \pm 4,2$  mm, alle Sportler hatten einen LV-EDD < 60 mm) und die durchschnittlich geringste Körperoberfläche ( $1,47 \pm 0,21$  m<sup>2</sup>). Ebenso ist anhand der Studie von Pelliccia et al. [87] zu sehen, dass große enddiastolische Durchmesser, wie sie zum Beispiel bei den Basketballspielern gemessen wurden (hierbei besitzen 40 % einen LV-EDD  $\geq 60$  mm), durch ihre großen Körperdimensionen relativiert werden. Ihr LV-EDD bezogen auf die Körperoberfläche zählt mit  $26,8 \pm 2,3$  mm/m<sup>2</sup> mit zu den niedrigsten. In der vorliegenden Studie haben nur 5,8% aller Kaderathleten (98 von 1681 Sportlern des Gesamtkollektives) einen LV-EDD/KOF-Quotienten von  $\geq 33$  mm/m<sup>2</sup> (MW  $35,4 \pm 2,1$  mm/m<sup>2</sup>). Hierbei handelt es sich überwiegend um sehr junge Kadersportler ( $\bar{x}$  Alter:  $12,7 \pm 2,5$  Jahre, Spannweite 9,5 - 23,6 Jahre) und ihr LV-EDD reicht maximal bis 59 mm (MW  $44,6 \pm 4,6$  mm). Ein EDD/KOF von 40 mm/m<sup>2</sup> wird lediglich durch zwei sehr junge Sportler des

Turnsports (<13 Jahre) mit sehr geringer Körperoberfläche (0,91 bzw. 1,08 m<sup>2</sup>) überschritten. Dies impliziert, dass ein hoher LV-EDD ( $\geq 60$  mm), wie er vornehmlich bei Sportlern mit großen Körperdimensionen (KOF in dieser Studie mindestens  $\geq 1,89$  m<sup>2</sup>) gemessen wird, in Bezug zur Körperoberfläche einen Wert von 33 mm/m<sup>2</sup> nicht überschreitet. Nur schwächliche Sportler können einen LV-EDD/KOF-Quotienten von  $\geq 40$  mm/m<sup>2</sup> erreichen. Signifikante interdisziplinäre Unterschiede des LV-EDD bezogen auf die Körperoberfläche, wie sie durch die Box-Plots im Anhang suggeriert werden, sind entsprechend dieser Studienergebnisse eher nicht durch den betriebenen Sport per se, sondern durch die Körperoberfläche der ausübenden Personen dieser Sportart bedingt. Um die altersabhängigen Unterschiede der Körperdimensionen vernachlässigen zu können, empfehlen einige Autoren [4,16,83,92,125], den enddiastolischen Durchmesser oder andere linksventrikuläre Kennwerte (LVM,IVS) besser auf die freie Fettkörpermasse zu beziehen.

### 5.2.3 Linksventrikuläre Wanddicken (IVS/PW) und relative Wanddicke (RWT)

Bezüglich der LV-Wanddicken (IVS und PW) bestehen zwischen der Ausdauer- und Spielsportgruppe oftmals nur unwesentliche Unterschiede (mit in der Regel leicht höheren Werten bei der Ausdauergruppe). Ihre Messwerte sind jedoch signifikant erhöht gegenüber denen der anderen beiden Gruppen (Kraft u. Sonstige). Bekannt ist, dass die linksventrikulären Herzdimensionen durch die betriebene Sportart unterschiedlich stark beeinflusst werden [41,43,63,67,76,81,84,85,97,108]. So wurden physiologische linksventrikuläre Hinterwanddicken von  $\geq 13$  mm vor allem bei hochausdauertrainierten Ruderern oder Fahrradfahrern gemessen [84]. Isometrische Kraftsportarten wie Gewichtheben überschreiten in der Regel eine Hinterwanddicke von 12 mm nicht [67]. Dies stimmt mit den vorliegenden Studienergebnissen überein. Die maximal gemessene linksventrikuläre Hinterwanddicke der Kraftsportgruppe betrug 11,5 mm bei einem international erfolgreichen Gewichtheber. Bei lediglich 10 von 1089 Sportlern (<1%), welche alle über achtzehn Jahre alt waren, wurden Hinterwanddicken von  $\geq 13$  mm erreicht. Die höchste Hinterwanddicke mit 14 mm wurde bei zwei Rudersportlern gemessen. Aber auch Schwimmsportler, Fußballer, Leichtathleten der Mittel- und Langstrecke sowie Badmintonspieler der vorliegenden Studie erreichten durch regelmäßiges Training auf höchstem Niveau LV-Hinterwanddicken von 13-13,5 mm. Dass nicht nur Ruder- oder Kanusportler [84] solch hohe Hinterwanddicken besitzen, ist bereits in der Literatur vorbeschrieben [85,112,127].

Die mittleren Septumdicken (IVS: MW  $10,6 \pm 1,1$  mm) und Hinterwanddicken (LV-PW: MW  $10,3 \pm 1,1$  mm) der über zwanzigjährigen Kaderathleten sind mit den bisher berichteten Werten vergleichbar (Whyte: IVS  $10,4 \pm 1,5$ ; LV-PW  $10,3 \pm 1,3$ ; Pelliccia: IVS  $10,1 \pm 1,2$ ; PW  $9,4 \pm 0,9$ ) [84,127]. Sie sind im Mittel am größten bei den Ruderern (IVS:  $11,3 \pm 1,0$  mm, LV-PW:  $11,1 \pm 0,9$  mm, s. Tabelle 6) und erreichen einen Maximalwert für die Septumdicke von 15 mm (Badmintonspieler; KOF 1,98 m<sup>2</sup>) bzw. 14 mm für die Hinterwanddicke (gemessen bei 2 Rudersportlern). Eine linksventrikuläre Hinterwanddicke von bis zu 16 mm, wie von Pelliccia et al [84] vorbeschrieben, wurde in dieser



Studie nicht gemessen. Der Maximalwert der LV-PW gleicht dem chinesischer Spitzensportler [112]. Nur 6 Sportler insgesamt haben eine interventrikuläre Septumdicke von  $\geq 13$  mm; sie betreiben mit Fußball (Profifußballer), Triathlon und Rudern Sportarten mit hohem Ausdaueranteil. Auch die Spannweiten liegen für IVS mit 7-15 mm und für PW mit 6,5-14 mm im Bereich der bisher erhobenen Daten gleichaltriger Kaderathleten (Whyte: IVS 7-14 mm; LV-PW 7-14 mm / Pelliccia IVS:7-16 mm, PW 7-13 mm) [84,127].

Die linksventrikulären Wanddicken der über zwanzigjährigen Kadersportlerinnen (Durchschnittsalter  $22,7 \pm 3,7$  Jahre) stimmen ebenfalls mit denen von Pelliccia und Whyte publizierten Daten überein [84,127]. Anhand der Tabelle 11 (Eingangsparameter  $> 20$  Jahre) ist zu sehen, dass die Rudrerinnen die im Mittel größten Septum- und Hinterwanddicken (LV-PW:  $9,6 \pm 1,0$  mm, IVS:  $9,9 \pm 1,0$  mm) besitzen. Gleichzeitig sind ihre Körperoberflächen mit im Mittel  $1,9 \pm 0,1$  m<sup>2</sup> am größten. Die mittlere Septum- und Hinterwanddicke der  $\geq 18$  jährigen Kadersportlerinnen beträgt  $9,2 \pm 1,2$  mm für IVS (Spannweite 5 - 11,5 mm, 97,5%-Perzentile 11 mm) bzw.  $8,9 \pm 1,1$  mm für LV-PW (Spannweite 6,5 - 11 mm, 97,5%-Perzentile 11 mm). Zum Vergleich beträgt die mittlere Septumdicke in der Studie von Whyte et al. (Durchschnittsalter  $24,2 \pm 4,6$  Jahre)  $8,7 \pm 1,2$  mm (6 - 11 mm) und die LV-PW  $8,8 \pm 1,2$  mm (6 - 11 mm). In der Studie von Pelliccia et al. ( $\bar{O}$  22 Jahre) wird eine mittlere IVS von  $8,4 \pm 0,9$  mm (6 - 11 mm) und eine mittlere LV-PW  $7,9 \pm 0,8$  mm (6 - 10 mm) für die Kaderathleten dieses Alters postuliert. Lediglich 4 Sportlerinnen (4/252; 1,6%) der vorliegenden Studie haben eine größere Septumdicke als 11 mm (maximal 11,5 mm). Alle sind Rudersportlerinnen mit normaler Pumpfunktion (E/A: 1,7-2,1; FV: 37-43%). Die maximal gemessene Hinterwanddicke beträgt 11 mm und bestätigt wiederum die bisherigen Studienergebnisse [84,112,127]. Insgesamt wurden nur bei 8 Sportlerinnen dieser Studie (8/252; 3,2%), welche ausschließlich Rudrerinnen waren, Wanddicken von  $\geq 10,5$  mm gemessen.

Im Alter von  $\geq 18$  -  $< 20$  Jahre liegen die mittleren Hinterwand- und Septumdicken etwa 0,3-0,5 mm unterhalb der Messwerte der  $> 20$  jährigen Kadersportler/-innen dieser Studie. Ein oberer Grenzwert von 11 mm bezüglich der Septumdicke (97,5%-Perzentile 10,5 mm) bzw. 10,5 mm bei der Hinterwanddicke (97,5%-Perzentile 10 mm) wird durch die Kadersportlerinnen dieses Alters nicht überschritten. Bei den gleichaltrigen Männern beträgt die maximal gemessene Septumdicke 13,5 mm (97,5%-Perzentile 12,5 mm) und die maximale Hinterwanddicke 13,0 mm (97,5%-Perzentile 12,5 mm).

Die LV-Wanddicken jugendlicher Leistungssportler (14-18 Jahre; mittleres Alter  $15,9 \pm 1,0$  Jahre) entsprechen den Werten, welche von Sharma et al. (mittleres Alter  $15,6 \pm 1,2$  Jahre) erhoben wurden [106]. Er postuliert Maximalwerte für die Hinterwanddicke und Septumdicke von 13 bzw. 14 mm für männliche Nachwuchssportler. Jedoch beträgt bei weniger als 0,5% des Gesamtkollektives dieser Kadersportler die maximale linksventrikuläre Wanddicke  $\geq 12$  mm [106]. In der vorliegenden Studie

liegt der höchste gemessene Wert der Hinterwanddicke bei 12,5 mm und wurde bei einem siebzehnjährigen Ruderer mit großer Körperoberfläche gemessen (73 kg, 1,89 m, 1,99 m<sup>2</sup>). Die mittlere LV-PW liegt bei  $9,3 \pm 1,2$  mm und die Messwerte reichen von 6 - 12,5 mm. Im Vergleich reichten die Hinterwanddicken in der Studie von Sharma et al. von 6 - 13 mm, bei einer mittleren LV-PW von  $9,5 \pm 1,2$  mm. Ähnliche Größendimensionen und Spannweiten bestehen auch beim Vergleich der interventrikulären Septumdicken. Die Septumdicke dieser Studie reicht von 6 - 13 mm (Sharma: 6 - 14 mm) und die mittlere IVS betrug  $9,7 \pm 1,2$  mm (Sharma:  $9,5 \pm 1,3$  mm).

Für die Alterskollektive der 14 - 16 jährigen Kaderathleten (MW  $15,0 \pm 0,6$  Jahre) einerseits und der 16 - 18 jährigen Kaderathleten (MW  $16,8 \pm 0,5$  Jahre) andererseits wurden folgende Referenz- und Grenzwerte der interventrikulären Septumdicke und der linksventrikulären Hinterwanddicke festgestellt: Bei den  $\geq 16$  -  $< 18$  jährigen Sportlern wird eine maximale Septumdicke von 13 mm (MW  $10,0 \pm 1,1$  mm, 97,5%-Perzentile 12 mm) bzw. eine linksventrikuläre Hinterwanddicke von 12,5 mm (MW  $9,7 \pm 1,1$  mm, 97,5%-Perzentile 11,5 mm) nicht überschritten. Im Alter von  $\geq 14$  -  $< 16$  Jahre misst die Septumdicke maximal 12 mm (MW  $9,4 \pm 1,1$  mm, 97,5%-Perzentile 11 mm) und die LV-PW maximal 11,5 mm (MW  $9,0 \pm 1,0$  mm, 97,5%-Perzentile 11 mm).

Bei jugendlichen Kaderathletinnen wird entsprechend den Studienergebnissen von Sharma et al. [106] im Alter von  $\geq 14$  -  $< 18$  Jahre eine maximale Hinterwand- und Septumdicke von 11 mm nicht überschritten. In der vorliegenden Studie haben insgesamt nur 5 Sportlerinnen dieses Alters eine Septumdicke von  $\geq 10,5$  mm, wobei diese Sportarten mit einem hohen Ausdaueranteil (Triathlon, Rudern, Schwimmen, LA-Mittelstrecke) betreiben. Den niedrigsten Wert mit 6 mm Septumdicke hat eine junge Sportlerin (14,6 Jahre) der rhythmischen Sportgymnastik (Spannweite IVS: 6 - 11 mm). Die Hinterwanddicken reichen von 6 - 10,5 mm und nur eine Rudersportlerin (KOF: 1,95 m<sup>2</sup>) hat mit 10,5 mm eine dickere Hinterwand als die maximal gemessenen 10 mm der restlichen Sportlerinnen dieses Untersuchungskollektives. Die mittlere IVS  $8,3 \pm 1,0$  mm (Spannweite 6 - 11 mm, 97,5%-Perzentile 10,5 mm) und die mittlere LV-PW  $8,0 \pm 0,9$  mm (Spannweite 6 - 10,5 mm, 97,5%-Perzentile 10 mm) sind vergleichbar mit den Werten von Sharma et al. (IVS:  $8,3 \pm 1,1$  mm, Spannweite 6 - 11 mm; PW:  $8,6 \pm 1,2$  mm, Spannweite 6 - 11 mm). Im Alter von  $\geq 14$  -  $< 16$  Jahre wird eine Septumdicke von 10,5 mm selten erreicht (nur 1,3 % von 154 Kadersportlerinnen dieses Alters). Die 97,5%-Perzentile liegt bei 10 mm und die mittlere IVS beträgt  $8,2 \pm 0,9$  mm (Spannweite 6 - 10,5 mm). Eine linksventrikuläre Hinterwanddicke von 10 mm wird nicht überschritten (MW  $7,8 \pm 0,8$  mm, Spannweite von 6 - 10 mm, 97,5%-Perzentile 10 mm). Im Alter von  $\geq 16$  -  $< 18$  Jahre sind folgende Referenzwerte für die Kaderathletinnen definierbar: IVS  $8,5 \pm 1,0$  mm (Spannweite 6 - 11 mm, 97,5%-Perzentile 10,5 mm), LV-PW  $8,2 \pm 1,0$  mm (Spannweite 6,5 - 10,5 mm, 97,5%-Perzentile 10 mm).

Für die jünger als 14 Jährigen Leistungs- und Kadersportler liegen bisher nur wenige Vergleichsdaten vor [53]. Anhand der Querschnittstudie ergeben sich für die 10- bis 14-jährigen Sportler ( $13,1 \pm 0,7$  Jahre) folgende Richtwerte. Die mittlere interventrikuläre Septumdicke beträgt  $8,3 \pm 1,1$  mm und reicht von minimal 6 mm bis maximal 11 mm. Hierbei haben 13 Sportler eine IVS von  $\geq 10$  mm (13/117; 11,1%). Bei insgesamt 6 Sportlern ist die Septumdicke  $\geq 10,5$  mm (6/117; 5,1%). Davon sind 2 Kaderathleten dem Schwimmsport zuzuordnen und 4 dem Fußball; alle 6 Athleten waren zum Untersuchungszeitpunkt über 13 Jahre alt. Die maximale Hinterwanddicke beträgt 11 mm bei einem 13,5 Jahre alten Fußballer. Insgesamt 7 Sportler (7/117; 5,9%) haben eine Hinterwanddicke von  $\geq 10$  mm und bei 3 von ihnen (1 Schwimmer, 2 Fußballer; alle  $> 13$  Jahre) misst die LV-PW  $\geq 10,5$  mm (2,6%). Die mittlere Hinterwanddicke beträgt  $7,8 \pm 1,0$  mm. Ein Maximalwert von 11 mm wird entsprechend bisheriger Studienergebnisse nicht überschritten [53].

Die Grenzwerte der linksventrikulären Wanddicken (LV-PW, IVS) liegen für jugendliche Sportlerinnen bei 9 - 10 mm. Höchstwerte, mit jeweils 10 mm für LV-PW und IVS, werden hierbei von zwei Schwimmerinnen erreicht (12,9 und 13,5 Jahre). Die mittlere interventrikuläre Septumdicke dieser Altersklasse beträgt  $7,4 \pm 0,9$  mm (5,5 - 10,0 mm) und die mittlere Hinterwanddicke liegt bei  $7,2 \pm 0,9$  mm (5 - 10 mm). Wie in der Literatur vorbeschrieben, wird eine maximale linksventrikuläre Wanddicke von 10 mm durch sehr junge Kaderathletinnen nicht überschritten [53].

Die mittleren relativen Wanddicken aller Gruppen (Ausdauer, Spiel, Kraft, Sonstige) sind ähnlich. Interdisziplinäre Unterschiede bestehen kaum. Ein maximaler Wert von 44% wird bei allen Altersklassen nicht überschritten und liegt damit nur marginal über dem gültigen Wert von 42 % für Normalpersonen [54].

#### 5.2.4 Relatives Herzvolumen und allometrischer Bezug des Herzvolumens

Ausdauersport mit entsprechender dynamischer Belastung führt zu einer Vergrößerung des Herzvolumens [33,63,84,97,108]. Die normalen Herzgrößen von 10 - 12 ml/kg (z.T. bis 13 ml/kg) bei den Männern bzw. 9 - 11 ml/kg (z.T. bis 12 ml/kg) bei den Frauen, werden wie in der Literatur bereits beschrieben durch regelmäßiges, vor allem ausdauerbetontes Training überschritten [48]. Obere Grenzwerte von 19 - 20 ml/kg (männliche Leistungssportler) bzw. 18 - 19 ml/kg (weibliche Leistungssportler) werden durch die vorliegenden Studienergebnisse bestätigt [48,97]. Das größte relative Herzvolumen bei den erwachsenen Sportlern ( $\geq 20$  Jahre) dieser Studie hat ein 26-jähriger Triathlet mit 19 ml/kg und einem Trainingsumfang von über 25 Stunden pro Woche. Dass gerade hochausdauertrainierte Triathleten, aber auch leistungsstarke Radsportler sowie Mittel- und Langstreckenläufer große Sportherzen entwickeln, ist bekannt [80,96]. So ist bei den erwachsenen Kadersportlerinnen entsprechend das relative Herzvolumen einer 20-jährigen Langstreckenläuferin mit fast 18 ml/kg am größten. Durch die entsprechenden Box-Plots dieser Studie wird darüber hinaus veranschaulicht, dass in der Regel die mittleren relativen Herzvolumina der Ausdauerathleten/-innen

am größten sind. Männliche und weibliche Ausdauerathleten haben größere relative Herzvolumina als die Spielsportgruppe. Deren Herzvolumina sind jedoch wiederum größer als die der Kraftsportgruppe und die der Sonstigen (s. Anhang Box-Plots, Abb. 23/24/25/26/28/29/30). Bei den unter vierzehnjährigen Kadersportlern bzw. Kadersportlerinnen der vorliegenden Studie besitzen jedoch die Kraftsportler/-innen die größten relativen Herzvolumina. Eine Erklärung hierfür dürfte die Zusammensetzung des Kollektivs der Kraftsportgruppe liefern. Sie setzt sich überwiegend aus sehr jungen Turnern bzw. Turnerinnen zusammen, welche ein sehr niedriges Körpergewicht und eine geringe Körpergröße haben. Ebenso werden auch im Gesamtvergleich aller Sportler (siehe Tabelle 16 und 17) die im Mittel größten relativen Herzvolumina von den kleiner 14-jährigen Sportlern und Sportlerinnen erzielt (Männer <14 Jahre:  $12,9 \pm 1,9$  ml/kg; Frauen <14 Jahre:  $12,7 \pm 1,7$  ml/kg). Somit liegen die Werte der unter 14-jährigen Sportler knapp oberhalb der Werte der restlichen Alterskollektive der Kaderathleten (im Mittel 12,3 - 12,6 ml/kg) und sind bei den Frauen sogar deutlich erhöht im Vergleich zu den restlichen Alterskollektiven (im Mittel 11,6 - 11,8 ml/kg). Ein tendenzieller Anstieg des relativen Herzvolumens mit zunehmendem Alter, wie dies Berbalk et al. [80] bei jedoch ausschließlich Ausdauerathleten beschreiben, ist somit am vorliegenden Gesamtkollektiv von Kaderathleten nicht zu sehen. Zusätzlich postulieren sie ein mittleres relatives Herzvolumen von 15 - 17 ml/kg bei hochausdauertrainierten Sportlerinnen und von 17 - 19 ml/kg bei hochausdauertrainierten Sportlern [80]. Lediglich 3 Sportler der vorliegenden Studie haben ein relatives Herzvolumen von  $\geq 17$  ml/kg ( $\sim 0,3\%$ ), jedoch bei immerhin 17 Sportlerinnen dieser Studie ( $\sim 2,9\%$ ) ist das relative Herzvolumen  $\geq 15$  ml/kg. Wie erwartet sind es überwiegend Ausdauersportler und Ausdauersportlerinnen, die solch große Herzvolumina aufweisen [65,97,108]. Relative Herzvolumina von  $> 16$  ml/kg Körpergewicht, welche in der hiesigen Studie bei jungen Turnerinnen oder Sportlerinnen der rhythmischen Sportgymnastik mit kleiner Körperoberfläche vorkommen, scheinen durch die echokardiographisch basierte Berechnung des Herzvolumens nach Dickhuth [23] überschätzt zu werden. Um diese Überschätzung bei leichtgewichtigen Personen zu relativieren, wurde nach Empfehlung einiger Autoren das Herzvolumen in allometrischem Bezug des Körpergewichts mit den Exponenten  $2/3$  und  $3/4$  betrachtet [69,128]. Anhand der Box-Plots dieser Altersklasse (s. Abb. 26 und 32 im Anhang) wird deutlich, dass die Herzvolumina durch eine allometrische Relation weniger überschätzt werden und dass insbesondere die Werte der Kraftsportgruppe (und der Sonstigen bei Frauen < 14 Jahre) sich durch den allometrischen Bezug im Verhältnis zu den anderen Gruppen relativieren. Zur Verifizierung des allometrischen Bezuges sind vergleichende Untersuchungen an ähnlichen Untersuchungskollektiven wünschenswert.

### 5.2.5 Linksventrikuläre Muskelmasse nach Devereux und Teichholz

Generell konnten vergleichende Untersuchungen mittels MRT eine Überschätzung der linksventrikulären Muskelmasse durch die echokardiographische Bestimmung nach Devereux und Teichholz nachweisen [104]. Die bisherigen Referenzwerte in der Literatur wurden jedoch durch konventionelle ein- und zweidimensionale echokardiographische Methoden bestimmt [105]. Da dies

auch in der vorliegenden Studie der Fall war, ist es möglich, die konventionell bestimmten echokardiographischen Werte (nach Devereux und Teichholz) mit selbigen aus der Literatur zu vergleichen. Es sollte jedoch bei der endgültigen Interpretation der Werte eine relative Überschätzung durch die oben genannten echokardiographischen Methoden beachtet werden [105].

