

# Echokardiographische Untersuchungen zu alters- und trainingsbedingten Einflüssen auf die B- und M-Mode-Parameter bei Trabrennpferden

Heidrun Gehlen und Amelie Schlaga

Freie Universität Berlin, Klinik für Pferde, Berlin

**Zusammenfassung:** Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde untersucht, wie sich echokardiographische B- und M-Mode Parameter beim jungen 2-jährigen Trabrennpferd innerhalb des ersten Trainingsjahres entwickeln. Zudem wurden diese Werte mit Untersuchungsergebnissen von 3- und 4-jährigen Trabern verglichen. Dazu wurden insgesamt 31 herzgesunde Trabrennpferde aus zwei verschiedenen Trabrennställen gemäß ihres Alters und Trainingszustandes in unterschiedliche Gruppen eingeteilt und echokardiographisch untersucht. Eine Gruppe von 10 einjährigen Pferden (Altersgruppe 1) wurde über ein knappes Jahr im Training verfolgt und dreimalig untersucht. Die erste Untersuchung erfolgte an den noch rohen, untrainierten Tieren, zum Zeitpunkt der letzten Untersuchung waren die Pferde zweijährig (Altersgruppe 2), volltrainiert und nahmen bereits an ersten Rennen teil. Diese Gruppe wurde zusätzlich mit einer Gruppe drei- und vierjähriger, volltrainierter Traber (Altersgruppe 3 und 4) verglichen, um die weitere Entwicklung echokardiographischer B- und M-Mode Parameter zu verfolgen. Im Verlaufe der drei Untersuchungen im ersten Trainingsjahr nahm das Herz hochsignifikant an Größe zu. Die Größenzunahme des linksventrikulären Innendurchmessers betrug 8,5%, der linksventrikulären freien Wand 27,5%, des Aortendurchmessers 7,1%, des rechtsventrikulären Innendurchmessers 15,1%, der Pulmonalklappe 12,5% und die Größenzunahme des von der linken Seite gemessenen Innendurchmessers des linken Vorhofes auf Höhe der Mitralklappe 13,9% und an der breitesten Stelle des Vorhofes 17,3%. Auch der rechte Vorhof vergrößerte sich zwischen den drei Untersuchungen signifikant um 9,4%. Die linksventrikuläre Masse vergrößerte sich kontinuierlich von der ersten bis zur dritten Messung um 42,9% ( $p \leq 0,000$ ). Die mittlere Wanddicke erhöhte sich um 11,1% ( $p \leq 0,003$ ) von der ersten bis zur dritten Untersuchung. Beim Vergleich der Messparameter zwischen den volltrainierten Pferde der Altersgruppen 2, 3 und 4 zeigte sich im Durchmesser der Pulmonalklappe eine signifikante Vergrößerung von 9,1% zwischen den volltrainierten Pferden der Altersgruppe 2 und den volltrainierten Pferden der Altersgruppe 3. Bei der Entwicklung des linksventrikulären Innendurchmessers gemessen sowohl oberhalb des Papillarmuskels (LVID, 4,5%,  $p = 0,027$ ) als auch auf Höhe des Papillarmuskels (LV2, 7,3%,  $p = 0,04$ ), ergab sich ebenfalls eine schwach signifikante Vergrößerung bei den älteren Tieren. Die Veränderungen des LVID und der PV waren auch im Vergleich der volltrainierten Pferde der Altersgruppe 2 zu den volltrainierten Pferden der Altersgruppe 4 vorhanden. Hier kamen zusätzlich eine signifikante Dickenzunahme des Interventrikularseptums um 11,8% und eine schwach signifikante Dickenzunahme der linksventrikulären freien Wand um 10% sowie der rechtsventrikulären Wand um 11,2% hinzu. Die Entwicklung der Parameter des linken Vorhofes und des rechtsventrikulären Innendurchmessers zeigten zwischen der Altersgruppe 2 und der Altersgruppen 3 und 4 zwar eine Tendenz in Richtung Vergrößerung, diese war jedoch statistisch nicht signifikant. Zwischen der Altersgruppe 3 und der Altersgruppe 4 gab es signifikante Unterschiede zwischen den Messungen der linksventrikulären freien Wand (+17,4%,  $p = 0,002$ ) und des rechten Vorhofes (+9,8%,  $p = 0,014$ ). Die linksventrikuläre Masse vergrößerte sich zwischen den Pferden der Altersgruppe 2 und den Tieren der Altersgruppen 3 und 4 um 12,7% ( $p = 0,041$ ). Fazit: Bei der standardechokardiographischen Untersuchung zeigte sich im Verlauf der Messungen der Altersgruppe 1 und im Vergleich der Altersgruppe 2 mit den Pferden der Altersgruppen 3 und 4 eine signifikante Zunahme der linksventrikulären Masse, des linksventrikulären Innendurchmessers und der Dicke der linken freien Wand, wobei sich die relative Wanddicke nicht veränderte. Die Pferde entwickelten also eine exzentrische Hypertrophie, wie man sie typischerweise bei Ausdauersportlern und trainierten Rennpferden vorfindet. Diese Veränderungen sind vor allem im ersten Trainingsjahr sichtbar.

**Schlüsselwörter:** Traber, Echokardiographie, B-Mode, M-Mode, Training, Kardiologie

## Influence of Training on B- and M-Mode parameters in Standardbred Racehorses: an echocardiographic study

The aim of the present study was to evaluate, if and to which extent echocardiographic B- and M-Mode measurements in horses are influenced by growth and training. 31 healthy Standardbred trotters from two different stables were divided into different groups, based on their age and training status and examined by echocardiography. A group of 10 yearlings (age group 1) was followed over the course of almost an year and examined at three different timepoints. At the time of the first examination the horses were unbroken and had no training history. At the time of the last examination the horses were fully trained and already competing in their first races (age group 2). This group was additionally compared to groups of three and four years old, fully trained Standardbreds (age groups 3 and 4), to evaluate, if a longer training period is essential to induce changes in the measured parameters. In the course of the 3 examinations within the first year of training heart size increased significantly. The inner diameter of the left ventricle increased by 8.5%, the left ventricular free wall by 27.5%, the aortic diameter by 7.1%, the left ventricular inner diameter by 15.1%, the pulmonary valve by 12.5%, the inner diameter of the left atrium measured from the left side by 13.98% at the level of the mitral valve and by 17.3% at the widest diameter. The right atrium also increased significantly over the 3 examinations by 9.39%. The left ventricular mass increased continuously from the first to the third measurement by 42.9% ( $P \leq 0.0001$ ). The mean wall thickness increased by 11.1% ( $P \leq 0.003$ ) from the first to the third examination. When comparing the measured parameters between fully-trained horses of age groups 2, 3 and 4 the pulmonary valve diameter was found to be significantly increased by 9.1% between age groups 2 and 3. The left ventricular inner diameter also increased measured above the papillary muscle (LVID, 4.5%,  $P = 0.027$ ) as well as at the level of the papillary muscle (LV2, 7.3%,  $P = 0.04$ ) in older horses. These differences of LVID and the pulmonary valve were also found between age groups 2 and 4. In addition, a significant increase of the thickness of the interventricular septum by 11.8% was found as well as a weakly significant increase of the thickness of the left ventricular free wall by 10% and the left ventricular wall by 11.2%. The diameters of the left atrium and the right ventricular inner diameter tended to increase between age groups 2, 3 and 4, but these differences were not statistically significant. Significant differences between age groups 3 and 4 were found for the left ventricular free wall (+17.4%,  $P = 0.002$ ) and the right atrium (+9.8%,  $P = 0.014$ ). The left ventricular mass incre-

ased between age group 2 and horses of groups 3 and 4 by 12.7% ( $P=0.041$ ). In conclusion the standard echocardiographic examinations over the course of 3 timepoints in age group 1 and in comparison of age group 2 to horses of groups 3 and 4 showed a significant increase of left ventricular mass (LVM), left ventricular inner diameter and the thickness of the left ventricular free wall, while the relative wall thickness did not change. Therefore, a development of an eccentric cardiac hypertrophy, as commonly seen in endurance athletes and racehorses, was observed.

