

4. Ergebnisse

4.1. Ergebnisse der klinischen Untersuchung

4.1.1. Herzfrequenz

Die mittlere Herzfrequenz ($\bar{x} \pm s$) betrug vor und während der klinischen Untersuchung in der Gruppe 1 (Kontrolle) $33,2 \pm 3,91$, in der Gruppe 2 (Mehrf. Klappeninsuffizienzen ohne Dilatation) $33,56 \pm 2,13$, in der Gruppe 3 (Mehrf. Klappeninsuffizienzen mit Dilatation) $34,88 \pm 3,76$, in der Gruppe 4 (Aortenklappeninsuffizienz ohne Dilatation) $39,33 \pm 8,08$ und in der Gruppe 5 (Aortenklappeninsuffizienz mit Dilatation) $34,5 \pm 1,91$ Herzschläge/Minute. Zwischen diesen Gruppen konnten keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden. Für die Auswertung wurde der nichtparametrische Kruskal–Wallis–Test verwendet.

Die Herzfrequenz der Probanden in Gruppe 6 (atrialer Fibrillation) war gegenüber der Herzfrequenz der Pferde in Gruppe 1-5 deutlich erhöht. Sie lag bei $43 \pm 5,24$ Herzschläge/Minute.

4.1.2. Herzrhythmus

In der Kontrollgruppe (Gruppe 1) wurde bei einem Pferd ein physiologischer AV-Block II Grades festgestellt. In der Gruppe 2 (Mehrf. VI-oD) konnte bei 2 Probanden ein physiologischer AV-Block II. Grades diagnostiziert werden. 4 Pferde der Gruppe 3 (Mehrf. VI-mD) wiesen ebenfalls diese Rhythmusänderung auf. In der Gruppe der Tiere mit einer Aortenklappeninsuffizienz ohne Dilatation (AoVI-oD, Gruppe 4) konnte allen Probanden ein normaler Sinusrhythmus detektiert. Bei einem Pferd der Gruppe 5 (AoVI-mD) wurde ein physiologischer AV-Block II. Grades beobachtet. Alle Pferde aus Gruppe 6 (atrialer Fibrillation) wiesen im EKG Flimmerwellen mit einer Frequenz von 400/min auf. Der QRS-Komplex war unverändert, der Herzrhythmus unregelmäßig.

4.1.3. Herzgeräusche

Bei den Pferden der Gruppe 1 (Kontrollgruppe) wurde kein Herzgeräusch festgestellt werden. In der Gruppe 2 (Mehrf. Klappeninsuffizienzen-oD) konnte auskultatorisch bei allen Pferden ein Herzgeräusch mit mindestens Grad II/VI nachgewiesen werden. 7 der Pferde hatten ein systolisches Herzgeräusch, davon konnte bei einem Probanden zusätzlich ein diastolisches

Herzgeräusch II. Grades detektiert werden. 2 Pferden wiesen nur ein diastolisches Herzgeräusch mindestens II. Grades auf.

Insgesamt zeigten 5 Pferde aus der Gruppe 3 (Mehrf. Klappeninsuffizienzen-mD) ein Herzgeräusch, das mindestens Grad II/VI entsprach. Ein Pferd wies nur ein diastolisches Geräusch auf. Bei 2 Patienten der Gruppe konnte kein Herzgeräusch auskultiert werden.

In der Gruppe 4 (AoVI-oD) wurde bei allen Probanden Herzgeräusche in der Stärke von mindestens Grad III/VI nachgewiesen.

In der Gruppe 5 (AoVI-mD) wurde bei allen Pferden ein diastolisches Herzgeräusch festgestellt, das mindestens Grad III/VI erreichte. Ein Pferd hatte zusätzlich ein systolisches Herzgeräusch der Stärke V/VI.