Ein klinischer Grenzwert von  $130 \text{ g/m}^2$  kann beim Sporthler überschritten werden [7,57]. Nach der häufig angewandten Bestimmungsmethode nach Devereux können männlichen Kadersportler Höchstwerte von  $165\text{-}170 \text{ g/m}^2$  erreichen [84,87,95,118,120]. Durch die Bestimmung nach Teichholz liegen die oberen Grenzwerte für trainierte Sportler bei  $135 \text{ g/m}^2$  [113]. In der vorliegenden Studie werden von jeweils 2 Triathleten (2/1089; 0,18%) die Grenzwerte von  $170$  bzw.  $135 \text{ g/m}^2$  überschritten. Die maximal ermittelte linksventrikuläre Muskelmasse betrug bei den Männern nach Devereux  $177 \text{ g/m}^2$  und nach Teichholz  $146 \text{ g/m}^2$ . Dass hochausdauertrainierte Sportler die definierten Grenzwerte gelegentlich überschreiten können, ist in der Literatur vorbeschrieben [84,87,95,120,122]. Die mittlere linksventrikuläre Muskelmasse bezogen auf die Körperoberfläche betrug bei den Männern durch die Bestimmung nach Devereux  $102 \pm 19 \text{ g/m}^2$  (Spannweite  $53 - 177 \text{ g/m}^2$ ) und nach Teichholz  $93 \pm 12 \text{ g/m}^2$  (Spannweite  $60 - 146 \text{ g/m}^2$ ).

Grenzwerte für die linksventrikuläre Muskelmasse bezogen auf die Körperoberfläche für weibliche Leistungssportlerinnen liegen durch die Bestimmung nach Devereux bei etwa  $130 \text{ g/m}^2$  [105,120,122]. Bei den Frauen wird der klinische Grenzwert von  $130 \text{ g/m}^2$  von lediglich zwei Sportlerinnen überschritten (2/592; 0,34%). Diese betreiben mit Rudern und Triathlon wiederum typische Ausdauersportarten. Die maximale gemessene LVM/KOF nach Devereux beträgt  $147 \text{ g/m}^2$  (nach Teichholz  $123 \text{ g/m}^2$ ) und wird durch eine Triathletin erreicht (1,71m, 66kg, EDD 57,5 mm, E/A >1). Die zweitgrößte LVM/KOF nach Devereux wurde mit  $133 \text{ g/m}^2$  bei einer Rudrerin (1,75m, 73kg, EDD 56,5 mm, E/A >1) ermittelt (nach Teichholz:  $114 \text{ g/m}^2$ ). Die mittleren linksventrikulären Muskelmassen bezogen auf die Körperoberflächen betragen nach Devereux  $81 \pm 16 \text{ g/m}^2$  ( $41 - 147 \text{ g/m}^2$ ) und nach Teichholz  $82 \pm 11 \text{ g/m}^2$  ( $56 - 123 \text{ g/m}^2$ ).

Die Spannweiten sowie die Mittelwerte und Grenzwerte der linksventrikulären Muskelmasse der Kaderathleten und Kaderathletinnen entsprechen denen der Literatur [84,87,95,104,118,120,122]. Über alle Alterskollektive hinweg haben die Ausdauersportler/-innen die größten mittleren linksventrikulären Muskelmassen bezogen auf die Körperoberfläche (LVM/KOF), welche teils signifikant über denen der Spielsportler liegen. Die mittlere LVM/KOF der Spielsportler ist dabei aber auch wiederum in der Regel größer als die der Kraftsportler und der Sonstigen. Letztere haben überwiegend die durchschnittlich kleinsten Muskelmassen bezogen auf die Körperoberfläche.

Ein oberer Grenzwert für die LVM von  $98 \text{ g/m}^2$  wird durch sehr junge Kaderathletinnen (< 14 Jahre) der vorliegenden Studie nicht überschritten. Durch die Bestimmung nach Devereux liegt die mittlere

LVM dieser Athletinnen bei  $68 \pm 10 \text{ g/m}^2$  (Spannweite 41 - 97  $\text{g/m}^2$ , 2,5-97,5%-Perzentile 51 - 92  $\text{g/m}^2$ ). Ihre LVM nach Teichholz beträgt im Mittel  $77 \pm 8 \text{ g/m}^2$  (Spannweite 56 - 98  $\text{g/m}^2$ , 2,5-97,5%-Perzentile 60 - 93  $\text{g/m}^2$ ). Bei den jungen männlichen Kaderathleten (< 14 Jahre) beträgt die LVM nach Devereux im Mittel entsprechend  $81 \pm 13 \text{ g/m}^2$  (Spannweite 60 - 124  $\text{g/m}^2$ , 2,5-97,5%-Perzentile 61 - 108  $\text{g/m}^2$ ) und nach Teichholz  $85 \pm 10 \text{ g/m}^2$  (Spannweite 62 - 116  $\text{g/m}^2$ , 2,5-97,5%-Perzentile 71 - 106  $\text{g/m}^2$ ). Immerhin 10 % (12/117) dieser Sportler haben eine größere linksventrikuläre Muskelmasse als 100  $\text{g/m}^2$  (nach Devereux). Bei neun von ihnen (9/117, 8%) ist auch durch die Bestimmung nach Teichholz die Muskelmasse  $\geq 100 \text{ g/m}^2$ . Bei diesen Sportlern handelt es sich ausschließlich um Schwimmer und Fußballspieler im Alter zwischen 13 und 14 Jahren.

### 5.3 Interpretation der Korrelationsanalysen

Die maximale Sauerstoffaufnahme ( $\text{VO}_{2\text{max}}$ ) ist das international am häufigsten benutzte Kriterium zur Beurteilung der körperlichen Ausdauerleistungsfähigkeit. Im Leistungssport sind Werte bei Ausdauersportlern von über 80  $\text{ml/min}\cdot\text{kg}$  Körpergewicht gemessen worden [13]. Sowohl der linksventrikuläre enddiastolische Durchmesser als auch das Herzvolumen stehen in Zusammenhang mit der maximale Sauerstoffaufnahme [102]. Dabei korreliert die maximale Sauerstoffaufnahme nach einer Studie von Sandrock et al. am besten mit dem absoluten Herzvolumen [102]. Dies konnte durch die vorliegende Studie bestätigt werden. Ähnliche Korrelationskoeffizienten zwischen der maximalen Sauerstoffaufnahme bzw. dem Sauerstoffpuls und dem Herzvolumen wurden bereits in vorherigen Studien mit geringeren Probandenzahlen festgestellt [19,21,115].

Gute Korrelationskoeffizienten (in dieser Studie bis " $r$ "=0,81) bestehen bei der Korrelation des enddiastolischen Durchmessers und der maximalen Sauerstoffaufnahme ( $\text{ml O}_2/\text{min}$ ). Ein von Barbier et al. beschriebener Korrelationskoeffizient von " $r$ "=0,92 [2] zwischen der maximalen Sauerstoffaufnahme und dem LV-EDD wird jedoch nicht erreicht. Vielmehr sind die Korrelationskoeffizienten der vorliegenden Studie je nach untersuchtem Kollektiv im Bereich eines guten bis mäßigen Zusammenhangs anzusiedeln (siehe Tabelle 18 und 19).

Korrelationen der maximalen Sauerstoffaufnahme mit dem allometrischen Herzvolumen liefern insgesamt schlechtere Korrelationskoeffizienten und Regressionsgeraden (Korrelationskoeffizient " $r$ " reicht von 0,13 - 0,69). Ein allometrischer Bezug des Herzvolumens ist für die Zusammenhangstestung zwischen Herzvolumen und Sauerstoffaufnahme nicht von Vorteil (siehe Tabelle 18 und 19). Auch die individuelle anaerobe Schwelle (IAS), welche das maximale Laktat-Steady-State repräsentiert und häufig in der Leistungsdiagnostik und Trainingssteuerung eingesetzt wird [24,46,109,117], korreliert nicht in dem Maße mit dem Herzvolumen, wie dies bei der maximalen Sauerstoffaufnahme der Fall ist (s. Tabelle 18). Von Vorteil ist jedoch, dass die IAS im

Gegensatz zur  $VO_2\text{max}$  von der Ausbelastung oder der Motivation des Sportlers zum Untersuchungszeitpunkt unabhängig ist [70].

Die Korrelationen der über 18-jährigen Sportler/-innen ergeben oftmals keinen Vorteil gegenüber den Korrelationen des Gesamtkollektives aller Altersklassen (s. Tabelle 18 und 19).

Insgesamt sind nach vorliegenden Studienergebnissen und vorhandener Literatur [2,19,21,40,56,77,100,102,115,126,129] das absolute Herzvolumen und der enddiastolische Durchmesser für eine Plausibilitätsprüfung zwischen Herzgröße und Ausdauerleistungsfähigkeit (als Messgröße dient die maximale Sauerstoffaufnahme) am besten geeignet.

#### 5.4 Interpretation der Längsschnittstudie

Regelmäßiges Training mit entsprechender Intensität und mit hohen aeroben Trainingsanteilen führt zu einer Größenzunahme des linksventrikulären enddiastolischen Durchmessers, des Herzvolumens und der linksventrikulären Muskelmasse [20,97,120,122,124]. In der Wachstumsphase junger Kadersportler kann zusätzlich zum Größenwachstum aller Organe bereits eine Vergrößerung des Herzens durch regelmäßiges Training stattfinden [45,97]. Zur frühen Detektion krankhafter Prozesse werden sämtliche deutsche Kaderathleten, welche dem Saarbrücker Institut für Sport- und Präventivmedizin angeschlossen sind, in einer jährlichen Gesundheitsuntersuchung mittels Ruhe- und Belastungs-EKG sowie alle 2 Jahre zusätzlich mittels Echokardiographie untersucht [50]. Mittels einer Längsschnittuntersuchung an einem kleineren Kollektiv wurde versucht die Größenzunahme des LV-EDD, des absoluten HV und der LVM (nach Devereux) von Kaderathleten im zeitlichen Verlauf zu beschreiben.

Eine signifikante Zunahme des LV-EDD findet bei den untersuchten Kadersportler/-innen in der längsschnittlichen Beobachtung im Altersgang nicht statt. Die deutlichste Zunahme des linksventrikulären enddiastolischen Durchmessers erfolgt bereits im Alter zwischen 12 und 15 Jahren (Abbildung 17 und 20). Ab einem Alter von 15 - 16 Jahren nimmt der enddiastolische Durchmesser zum nächsten Untersuchungszeitpunkt nur unwesentlich zu. Ähnliche Ergebnisse liefert eine Studie welche an Biathlon-Kaderathleten durchgeführt wurde [18]. Hierbei fanden in einem Beobachtungszeitraum von 10 Jahren bei über achtzehnjährigen A- und B-Kaderathleten des Biathlonsports keine wesentlichen Veränderungen des LV-EDD statt. Eine Erklärung hierfür besteht in „der geringeren Adaptionbreite auf Wachstumsstimuli der älteren Untersuchten“ [18]. Eine Zunahme des linksventrikulären enddiastolischen Durchmessers in jungen Jahren (D-Kader; <16 Jahre) wurde ebenso beobachtet. Dass der enddiastolische Durchmesser (LV-EDD) der untersuchten Sportler/-innen trotz gesteigertem Trainingsumfang (s. Tabelle 4 und 5) und physiologischem Wachstum zwischen zwei definierten Untersuchungszeitpunkten ( $2,5 \pm 0,5$  Jahre) nur unwesentlich

und nicht signifikant zunimmt, ist sicherlich auch der geringen Größe des Untersuchungskollektives und der damit verbundenen großen Standardabweichung geschuldet.

Das absolute Herzvolumen (berechnet nach Dickhuth [23]) nimmt bei beiden Geschlechtern innerhalb zweier Beobachtungszeiträume in der pubertären Wachstumsphase zu (Abbildungen 18 und 21). Hierbei findet in jungen Jahren sogar eine signifikante Zunahme der Volumina statt. Zu sehen ist dies bei der längsschnittlichen Beobachtung im Altersgang der unter 14-jährigen Kaderathleten ( $\bar{O}$  12,6  $\pm$  1,0 Jahre; TU: 8,75  $\pm$  1,1 h/Wo) im Vergleich zu der Untersuchung mit 14 - 16 Jahre ( $\bar{O}$  14,9  $\pm$  0,6 Jahre; TU: 11,7  $\pm$  2,1 h/Wo) ( $p < 0,01$ , Abb.34 und vgl.Tab.5). Ein Vergleich mit absoluten Herzvolumina einer Längsschnittstudie an saarländischen Fußballern [71] (ausschließlich Mitglieder der saarländischen Auswahlmannschaften der U14 - U18, Trainingspensum 2-3x/Woche ca. 1,5 - 2 h + Pokal und Meisterschaftsspiele an 25 Wochenenden im Jahr) bestätigt den relativ größten Zuwachs des absoluten Herzvolumens bereits in jungen Jahren. Demnach findet der größte Anstieg des Herzvolumens mit etwa 100 ml zwischen der Untersuchung U14 (651  $\pm$  92 ml) zu U15 (741  $\pm$  106ml) statt. Insgesamt erreichten die Auswahlfußballer von der U14 bis zur U18 einen mittleren Zuwachs des Herzvolumens von etwa 200 ml. In der vorliegenden Studie findet vom ersten bis zum letzten Untersuchungszeitpunkt bei den hier betrachteten Sportlern (5 Schwimmer und 1 Ruderer) eine Herzvolumenzunahme von über 350 ml in einem Zeitraum von etwa 5 Jahren statt (s. rote Balken Abb.18). Bereits im Alter zwischen 12,5-15 Jahren erfolgt hierbei mit etwa 220 ml der größte Herzvolumenzuwachs. Ab einem Alter von sechzehn Jahren zeigt sich, selbst unter gesteigertem Trainingspensum, kein signifikanter Anstieg des absoluten Herzvolumens innerhalb zweier Beobachtungszeiträume (2  $\pm$  0,5 Jahre). Ein Bezug des Herzvolumens auf anthropometrische Parameter (Gewicht [ml/kg], KOF [ml/m<sup>2</sup>]) relativiert die vorherigen Ergebnisse. Ein vorher signifikanter Anstieg des Volumens zwischen zwei Untersuchungszeitpunkten in jungen Jahren wird durch den Körperdimensionsbezug aufgehoben.

Eine signifikante Zunahme der linksventrikulären Muskelmassen nach Devereux [17] von 121  $\pm$  21 g (<14 Jahre) auf 173  $\pm$  32 g (14 - 16 Jahre) ist nur bei jungen Kadersportlern zu sehen ( $p < 0,01$ ; Abb. 35). Innerhalb zweier Untersuchungszeitpunkte späterer Beobachtungszeiträume findet keine signifikante LVM-Zunahme statt (s. Abb. 19 und 22).

Anhand dieser Ergebnisse und ähnlichen Studien [18,71] ist eine deutliche Zunahme linksventrikulärer Kennwerte (LVM, HV<sub>abs</sub>, EDD) ab einem Alter von 16 Jahren innerhalb eines Beobachtungszeitraums zwischen 2 bis 2,5 Jahren eher unwahrscheinlich. Wenn überhaupt findet ein signifikantes Größenwachstum (hier nur bei LVM und HV<sub>abs</sub> zu sehen) unterhalb von 16 Jahren statt. Durch einen Körperdimensionsbezug (Bezug zur KOF oder dem Gewicht) kann ein vorher signifikantes Größenwachstum relativiert werden. Anhand der Daten der vorliegenden Untersuchung ist eine



Zunahme des enddiastolischen Durchmessers von über 4,5 - 5 mm innerhalb eines Beobachtungszeitraums von 2 - 2,5 Jahren als grenzwertig einzuordnen.

### 5.5 Limitationen

Limitierend für die vorliegende Studie ist, dass die echokardiographisch erhobenen Parameter und Messwerte von unterschiedlichen Untersuchern und an zwei unterschiedlichen Geräten erhoben wurden. Dabei sind interindividuelle Unterschiede und Messungenauigkeiten nicht zu vermeiden. Um die Messfehler gering zu halten, wurden die einzelnen Messungen von Untersuchern mit langjähriger echokardiographischer Erfahrung sowohl, nach internationalem als auch internem Institutstandard durchgeführt [11,50,63,86].

Die in der vorliegenden Korrelationsanalyse verwendete maximale Herzfrequenz als Ausbelastungskriterium wird aufgrund einer interindividuellen Streuung [61] von manchen Autoren als wenig verlässlich erachtet [14,39]. Aufgrund der einfachen Anwendung ist der Gebrauch dieses Kriteriums jedoch generell üblich [55].

Der leistungsphysiologische Kennwert  $VO_{2max}$ , der auf dem Laufbandergometer erbrachten Leistungen, wurde nicht gemessen, sondern von intern validierten Tabellen entnommen.

Des Weiteren sind die in der Längsschnittuntersuchung erhobenen Messwerte aufgrund geringer Probandenzahlen vorsichtig zu interpretieren. Vor allem die sehr niedrigen Fallzahlen von 4-5 Personen pro Untersuchungskollektiv bei den Kaderathletinnen erlauben nur begrenzt allgemeingültige Aussagen.

## 5.6 Fazit

Schlussfolgernd können anhand der vorliegenden Arbeit, nachfolgend wesentliche Aspekte festgehalten werden:

Die Referenzwerte echokardiographischer Parameter von erwachsenen und jugendlichen Bundes- und Landeskaderathleten wurden durch den Vergleich mit der vorhandenen Literatur bestätigt [3,26,50,51,68,79,84,97,106,108,112,122,127]. Ergänzend wurde festgestellt, dass für 10-14-jährige Kaderathleten die Grenzwerte der Septum- (IVS) und Hinterwanddicke (LV-PW) bei 11 mm liegen. Ein LV-EDD von 54 mm wird bei den Sportlern dieser Altersklasse nicht überschritten. Bei den 10-14-jährigen Kadersportlerinnen liegen die maximalen Oberwerte von IVS und LV-PW zwischen 9 - 10 mm und durchschnittlich ca. 10% unter denen der gleichaltrigen männlichen Sportler. In der Regel wird hierbei ein LV-EDD von 50 mm nicht überstiegen, wobei im Einzelfall auch ein Wert bis 52 mm physiologisch war.

Häufig besitzen die Ausdauerathleten die größten echokardiographischen Kennwerte (IVS, LV-PW,  $LVM_{\text{Devereux}}$ ,  $LVM_{\text{Teichholz}}$ , LV-EDD,  $HV_{\text{relativ}}$  und  $HV_{\text{absolut}}$ ). Tendenziell liegen sie über denen der Spielsportler, gefolgt von denen der Kraftsportler und denen der sonstigen Sportler. Oftmals sind die Werte der Kraftsportler signifikant niedriger als die der Ausdauersportler.

Große relative Herzvolumina, wie sie in der vorliegenden Studie bei jungen Kadersportlern oder Kadersportlerinnen (<14 Jahre) vorkommen, werden durch einen allometrischen Körpergrößenbezug relativiert und weniger überschätzt.

Ausschließlich Kaderathleten mit großen Körperdimensionen (KOF in dieser Studie mindestens  $\geq 1,89 \text{ m}^2$ ) besitzen einen LV-EDD von  $\geq 60 \text{ mm}$ . Durch den Bezug des linksventrikulären enddiastolischen Durchmessers auf die Körperoberfläche wird bei diesen Sportlern ein Wert von  $33 \text{ mm/m}^2$  (LV-EDD/KOF) nicht überschritten. Lediglich kleine, schwächliche Kaderathleten mit niedrigen Körperdimensionen können einen LV-EDD/KOF-Quotienten von über  $33 \text{ mm/m}^2$  besitzen.

Zur Zusammenhangstestung und Verifizierung echokardiographischer und leistungsphysiologischer Parameter ist die Korrelation der maximalen Sauerstoffaufnahme mit dem absoluten Herzvolumen am besten geeignet. Ein allometrischer Bezug liefert hierbei keinen ersichtlichen Vorteil.

Innerhalb eines Beobachtungszeitraums von etwa zweieinhalb Jahren findet eine signifikante Größenzunahme der linksventrikulären Muskelmasse und des absoluten Herzvolumens nur unterhalb von 16 Jahren statt. Sollte der enddiastolische Durchmesser innerhalb dieses Zeitraumes bei jungen Sportlern zwischen 12 und 15 Jahren um mehr als 4,5-5 mm zunehmen ist dies als grenzwertig einzuordnen und bedarf einer weiteren Abklärung.

## 6 LITERATURVERZEICHNIS

1. Achar S, Rostamian A, Narayan SM (2010): Cardiac and metabolic effects of anabolic-androgenic steroid abuse on lipids, blood pressure, left ventricular dimensions, and rhythm. *Am J Cardiol* 106:893-901.
2. Barbier J, Lebillier E, Ville N, Rannou-Bekono F, Carre F (2006): Relationships between sports specific characteristics of athlete's heart and maximal oxygen uptake. *Eur J Cardiovasc Prev Rehabil* 13:115-121.
3. Basavarajaiah S, Boraita A, Whyte G, Wilson M, Carby L, Shah A, Sharma S (2008): Ethnic differences in left ventricular remodeling in highly-trained athletes relevance to differentiating physiologic left ventricular hypertrophy from hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 51:2256-2262.
4. Bocelli A, Ballo P, Mondillo S (2009): Letter by Bocelli et al regarding article, "A novel method of expressing left ventricular mass relative to body size in children". *Circulation* 119:e11.
5. Breuer H-WM (2004): Leistungsphysiologische Kenngrößen professioneller Balletttänzer (Görlitzer Ballettstudie). *Dtsch Z Sportm* 55:259-263.
6. Burke AP, Farb A, Virmani R, Goodin J, Smialek JE (1991): Sports-related and non-sports-related sudden cardiac death in young adults. *Am Heart* 121:568-575.
7. Casale PN, Devereux RB, Milner M, Zullo G, Harshfield GA, Pickering TG, Laragh JH (1986): Value of echocardiographic measurement of left ventricular mass in predicting cardiovascular morbid events in hypertensive men. *Ann Intern Med* 105:173-178.
8. Cheitlin MD, De Castro CM, McAllister HA (1974): Sudden death as a complication of anomalous left coronary origin from the anterior sinus of Valsalva, A not-so-minor congenital anomaly. *Circulation* 50:780-787.
9. Colan SD, Sanders SP, McPherson D, Borow KM (1985): Left ventricular diastolic function in elite athletes with physiologic cardiac hypertrophy. *J Am Coll Cardiol* 85:545-549.
10. Corrado D, Thiene G, Nava A, Rossi L, Pennelli N (1990): Sudden death in young competitive athletes: clinicopathologic correlations in 22 cases. *Am J Med* 89:588-596.
11. Corrado D, Basso C, Schiavon M, Thiene G (1998): Screening for hypertrophic cardiomyopathy in young athletes. *N Engl J Med* 339:364-369.
12. Corrado D, Basso C, Rizzoli G, Schiavon M, Thiene G (2003): Does sports activity enhance the risk of sudden death in adolescents and young adults? *J Am Coll Cardiol* 42:1959-1963.
13. Coyle EF (2005): Improved muscular efficiency displayed as Tour de France champion matures. *J Appl Physiol* 98:2191-2196.
14. Cumming GR, Borsyk LM (1972): Criteria for maximum oxygen uptake in men over 40 in a population survey. *Med Sci Sports Exerc* 4:18-20.
15. Dec GW, Fuster V (1994): Idiopathic dilated cardiomyopathy. *N Engl J Med* 331:1564-1575.
16. De Simone G, Daniels SR, Devereux RB, Meyer RA, Roman MJ, de Divitiis O, Alderman MH (1992): Left ventricular mass and body size in normotensive children and adults: assessment of allometric relations and impact of overweight. *J Am Coll Cardio* 20:1251-1260.
17. Devereux R, Alonso D, Lutas E, Gottlieb G, Campo E, Sachs I, Reichek N (1986): Echocardiographic assesment of left ventricular hypertrophy: comparison to necropsy findings. *Am J Cardiol* 57:450-458.
18. Disch A (2002): Zur Bedeutung von leistungsphysiologischen Untersuchungsergebnissen für die Vorhersage von Wettkampfleistungen im Biathlonsport. *Diss Univ Freiburg* S.84ff.