**Keywords:** trotter, echocardiography, B-mode, M-mode, training, cardiology

**Zitation:** Gehlen H., Schlaga A. (2017) Echokardiographische Untersuchungen zu alters- und trainingsbedingten Einflüssen auf die B- und M-Mode Parameter bei Trabrennpferden. *Pferdeheilkunde* 33, 5-13; doi: 10.21836/PEM20170101

**Korrespondenz:** Prof. Heidrun Gehlen, Freie Universität Berlin, Klinik für Pferde, Orztenweg 19b 14163 Berlin; E-Mail: gehlen.heidrun@vetmed.fu-berlin.de

## Einleitung

Das Herz reagiert nicht nur kurzfristig auf unterschiedliche Belastungen, sondern passt sich auch langfristig an gesteigerte Belastung an (Harmeyer 2005). Bereits 1899 stellte Henschen mit Hilfe von Fingerperkussion bei Langlaufskifahrern eine Vergrößerung sowohl der linken als auch der rechten Herzhälfte fest. Er prägte den Begriff des „Athlete’s Heart“, des sog. Sportlerherzens (Rost 1997), unter dem die strukturellen und elektrokardiographischen Veränderungen verstanden werden, die bei Leistungssportlern als Reaktion auf langfristig erhöhtes Training auftreten können (Huston et al. 1985). Die Art der Hypertrophie variiert je nach ausgeübter Sportart (D’Andrea et al. 2002). Bei Sportarten mit einer hohen dynamischen Komponente, wie zum Beispiel dem Marathonlaufen, kommt es im Ventrikel zu einer Volumenüberladung (Huston et al. 1985). Echokardiographisch wird bei Ausdauersportlern eine exzentrische Hypertrophie, die durch einen erhöhten linksventrikulären Innendurchmesser (LVID) von bis zu 10% (Fagard 1997) und eine Zunahme der Muskelmasse der linksventrikulären freien Wand (LFW) gekennzeichnet ist, sichtbar (Abb. 3). Das Verhältnis der beiden Parameter zueinander ändert sich dabei nicht, sie nehmen in gleichem Maße zu. Die relative Wanddicke (RWT) bleibt also unverändert (Pluim et al. 2000, Dorn 2007, Ellison et al. 2012, George et al. 2012). Bei isometrischen Sportarten, wie z.B. dem Gewichtheben, muss die Kontraktionskraft erhöht werden, um schnell den hohen Druck in der Aorta überwinden zu können (Huston et al. 1985). Durch die Druckbelastung entwickeln Kraftsportler eine konzentrische Hypertrophie, die sich durch eine deutliche Zunahme der Muskelmasse, bei nur geringer Zunahme des LVID (bis zu 2,5% (Fagard 1997)), auszeichnet (Dorn 2007, Buhl 2008, Ellison et al. 2012, George et al. 2012). Bei den meisten Sportarten kann jedoch eine so klare Trennung nicht vollzogen werden, da sich dynamische und statische Komponenten vermischen (Huston et al. 1985, Fagard 1997). Sportler mit gemischten Sportarten zeigten das größte Ausmaß an kardialer Hypertrophie (Pelliccia et al. 1991).

Pferde zeigen ähnliche trainingsinduzierte Anpassungen des Herzens wie der Mensch, sie sind jedoch etwas geringer ausgeprägt (Harmeyer 2005). Bereits 1929 stellte George Herrmann bei einer Reihe von Autopsien bei Vollblutrennpferden fest, dass diese Pferde schon als Jährlinge größere Herzen hatten als Pferde anderer Rassen und dass ihr Herz auf Training in besonderem Maße mit Hypertrophie reagiert hatte (Herrmann 1929). Bei durchschnittlichen Pferden macht die Herzmasse ca. 0,9–1% der Körpermasse aus, bei trainierten Pferden kann sie auf 1,1% ansteigen (Poole und Erickson

2004). Bei Pferden scheint, ähnlich wie beim Menschen, die Art des Trainings einen Einfluss auf die Form der Hypertrophie zu haben. Im Vergleich zu untrainierten Pferden und S-Springpferden hatten S-Dressurpferde ein signifikant dickeres IVS und eine signifikant dickere linksventrikuläre freie Wand (LFW), ähnlich eines Kraftsportlers, während Springpferde eine Vergrößerung des linksventrikulären Innendurchmessers in der Diastole (LVIDd) und der linksventrikulären freien Wand in der Systole (LFWs) aufzeigten (Stadler et al. 1993). Trainierte Islandpferde zeigten im Vergleich zu untrainierten Pferden dieser Rasse eine Vergrößerung des linken Vorhofes und der LFW, jedoch keine Vergrößerung des Innendurchmessers des linken Ventrikels, was aber auch darauf zurückzuführen sein könnte, dass die Trainingsbelastung bei Islandpferden nicht mit denen von Spring- oder Rennpferden vergleichbar ist (Gehlen et al. 2007).

Sowohl bei Vollblütern als auch bei Trabrennpferden und bei Arabern, die für Distanzrennen genutzt werden, nimmt unter Trainingseinfluss die myokardiale Wanddicke und der linksventrikuläre Innendurchmesser, ähnlich des menschlichen Ausdauersportlers, zu (Young 1999, Buhl et al. 2005, Young et al. 2005, Sleeper et al. 2014). In einer Studie von Buhl wurden 103 Traber über 2 Jahre im Training verfolgt und alle 6 Monate echokardiografisch untersucht. Zum Zeitpunkt der ersten Untersuchung waren die Pferde knapp zwei Jahre alt. Im Verlauf kam es zu einer signifikanten kardialen Vergrößerung des LVIDd, der linksventrikulären Masse und der mittleren Wanddicke (MWT). Da eine untrainierte Kontrollgruppe fehlte, war das genaue Maß der trainingsbedingten Veränderungen schwer zu bestimmen und nicht von den normalen Wachstumsveränderungen abzugrenzen. Jedoch zeigte sich in dieser Studie auch, dass Pferde, die regelmäßig an Rennen teilnahmen, größere Herzen im Vergleich zu den Pferden hatten, die nicht an Rennen teilnahmen (Buhl et al. 2005). In einer weiteren Studie wurde die Entwicklung der Pferde bis zu einem Alter von 5,5 Jahren verfolgt. Auch nachdem die Pferde bereits ausgewachsen waren, nahm die linksventrikuläre Masse unter Training weiter zu (Buhl und Erbsoll 2012).

Die Herzgröße hat auch eine Bedeutung für mögliche spätere Rennerfolge. In einer amerikanischen Studie mit 7434 Vollblütern konnten das Ergebnis aus Körpergröße mal Gewicht und die diastolische Dicke des Interventrikularseptums als wichtigste Parameter zur Vorhersage identifiziert werden, ob ein Pferd später erfolgreich laufen wird oder nicht (Differenzierung zwischen „high-earner“ Pferden, die in mind. 3 Rennen gestartet waren und eine Gewinnsumme von > \$10.000 pro Start vorzuweisen hatten und „low-earner“ Pferden die

nach mind. 3 Rennstarts pro Start weniger als \$2.000 gewonnen hatten (Seder et al. 2003). Vollblutpferde haben neben einem proportional größeren Herzen (Gunn 1989) auch eine größere Milz pro Körpermasseneinheit als andere große Säugetiere (Young 2003, Poole und Erickson 2004). Zudem können sie auch mehr Sauerstoff pro Kilogramm Körpermasse verbrauchen (Young 2003). Die Herzgröße korreliert bei Vollblütern dabei mit der maximalen Sauerstoffaufnahme (Young et al. 2002). Ein großes Herz ist also ein Schlüsselfaktor für das maximale Schlagvolumen, das Herzminutenvolumen, die aerobe Kapazität und somit auch für die Leistungsfähigkeit (Poole und Erickson 2004). Die strukturellen Veränderungen des Herzens, die das Schlagvolumen erhöhen und dadurch zu einer verbesserten Sauerstofftransportkapazität führen, finden dabei bereits zu großen Teilen in den ersten Trainingsmonaten statt (Ohmura et al. 2002).