In der Gruppe der Pferde mit atrialer Fibrillation konnte bei 4 der 8 Probanden ein Herzgeräusch auskultiert werden. Bei 3 Pferden trat ein diastolisches Herzgeräusch von mindestens Grad II/VI auf. Ein Pferd zeigte ein systolisches Geräusch der Stärke III/VI

4.2. Ergebnisse der echokardiographischen Untersuchung

4.2.1. Ergebnisse der kardiometrischen Untersuchung

Als mittlere LAD ($\bar{x} \pm s$) wurde in Gruppe 1 (Ko) ein Durchmesser von $10,15 \pm 0,98$ cm gemessen. In den Gruppen der Pferde mit Klappeninsuffizienz ohne Dilatation (Mehrf. VI-oD, AoVI-oD) von Ventrikel oder Atrium konnte kein signifikanter Unterschied des linksatrialen Durchmessers im Vergleich zur Kontrollgruppe festgestellt werden. Ein sehr deutlicher Unterschied der Atriumgröße wurde bei den Pferden mit atrialer Fibrillation nachgewiesen ($p = 0,006$). Auch die Pferde der Gruppe mit mehrf. Klappeninsuffizienzen mit Dilatation zeigten im Vergleich zur Kontrollgruppe ein größeres Atrium.

Tab. 4.1.: Mittelwerte und statistische Unterschiede der linksatrialen Durchmesser (cm) in der RKDLA bei den Pferden der Gruppen 1 – 6

Gruppe	n	LAD ($\bar{x} \pm s$)	p
1	10	$10,15 \pm 0,98$ cm	--
2	9	$10,55 \pm 0,56$ cm	--
3	8	$11,23 \pm 0,8$ cm	* 0,021
4	3	$10,52 \pm 0,37$ cm	--
5	4	$10,78 \pm 0,67$ cm	--
6	8	$12,75 \pm 2,01$ cm	* 0,006

Der linksventrikuläre Durchmesser zeigte beim paarweisen Gruppenvergleich einen signifikanten Unterschied zwischen der Kontrollgruppe und den Probanden mit mehrf. Insuffizienzen ohne Dilatation ($p = 0,016$). Die Pferde mit einer Aortenklappeninsuffizienz ohne Dilatation (Gruppe 4) zeigten dagegen keinen deutlichen Unterschied in der Ventrikelgröße im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Tab. 4.2. Mittelwerte und statistische Unterschiede der linkventrikulären Durchmesser (cm) in der RKDLA bei den Pferden der Gruppen 1 - 6

Gruppe	n	LVD ($\bar{x} \pm s$)	p
1	10	11,99 \pm 0,58 cm	--
2	9	12,61 \pm 0,29 cm	* 0,016
3	8	13,7 \pm 0,45 cm	* < 0,001
4	3	11,48 \pm 0,36 cm	--
5	4	14,23 \pm 0,49 cm	* 0,005
6	8	13,81 \pm 1,57 cm	* 0,008

4.2.2. Fraktionierte Verkürzung

Mit Hilfe des Mann-Whitney U-Tests wurde überprüft, ob es einen Unterschied in den gemessenen Prozent der fraktionierten Verkürzung (FS%) im Vergleich der Gruppen mit der Kontrollgruppe gab. Während der Median der Kontrollgruppe bei 38,6% lag, waren alle anderen gemessenen Mediane niedriger. Lediglich für die in der rechten kaudalen langen Achse gemessenen Werte der Gruppe mit mehrf. Klappeninsuffizienzen mit Dilatation ergab sich ein in der Nähe des Signifikanzniveaus liegender p-Wert ($p = 0,051$). Im Vergleich der Kontrollgruppe zu den übrigen Untersuchungsgruppen konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