19. Dickhuth HH, Nause J, Staiger J, Bonzel T, Keul J (1983): Two-dimensional echocardiographic measurements of left ventricular volume and stroke volume of endurance-trained athletes and untrained subjects. *Int J Sports Med* 4:21-26.
20. Dickhuth HH, Lehmann M, Auch-Schwelk W, Meinertz T, Keul J (1987): Physical training, vegetative regulation, and cardiac hypertrophy. *J Cardiovasc Pharmacol* 10 Suppl 6:71-78.
21. Dickhuth HH, Urhausen A, Huonker M, Heitkamp H, Kindermann W, Simon G, Keul J (1990): Die echokardiographische Herzgrößenbestimmung in der Sportmedizin. *Dtsch Z Sportmed* 41:4-12.
22. Dickhuth HH, Röcker K, Hipp A, Heitkamp HC, Keul J (1994): Echocardiographic findings in endurance athletes with hypertrophic non-obstructive cardiomyopathy (HNCM) compared to non-athletes with HNCM and to physiological hypertrophy (athlete's heart). *Int J Sports Med* 15:273-277.
23. Dickhuth HH, Röcker K, Niess A, Hipp A, Heitkamp H (1996): The echocardiographic determination of volume and muscle mass of the heart. *Int J Sports Med* 17:132-139.
24. Dickhuth HH, Yin L, Niess A, Röcker K, Mayer F, Heitkamp HC, Horstmann T (1999): Ventilatory, lactate-derived and catecholamine thresholds during incremental treadmill running: relationship and reproducibility. *Int J Sports Med* 20:122-127.
25. Dickhuth HH (2001): Differentialdiagnostik der physiologischen Herzhypertrophie (Sportherz). *Dtsch Z Sportmed* 6:205-210.
26. Dickhuth HH, Rucker K, Mayer F, König D, Korsten-Reck U (2004): Ausdauersport und kardiale Adaptation [Endurance training and cardiac adaptation (athlete's heart)]. *Herz* 29:373-380.
27. Drory Y, Turetz Y, Hiss Y, Lev B, Fisman EZ, Pines A, Kramer MR (1991): Sudden unexpected death in persons less than 40 years of age. *Am J Cardiol* 68:1388-1392.
28. DuBois D, DuBois EF (1916): A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. *Arch Intern Med* 17:863.
29. Ekblom B, Hermansen L (1968): Cardiac output in athletes. *J Appl Physiol* 25:619-625.
30. Elliott PM, Gimeno Blanes JR, Mahon NG, Poloniecki JD, McKenna WJ (2001): Relation between severity of left-ventricular hypertrophy and prognosis in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Lancet* 357:420-424.
31. Erdmann E (2009): *Klinische Kardiologie: Krankheiten des Herzens, des Kreislaufs und der herznahen Gefäße*. Springer, Heidelberg.
32. Fagard RH: *Exercise is good for your blood pressure (2006): effects of endurance training and resistance training*. *Clin Exp Pharmacol Physiol*:853-856.
33. Fisher AG, Adams TD, Yanowitz FG, Ridges JD, Orsmond G, Nelson AG (1989): Non invasive evaluation of world class athletes engaged in different modes of training. *Am J Cardiol* 63:337-341.
34. Friedman DB, Peel C, Mitchell JH (1989): Cardiovascular responses to voluntary and nonvoluntary static exercise in humans. *J Appl Physiol* 73:1982-1985.
35. Grünig E, Brown B, Franz W, Zehelein J, Rottbauer W, Frey N, Scheffold T, Katus HA (1995): Clinical aspects and follow-up in dilated cardiomyopathy. *Z Kardiol* 84 Suppl 4:39-40.
36. Henschen S (1899): *Skilanglauf und Skiwettlauf: eine medizinische Sportstudie*. Mittlg Med Klinik Upsala. Fischer, Jena.
37. Hollmann W, Strüder HK (eds)(2009): *Grundlagen für körperliche Aktivität, Training und Präventivmedizin*. Schattauer, Stuttgart New York.
38. Hoppeler H, Weibel ER (1998): Limits for oxygen and substrate transports in mammals. *J Exp Biol* 201:1051-1064.

39. Howley ET, Bassett DR, Welch HG (1995): Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med Sci Sports Exerc* 27:1292-1301.
40. Iglesias Cubero G, Batalla A, Rodriguez Reguero JJ, Barriales R, Gonzalez V, de la Iglesia JL, Terrados N (2000): Left ventricular mass index and sports: the influence of different sports activities and arterial blood pressure. *Int J Cardiol* 75:261-265.
41. Ikaheimo MJ, Palatsi IJ, Takkunen JT (1979): Non invasive evaluation of the athletic heart: sprinters versus endurance runners. *Am J Cardiol* 44:24-30.
42. Kelley GA, Kelley KS (2000): Progressive resistance exercise and resting blood pressure: A meta-analysis of randomized controlled trials. *Hypertension* 35:838-843.
43. Keul J, Dickhuth H-H, Simon G, Lehmann M (1981): Effect of static and dynamic exercise on heart volume, contractility, and left ventricular dimensions. *Circ Res* 48:162-170.
44. Keul J, Dickhuth HH, Lehmann M, Staiger J (1982): The athlete's heart-haemodynamics and structure. *Int J Sports Med* 3:33-43.
45. Kindermann W, Keul J, Reindell H (1974): Grundlagen zur Bewertung leistungsphysiologischer Anpassungsvorgänge. *Dtsch Med Wochenschr* 99:1372-1379.
46. Kindermann W, Simon G, Keul J (1979): The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur J Appl Physiol* 42:25-34.
47. Kindermann W (1987): Ergometrie-Empfehlungen für die ärztliche Praxis. *Dtsch Z Sportmed* 38:244-268.
48. Kindermann W (2000): Das Sportherz. *Dtsch Z Sportmed* 51:307-308.
49. Kindermann W (2006): Cardiovascular side effects of anabolic-androgenic steroids. *Herz* 31:566-73.
50. Kindermann W, Dickhuth HH, Niess A, Röcker K, Urhausen A (eds) (2007): *Sportkardiologie*. Steinkopff-Springer, Darmstadt.
51. Kinoshita N, Onishi S, Yamamoto S, Yamada K, Oguma Y, Katsukawa F, Yamazaki H (2003): Unusual left ventricular dilatation without functional impairment in normotensive extremely overweight japanese professional sumo wrestlers. *Am J Cardiol* 91:699-703.
52. Knutsen KM, Stugaard M, Michelsen S, Otterstad JE (1989): M-Mode echocardiographic findings in apparently healthy, non-athletic Norwegians aged 20-70 years. Influence of age, sex and body surface area. *J Intern Med* 225:111-115.
53. Koch S, Cassel M, Linné K, Mayer F, Scharhag J (2012): ECG and echocardiographic findings in 10-15-year-old elite athletes. *Eur J Prev Cardiol*.
54. Lang RM, Bierig M, Devereux RB, Flachskampf FA, Foster E, Pellikka PA, Picard MH, Roman MJ, Seward J, Shanewise J, Solomon S, Spencer KT, St John Sutton M, Stewart W (2006): Recommendations for chamber quantification. *Eur J Echocardiogr* 7:79-108.
55. Lear SA, Brozic A, Meyers JN, Ignaszewski A (1999): Exercise stress testing – an overview of current guidelines. *Sports Med* 27:285-312.
56. Legaz Arrese A, Serrano Ostariz E, Gonzalez Carretero M, Lacambra Blasco I (2005): Echocardiography to measure fitness of elite runners. *J Am Soc Echocardiogr* 18:419-426.
57. Levy D, Savage DD, Garrison RJ, Anderson KM, Kannel WB, Castelli WP (1987): Echocardiographic criteria for left ventricular hypertrophy: the Framingham Heart Study. *Am J Cardiol* 59:956-960.
58. Libershon RR (1996): Sudden death from cardiac causes in children and young adults. *N Engl J Med* 334:1039-1044.

59. Llewellyn-Jones D, Abraham SF (1984): *Quetelet index in diagnosis of anorexia nervosa. Brit Med J* 288:1800.
60. Löllgen H, Hansel J (2007): *S1-Leitlinien Vorsorgeuntersuchung im Sport. Deutsche Gesellschaft für Sportmedizin und Prävention (DGSP). [http://www.dgsp.de/\\_downloads/allgemein/S1\\_Leitlinie.pdf](http://www.dgsp.de/_downloads/allgemein/S1_Leitlinie.pdf)*
61. Londeree BR, Moeschberger ML (1984): *Influence of age and other factors on maximal heart rate. J Cardiac Rehabil* 4:44-49.
62. Manyari DE, Paulsen W, Boughner DR, Purves P, Kostuk WJ (1983): *Resting and exercise left ventricular function in patients with hypertrophic cardiomyopathy. Am Heart J* 105:980-987.
63. Maron BJ (1986): *Structural features of the athlete heart as defined by echocardiography. J Am Coll Cardiol* 7:190-203.
64. Maron BJ, Shirani J, Poliac LC, Mathenge R, Roberts WC, Mueller FO (1996): *Sudden death in young competitive athletes. Clinical, demographic, and pathological profiles. JAMA* 276:199-204.
65. Maron BJ, Thompson PD, Puffer JC, McGrew CA (1996): *Cardiovascular preparticipation screening of competitive athletes. A statement for health professionals from the sudden Death Committee and Congenital Cardiac Defects Committee. Circulation* 94:850-856.
66. Maron BJ (2003): *Sudden death in young athletes. N Engl J Med* 349:1064-1075.
67. Maron BJ: *Distinguishing hypertrophic cardiomyopathy from athlete's heart (2005): A clinical problem of increasing magnitude and significance. Heart* 91:1380-1382.
68. Maron BJ, Zipes DP, Ackermann M, Balady G, Bonow R, Chaitman B, Cheitlin M, Clark L, Crawford M, Douglas P, Driscoll D, Estes N, Fontaine J, Gersony W, Gidding S, Graham T, Grant A, Haskell W, Hltaky M, Kaplan N, Kloner R, Levine B, Link M, Mitchell J, Mitten M, Myerburg R, Newburger J, Nishimura R, Olshansky B, Pickering T, Pyeritz R, Rocchini A, Snell P, Thompson PD, Towbin J, Udelson J, Van Camp S, Van Hare G, Virmani R, Wright J (2005): *36th Bethesda Conference: Eligibility recommendations for competitive athletes with cardiovascular abnormalities. J Am Coll Cardiol* 45:1312-1375.
69. McMahon T (1973): *Size and shape in biology. Science* 179:1201-1204.
70. Meyer T, Gabriel HHW, Kindermann W (1999): *Is determination of exercise intensities as percentages of VO<sub>2</sub>max or HRmax adequate? Med Sci Sports Exerc* 31:1342-1345.
71. Meyer T, Coen B, Urhausen A, Wilking P, Honorio S, Kindermann W (2005): *Konditionelles Profil jugendlicher Fußballspieler – Normwerte aus einer Längsschnittuntersuchung über 5 Jahre. Dtsch Z Sportmed* 56:20-25.
72. Midgley AW, McNaughton LR, Polman R, Marchant D (2007): *Criteria for determination of maximal oxygen uptake: a brief critique and recommendations for future research. Sports Med* 37:1019-1028.
73. Mitchell JH, Blomqvist G (1971): *Maximal oxygen uptake. N Engl J Med* 284:1018-1022.
74. Mitchell JH, Haskell W, Snell P, Van Camp SP (2005): *Task Force 8: classification of sports. J Am Coll Cardiol* 45:1364-1367.
75. Möckel M, Störk T (1996): *Diastolic function in various forms of left ventricular hypertrophy: contribution of active Doppler stress echo. Int J Sports Med Suppl* 3:184-190.
76. Morganroth J, Maron BJ, Henry WL, Epstein SE (1975): *Comparative left ventricular dimensions in trained athletes. Ann Intern Med* 82:521-524.
77. Nagashima J, Musha J, Takada H, Murayama M (2006): *Left ventricular chamber size predicts the race time of Japanese participants in an 100 km ultramarathon. Br J Sports Med* 40:331-333.

78. Nava A, Bauce B, Basso C, Muriago M, Rampazzo A, Villanova C, Daliento L, Buja G, Corrado D, Danieli GA, Thiene G (2000): *Clinical profile and long-term follow up of 37 families with arrhythmogenic right ventricular cardiomyopathy*. *J Am Coll Cardiol* 36:2226-2233.
79. Naylor LH, George K, O'Driscoll G, Green DJ (2008): *The Athlete's Heart: A Contemporary Appraisal of the 'Morganroth Hypothesis'*. *Sports Med* 38:69-90.
80. Neumann G, Pfützner A, Berbalk A (eds) (2010): *Optimiertes Ausdauertraining*. Meyer und Meyer-Verlag, Aachen.
81. Nishimura T, Yamada Y, Kawai C (1980): *Echocardiographic evaluation of long-term effects of exercise on left ventricular hypertrophy and function in professional bicyclists*. *Circulation* 61:832-840.
82. Online Artikel der Frankfurter Rundschau vom 05.08.2012: *Alter der Olympiasieger: Jüngere Frauen als in Peking*. <http://www.fr-online.de/schwimmen/alter-der-olympiasieger--juengere-frauen-als-in-peking,16707954,16807612.html>
83. Paylik G, Olexó Z, Frenkl R (1996): *Echocardiographic estimates related to various body size measures in athletes*. *Acta Physiol Hung* 84:171-181.
84. Pelliccia A, Maron BJ, Spataro A, Proschan MA, Spirito P (1991): *The upper limit of physiologic cardiac hypertrophy in highly trained elite athletes*. *N Engl J Med* 324:295-301.
85. Pelliccia A, Maron BJ, Spataro A (1993): *Absence of left ventricular hypertrophy in athletes engaged in intense power training*. *Am J Cardiol* 72:1048-1054.
86. Pelliccia A, Maron BJ (1995): *Preparticipation cardiovascular evaluation of the competitive athlete: perspectives from the 30-year Italian experience*. *Am J Cardiol* 75:827-829.
87. Pelliccia A, Culasso F, DiPaolo F, Maron B (1999): *Physiologic left ventricular cavity dilatation in elite athletes*. *Ann Intern Med* 130:23-31.
88. Pelliccia A, Maron BJ, Culasso F, Di Paolo FM, Spataro A, Biffi A, Caselli G, Piovano P (2000): *Clinical significance of abnormal electrocardiographic patterns in trained athletes*. *Circulation* 102:278-284.
89. Pelliccia A, Maron BJ, Di Paolo FM (2005): *Prevalence and clinical significance of left atrial remodeling in competitive athletes*. *J Am Coll Cardiol* 46: 690-696.
90. Peters S, Götting B, Peters H, Thierfelder L (1998): *Pathologie und Diagnostik der arrhythmogenen rechtsventrikulären Dysplasie – Kardiomyopathie*. *Dtsch Arztlbl* 95:1726-1731.
91. Pluim BM, Zwinderman A, Van der Laarse A, Van der Wall EE (1999): *The athlete's heart. A meta-analysis of cardiac structure and function*. *Circulation* 100:336-344.
92. Pressler A, Haller B, Scherr J, Heitkamp D, Esefeld K, Boscheri A, Wolfarth B, Halle M (2012): *Association of body composition and left ventricular dimensions in elite athletes*. *Eur J Prev Cardiol* 19:1194-1204.
93. Reindell H, Klepzig H (eds) (1960): *Herz-Kreislaufkrankheiten und Sport*. Barth, München.
94. Reindell H, Bubenheimer P, Dickhuth HH, Gömandt L (1988): *Funktionsdiagnostik des gesamten und kranken Herzens*. Thieme, Stuttgart-New York.
95. Rodriguez-Reguero J, Iglesias-Cubero G, Lopez-de-la-Iglesia J, Terrados N, Gonzales V, Cortina R, Cortina A (1995): *Prevalence and upper limit of cardiac hypertrophy in professional cyclists*. *Eur J Appl Physiol* 70: 375-378.
96. Röthig P, Größing S (2001): *Sportbiologie*. Limpert-Verlag, Stuttgart Salzburg.
97. Rost R, Hollmann W (1983): *Athlete's heart - a review of its historical assessment and new aspects*. *Int J Sports Med* 3:147-165.
98. Rowell LB (1969): *Circulation*. *Med Sci Sports Exerc* 1:15-22.

99. Sahn D, DeMaria A, Kisslo J, Weyman A (1978): The committee on M-mode standarization of the American Society of Echocardiography. Recommendations regarding quantitation in M-mode echocardiography: results of a survey of echocardiographic measurements. *Circulation* 58:1072-1082.
100. Saito K, Matsushita M (2004): The contribution of left ventricular mass to maximal oxygen uptake in female college rowers. *Int J Sports Med* 25:27-31.
101. Saltin B, Astrand PO (1967): Maximal oxygen uptake in athletes. *J Appl Physiol* 23:353-358.
102. Sandrock M, Niess A, Hansel J (2008): Comparison of the heart values to the endurance power of healthy subjects. *Clin Res Cardiol* 97:1330.
103. Scharhag J, Schneider G, Urhausen A, Rochette V, Kramann B, Kindermann W (2002): Athlete's heart: right and left ventricular mass and function in male endurance athletes and untrained individuals determined by magnetic resonance imaging. *J Am Coll Cardiol* 40:1856-1863.
104. Scharhag J, Urhausen A, Schneider G, Rochette V, Kramann B, Kindermann W (2003): Vergleich echokardiographischer Methoden zur linksventrikulären Muskelmassebestimmung mit der MRT bei Ausdauerathleten mit Sportherz und Untrainierten. *Z für Kardiol* 92:309-318.
105. Scharhag J, Löllgen H, Kindermann W (2013): Competitive sports and the heart: benefit or risk? *Dtsch Arztebl Int* 110:14-24.
106. Sharma S, Maron BJ, Whyte G, Firoozi S, Elliott PM, McKenna WJ (2002): Physiologic limits of left ventricular hypertrophy in elite junior athletes: relevance to differential diagnosis of athlete's heart and hypertrophic cardiomyopathy. *J Am Coll Cardiol* 40:1431-1436.
107. Snell PG, Martin WH, Buckey JC, Blomqvist CG (1987): Maximal vascular leg conductance in trained and untrained men. *J Appl Physiol* 62:606-610.
108. Spirito P, Pelliccia A, Proschan MA, Granata M, Spataro A, Bellone P, Caselli G, Biffi A, Vecchio C, Maron BJ (1994): Morphology of the "athlete's heart" assessed by echocardiography in 947 elite athletes representing 27 sports. *Am J Cardiol* 74:802-806.
109. Stegmann H, Kindermann W, Schnabel A (1981): Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int J Sports Med* 2:160-165.
110. Stickland MK, Welsh RC, Petersen SR, Tyberg JV, Anderson WD, Jones RL, Taylor DA, Bouffard M, Haykowsky MJ (2006): Does fitness level modulate the cardiovascular hemodynamic response to exercise? *J Appl Physiol* 100:1895-1901.
111. Strauer BE (1979): *Das Hochdruckherz*. Springer Verlag, Berlin Heidelberg.
112. Sun B, Ma JZ, Yong YH, Lu YY (2007): The upper limit of physiological cardiac hypertrophy in elite male and female athletes in China. *Eur J Appl Physiol* 101:457-463.
113. Teichholz L, Kreulen T, Herman M, Gorlin R (1976): Problems in echocardiographic volume determinations: echocardiographic-angiographic correlations in the presence or absence of asynergy. *Am J Cardiol* 37:7-11.
114. Tomasits J, Harber P (2011): *Leistungsphysiologie: Grundlagen für Trainer, Physiotherapeuten und Masseur*. Springer-Verlag, Wien NewYork.
115. Urhausen A, Kindermann W (1987): Ein- und zweidimensionale echokardiographische Herzvolumenbestimmung bei Herzgesunden im Vergleich zur röntgenologischen Methode und zu spiroergometrischen Parametern. *Herz/Kreisla* 19:525-528.
116. Urhausen A, Kindermann W (1992): Echocardiographic findings in strength- and endurance-trained athletes. *Sports Med* 4:270-284.
117. Urhausen A, Coen B, Weiler B, Kindermann W (1993): Individual anaerobic threshold and maximum lactate steady state. *Int J Sports Med* 14:134-139.