Mit dem Vergleich echokardiographischer Meßwerte innerhalb und zwischen verschiedenen Altersgruppen sollen in dieser Studie die wachstums- und trainingsbedingten Veränderungen des Herzens bei Trabrennpferden aufgezeigt werden.

## Material und Methoden

### Pferde

Insgesamt wurden in der Studie 31 herzgesunde Trabrennpferde von 2 unterschiedlichen Trabergerüsten (Gestüt Lauenburg in Kaarst, Trainingsstation Karlshorst Berlin) untersucht. Die Pferde wurden gemäß ihres Alters und ihres Trainingszustandes kategorisiert und in vier Altersgruppen (1–4 Jahre) unterteilt. Eine Gruppe von einjährigen Trabern wurde der Altersgruppe 1 (AG 1) zugeordnet und im ersten Trainingsjahr dreimal untersucht. Sie waren bei der ersten Untersuchung ein Jahr alt und wurden nach 3 und nach 10 Monaten erneut untersucht (U1, U2, U3). Zum Zeitpunkt der dritten Untersuchung (U3 = zehn Monate nach der ersten Untersuchung) hatten diese Pferde das zweite Lebensjahr bereits erreicht und wurden dann der Altersgruppe 2 (AG 2) zugeordnet. Die Pferde der Altersgruppe 1 waren bei der ersten Untersuchung noch roh und hatten kein Training, außer zum Zwecke der Halfterführigkeit und des allgemeinen Umgangs (Trainingsgruppe 1 = TG 1). Bei der zweiten Untersuchung waren die Pferde dieser Gruppe antrainiert (3–4 Tage Training/Woche, Trainingsgruppe 2 = TG 2). Bei der 3. Untersuchung waren die Pferde dieser Gruppe voll trainiert (5–7 Tage Training/Woche). Sie hatten entweder bereits an Rennen teilgenommen bzw. die erforderliche Rennfitness dazu erlangt (Trainingsgruppe 3 = TG 3).

Bei den 10 Pferden der Altersgruppe 1 standen zur zweiten Untersuchung nur 8 Pferde zur Verfügung. Die zwei Pferde

standen zu dem Zeitpunkt der zweiten Untersuchung in einem anderen Trainingsstall. Zum Zeitpunkt der dritten Untersuchung waren beide Stuten wieder vor Ort. Sie wurden deshalb in die Auswertung der dritten Untersuchung mit einbezogen. Der Altersgruppe 3 (AG 3) wurden dreijährige volltrainierte Pferde zugeteilt. Der Altersgruppe 4 (AG 4) wurden vierjährige volltrainierte Pferde zugeteilt. Für die Altersgruppe 3 wurden 11 Pferde und für die Altersgruppe 4 wurden 10 Pferde einmalig untersucht. Alter, Größe, Gewicht und Herzfrequenz der Pferde sind in Tab. 1 aufgeführt.

### Vorbericht und Allgemeinuntersuchung

Die Besitzer und Trainer wurden hinsichtlich Vorerkrankungen, Leistungsabfällen, Medikamentengaben und Trainingszustand befragt. Die Pferde durften keine Leistungseinbußen zeigen und keine Medikamente bekommen oder Vorerkrankungen aufweisen, die eine Auswirkung auf das Herzkreislaufsystem hätten haben können (z.B. Koliken, Lungenerkrankungen, fieberhafte oder septische Prozesse, Nierenerkrankungen etc.). Bei allen Pferden wurde eine allgemeine Untersuchung mit spezieller klinischer Untersuchung des Herzens durchgeführt, um sicherzustellen, dass die Pferde klinisch gesund waren. Es wurden zusätzlich mit einem Gewichts- und Größenmaßband die Größe und das Gewicht der Pferde bestimmt.

### Standardechokardiographische Untersuchung

Die Untersuchungen wurden mit einem transportablen Ultraschallgerät („Vivid I“ der Firma General Electrics (GE) Healthcare, Medical Sy2DSTms Application Software 6.1.110) und einem 3,5 MHz Phased-Array Schallkopf, mit einer maximalen Eindringtiefe von 30 cm, angefertigt. Die Pferde wurden mit Hilfe eines portablen Ultraschallgerätes in ihrer gewohnten Umgebung, in einer ruhigen Box, untersucht. Ein Helfer fixierte das Pferd am Kopf und ein weiterer bediente während der Untersuchung das Gerät, damit es mit einem größeren Sicherheitsabstand zum Pferd aufgestellt werden konnte. Es wurden weder Zwangsmaßnahmen verwendet noch wurden die Pferde sediert. Während der kompletten Ultraschalluntersuchung lief ein an das Gerät gekoppeltes Elektrokardiogramm mit. Die Elektroden wurden mit Hilfe von Krokodilklemmen an der linken Körperseite angebracht.

### B- und M-Mode

Zu Beginn wurde eine standardechokardiographische Untersuchung durchgeführt. Hierbei wurden die Schnittebenen nach Stadler (Stadler 1988) angewendet, um enddiastolische Dimensionsmessungen vorzunehmen und das Herz und die

**Tab. 1** Alter, Größe, Gewicht und Herzfrequenz der untersuchten Trabrennpferde (Mittelwert und Standardabweichung)

Gruppe	Alter (Monate)	Größe (m)	Gewicht (kg)	Herzfrequenz (bpm)
AG 1/ TG 1	18,53 ± 1,83	1,51 ± 0,04	380,83 ± 37,71	37,02 ± 4,79
AG 1/ TG 2	21,5 ± 1,77	1,53 ± 0,03	395,75 ± 31,39	34,63 ± 2,3
AG 2/ TG 3	27,5 ± 1,51	1,57 ± 0,03	418,3 ± 18,9	37,62 ± 3,18
AG 3/ TG 3	40,55 ± 1,04	1,59 ± 0,02	444,46 ± 34,59	34,68 ± 4,18
AG 4/ TG 3	54,3 ± 2,5	1,61 ± 0,03	463,7 ± 24,18	35,77 ± 4,54

Klappen morphologisch zu begutachten. Aus den Ergebnissen der M-Mode-Untersuchung wurden die mittlere Wanddicke des Ventrikels (MWT = Mean Wall Thickness), die relative Wanddicke des Ventrikels (RWT = Relative Wall Thickness) und die linksventrikuläre Masse (LVmass = Left Venticular Mass) mit folgenden Formeln errechnet (Buhl 2008):  $MWT = (LVFWd + IVSd)/2$ ;  $RWT = (LVFWd + IVSd)/LVIDd$ ;  $LVmass = 1,04 \times \{(LVIDd + LVFWd + IVSd)^3 - LVIDd^3\} - 13,6$ .

#### Dopplerechokardiographische (Farbdoppler, PW-/ CW-Doppler-Untersuchung)

Alle Herzklappen wurden mit Hilfe des Farbdopplers auf Rückflüsse untersucht. Lag ein Regurgitationsjet vor, wurde dieser in seiner maximalen Größe dargestellt und seine Geschwindigkeit mit dem Spektraldoppler (PW oder CW) gemessen. Die Daten von Pferden mit klappenschlussassoziierten Rückflüssen oder geringgradigen Rückflüssen mit Geschwindigkeiten unter 2 m/s wurden weiterhin für die Studie verwendet. Pferde mit größeren Insuffizienzen wurden von der Studie ausgeschlossen.

#### Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Computerprogramms IBM SPSS Statistics® Version 21. Es folgte die Berechnung der deskriptiven Statistiken, Minimum, Maximum, Mittelwert und Standardabweichung der Daten. Es wurde ein gemischtes lineares Modell verwendet und anschließend eine Bonferroni-Korrektur durchgeführt. Das gemischte lineare Modell wurde ausgewählt, da es sich durch die Messwiederholungen um Paneldaten handelt. Das Signifikanzniveau wurde mit  $p < 0,05$  festgelegt. Es erfolgte zudem noch eine Einteilung in die folgenden Signifikanzstufen:  $p \leq 0,001$  = hoch signifikant (\*\*\*) ,  $p \leq 0,01$  = signifikant (\*\*),  $p \leq 0,05$  = schwach signifikant (\*),  $p > 0,05$  = nicht signifikant

(n.s.). Die graphische Darstellung der Ergebnisse erfolgte in Tabellen mit Mittelwerten und Standardabweichung und als Boxplots (Medianwerte und Perzentile).

Um die Messgenauigkeit der Daten zu überprüfen, wurde eine Reliabilitätsanalyse aus drei aufeinanderfolgenden Messungen, durch Bestimmung der internen Konsistenz über Cronbachs Alpha, durchgeführt. Ein Wert von  $\alpha \geq 0,9$  gilt als sehr gut,  $\alpha \geq 0,8$  als gut und  $\alpha \geq 0,7$  als mittelmäßig. Werte geringer als  $\alpha = 0,7$  gelten als fragwürdig bzw. inakzeptabel.

## Ergebnisse

### Vorbericht und Allgemeinuntersuchung

Es bestand bei keinem der Pferde ein vorberichtlicher Hinweis auf eine Erkrankung oder Leistungsinsuffizienz innerhalb der letzten drei Monate. Bei der klinischen Untersuchung wurde bei 9 Pferden ein systolisches und bei 3 Pferden ein diastolisches Herzgeräusch Grad 1–2 festgestellt werden. Ansonsten war die klinische Untersuchung bei allen Pferden unauffällig. Die Herzfrequenz war bei den Tieren der Altersgruppe 1 während der ersten Untersuchung mit durchschnittlich 40 Schlägen pro Minute am höchsten. Wie zu erwarten, nahmen alle Pferde über die Zeit (insbesondere im ersten Jahr) an Größe und Gewicht zu (Tab. 1).

### Entwicklung der standardechokardiographischen Parameter im Verlauf des ersten Trainingsjahres

#### B-Mode Untersuchungen der Altersgruppe 1 und 2

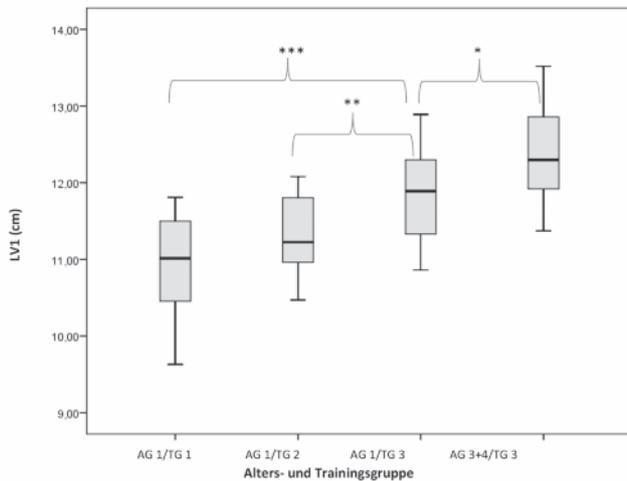
Im Laufe der drei Untersuchungen (U1–U3) nahm das Herz deutlich an Größe zu. Die Größenzunahme des linksventrikulären Innendurchmessers (Tab. 2) betrug 8,5% ( $p = 0,000$ ),

**Tab. 2** Standardechokardiographische Messwerte, ermittelt aus dem B-Mode der Altersgruppe 1 und 2 (in cm, Mittelwerte und Standardabweichung)

Schallposition	Messparameter	AG 1/ TG 1	AG 1/ TG 2	AG 2/ TG 3
RKDLA	LA	8,08 ± 0,59	8,24 ± 0,56	8,93 ± 0,79
	LA_MV	7,82 ± 0,67	8,71 ± 0,54	8,56 ± 0,73
	LVID	10,93 ± 0,67	11,32 ± 0,56	11,86 ± 0,6
	LV2	7,58 ± 0,75	7,73 ± 0,46	7,78 ± 0,73
	IVS	1,9 ± 0,22	1,93 ± 0,14	1,95 ± 0,14
	LVFW	1,49 ± 0,23	1,79 ± 0,13	1,9 ± 0,18
	RVW	1,05 ± 0,14	1,01 ± 0,07	1,07 ± 0,1
RKDLA Ao	Ao_SinVals	6,32 ± 0,47	6,54 ± 0,36	6,77 ± 0,35
RKRLA	TV	6,71 ± 0,54	7,13 ± 0,5	7,34 ± 0,76
	RV	8,56 ± 0,89	8,96 ± 0,81	9,85 ± 0,88
	PV	4,73 ± 0,45	5,15 ± 0,24	5,32 ± 0,24
LKDLA	LA_MV_L	8,87 ± 0,57	9,56 ± 0,72	10,11 ± 0,86
	LA_L	9,4 ± 0,69	10,23 ± 0,78	11,03 ± 0,97

Legende zu Tab. 2: RKDLA = rechte kaudale lange Achse, RKDLA Ao = rechte kaudale lange Achse mit Aorta, RKRLA rechte kraniale lange Achse, LKDLA = linke kaudale lange Achse, LA = größter linksatrialer Durchmesser, LA\_MV = linksatrialer Durchmesser auf Höhe der Mitralklappe, LVID = größter linksventrikulärer Innendurchmesser, LV2 = linksventrikulärer Innendurchmesser hinter dem Papillarmuskel, IVS = Interventrikularseptum, LVFW = linksventrikuläre freie Wand, RVW = rechtsventrikuläre Wand, Ao\_SinVals = Aortendurchmesser, TV = rechter Vorhof auf Höhe der Trikuspidalklappe, RV = rechtsventrikulärer Innendurchmesser, PV = Pulmonalklappe, LA\_MV\_L = linksatrialer Durchmesser auf Höhe der Mitralklappe - von links gemessen, LA\_L = größter linksatrialer Durchmesser - von links gemessen, AG = Altersgruppe, TG = Trainingsgruppe

der linksventrikulären freien Wand 27,5% ( $p=0,000$ ), der Aortendurchmessers 7,1% ( $p=0,000$ ), der rechtsventrikuläre Innendurchmesser 15,1% ( $p=0,001$ ), der Durchmesser der Pulmonalklappe 12,5% ( $p=0,000$ ) und der von der linken Seite gemessene Innendurchmesser des linken Vorhofes auf Höhe der Mitralklappe 13,9% ( $p=0,001$ ) und an der breitesten Stelle des Vorhofes 17,3% ( $p=0,000$ ). Die Veränderungen waren dabei an allen Messlokalisationen von der ersten zur dritten Untersuchung hoch signifikant (\*\*\*) . Auch der rechte Vorhof vergrößerte sich zwischen U1 und U3 signifikant um 9,4% ( $p=0,009$ ). Die einzigen Parameter, die keine statistisch signifikante Vergrößerung von der ersten zur dritten



**Abb. 1** Graphische Darstellung der Entwicklung des linksventrikulären Innendurchmessers (cm) der Altersgruppe 1 - 4. Da es keinen sign. Unterschied zwischen der AG 3 und 4 gab, wurden diese beiden Gruppen zur besseren Übersicht im Diagramm zusammengefasst. Hoch sign. Unterschiede ( $p \leq 0,001$ ) wurden mit \*\*\*, sign. Veränderungen ( $p \leq 0,01$ ) mit \*\* und schwach sign. Veränderungen ( $p \leq 0,05$ ) mit \* markiert.

Untersuchung zeigten, waren der linksventrikuläre Innendurchmesser (gemessen hinter dem Papillarmuskel, LV2), die rechtsventrikuläre Wand und das Interventrikularseptum.