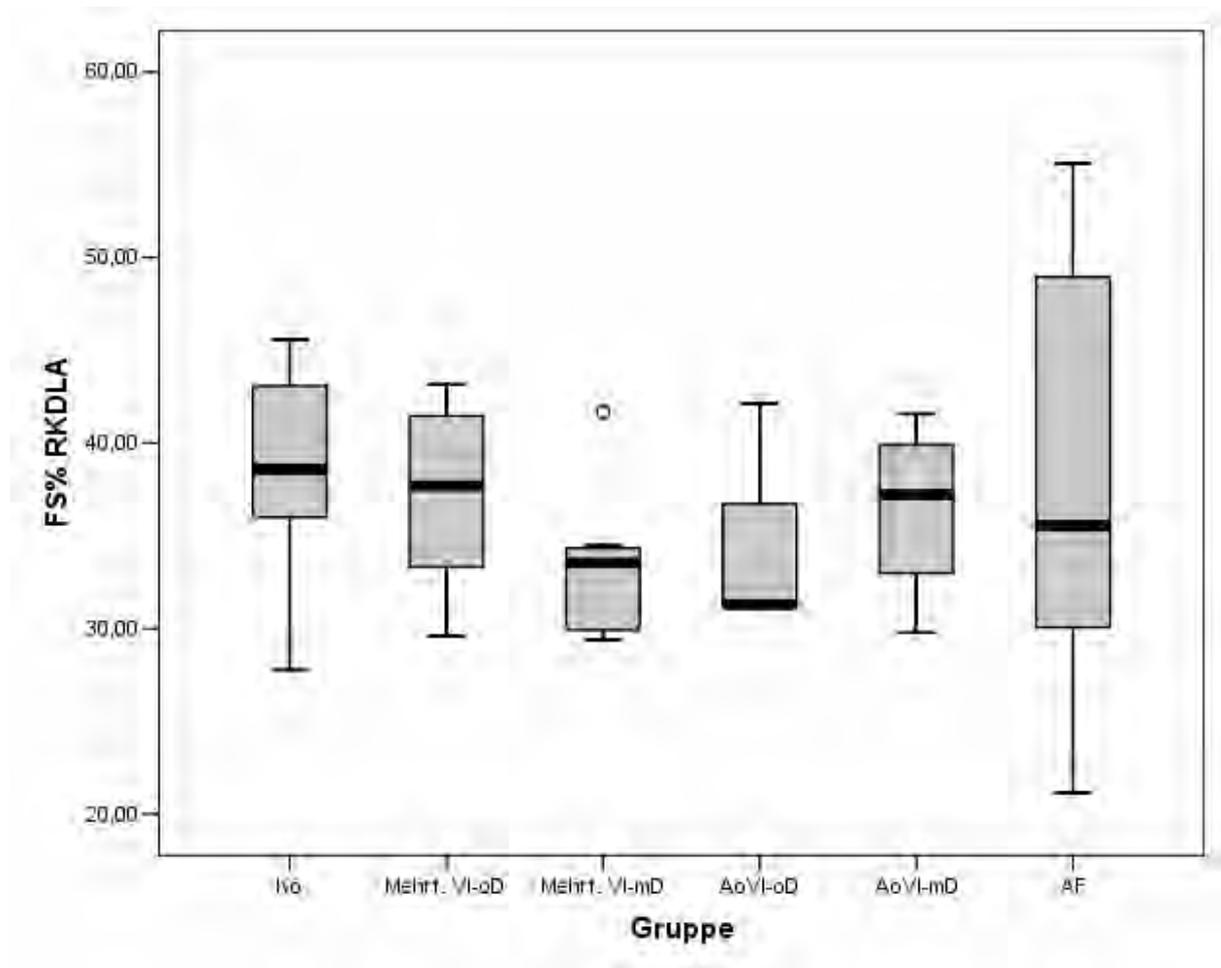


Abbildung 4.1.

Gegenüberstellung der myokardialen fraktionierten Verkürzung (FS%) gemessen in der rechten kaudalen langen Achse bei den Pferden der Gruppen 1 - 6

4.2.3. Ergebnisse der dopplersonographischen Untersuchung

Die im Rahmen der dopplersonographischen Untersuchung aufgefundenen Rückflüsse an den untersuchten Klappen wurden, wie in Kap. 3.2.3.2. beschrieben, anhand des Schweregrades in Gruppen von 0 bis 5 eingeteilt.