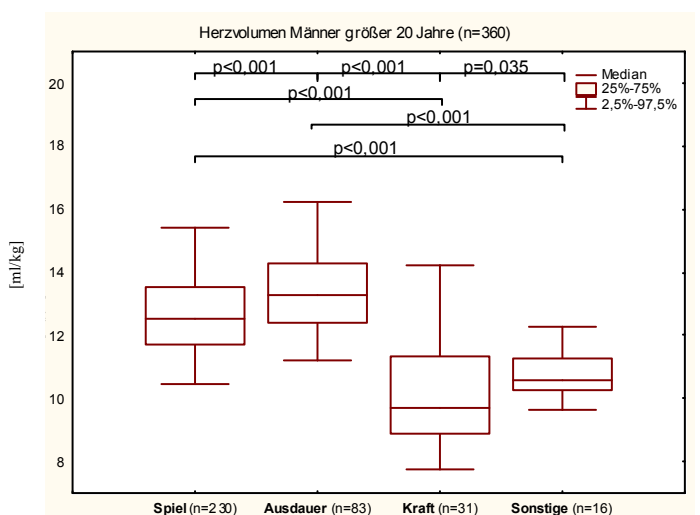
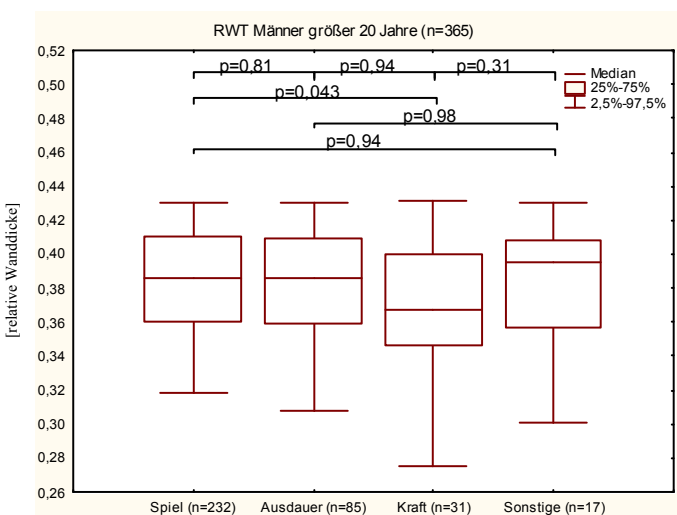
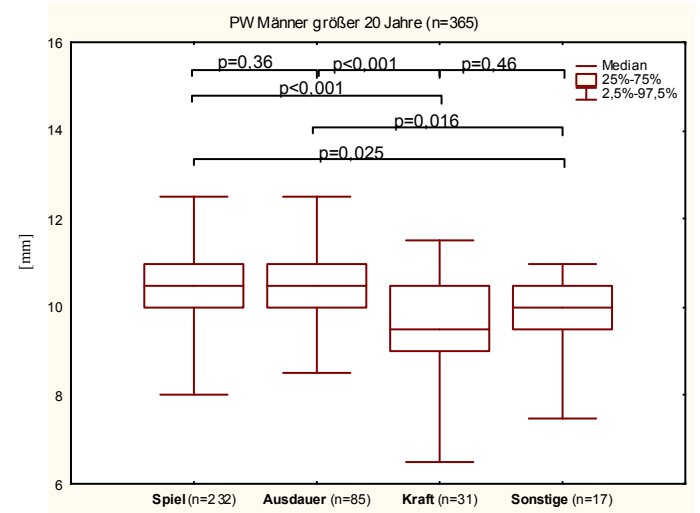
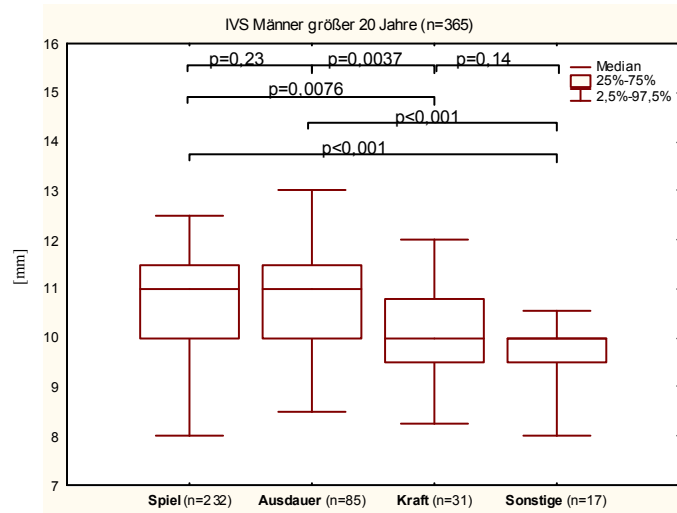
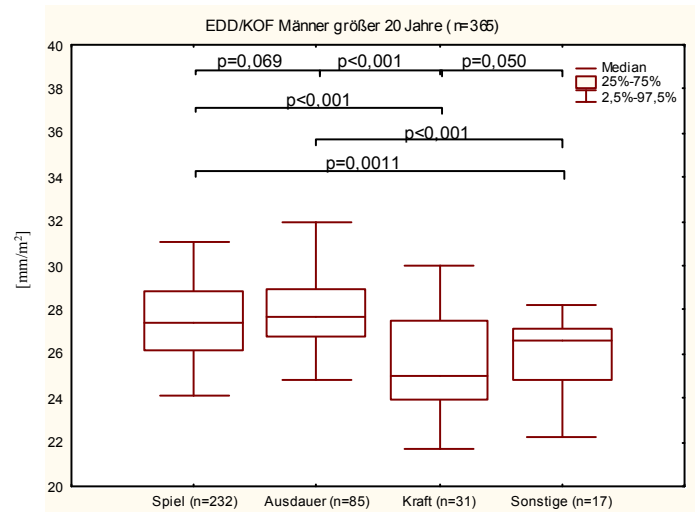
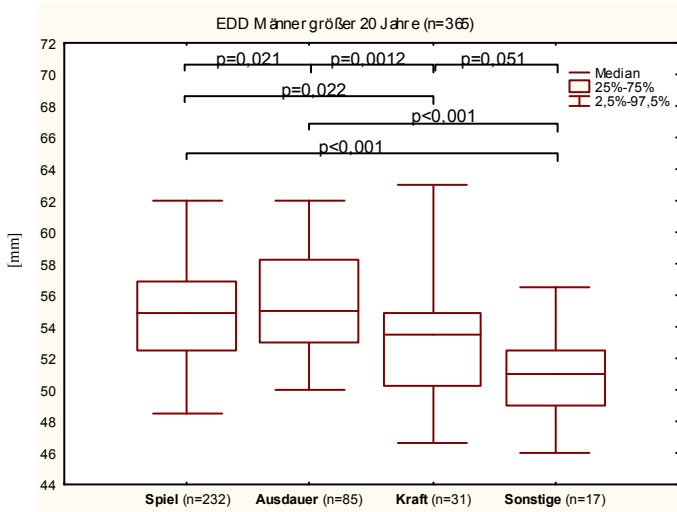
118. Urhausen A, Erpelding J, Kindermann W (1993): Beurteilung von echokardiographischen Parametern unter Berücksichtigung der Körperdimensionen. *Dtsch Z Sport Med* 44:67-71.
119. Urhausen A, Kindermann W (1996): Echokardiographie und Differentialdiagnostik zwischen Sport- und krankheitsbedingter Herzhypertrophie. *Dtsch Z Sport Med* 47:144-152.
120. Urhausen A, Monz T, Kindermann W (1997): Echocardiographic criteria of physiological left ventricular hypertrophy in combined strength- and endurance-trained athletes. *Int J Card Imaging* 13:43-52.
121. Urhausen A, Kindermann W (1998): Sudden cardiac death in sports. *Ther Umsch* 4:229-234.
122. Urhausen A, Kindermann W (1999): Sports-specific adaptations and differentiation of the athlete's heart. *Sports Med* 28:237-244.
123. Van Camp SP, Bloor CM, Müller FO, Cantu RC, Olson HG (1995): Nontraumatic sports death in high school and college athletes. *Med Sci Sports Exerc* 27:641-647.
124. Walter R, Schmitt W, Kindermann W (1985): Differentialdiagnose der Herzvergrößerung – Bedeutung der Sportanamnese zur Abgrenzung der physiologischen und der pathologischen Herzvergrößerung. In: Franz IW, Mellerowicz H, Noack W: *Training und Sport zur Prävention und Rehabilitation in der technisierten Umwelt*. Springer, Berlin Heidelberg New York.
125. Whalley GA, Doughty RN, Gamble GD, Oxenham HC, Walsh HJ, Reid IR, Baldi JC (2004): Association of fat-free mass and training status with left ventricular size and mass in endurance-trained athletes. *J Am Coll Cardiol* 44:892-896.
126. Whyte GP, Lumley S, George K, Gates P, Sharma S, Prasad K, McKenna WJ (2000): Physiological profile and predictors of cycling performance in ultra-endurance triathletes. *J Sports Med Phys Fitness* 40:103-109.
127. Whyte GP, George K, Sharma S, Firoozi S, Stephens N, Senior R, McKenna WJ (2004): The upper limit of physiologic cardiac hypertrophy in elite male and female athletes: The british experience. *Eur J Appl Physiol* 92:592-597.
128. Winter EM, Brooks GA (2007): From Euclid to Molecular Biology and Gene Expression: Where Now for Allometric Modeling. *Exerc Sport Sci Rev* 35:83-85.
129. Young LE, Rogers K, Wood JL (2005): Left ventricular size and systolic function in Thoroughbred racehorses and their relationships to race performance. *J Appl Physiol* 99:1278-1285.
130. Zandrino F, Molinari G, Smeraldi A, Odaglia G, Masperone MA, Sardanelli F (2000): Magnetic resonance imaging of Athlete's Heart: Myocardial mass, Left ventricular function, and cross-sectional area of the coronary arteries. *Eur Radiol* 10:319-325.
131. Zhou B, Conlu RK, Jensen R, Fellingham GW, George JD, Fisher AG (2001): Stroke Volume does not plateau during graded exercise in elite male distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 33:1849-1854.

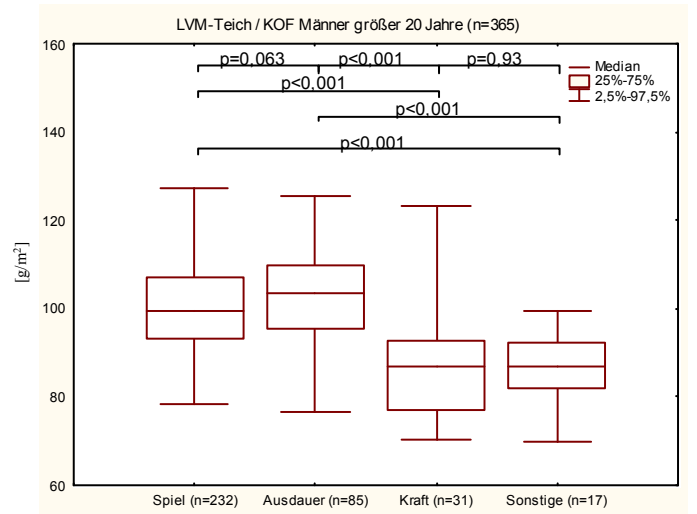
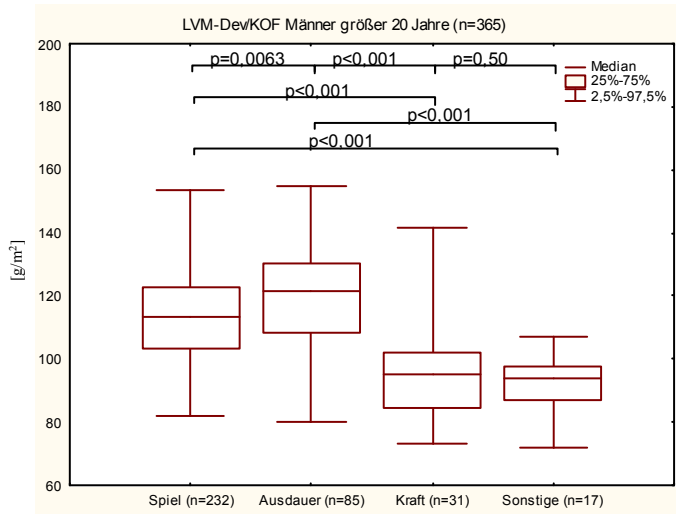
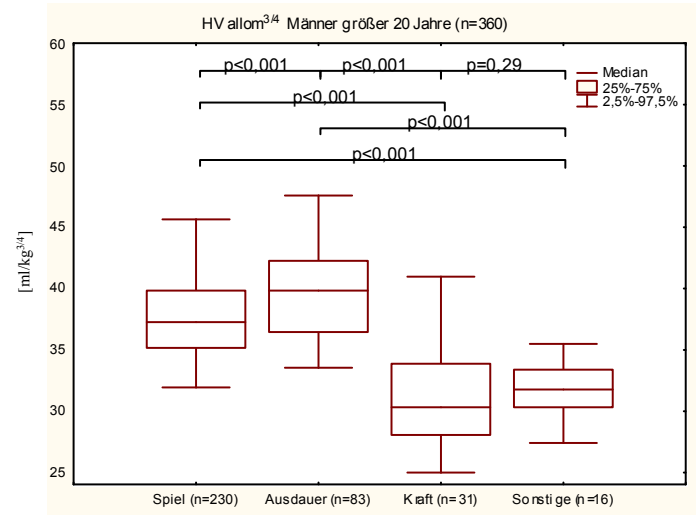
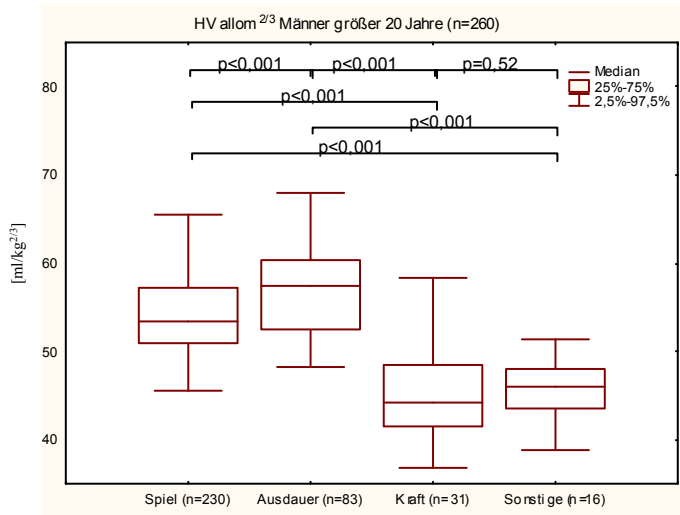
## 7 ANHANG

### Zur Erklärung der Box-Plots:

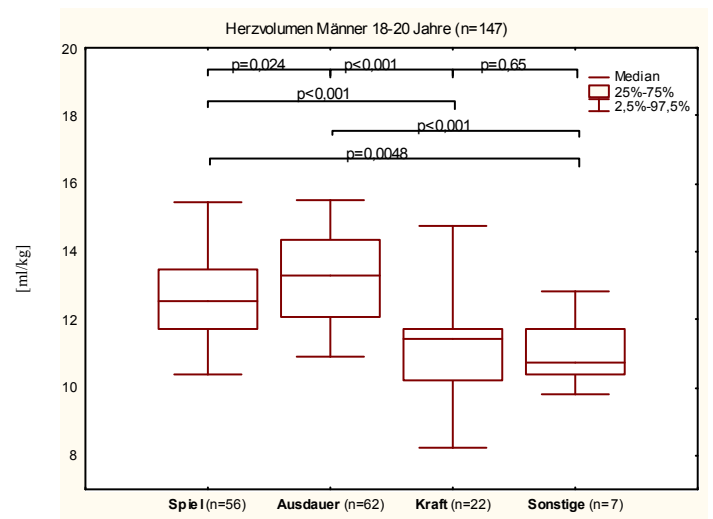
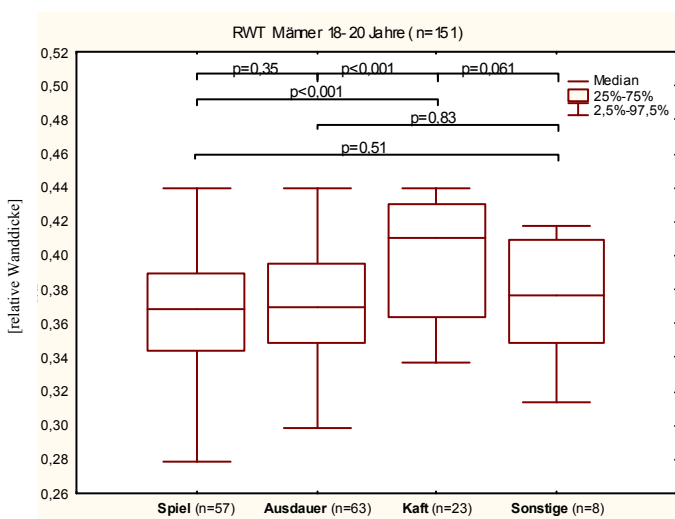
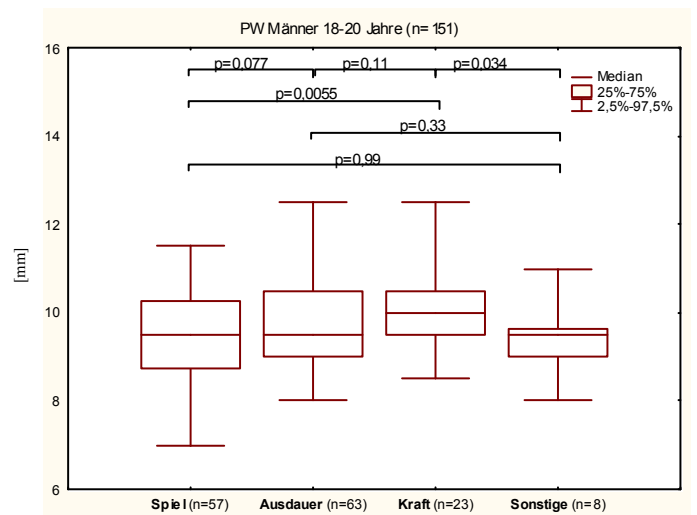
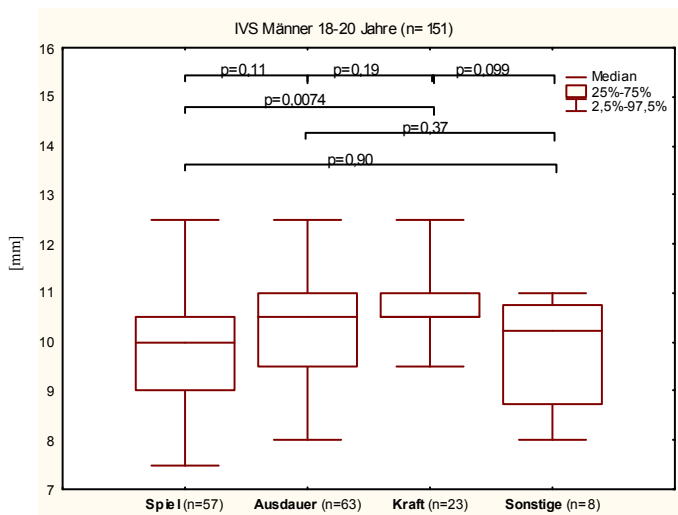
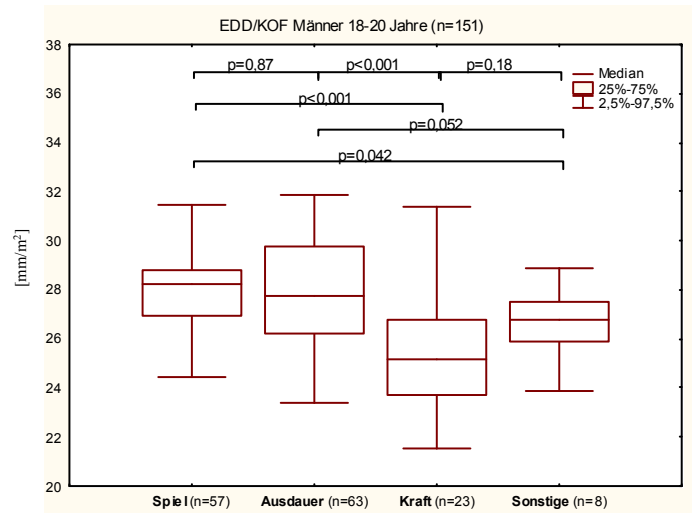
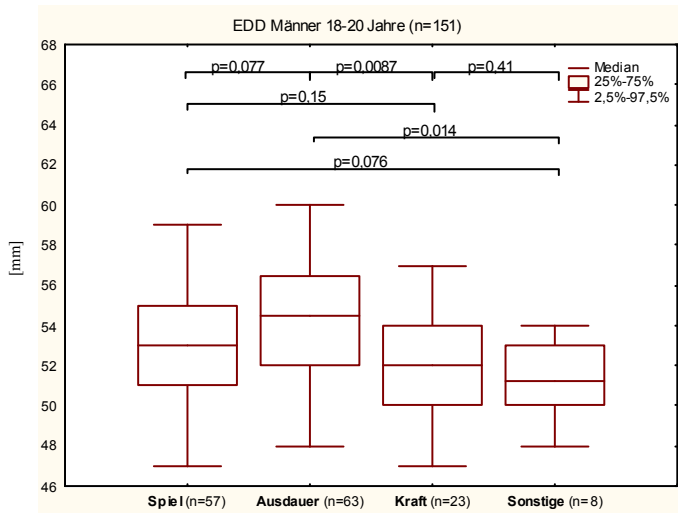
Rechts oben sind der Median (Mittelwert), die 25%-75% Box (d.h. 25-75% der Messwerte liegen in diesem Bereich) und das 95%-Konfidenzintervall (als 2,5%-97,5%, d.h. 95% der Messwerte liegen in diesem Intervall) angegeben. Die p-Werte einzelner Gruppenvergleiche stehen oberhalb der jeweiligen Markierung. Die Gesamtzahl der jeweiligen Studienteilnehmer steht oberhalb eines jeden Plots (n=...). Unterhalb eines jeden Plots ist die jeweilige Gruppenstärke sportartenspezifisch sortiert angegeben. Die relative Wanddicke (RWT) ist als Dezimale angegeben und wird im Ergebnisstil oder der Diskussion als Prozentzahl [%] beschrieben.