B-Mode Untersuchungen der volltrainierten Pferde der Altersgruppen 2, 3 und 4

Im Durchmesser der Pulmonalklappe zeigte sich ein signifikanter Unterschied zwischen den volltrainierten Pferden der Altersgruppe 2 (U3) und den volltrainierten Pferden der Altersgruppe 3, die eine signifikante Vergrößerung von 9,0% ( $p=0,006$ ) aufwiesen. Bei der Entwicklung des linksventrikulären Innendurchmessers (Abb. 1), gemessen sowohl vor dem Papillarmuskel (LVID, 4,5%,  $p=0,027$ ) als auch hinter dem Papillarmuskel (LV2, 7,3%,  $p=0,04$ ), ergab sich ebenfalls eine schwach signifikante Vergrößerung bei den älteren Tieren (Tab. 3). Die Veränderungen des LVID und der PV waren auch im Vergleich der volltrainierten Pferde der Altersgruppe 1–2 zu den volltrainierten Pferden der Altersgruppe 4 vorhanden. Hier kamen zusätzlich eine signifikante Vergrößerung des Interventrikularseptums um 11,8% ( $p=0,008$ ) und eine schwach signifikante Vergrößerung der linksventrikulären freien Wand (Abb. 2) um 10% ( $p=0,025$ ) sowie der rechtsventrikulären Wand um 11,2% ( $p=0,027$ ) hinzu.

Die Entwicklung der Parameter des linken Vorhofes und des rechtsventrikulären Innendurchmessers zeigten zwischen der Altersgruppe 2 und der Altersgruppen 3 und 4 zwar eine Tendenz in Richtung Vergrößerung, diese war jedoch statistisch nicht signifikant. Zwischen der Altersgruppe 3 und der Altersgruppe 4 gab es signifikante Unterschiede zwischen den Messungen der linksventrikulären freien Wand (+17,4%,  $p=0,002$ ) und des rechten Vorhofes (+9,8%,  $p=0,014$ ).

Die Reliabilitätsanalyse über Cronbachs Alpha ergab für alle Werte der B-Mode Messungen, außer dem Wert der rechts-

**Tab. 3** Standardechokardiographische Messwerte, ermittelt aus dem B-Mode der voll trainierten Pferde der Altersgruppen 2, 3 und 4 (angegeben in cm, Mittelwerte und Standardabweichung)

Schallposition	Messparameter	AG 2 / TG 3 (n=10)	AG 3 / TG 3 (n=11)	AG 4 / TG 3 (n=10)
RKDLA	LA	8,93 ± 0,79	9,23 ± 0,68	9,62 ± 0,97
	LA_MV	8,56 ± 0,73	8,64 ± 0,7	9,1 ± 0,89
	LVID	11,86 ± 0,6	12,41 ± 0,58	12,4 ± 0,66
	LV2	7,78 ± 0,73	8,35 ± 0,8	8,25 ± 0,72
	IVS	1,95 ± 0,14	2,09 ± 0,24	2,18 ± 0,2
	LFW	1,9 ± 0,18	1,78 ± 0,17	2,09 ± 0,27
	RWW	1,07 ± 0,1	1,08 ± 0,11	1,19 ± 0,15
RKDLA Ao	Ao_SinVals	6,77 ± 0,35	6,94 ± 0,19	7,15 ± 0,39
RKRLA	TV	7,34 ± 0,76	7,26 ± 0,77	7,97 ± 0,68
	RV	9,85 ± 0,88	9,98 ± 0,9	10,18 ± 0,88
	PV	5,32 ± 0,24	5,8 ± 0,41	5,87 ± 0,61
LKDLA	LA_MV_L	10,11 ± 0,86	10,08 ± 0,59	10,45 ± 0,54
	LA_L	11,03 ± 0,97	11,1 ± 0,51	11,27 ± 0,66

Legende zu Tab. 3: RKDLA = rechte kaudale lange Achse, RKDLA Ao = rechte kaudale lange Achse mit Aorta, RKRLA = rechte kraniale lange Achse, LKDLA = linke kaudale lange Achse, LA = größter linksatrialer Durchmesser, LA\_MV = linksatrialer Durchmesser auf Höhe der Mitralklappe, LVID = größter linksventrikulärer Innendurchmesser, LV2 = linksventrikulärer Innendurchmesser hinter dem Papillarmuskel, IVS = Interventrikularseptum, LFW = linksventrikuläre freie Wand, RWW = rechtsventrikuläre Wand, Ao\_SinVals = Aortendurchmesser, TV = rechter Vorhof auf Höhe der Trikuspidalklappe, RV = rechtsventrikulärer Innendurchmesser, PV = Pulmonalklappe, LA\_MV\_L = linksatrialer Durchmesser auf Höhe der Mitralklappe - von links gemessen, LA\_L = größter linksatrialer Durchmesser - von links gemessen, AG = Altersgruppe, TG = Trainingsgruppe.

ventrikulären Wand, einen  $\alpha$ -Wert von  $> 0,9$  (sehr gut). Der  $\alpha$ -Wert der rechtsventrikulären Wand lag hingegen nur bei  $0,72$  (akzeptabel). Bei den M-Mode Messungen ergab die Reliabilitätsanalyse einen Wert von  $\alpha > 0,9$  (sehr gut) für alle Messungen, außer den Messungen der FS und der linksventrikulären freien Wand. Bei diesen beiden Messungen lag  $\alpha$  bei  $> 0,8$  (gut). Die Reliabilität ist ein Maß für die Verlässlichkeit wissenschaftlicher Messungen und spiegelt den Anteil an der Varianz wieder, der durch tatsächliche Unterschiede im zu messenden Merkmal und nicht durch Messfehler erklärt werden kann.

M-Mode Untersuchungen der Altersgruppe 1 und 2

Aus den diastolischen M-Mode Messungen der linken freien Wand, des linksventrikulären Innendurchmessers und des Interventrikularseptums wurden die linksventrikuläre Masse, die mittlere Wanddicke und die relative Wanddicke errechnet (Tab. 4).

Von einem in das Gerät integrierten Programm wurde zusätzlich noch die Verkürzungsfraktion (FS) errechnet. Die linksventrikuläre Masse vergrößerte sich kontinuierlich von der ersten bis zur dritten Messung um  $42,9\%$  ( $p \leq 0,000$ ; Abb. 3). Die mittlere Wanddicke erhöhte sich um  $11,1\%$  ( $p \leq 0,003$ ) von der ersten bis zur dritten Untersuchung. Bei der relativen

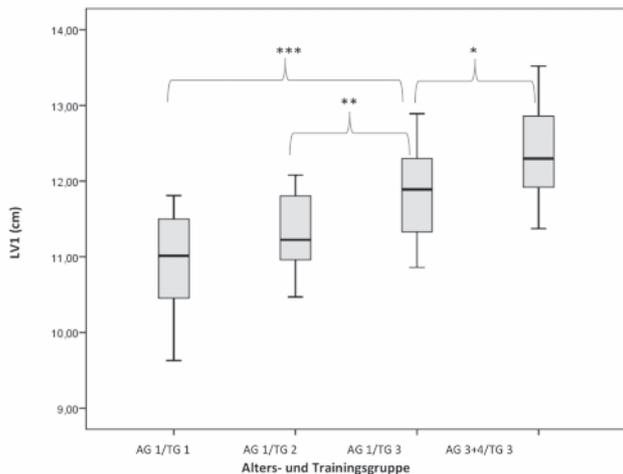
Wanddicke und bei der Verkürzungsfraktion gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen.