Insgesamt 6 Patienten der Gruppe 2 (Mehrf. VI-oD) zeigten eine Mitralklappeninsuffizienz, welche bei 5 Pferden noch mit anderen Insuffizienzen einhergingen. Bei den Probanden der Gruppe 3 hatten 5 Pferde eine Mitralklappeninsuffizienz, die bei allen Pferden mit weiteren Insuffizienzen oder Regurgitationen zusammen auftrat. Alle Pferde der Gruppe 4 wiesen zusätzlich zu einer ausgeprägten Aortenklappeninsuffizienz Regurgitationen an mindestens einer weiteren Klappe auf. In der Gruppe der Pferde mit einer Aortenklappeninsuffizienz mit Dilatation (AoVI-mD) trat diese bei 2 Pferden solitär auf, bei 2 Pferden konnten weitere Insuffizienzen festgestellt werden. Bei den Probanden mit atrialer Fibrillation (Gruppe 6) konnte bei 5 der 8 Pferde eine Mitralklappeninsuffizienz festgestellt werden. Alle diese Pferde

wiesen zusätzlich noch mindestens einer anderen Herzklappeninsuffizienz auf. Nachfolgend die Übersicht der gefundenen dopplersonographischen Befunde. Die Einteilung erfolgt nach dem in Kap. 3.2.3.2. aufgestellten Befundschlüssel.

0 – keine Rückflüsse

1 – physiologische, klappenschlussassoziierte Regurgitationen

2 – geringgradige Herzklappeninsuffizienz

3 – mittelgradige Herzklappeninsuffizienz

4 – mittel-hochgradige Herzklappeninsuffizienz

5 – hochgradige Herzklappeninsuffizienz

Tabelle 4.3.: Übersicht über die dopplersonografischen Befunde an den Herzklappen

Parameter	Gruppe	n	($\bar{x} \pm s$)
AoVI - Grad	1	10	0,2 ± 0,42
	2	9	0,56 ± 0,88
	3	8	0,25 ± 0,46
	4	3	3,00 ± 1,00
	5	4	3,25 ± 0,50
	6	8	0,63 ± 0,92
MVI - Grad	2	9	2,11 ± 1,69
	3	8	2,13 ± 2,03
	4	3	0,33 ± 0,58
	5	4	1,25 ± 1,50
	6	8	1,75 ± 1,83
TVI - Grad	2	9	0,56 ± 0,88
	3	8	0,75 ± 1,04
	4	3	0,33 ± 0,58
	6	8	0,75 ± 1,16
PVI - Grad	2	9	0,11 ± 0,33
	3	8	0,13 ± 0,35
	4	3	0,67 ± 0,58
	5	4	0,25 ± 0,50
	6	8	0,63 ± 0,92

4.3. Ergebnisse der Gewebe-Doppler-Echokardiographie

4.3.1. Kurvenidentifikation

Hauptziel war die Identifizierung der mit der Gewebe-Doppler-Echokardiographie gewonnenen Kurvenverläufe. Es wurde in ähnlicher Weise vorgegangen wie bei den ersten klinischen Anwendungen des M-Mode bei Pferden. Es wurde versucht, vergleichbare Anlotpositionen wie beim Menschen zu erarbeiten, um eventuell ähnliche Bewegungsmuster zu erhalten. Durch dieses Verfahren gelang ein schnellerer Fortschritt in der Interpretation der erstellten Bewegungskurven der Herzmuskulatur, da in der Humanmedizin gewonnene Erkenntnisse in weiten Teilen übernommen werden konnten (STADLER 1996a)

Anhand der in der Humanmedizin gewonnenen Erkenntnisse und eines persönlichen Gesprächs mit einem erfahrenen Auswerter aus dem Fachbereich Humanmedizin (pers. Mitteilung Prof. Dr. BORGES) wurden die Kurven beim Pferd ausgewertet. Die Messung der Geschwindigkeiten erfolgte in Zentimeter pro Sekunde (cm/s).

Mit beiden Verfahren der Gewebe-Doppler-Echokardiographie konnten charakteristische Bewegungsprofile für die untersuchten Regionen erstellt werden.

Bei allen Aufnahmen, die aus der rechten kaudalen kurzen Achse (RKDKA) aufgenommen wurden, war die Identifizierung von vier myokardialen Hauptbewegungen möglich.