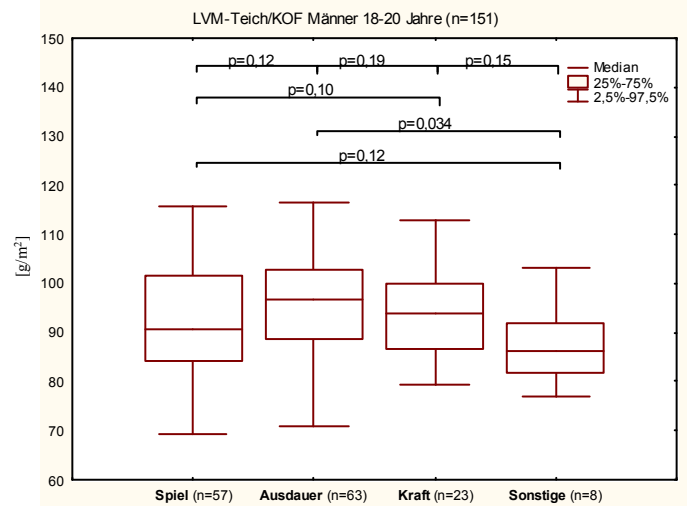
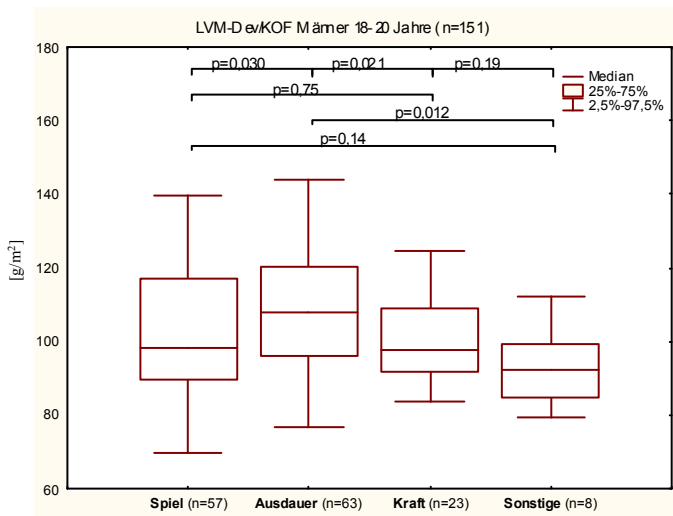
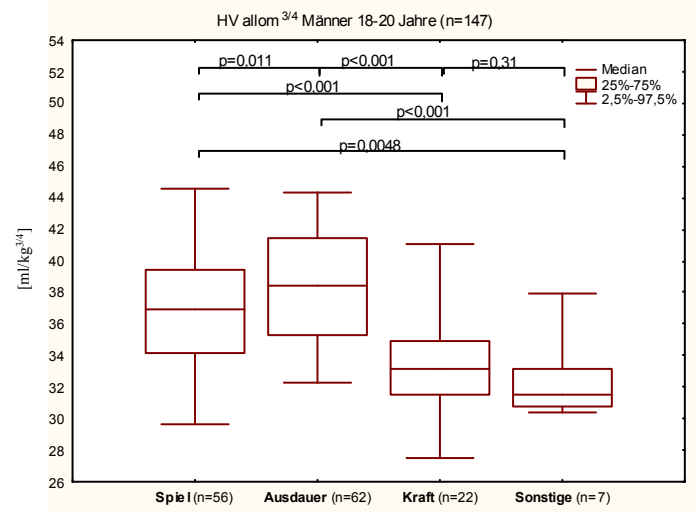
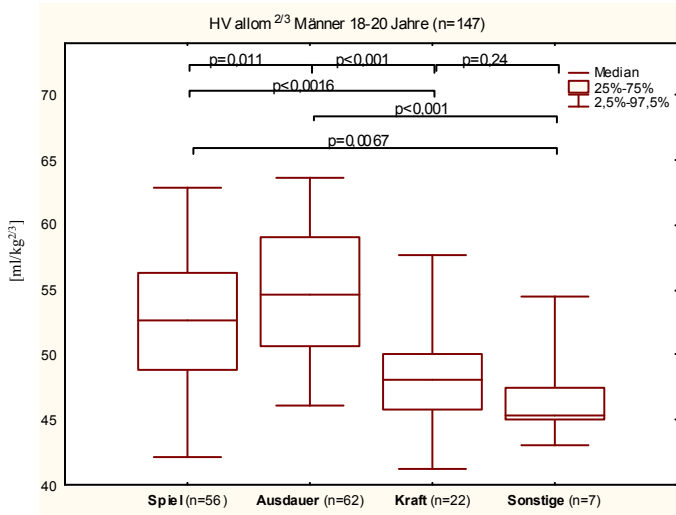
Abbildungen 23: Box-Plots Männer  $\geq 20$  Jahre



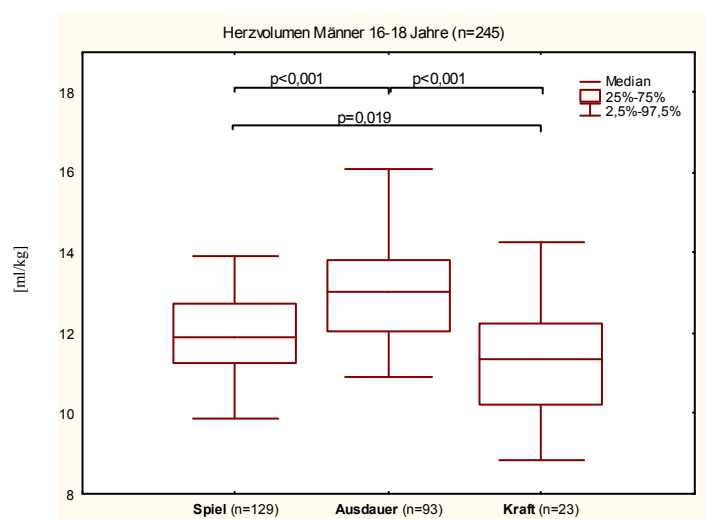
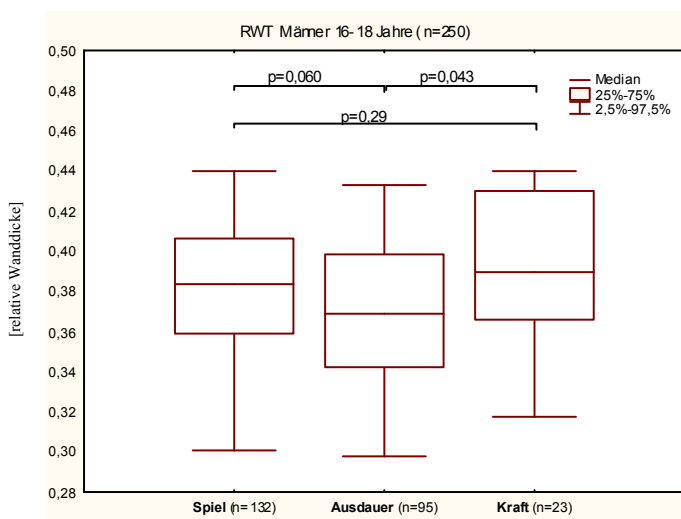
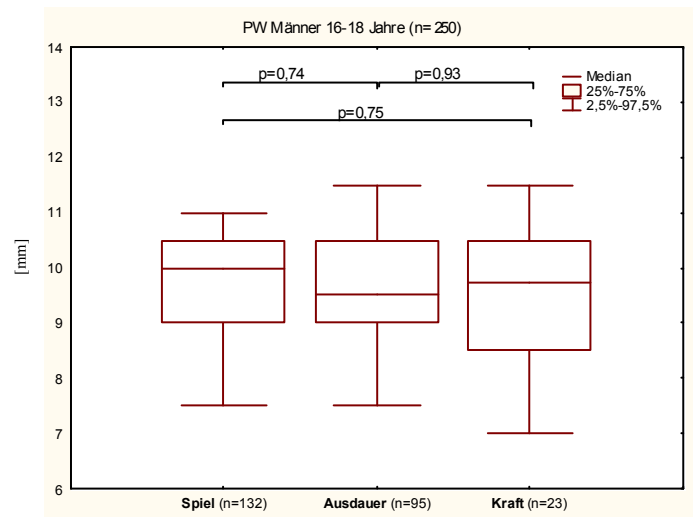
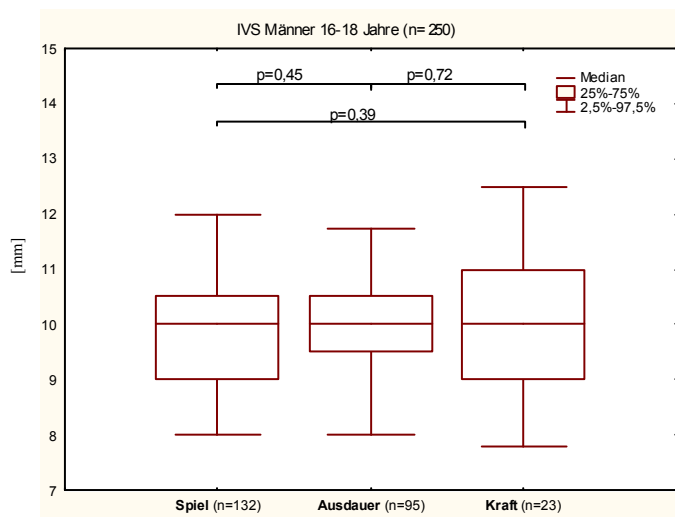
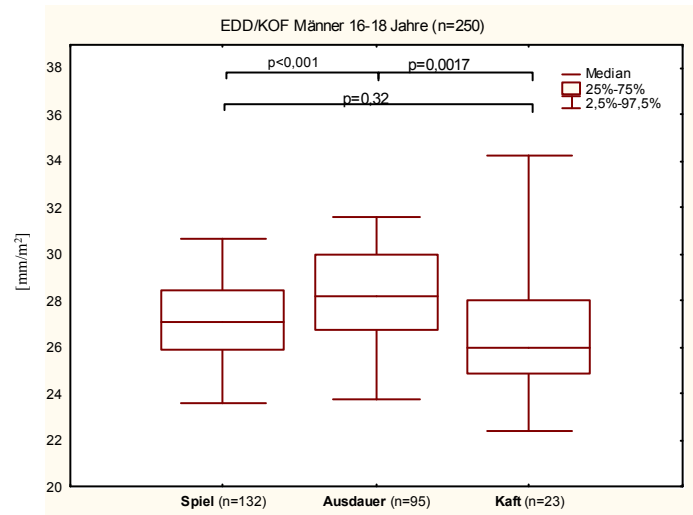
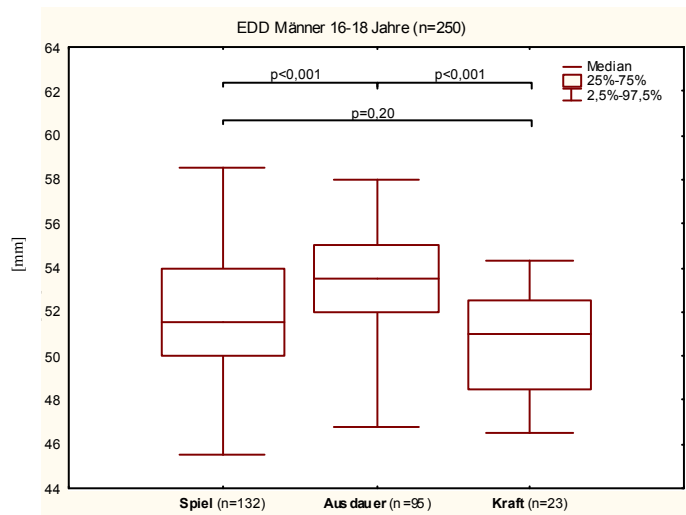


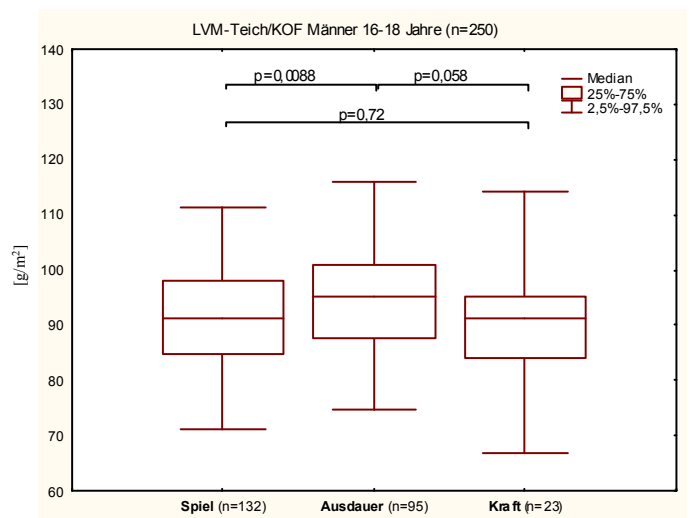
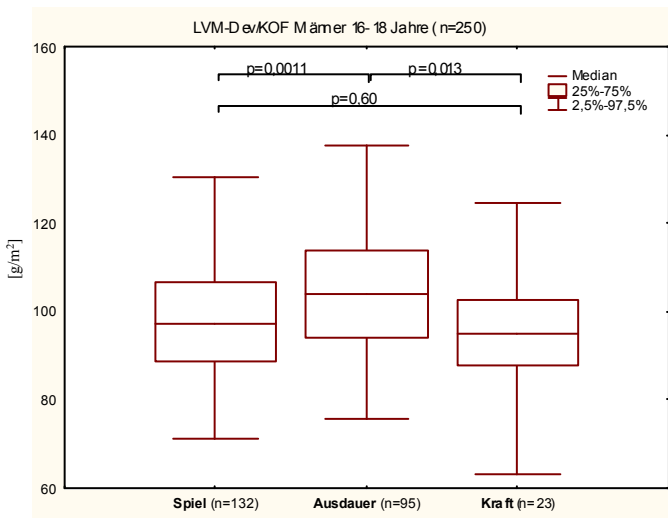
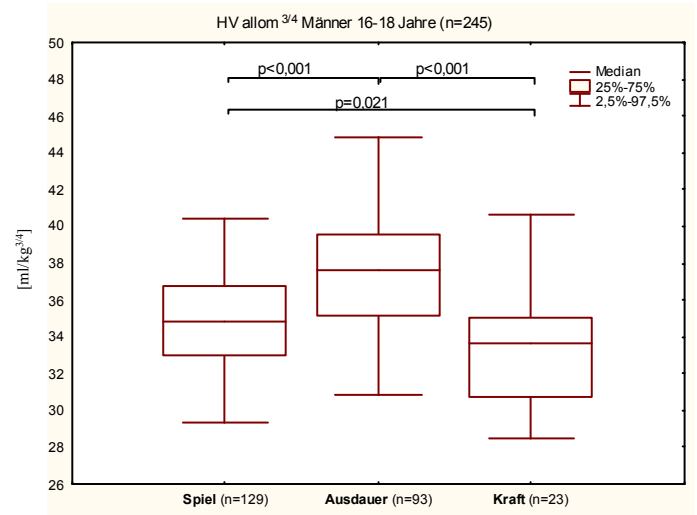
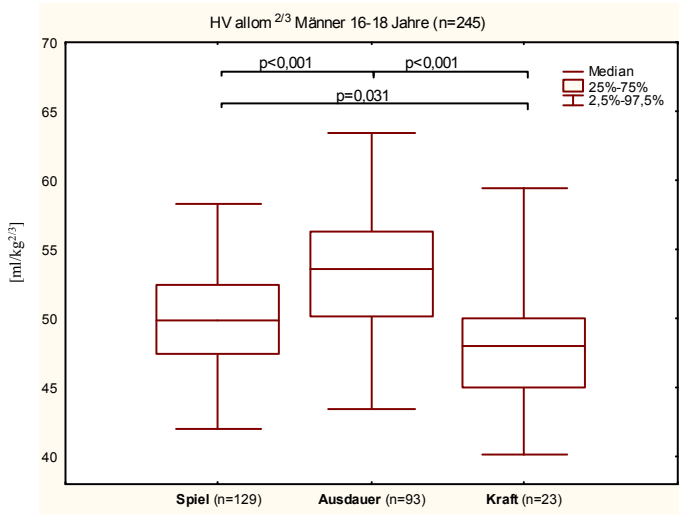
Abbildungen 24: Box-Plots Männer  $\geq 18$  -  $< 20$  Jahre





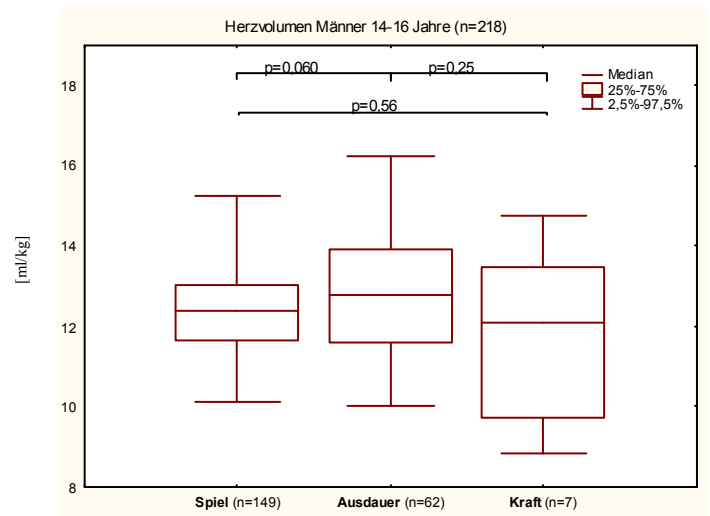
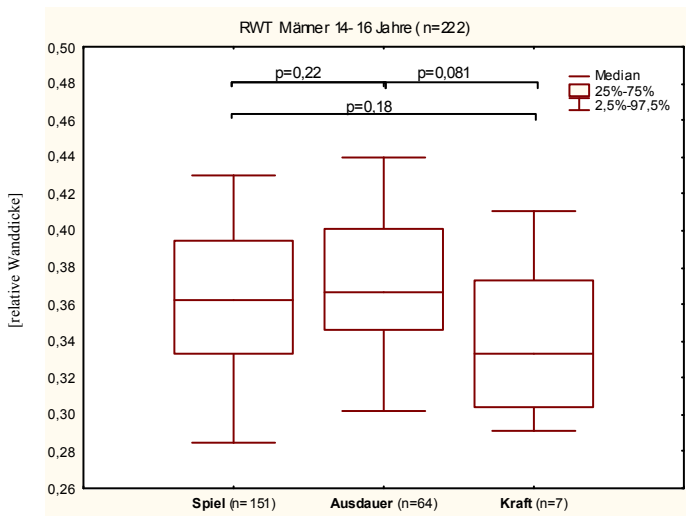
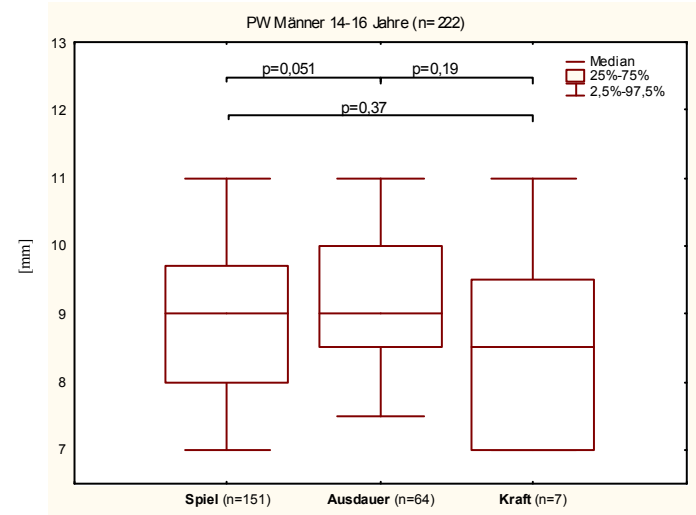
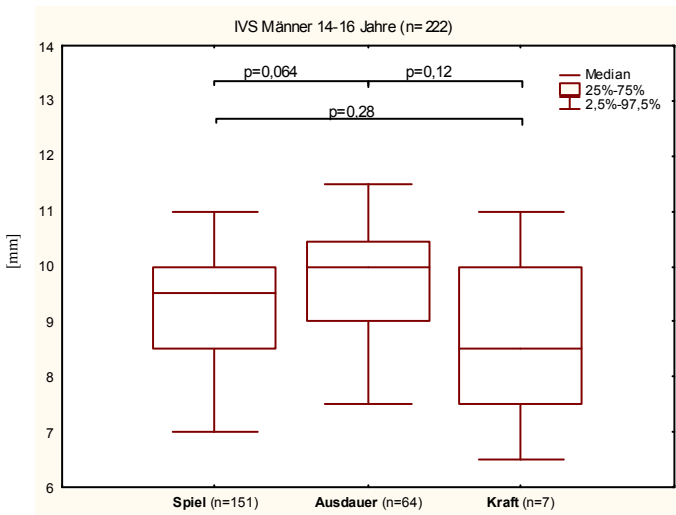
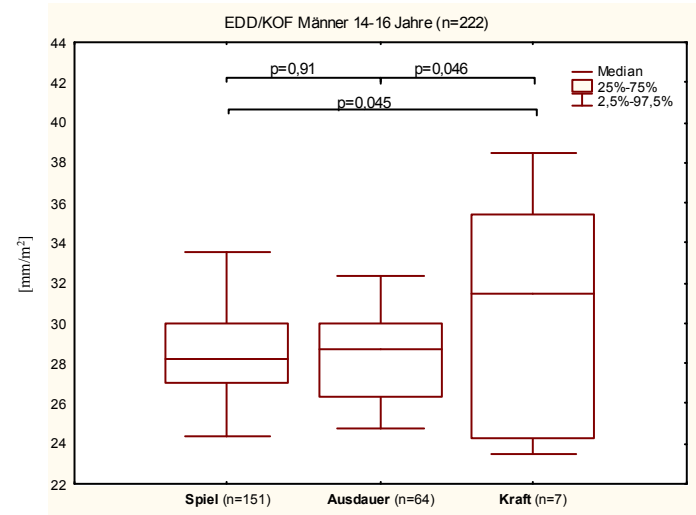
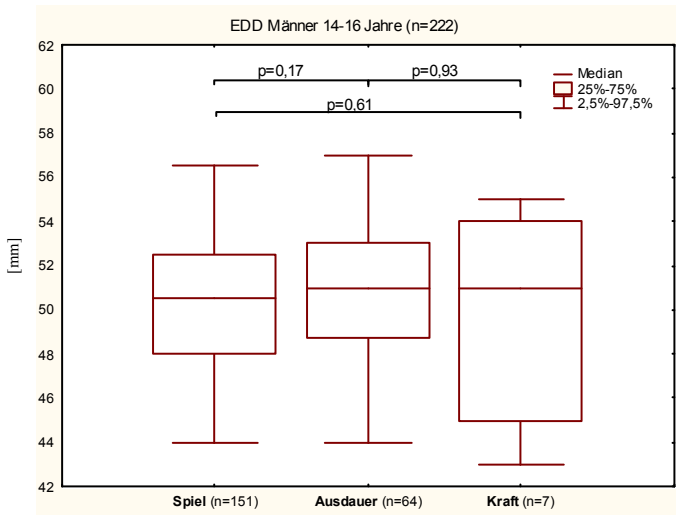
Abbildungen 25: Box-Plots Männer  $\geq 16$  -  $< 18$  Jahre

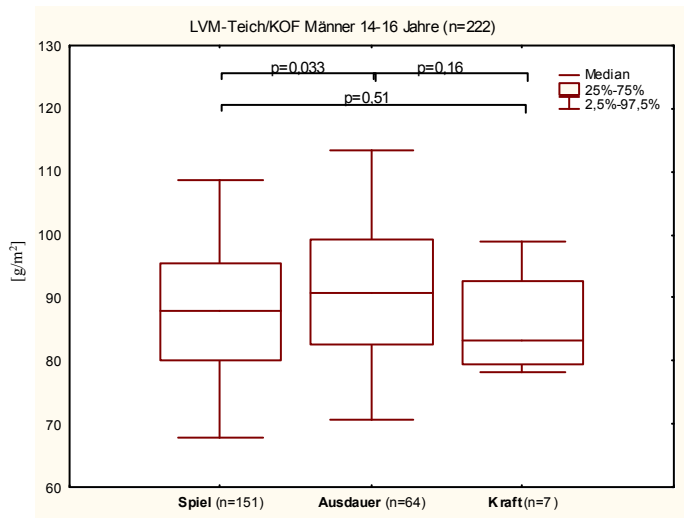
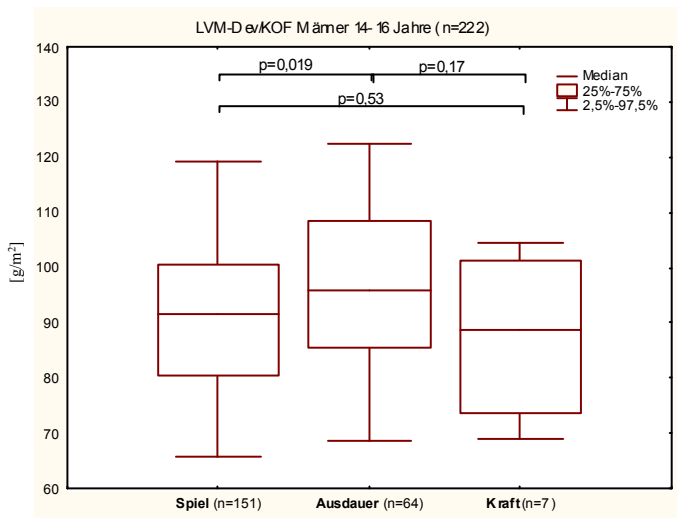
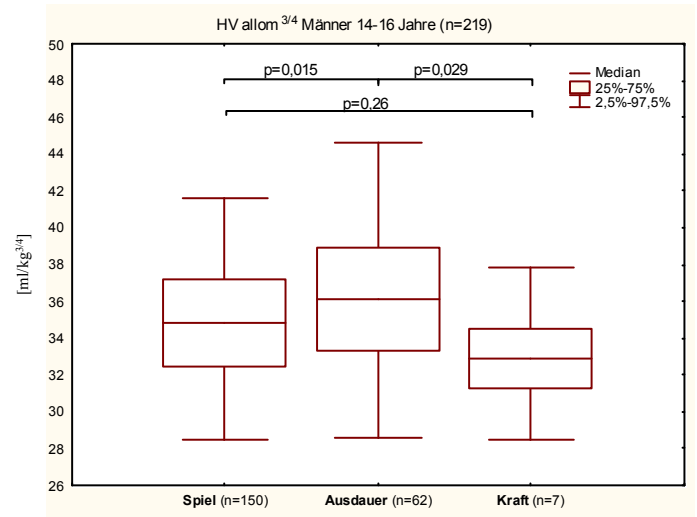
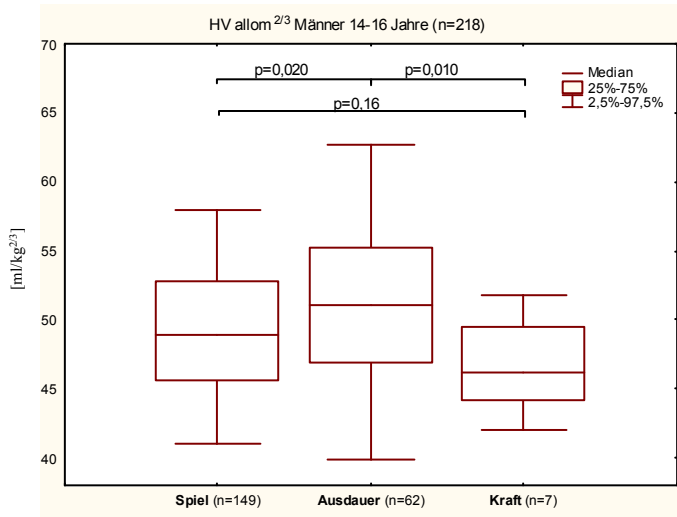