M-Mode Untersuchungen der volltrainierten Pferde der Altersgruppen 2, 3 und 4

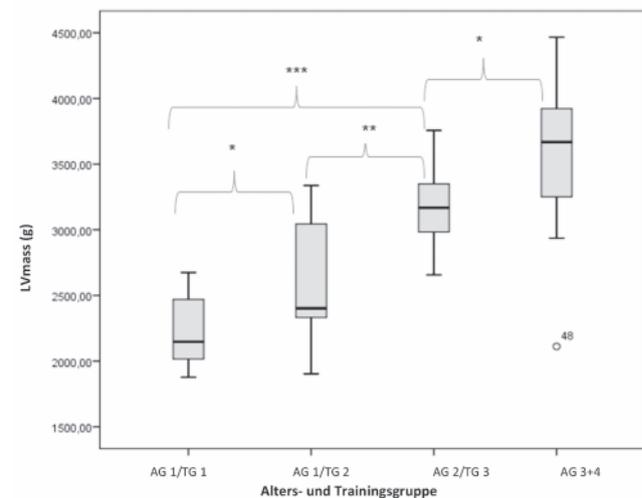
Die linksventrikuläre Masse vergrößerte sich noch einmal um  $12,7\%$  ( $p = 0,041$ ) zwischen den Pferden der Altersgruppe 2 und den Tieren der Altersgruppen 3 und 4. Zwischen den Pferden der Altersgruppen 3 und 4 gab es keinen signifikanten Unterschied (Tab. 5). Bei den Werten der mittleren (Abb. 4) und der relativen Wanddicke und bei der Verkürzungsfraktion konnten ebenfalls keine signifikanten Unterschiede zwischen den Messungen nachgewiesen werden.

Einfluss der Effekte Training, Alter, Gewicht und Herzfrequenz auf die standardechokardiographischen Parameter innerhalb der Gruppen

Innerhalb der Gruppen konnten keine signifikanten Einflüsse des Gewichts, der Herzfrequenz oder des Geschlechts auf die standardechokardiographischen Werte ermittelt werden. Ein



**Abb. 2** Graphische Darstellung der Entwicklung des Durchmessers der linken freien Wand in der Diastole (cm) der Altersgruppe 1 - 4. Hoch sign. Unterschiede ( $p \leq 0,001$ ) wurden mit \*\*\*, sign. Veränderungen ( $p \leq 0,01$ ) mit \*\* und schwach sign. Veränderungen ( $p \leq 0,05$ ) mit \* markiert.



**Abb. 3** Graphische Darstellung der Entwicklung der linksventrikulären Masse (g) der Altersgruppe 1 - 4. Da es keinen sign. Unterschied mehr zwischen den AG 3 und 4 gab, wurden diese beiden Gruppen zur besseren Übersicht im Diagramm zusammengefasst. Hoch sign. Unterschiede ( $p \leq 0,001$ ) wurden mit \*\*\*, sign. Veränderungen ( $p \leq 0,01$ ) mit \*\* und schwach sign. Veränderungen ( $p \leq 0,05$ ) mit \* markiert.

**Tab. 4** M-Mode Messwerte der Altersgruppe 1 und 2 zu den drei Untersuchungszeitpunkten (Mittelwerte mit Standardabweichung)

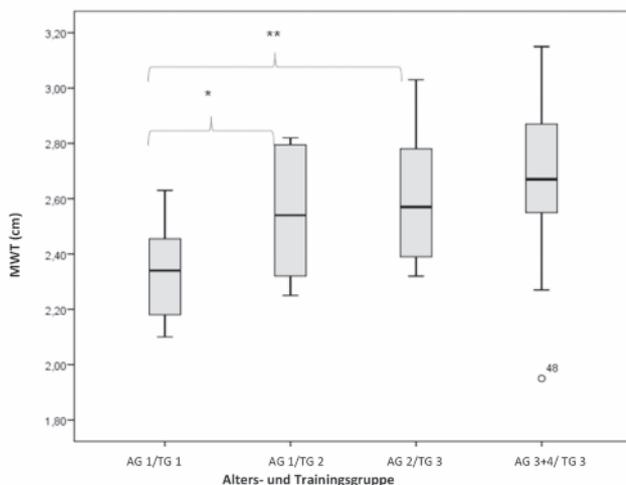
Messfaktor	AG 1/ TG 1 (n=12)	AG 1/ TG 2 (n=8)	AG 2/ TG 3 (n=10)
FS (%)	36,17 ± 5,72	37,07 ± 4,38	37,77 ± 4,52
IVSd (cm)	2,55 ± 0,2	2,7 ± 0,35	2,88 ± 0,34
LVIDd (cm)	9,82 ± 0,6	10,15 ± 0,57	11,36 ± 0,75
LVPWd (cm)	2,11 ± 0,26	2,39 ± 0,42	2,32 ± 0,26
LVmass (g)	2226,51 ± 266,58	2599,47 ± 486,11	3181,12 ± 330,58
MWT	2,34 ± 0,18	2,55 ± 0,24	2,6 ± 0,25
RWT	0,48 ± 0,05	0,5 ± 0,04	0,46 ± 0,07

Legende zu Tab. 4: FS = Fractional Shortening, IVSd = Interventrikularseptum in der Diastole, LVIDd = diastolischer, linksventrikulärer Innendurchmesser, LVPWd = linksventrikuläre freie Wand in der Diastole, LVmass = linksventrikuläre Masse, MWT = mittlere Wanddicke, RWT = relative Wanddicke

signifikanter Einfluss des Alters konnte jedoch auf alle standardechokardiographischen Messwerte nachgewiesen werden. Im M-Mode hatte das Alter einen signifikanten Einfluss auf die Größe des linksventrikulären Innendurchmessers und die linksventrikuläre Masse. Keinen Einfluss hatte das Alter hingegen auf die Größe des Septums, der linken freien Wand, der Verkürzungsfraction und der relativen und mittleren Wanddicke. Auch der Faktor Training hatte einen signifikanten Einfluss auf alle standardechokardiographischen Werte, bis auf die Größe des Interventrikularseptums und des Durchmessers des linken Ventrikels hinter dem Papillarmuskel. Die M-Mode-Messungen des linksventrikulären Innendurchmessers, des Interventrikularseptums, der linksventrikulären Masse und der mittleren Wanddicke wurden signifikant durch das Training beeinflusst. Keinen Einfluss hatte das Training auf die Dicke der linken Wand, der Verkürzungsfraction und der relativen Wanddicke.

**Farbdoppleruntersuchungen der Herzklappen**

Bei der echokardiographischen Untersuchung zeigte sich bei 5 Pferden ein Rückfluss an der Aortenklappe (2 × AG 1, 1 × AG 3, 2 × AG 4), bei 3 Pferden ein Rückfluss an der Mitralklappe



**Abb. 4** Graphische Darstellung der Entwicklung der mittleren Wanddicke (cm) der Altersgruppe 1 - 4. Da es keinen sign. Unterschied mehr zwischen den AG 3 und 4 gab, wurden diese beiden Gruppen zur besseren Übersicht im Diagramm zusammengefasst. Hoch sign. Unterschiede ( $p \leq 0,001$ ) wurden mit \*\*\*, sign. Veränderungen ( $p \leq 0,01$ ) mit \*\* und schwach sign. Veränderungen ( $p \leq 0,05$ ) mit \* markiert.

(1 × AG 3, 2 × AG 4), bei 5 Pferden eine Insuffizienz an der Pulmonalklappe (2 × AG 1, 2 × AG 3 und 1 × AG 4) und bei 17 Pferden eine Insuffizienz an der Trikuspidalklappe (5 × AG 1, 5 × AG 3 und 7 × AG 4). Alle Rückflüsse hatten eine Geschwindigkeit von unter 2 m/s und wurden als physiologisch eingestuft. Die meisten Regurgitationen konnten in der Altersgruppe 4 nachgewiesen werden. Somit nahm die Häufigkeit der Regurgitationen mit zunehmendem Alter und Training zu, der Schweregrad der Insuffizienzen blieb hingegen gleich.