In den Aufzeichnungen werden systolische Geschwindigkeiten mit positiven Werten und diastolische Geschwindigkeiten mit negativen Werten angegeben. An der linksventrikulären Hinterwand bewegt sich das Myokard in der Diastole vom Schallkopf weg und das Vorzeichen verdeutlicht so die Bewegungsrichtung des Myokards. Am Interventrikularseptum bewegt sich der Herzmuskel in den identifizierten Messzeitpunkten entgegengesetzt.

Anhand eines zeitgleich aufgezeichneten EKG's wurden die abgeleiteten Kurven der Systole und Diastole zugeordnet. Aus diesen Geschwindigkeitsprofilen konnten bei beiden Doppler-Verfahren die folgenden Parameter ermittelt werden. (s. Abb. 4.2)

4.3.1.1. Messungen an der linksventrikulären Hinterwand (LVW)

Vor der systolischen Kammerkontraktion war regelmäßig eine weitere Myokardbewegung zu beobachten. Diese wurde aufgrund von persönlichen Gesprächen mit einem Auswerter von Daten beim Menschen (BORGES 2002) und einigen vergleichbaren Geschwindigkeitsprofilen in der Humanliteratur als isovolumentrische Kontraktion (V_{IC}) identifiziert. Eine systolische Spitzengeschwindigkeit. In der ST-Strecke des EKG's konnte regelmäßig die systolische Wandbewegung dargestellt werden. Diese Kurve verlief nicht immer einphasig sondern zeigte

einen wellenförmigen Verlauf. Es wurde immer das systolische Geschwindigkeitsmaximum (V_S) während der Kammerkontraktion gemessen. Diastolisch traten zwei verschiedene Peaks auf. Diese sind Zeichen der diastolischen Myokardehnung aufgrund des Blutflusses und entsprechen der E- und A-Welle des Mitralflussprofils. Die V_E (frühdiaastolische Kontraktionsgeschwindigkeit) wurde EKG-orientiert nach der T-Zacke gemessen. Die E-Welle bestand bei vielen Pferden aus einer zweiphasigen Bewegung, die aber immer in der selben Bewegungsrichtung auftrat. Hier wurde die Maximalgeschwindigkeit der Welle mit dem größeren Ausschlag gemessen. Die spätdiaastolische Kontraktionsgeschwindigkeit (V_A) wurde nach der P-Welle und vor der Q-Zacke gemessen.

Der Zeitpunkt der isovolumetrischen Relaxation konnte in den Geschwindigkeitsprofilen nicht eindeutig und wiederholbar identifiziert werden.