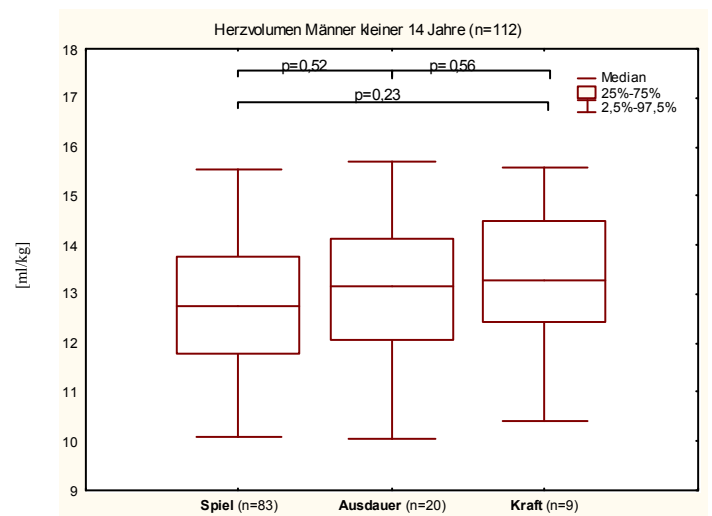
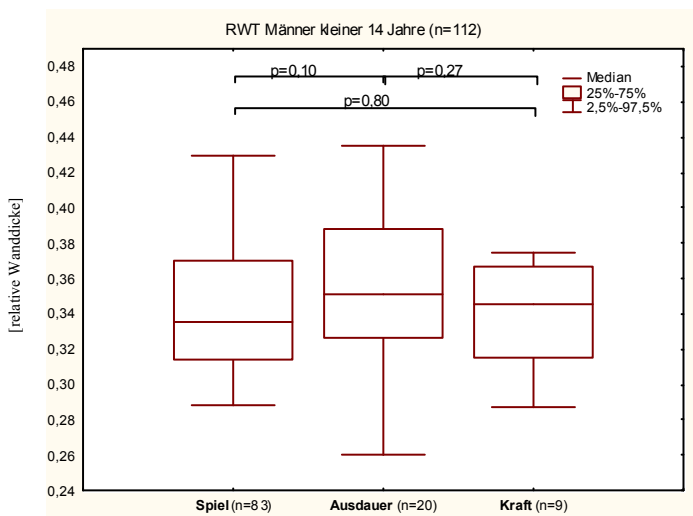
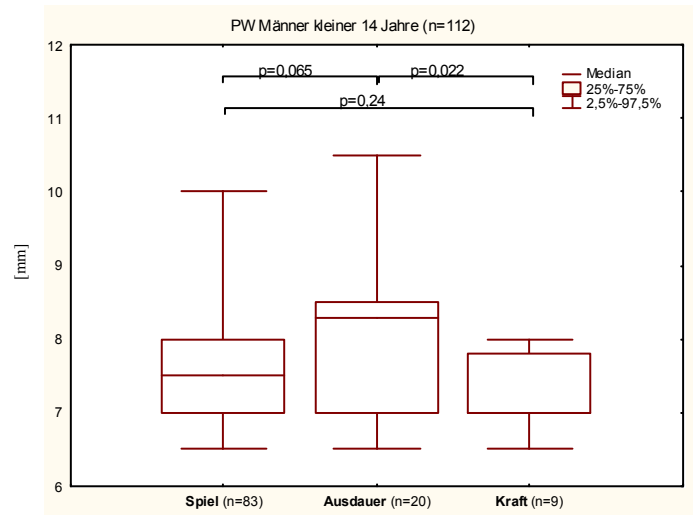
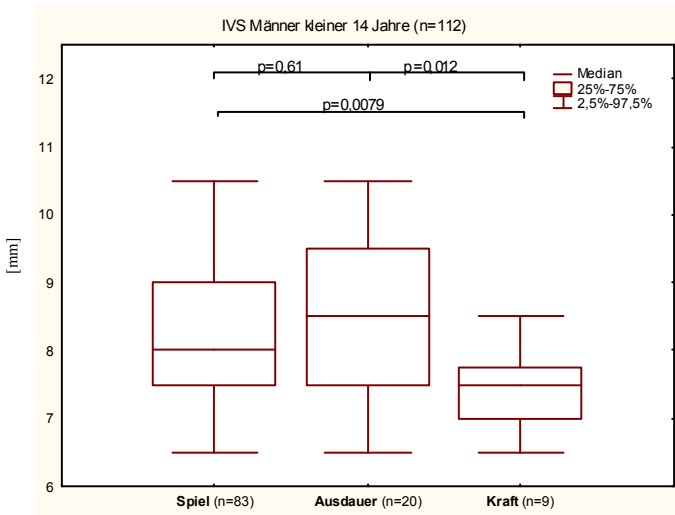
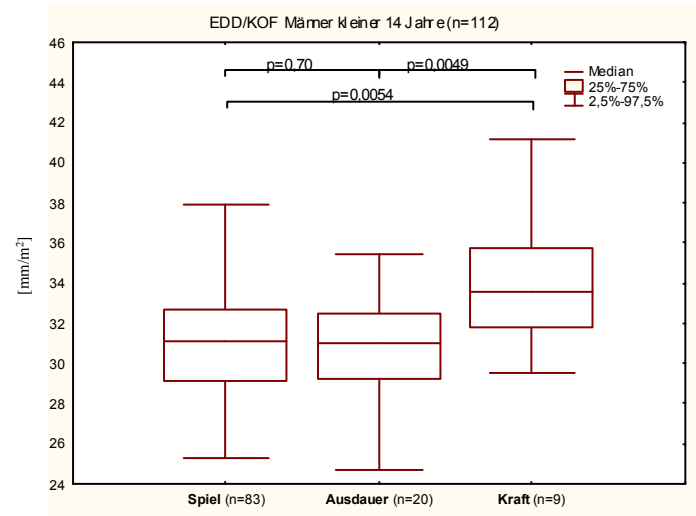
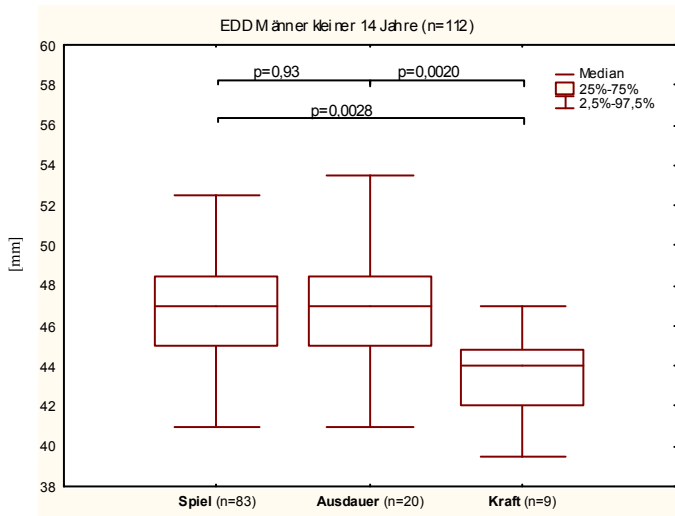


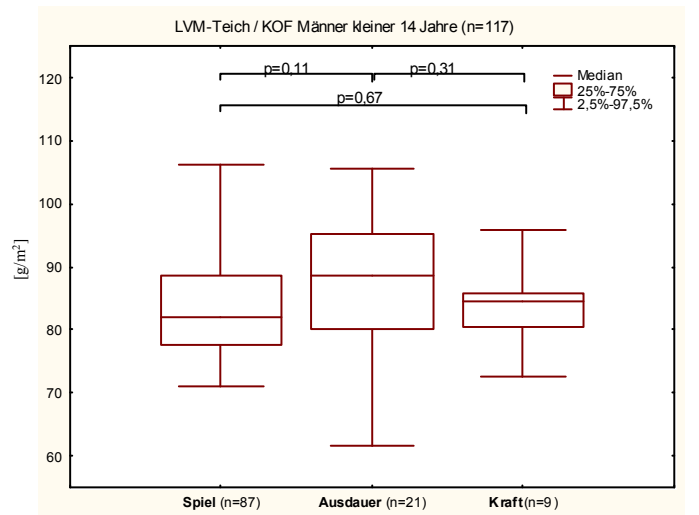
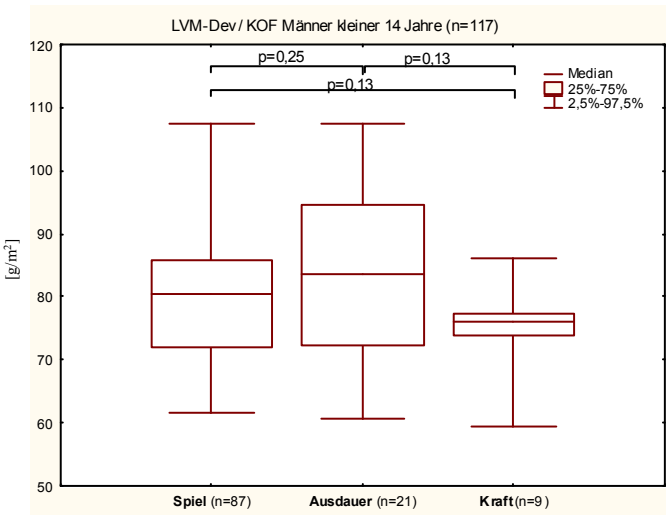
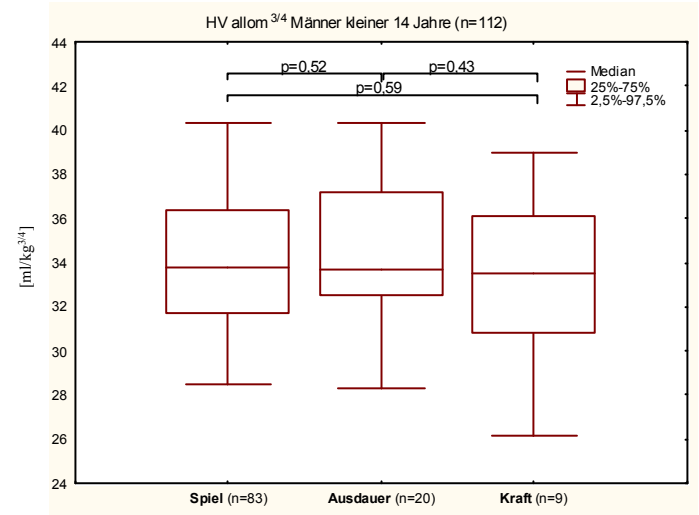
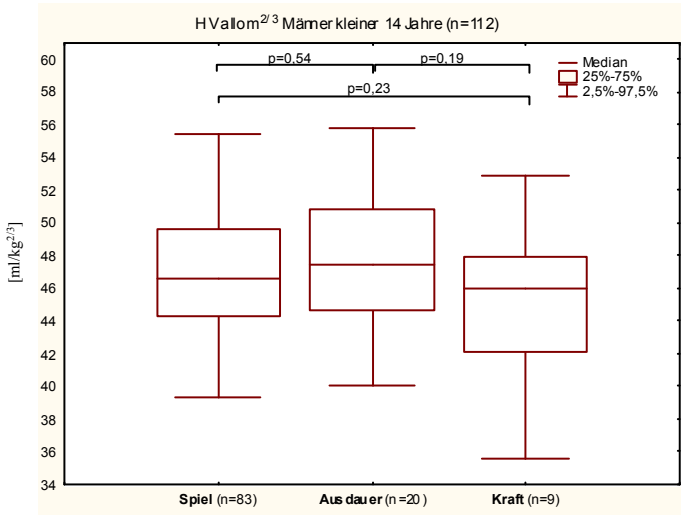
Abbildungen 26: Box-Plots Männer  $\geq 14$  -  $< 16$  Jahre



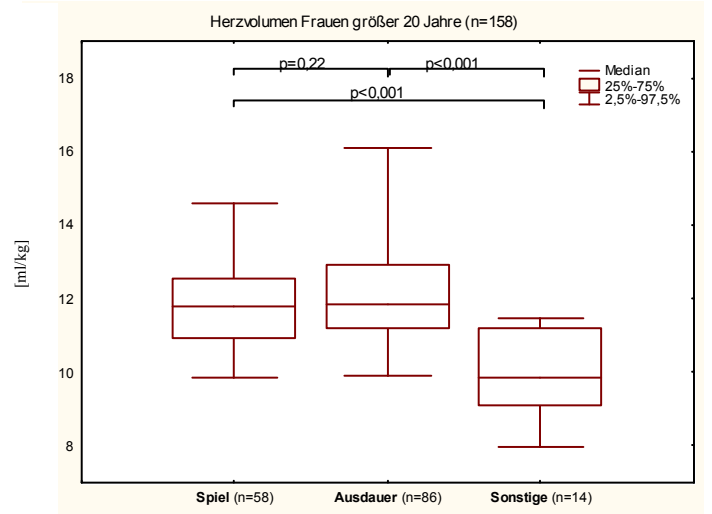
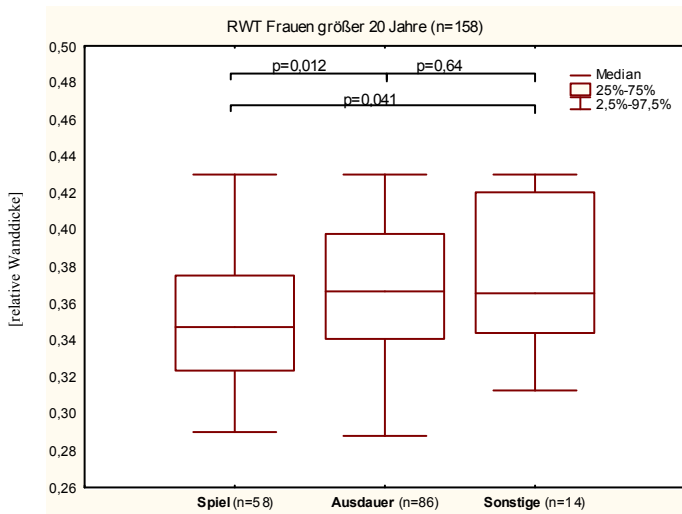
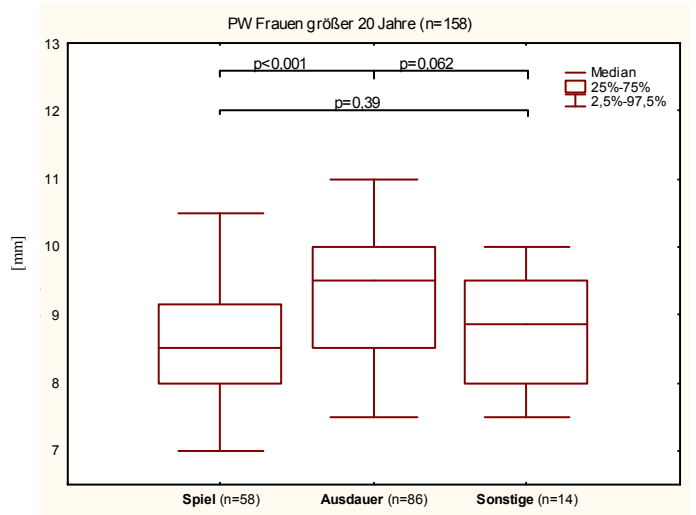
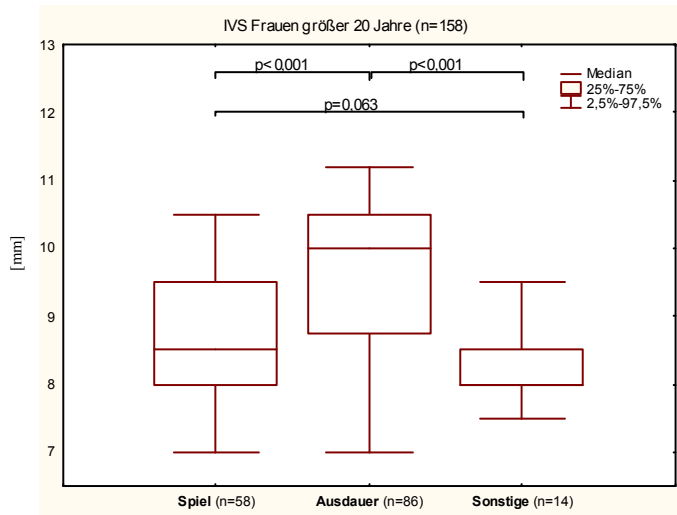
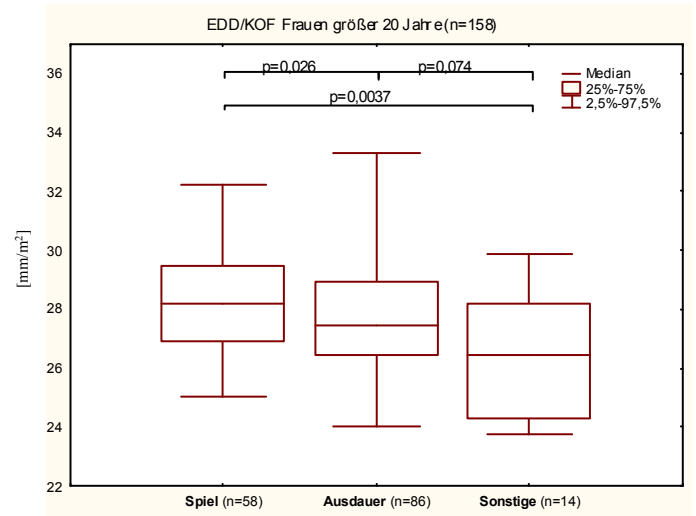
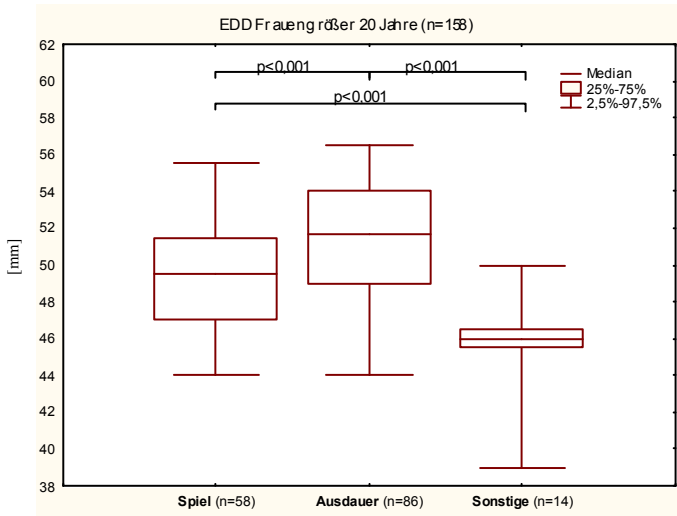


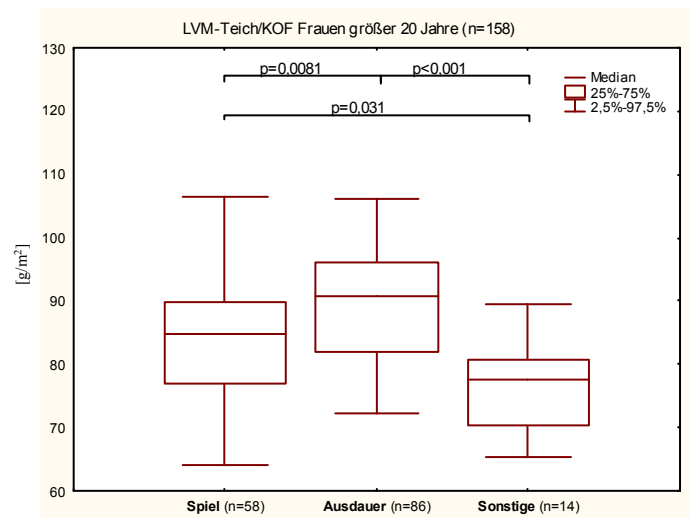
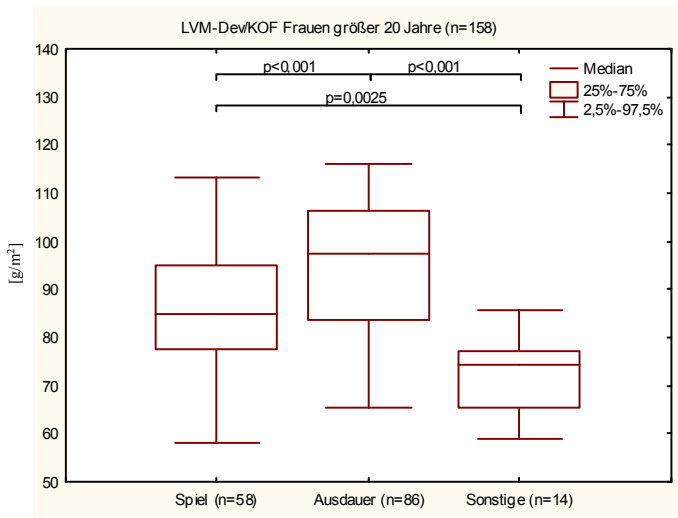
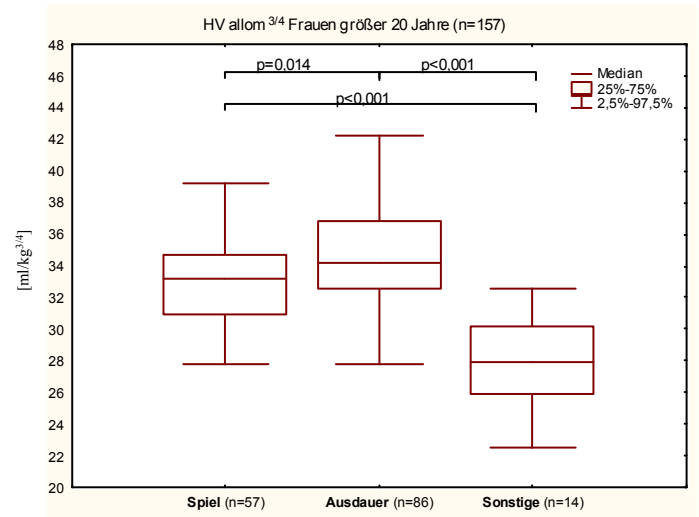
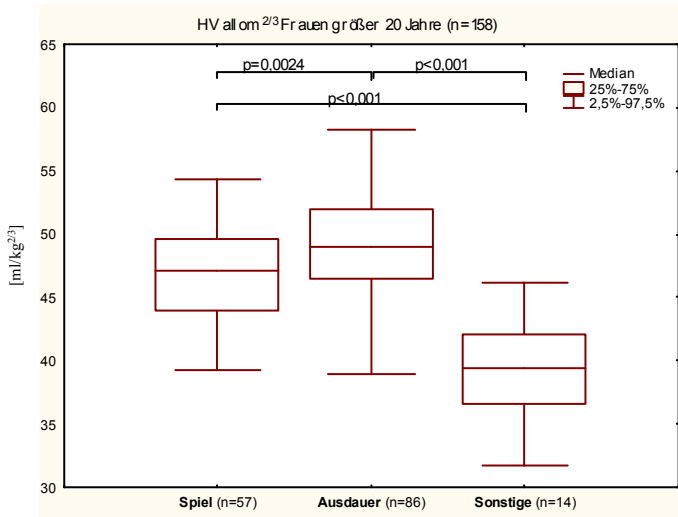
Abbildungen 27: Box-Plots Männer < 14 Jahre