**Diskussion**

Langfristiges Training führt sowohl beim Menschen als auch beim Pferd zu anatomischen und physiologischen Adaptionsvorgängen am Herzmuskel, die dazu dienen, der veränderten kardiovaskulären Funktion Rechnung zu tragen. Das Ausmaß dieser Veränderungen hängt dabei vor allem von der individuellen Art und Intensität des Trainings ab (Paterick et al. 2014). Eine Erfassung dieser kardialen Veränderungen mit der Echokardiographie bietet sich an. Die M-Mode Messwerte der 3- und 4-jährigen Pferde unserer Studie lagen erwartungsgemäß innerhalb der von Grenacher und Schwarzwald sowie der von Zucca et al. angegebenen Referenzwerte für ausgewachsene Trabrennpferde (Zucca et al. 2008, Grenacher und Schwarzwald 2010). Die M-Mode Werte der Altersgruppe 1 und 2, sowie die daraus errechneten Werte LVmass, RWT und MWT befanden sich ebenfalls innerhalb bzw. im oberen Referenzbereich der von Buhl et al. angegebenen Normwerte für diese Altersgruppen (Buhl et al. 2005). Trotzdem zeigte sich im Verlauf unserer Untersuchungen eine Zunahme der linksventrikulären Masse, des linksventrikulären Innendurchmessers, der linken freien Wand und der mittleren Wanddicke. Die relativen Wanddicken blieben jedoch weitestgehend konstant. Dies spricht für eine gleichmäßige Vergrößerung der linken freien Wand und des linksventrikulären Innendurchmessers. Dies lässt auf die Entwicklung einer exzentrischen Hypertrophie, wie sie typischerweise bei Ausdauersportlern gefunden wird, schließen und stimmt mit anderen Untersuchungen von Pferden im Training überein (Young 1999, Buhl und Erbsoll 2012, Sleeper et al. 2014). Bei der Verkürzungsfraction gab es im Verlauf der Untersuchungen keine Veränderung. Zu der trainingsbedingten Entwicklung der Verkürzungsfraction (FS) existieren sowohl in der Humanmedizin als auch in der Pferde-medicin widersprüchliche Ergebnisse. In einer Studie von Buhl an Trabrennpferden kam es im Verlauf des Trainings zu einer signifikanten Verringerung der Verkürzungsfraction (Buhl et al. 2005). Eine amerikanische Studie mit 7434 Vollblütern konnte hingegen keine Veränderungen der FS feststellen (Seder et al.

**Tab. 5** M-Mode Messwerte der volltrainierten Pferde der Altersgruppen 2 (2-jährig), 3 und 4

Messfaktor	AG 2 / TG 3 (n=10)	AG 3 / TG 3 (n=11)	AG 4 / TG 3 (n=10)
FS (%)	37,77 ± 4,52	37,16 ± 3,86	37,87 ± 2,87
IVSd (cm)	2,88 ± 0,34	2,92 ± 0,32	2,88 ± 0,46
LVIDd (cm)	11,36 ± 0,75	11,84 ± 0,95	12,05 ± 0,75
LVPWd (cm)	2,32 ± 0,26	2,54 ± 0,43	2,31 ± 0,35
LVmass (g)	3181,12 ± 330,58	3650,33 ± 399,44	3516,34 ± 647,18
MWT	2,6 ± 0,25	2,73 ± 0,24	2,6 ± 0,29
RWT	0,46 ± 0,07	0,46 ± 0,07	0,43 ± 0,05

Legende zu Tab. 5: FS = Fractional Shortening, IVSd = Interventricularseptum in der Diastole, LVIDd = diastolischer, linksventrikulärer Innendurchmesser, LVPWd = linksventrikuläre freie Wand in der Diastole, LVmass = linksventrikuläre Masse, MWT = mittlere Wanddicke, RWT = relative Wanddicke.

2003). Auch eine humanmedizinische Analyse von 59 Studien und 1451 Athleten kam zu dem Schluss, dass es keine signifikanten Unterschiede in der FS zwischen Athleten und untrainierten Kontrollgruppen gibt (Pluim et al. 2000). Unsere Studie zeigt (in Ergänzung zu den bereits existierenden Studien zu dieser Thematik), dass Training und Wachstum zu einer Größen- und Dickenzunahme des Herzens führen. Diese Veränderungen waren vor allem innerhalb des ersten Trainingsjahres sichtbar. Eine klare Abgrenzung zwischen trainings- und wachstumsbedingten myokardialen Strukturveränderungen ist jedoch nur bedingt möglich, da eine untrainierte Kontrollgruppe für unsere Studie nicht zur Verfügung stand. Es ist davon auszugehen, dass beide Faktoren eine Rolle spielen. Interessant ist der Aspekt, dass es zu einer exzentrischen Hypertrophie kommt, und es sich somit beim Trabrennsport (bei Übertragung in den Humanbereich) nicht um eine klassische Kraftsport- sondern um eine Ausdauersportdisziplin handelt.

### Klappenregurgitationen

Moderne Ultraschallgeräte erkennen auch bei gesunden Patienten, sowohl in der Human- als auch in der Pferdemedizin, bereits kleinste Rückströme (Berger et al. 1989, Marr und Reef 1995). Um physiologische Regurgitationen von Herzklappeninsuffizienzen abzugrenzen, müssen Anhaltspunkte für eine Klappenerkrankung mit in Betracht gezogen werden, wie z.B. veränderte Klappensegel, vergrößerte Kammern oder Vorhöfe, der Schweregrad der Volumenüberladung, die Größe des Rückfluss-Jets und die Relation zwischen der Jetgröße und der Größe des Vorhofes/ der Kammer (Blissitt und Bonagura 1995, Reef 1995). Alle Rückflüsse in der vorliegenden Studie hatten ein kurzes, klappenschlussassoziiertes Rückflusssignal mit kleiner Fläche und wurden als physiologisch eingestuft. Sie hatten keinen Einfluss auf die Leistungsfähigkeit der Pferde. Diese Rückflüsse gelten somit als physiologische Regurgitationen und müssen von pathologischen, noch nicht hämodynamisch relevanten Klappeninsuffizienzen, abgegrenzt werden. Diese Ergebnisse stehen im Einklang mit vorangegangenen Studien, bei denen eine hohe Prävalenz von Regurgitationen bei Rennpferden, vor allem mit zunehmendem Training, nachgewiesen werden konnte. Die Insuffizienzen hatten auch dort keinen Einfluss auf die Rennleistung (Marr und Reef 1995, Kriz et al. 2000, Buhl et al. 2005).

### Einfluss der körperspezifischen Merkmale

Für alle erhobenen Werte unserer Studie wurde der Einfluss der festen Effekte Gewicht, Geschlecht, Herzfrequenz, Alter und Training analysiert. Das Gewicht und das Geschlecht zeigten dabei keinerlei Einfluss auf die gemessenen Werte der Standardechokardiographie. Da bei der Untersuchung darauf geachtet wurde, dass alle Pferde einen Ruhepuls behielten, wiesen die erfassten Herzfrequenzen zwischen den verschiedenen Gruppen keine großen Schwankungen auf.

Für die standardechokardiographischen Werte zeigte sich eine positive Korrelation sowohl mit dem Alter als auch mit dem Training. Man muss jedoch beachten, dass diese Korrelation ein errechneter Wert aufgrund der vorgenommenen Einteilung in die Alters- und Trainingsgruppen ist. Innerhalb der Altersgruppe 1 kam es im Verlauf der drei Untersuchungen jedoch auch zu einem Alterungsprozess. Dies könnte zu Problemen in der Berechnung des Einflusses des Trainingseffekts

geführt haben. Um den Alterungs- und Trainingseffekt klar voneinander trennen zu können, wäre eine untrainierte, alterskorrelierte Kontrollgruppe nötig.