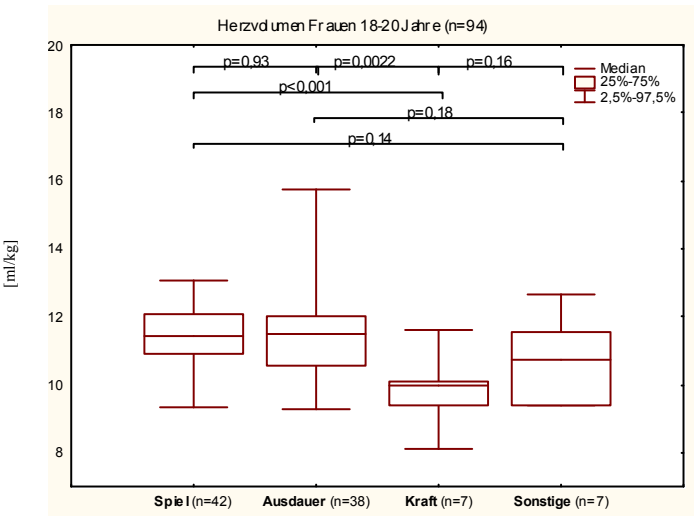
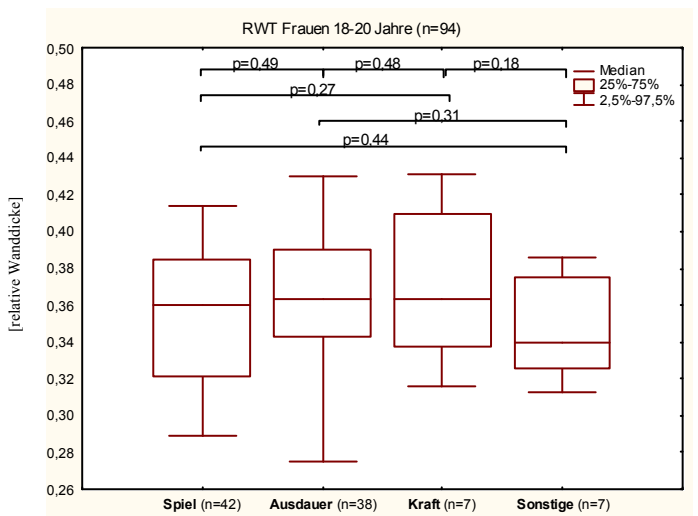
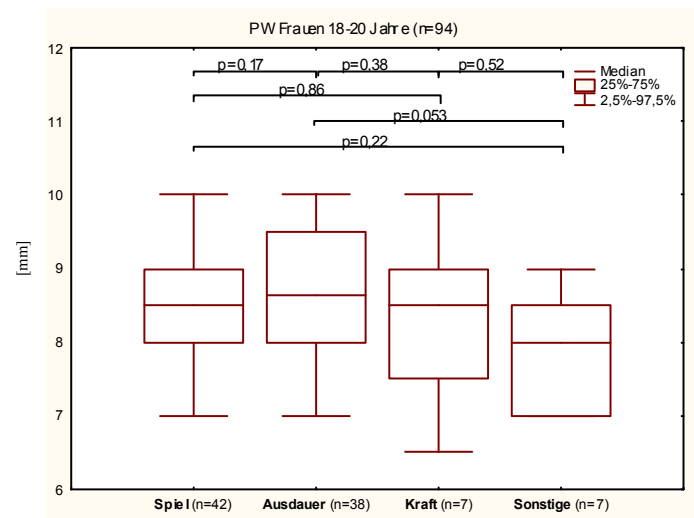
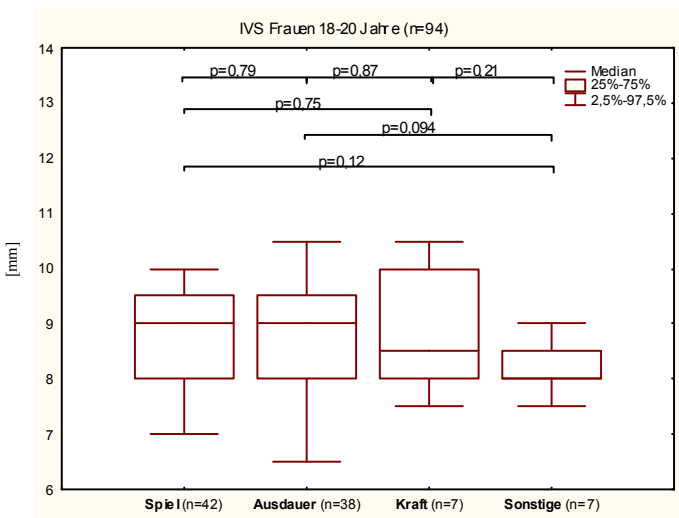
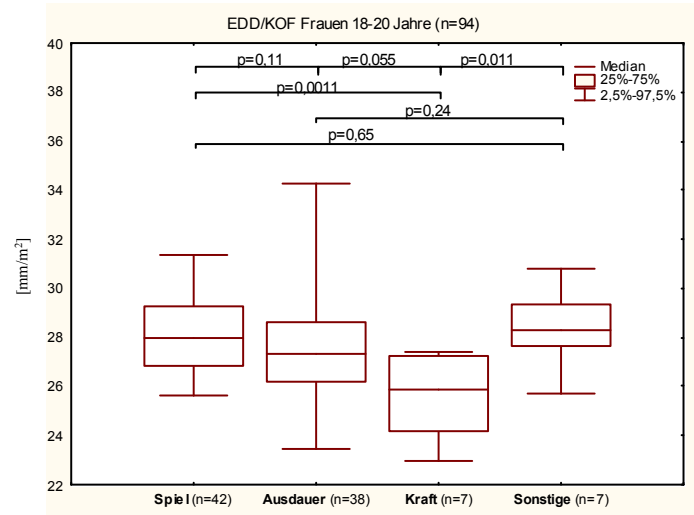
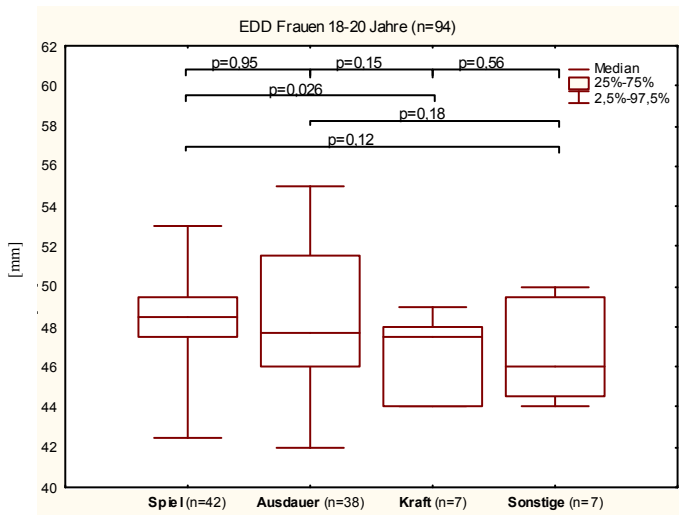


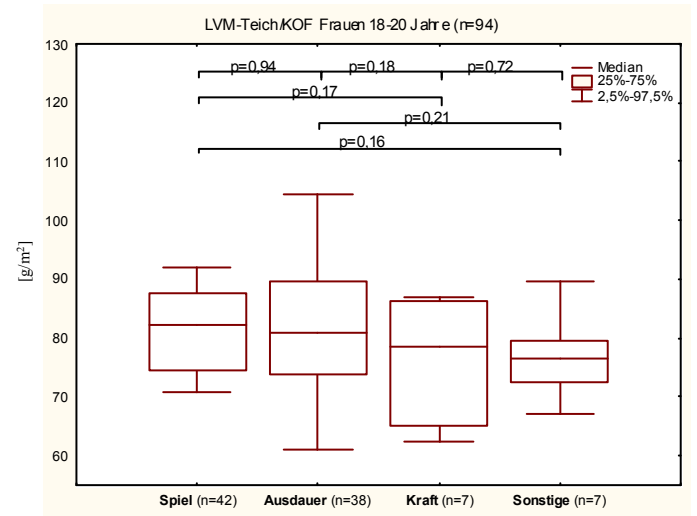
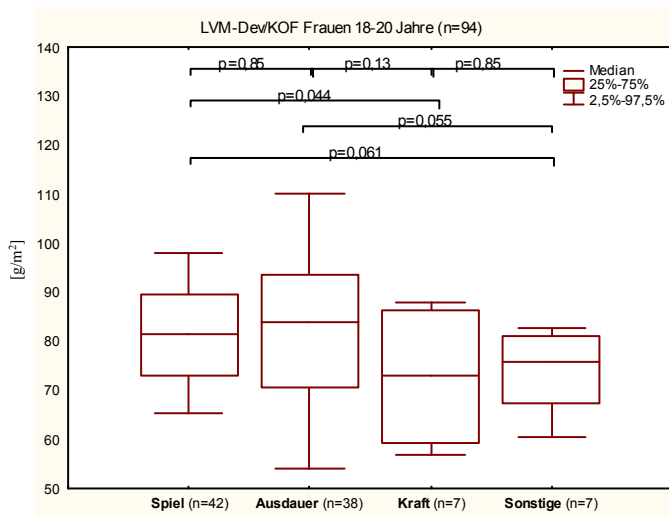
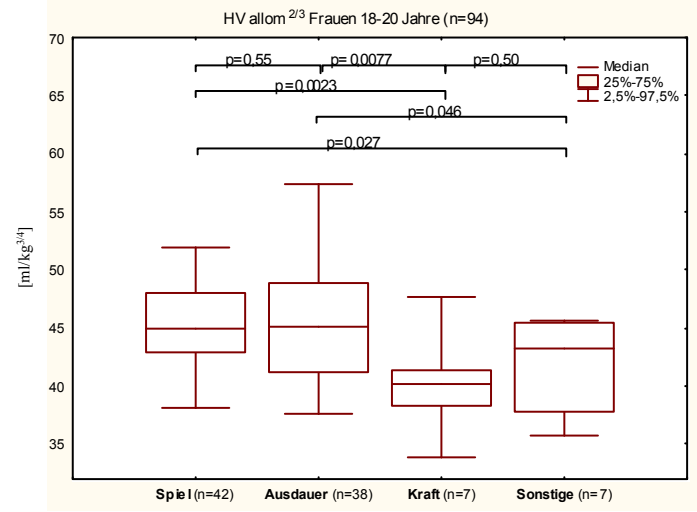
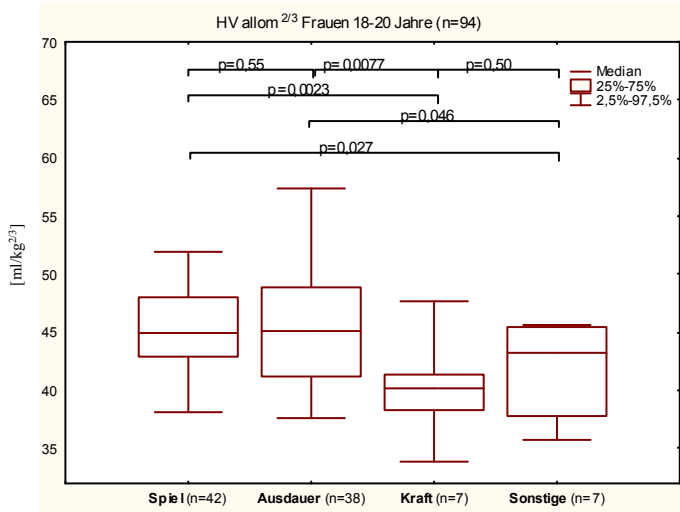
Abbildungen 28: Box-Plots Frauen  $\geq 20$  Jahre





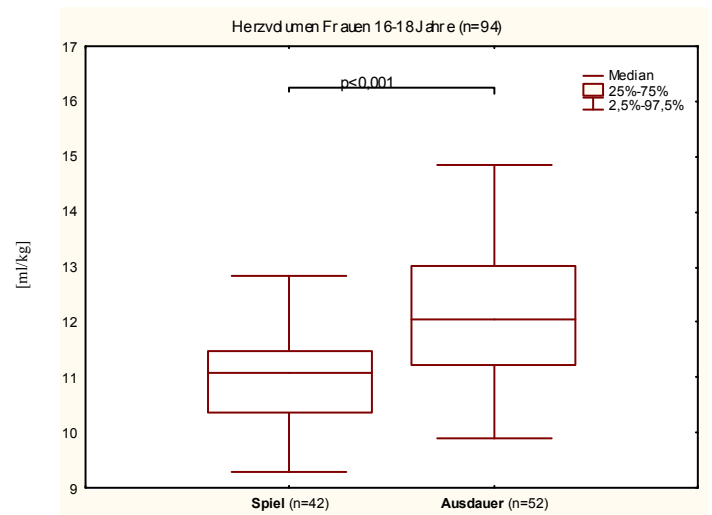
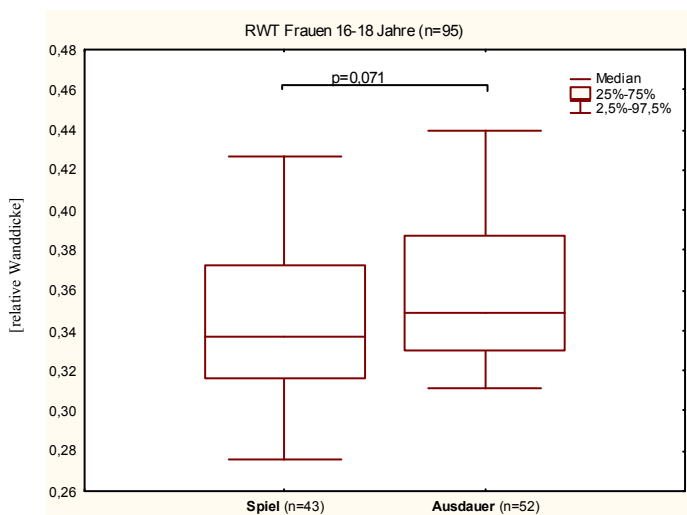
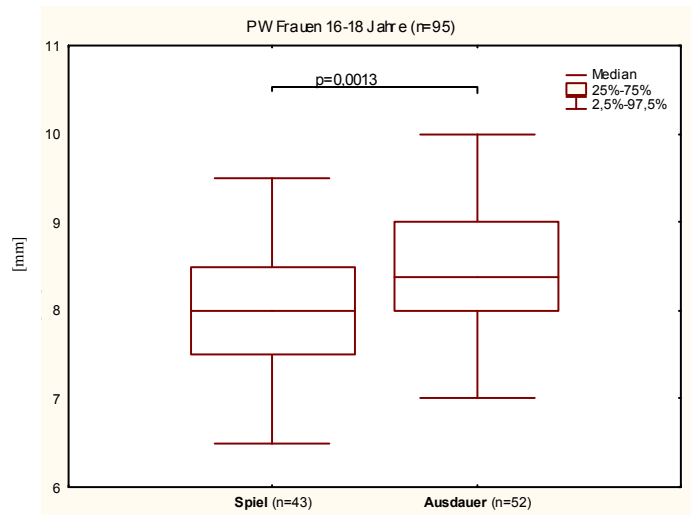
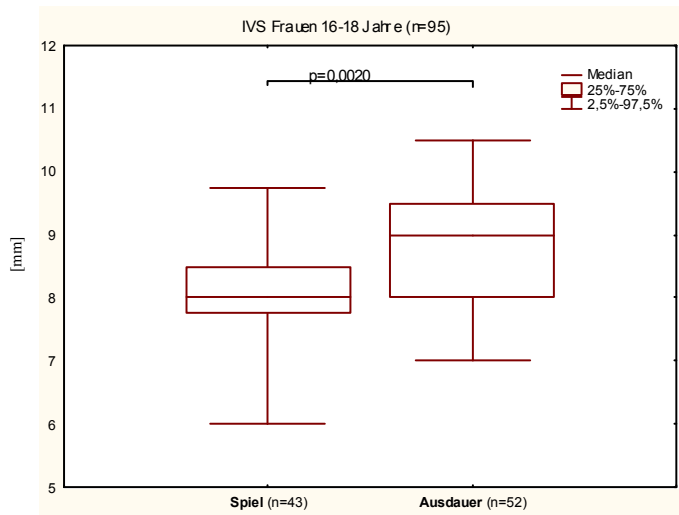
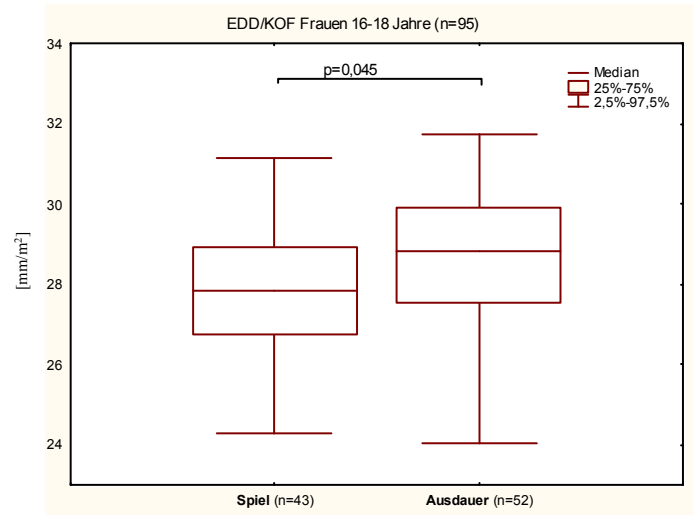
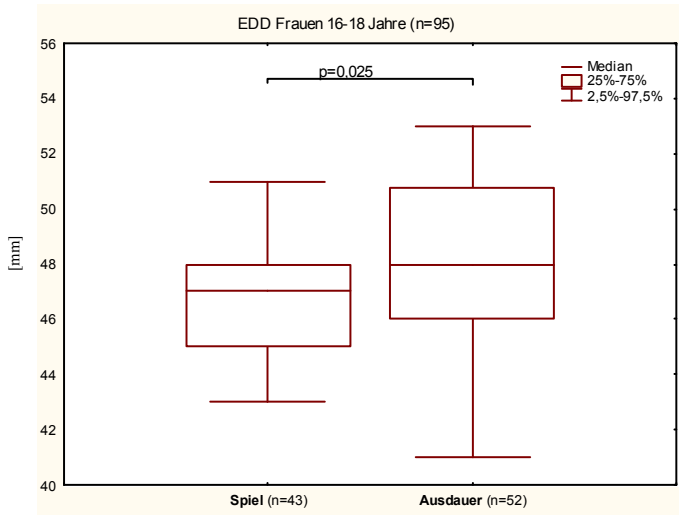
Abbildungen 29: Box-Plots Frauen  $\geq 18$  -  $< 20$  Jahre

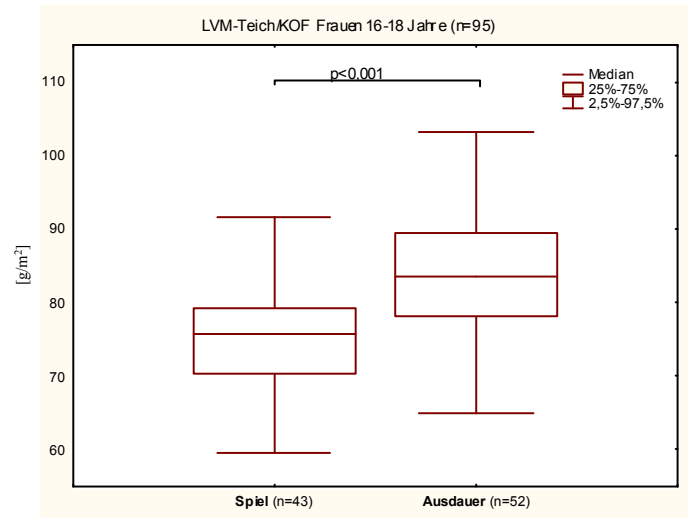
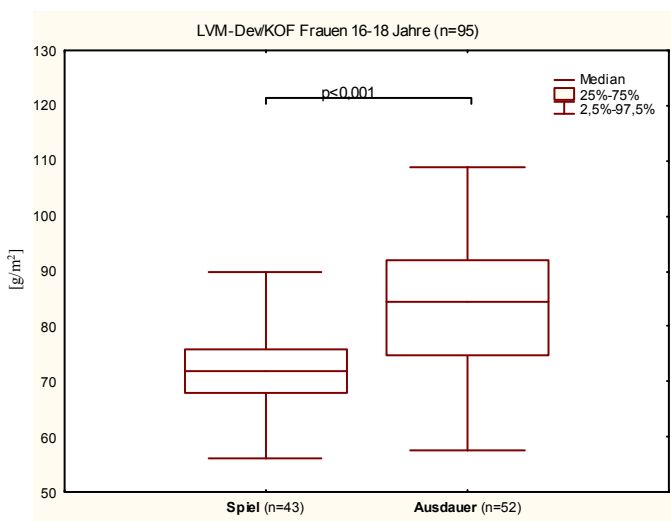
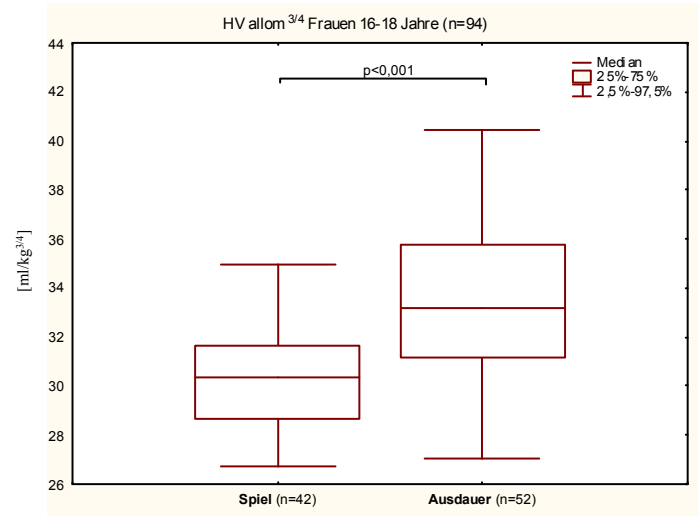
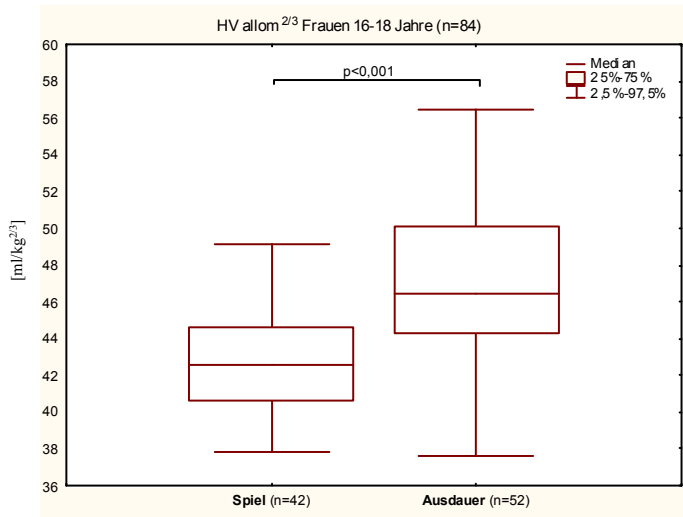




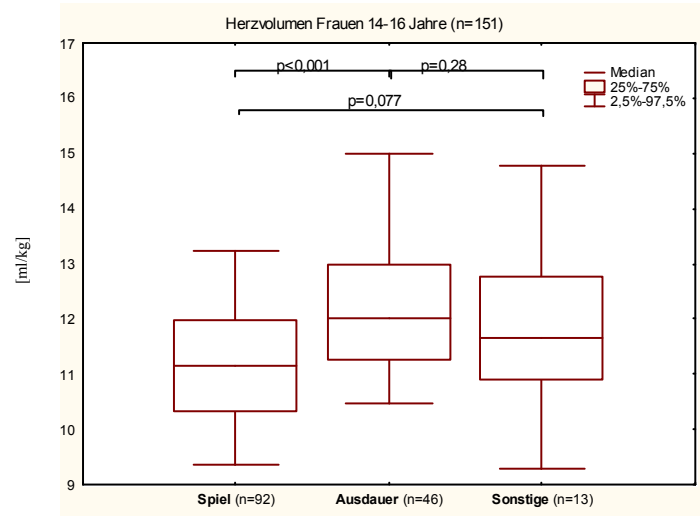
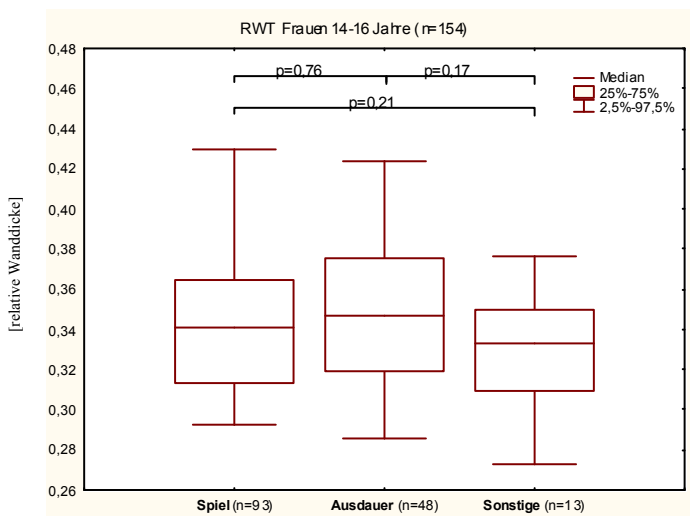
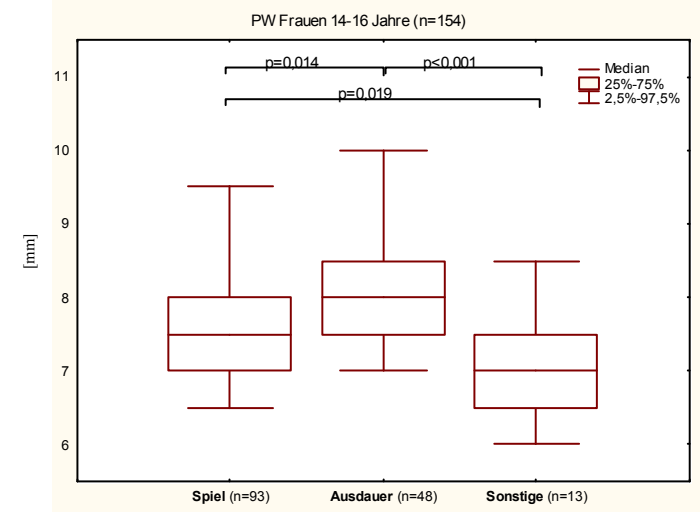
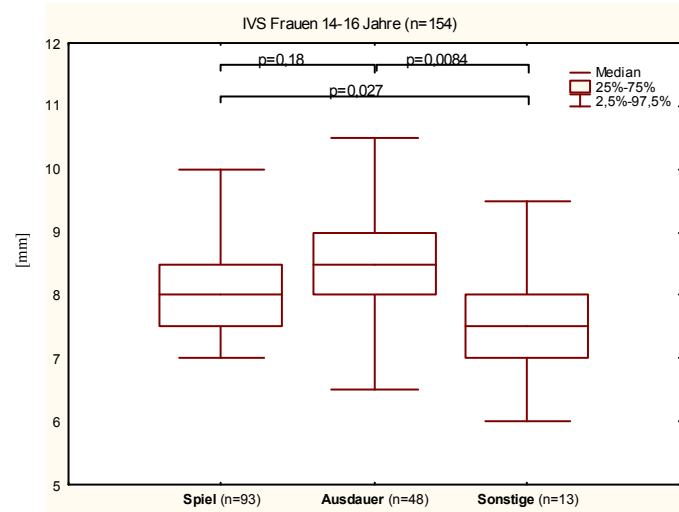
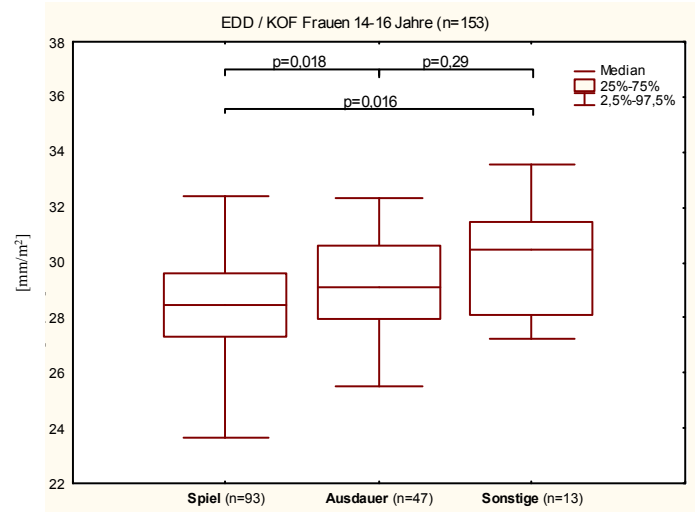
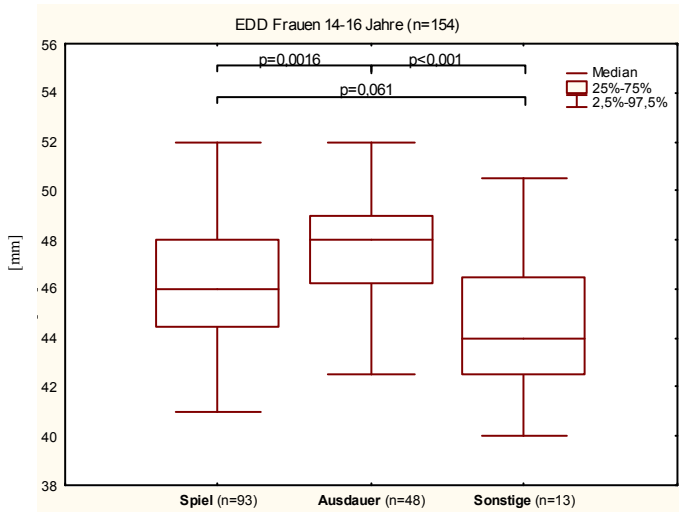


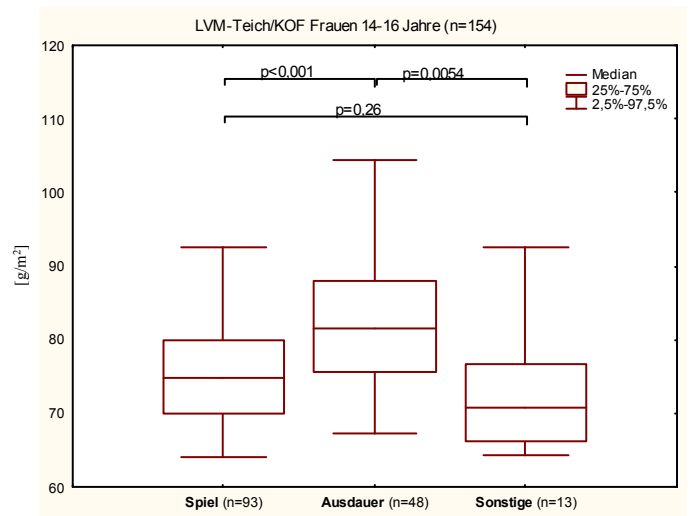
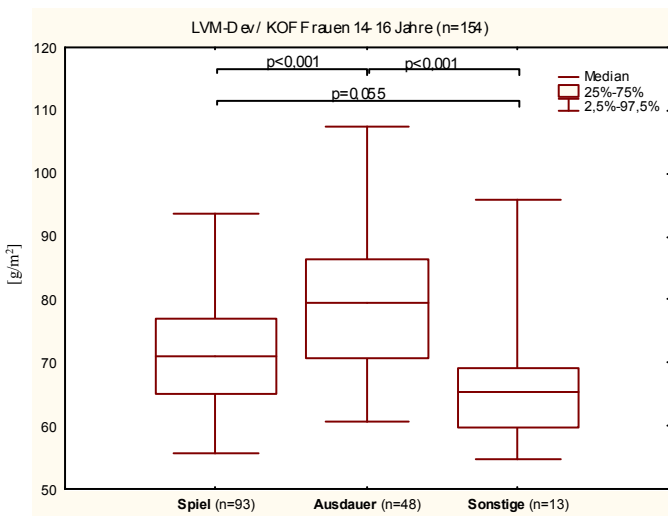
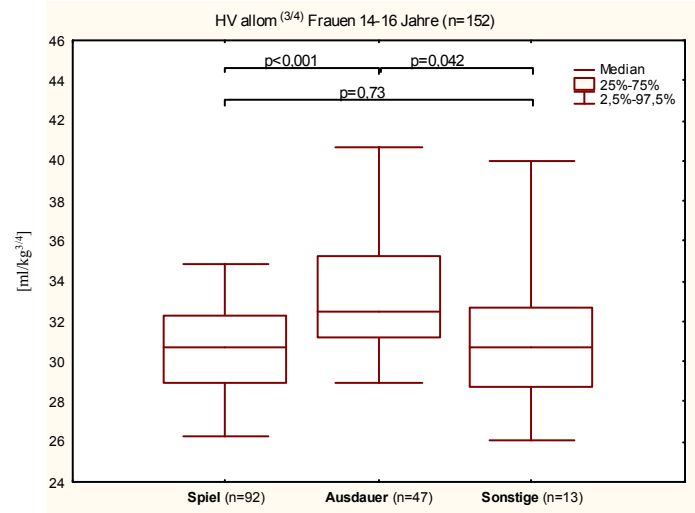
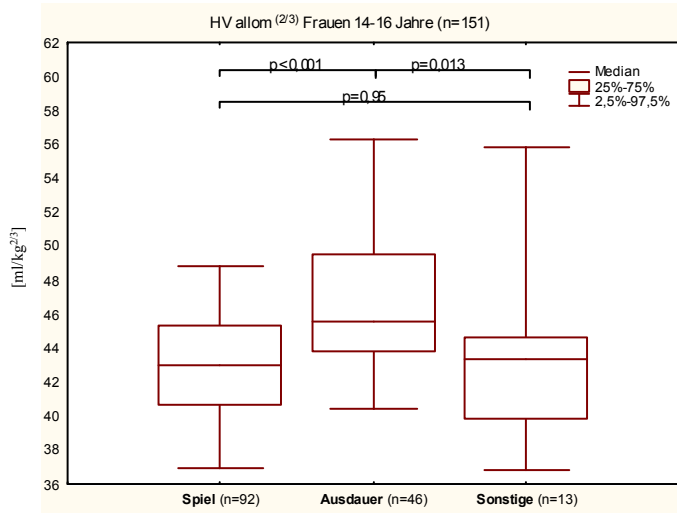
Abbildungen 30: Box-Plots Frauen  $\geq 16$  -  $< 18$  Jahre



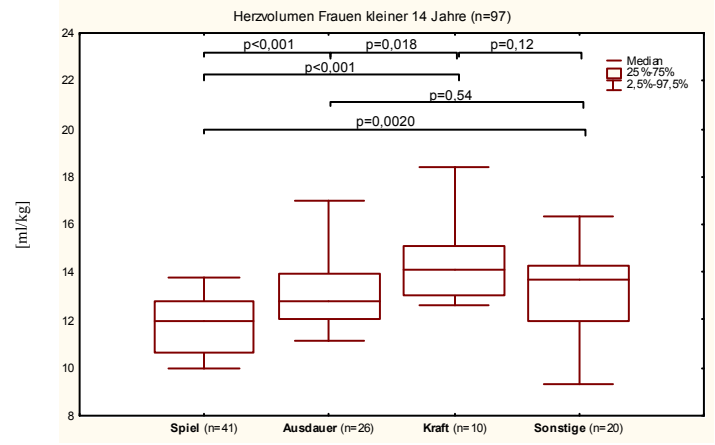
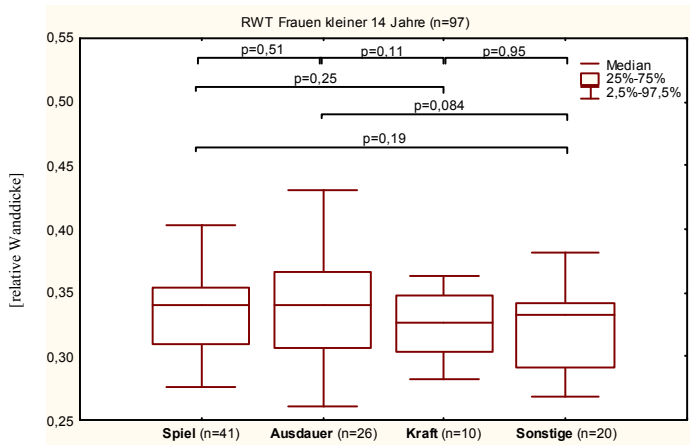
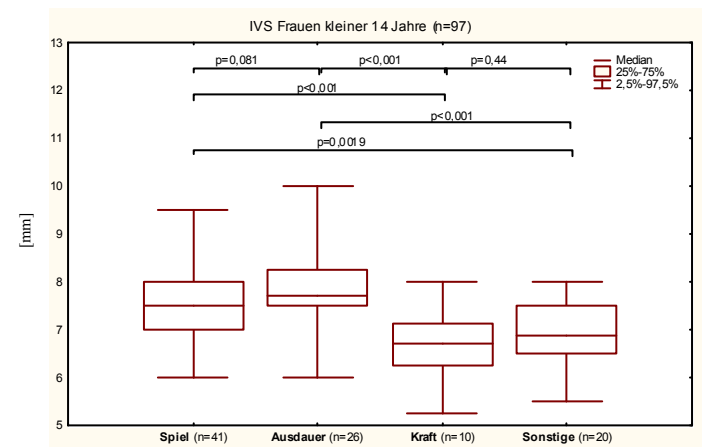
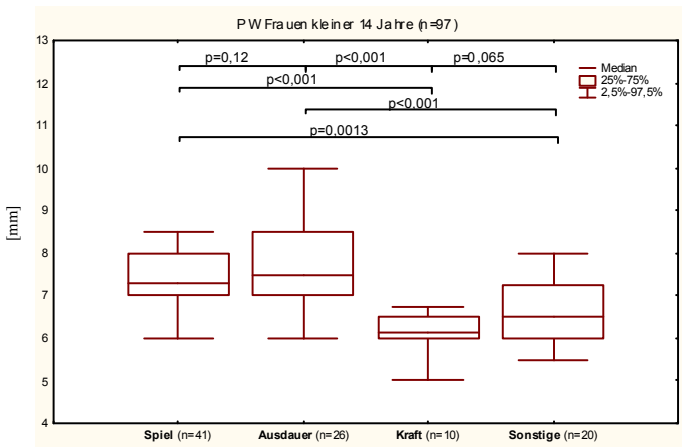
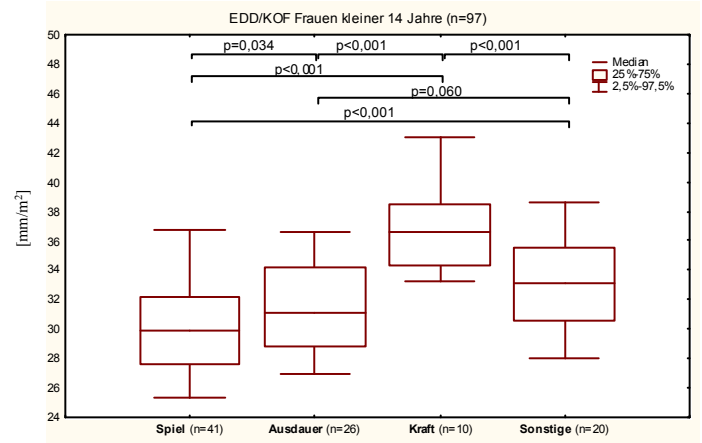
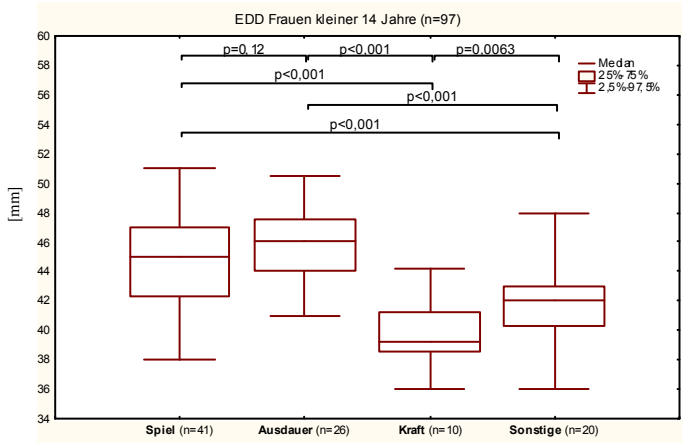


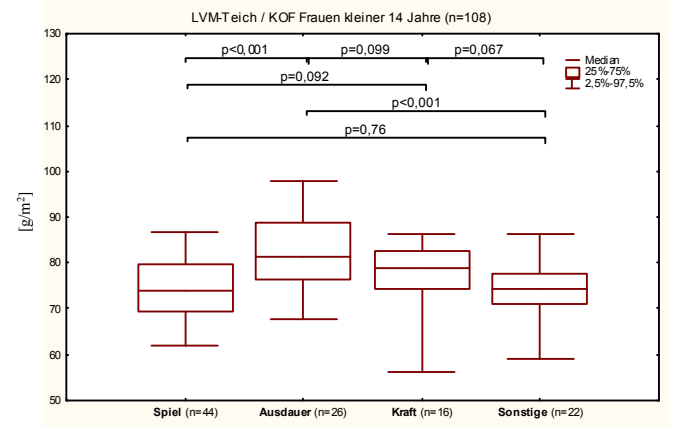
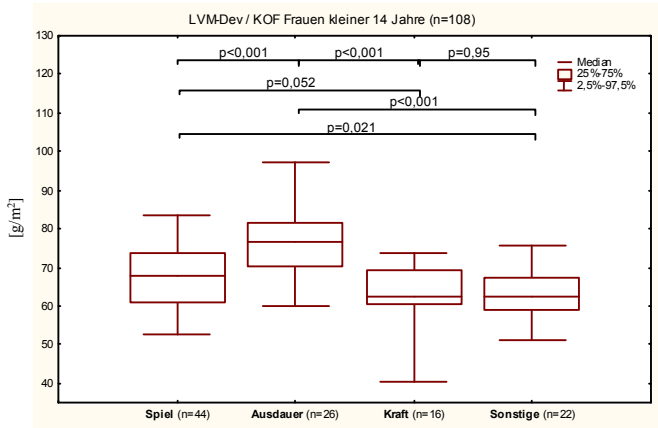
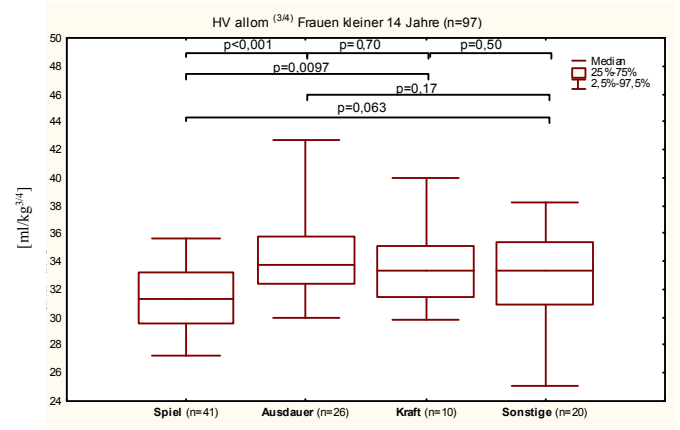
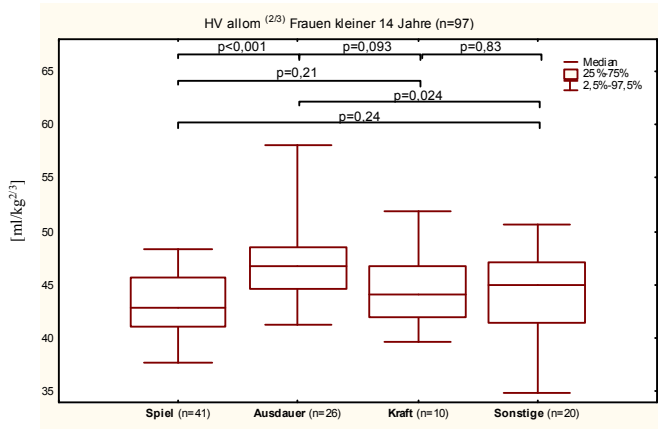
Abbildungen 31: Box-Plots Frauen  $\geq 14$  -  $< 16$  Jahre





Abbildungen 32: Box-Plots Frauen < 14 Jahre





## 8 DANKSAGUNG

Bedanken möchte ich mich bei meiner Ehefrau Lisa und meiner Familie die an mich geglaubt haben und mich immer unterstützt haben.

Des Weiteren Danke ich Herrn Prof. Dr. Kindermann für die Bereitstellung der Unterlagen und konstruktive Kritik, sowie den Sekretärinnen des sportmedizinischen Institutes des Saarlandes, welche die Aufstellung der Datenbank im Institut ermöglichten.

Besonderer Dank gebührt Herr PD. Dr. Jürgen Scharhag für die Mithilfe beim Erstellen dieser Arbeit sowie seine engagierte Unterstützung.

Zuletzt möchte ich meinen Freunden danken, welche immer für mich Ansprechpartner waren und mir zur Seite standen. Besonders danke ich Daniel H., Michael D., Mike W. und Johannes K.