### Fazit

Insbesondere im ersten Trainingsjahr findet eine Größenzunahme des Herzens und der Myokarddicken bei Trabrennpferden im Sinne einer exzentrischen Hypertrophie statt. Mit zunehmendem Alter erhöhte sich zudem auch die Inzidenz an physiologischen Regurgitationen, vor allem an der Trikuspidalklappe. Dies ist ein häufig gesehenes Phänomen bei Rennpferden und wirkt sich nicht negativ auf die Leistungsfähigkeit der Tiere aus. Sowohl bei der vorliegenden Studie, als auch bei zuvor durchgeführten Untersuchungen, bleibt jedoch spekulativ, ob die echokardiographischen Veränderungen durch das Training bzw. Wachstum/Alter verursacht sind, da untrainierte Kontrollgruppen fehlen.

### Literatur

- Berger M., Hecht S. R., van Tosh A., Lingam U. (1989) Pulsed and continuous wave doppler echocardiographic assessment of valvular regurgitation in normal subjects. *J. Am. Coll. Cardiol.* 13, 1540-1545
- Blissitt K. J., Bonagura J. D. (1995) Colour flow Doppler echocardiography in horses with cardiac murmurs. *Equine Vet. J. Suppl.* 19, 82-85
- Buhl R. (2008) A review of structural features of the equine athlete's heart: is a large heart an advantage for racing success? *American Association of Equine Practitioners. Proceedings of the Annual Convention*, 6-10
- Buhl R., Erbsoll A. K. (2012) Echocardiographic evaluation of changes in left ventricular size and valvular regurgitation associated with physical training during and after maturity in Standardbred trotters. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 240, 205-212; doi: 10.2460/javma.240.2.205
- Buhl R., Erbsoll A.K., Eriksen L., Koch J. (2005) Changes over time in echocardiographic measurements in young Standardbred racehorses undergoing training and racing and association with racing performance. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 226, 1881-1887
- Buhl R., Erbsoll A. K., Eriksen L., Koch J. (2005) Use of color Doppler echocardiography to assess the development of valvular regurgitation in Standardbred trotters. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 227, 1630-1635
- D'Andrea A., Caso P., Severino S., Galderisi M., Sarubbi B., Limongelli G., Cice G., D'Andrea L., Scherillo M., Mininni N., Calabro R. (2002) Effects of different training protocols on left ventricular myocardial function in competitive athletes: a Doppler tissue imaging study. *Italian Heart J.* 3, 34-40
- Dorn G. W. 2nd (2007) The fuzzy logic of physiological cardiac hypertrophy. *Hypertension* 49, 962-970; doi:10.1161/hypertensionaha.106.079426
- Ellison G. M., Waring C. D., Vicinanza C., Torella D. (2012) Physiological cardiac remodelling in response to endurance exercise training: cellular and molecular mechanisms. *Heart* 98, 5-10; doi: 10.1136/heartjnl-2011-300639
- Fagard R. H. (1997) Impact of different sports and training on cardiac structure and function. *Cardiol. Clin.* 15, 397-412
- Gehlen H., Haubold A., Stadler P. (2007) [Reference values for echocardiographic parameters of trained and untrained Icelandic horses]. *Dtsch. Tierärztl. Wschr.* 114, 374-377
- George K., Whyte G. P., Green D. J., Oxborough D., Shave R. E., Gaze D., Somauroo J. (2012) The endurance athletes heart: acute stress and chronic adaptation. *British J. Sports Med.* 46 Suppl. 1, i29-36; doi: 10.1136/bjsports-2012-091141

- Grenacher P. A., Schwarzwald C. C. (2010) Assessment of left ventricular size and function in horses using anatomical M-mode echocardiography. *Vet. Cardiol.* 12, 111-121; doi: 10.1016/j.jvc.2010.01.002
- Gunn H. M. (1989) Heart weight and running ability. *J. Anatomy* 167, 225-233
- Harmeyer J. (2005) *Herz. Physiologie der Haustiere*. W. v. Engelhardt. Stuttgart, Enke Verlag: 156-157
- Herrmann G. (1929) The Heart of the Thoroughbred Race Horse. *Studies in Hypertrophy. Experiment. Biol. Med.* 26, 549-551
- Huston T. P., Puffer J. C., Rodney W. M. (1985) The Athletic Heart Syndrome. *New Engl. J. Med.* 313, 24-32
- Kriz N. G., Hodgson D. R., Rose R. J. (2000) Prevalence and clinical importance of heart murmurs in racehorses. *J. Am. Vet. Med. Assoc.* 216, 1441-1445
- Marr C. M., Reef V. B. (1995) Physiological valvular regurgitation in clinically normal young racehorses: prevalence and two-dimensional colour flow Doppler echocardiographic characteristics. *Equine Vet. J. Suppl.* 19, 56-62
- Ohmura H., Hiraga A., Matsui A., Aida H., Inoue Y., Asai Y., Jones J. H. (2002) Physiological responses of young Thoroughbreds during their first year of race training. *Equine Vet. J. Suppl.* 34, 140-146
- Paterick T. E., Gordon T., Spiegel D. (2014) Echocardiography: profiling of the athlete's heart. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 27, 940-948; doi: 10.1016/j.echo.2014.06.008
- Pelliccia A., Maron B. J., Spataro A., Proschan M. A., Spirito P. (1991) The upper limit of physiologic cardiac hypertrophy in highly trained elite athletes. *New Engl. J. Med.* 324, 295-301
- Pluim B. M., Zwinderman A. H., van der Laarse A., van der Wall E. E. (2000) The athlete's heart. A meta-analysis of cardiac structure and function. *Circulation* 101, 336-344
- Poole D. C., Erickson H. H. (2004) Chapter 32 - Heart and vessels: function during exercise and response to training. *Equine Sports Medicine and Surgery*. K. W. Hinchcliff, A. J. Kaneps, R. J. Geor and W. Bayly. Oxford, W.B. Saunders: 699-727
- Poole D. C., Erickson H. H. (2004) Heart and vessels: function during exercise and response to training. *Equine Vet. Sci.* 24, 288-294
- Reef V. B. (1995). Heart murmurs in horses: determining their significance with echocardiography. *Equine Vet. J. Supplement*, 71-80
- Rost R. (1997) The athlete's heart. Historical perspectives--solved and unsolved problems. *Cardiol. Clin.* 15, 493-512
- Seder J. A., Vickery C. E., Miller P. M. (2003) The relationship of selected two-dimensional echocardiographic measurements to the racing performance of 5431 yearlings and 2003 two-year-old Thoroughbred racehorses. *Equine Vet. Sci.* 23, 149-167
- Sleeper M. M., Durando M. M., Holbrook T. C., Payton M. E., Birks E. K. (2014) Comparison of echocardiographic measurements in elite and nonelite Arabian endurance horses. *Am. J. Vet. Res.* 75, 893-898; doi: 10.2460/ajvr.75.10.893
- Stadler P. (1988) Echocardiography in the horse. *Physical-technical basis. Pferdeheilkunde* 4, 111-115
- Stadler P., Rewel A., Deegen E. (1993) [M-mode echocardiography in dressage horses, class S jumping horses and untrained horses]. *Zentralbl. Vet. Med. A* 40, 292-306
- Young L. E. (1999) Cardiac responses to training in 2-year-old thoroughbreds: an echocardiographic study. *Equine Vet. J. Supplement* 30, 195-198
- Young L. E. (2003) Equine athletes, the equine athlete's heart and racing success. *Experiment. Physiol.* 88, 659-663
- Young L. E., Marlin D. J., Deaton C., Brown-Feltner H., Roberts C. A., Wood J. L. (2002) Heart size estimated by echocardiography correlates with maximal oxygen uptake. *Equine Vet. J. Suppl.* 34, 467-471
- Young L. E., Rogers K., Wood J. L. (2005) Left ventricular size and systolic function in Thoroughbred racehorses and their relationships to race performance. *Appl. Physiol. (Bethesda, Md. 1985)* 99, 1278-1285
- Zucca E., Ferrucci F., Croci C., Di Fabio V., Zaninelli M., Ferro E. (2008) Echocardiographic measurements of cardiac dimensions in normal Standardbred racehorses. *Vet. Cardiol.* 10, 45-51; doi: 10.1016/j.jvc.2008.04.002