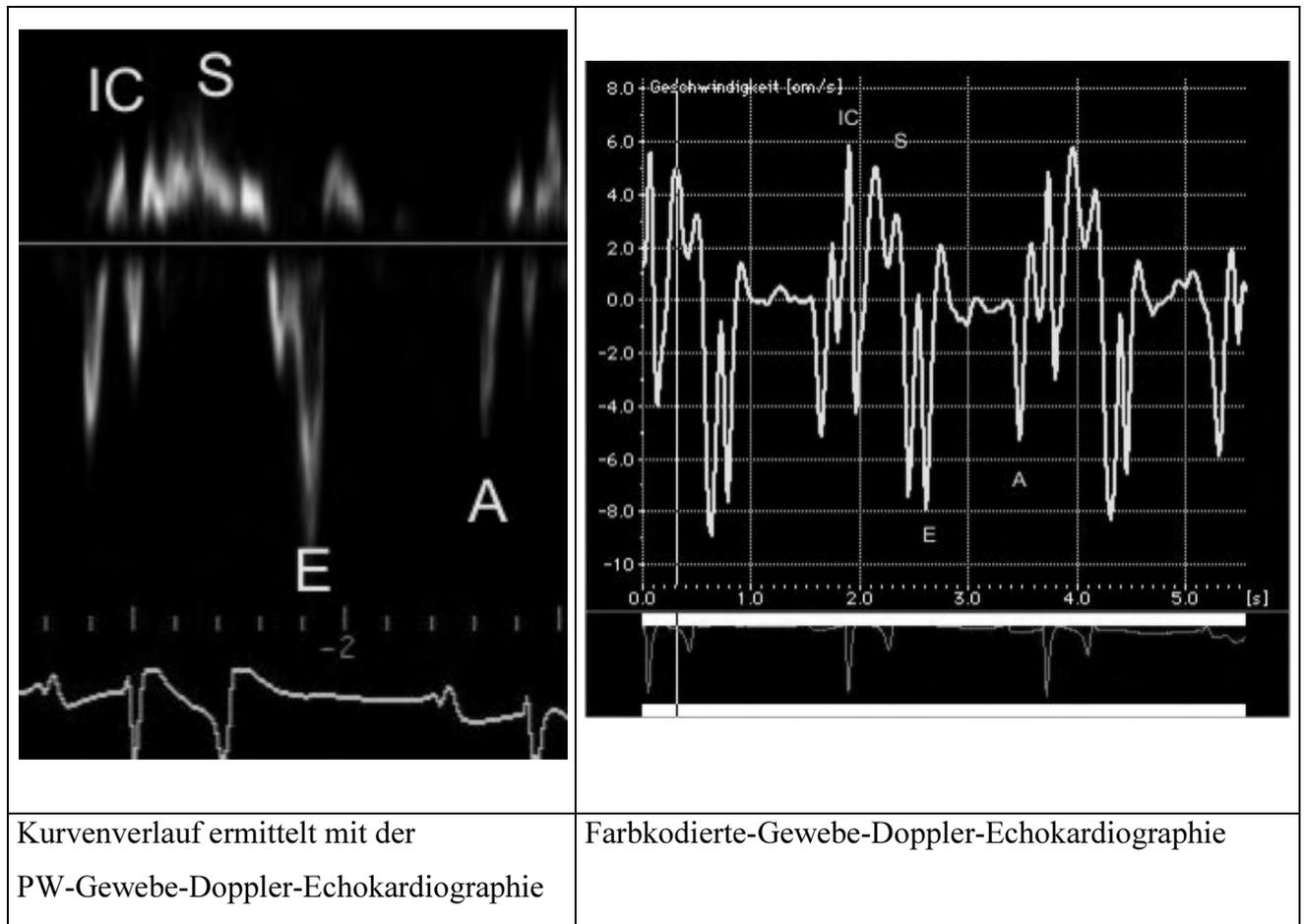


Abbildung 4.2.:

Kurvenverläufe der linksventrikulären Hinterwand gemessen in der rechten kaudalen kurzen Achse und dargestellt mit den Verfahren der Gewebe-Doppler-Echokardiographie

4.3.1.2. Messungen am Interventrikularseptum (IVS)

Die Bewegungen des Interventrikularseptums sind wesentlich uneinheitlicher und komplexer als die Myokardbewegungen der linksventrikulären Hinterwand.

Am Messpunkt im Interventrikularseptum konnten nicht alle Messungen nachvollzogen werden. Die isovolumetrische Kontraktion konnte nicht eindeutig und wiederholbar identifiziert werden. Außerdem lagen nur wenig vergleichbare Messungen in der Humanmedizin vor. So wurden am Interventrikularseptum nur das systolische Geschwindigkeitsmaximum (V_S) und die beiden diastolischen Myokardbewegungen (V_E , V_A) eindeutig identifiziert und ausgewertet. Der Messzeitpunkt wurde mit dem EKG abgestimmt und in den Kurven die auftretenden Geschwindigkeitsmaxima abgelesen.

Die systolischen Kontraktionsbewegungen traten am IVS vor allem in der frühen Systole auf und erreichten die Maximalgeschwindigkeit (V_S) deutlich vor der linksventrikulären Hinterwand. In der frühen Diastole bewegte sich das Interventrikularseptum nach der E-Welle bei vielen Pferden in dieselbe Richtung, wie die linksventrikuläre Hinterwand. In der späten Diastole kam es zu uneinheitlichen Schwankungen des Myokards; die V_A war aber bei den meisten Pferden eindeutig zu identifizieren.

Diese Messungen waren mit beiden Gewebe-Doppler-Echokardiographie Verfahren nachvollziehbar.

Die spätdiastolische Geschwindigkeit konnte bei Pferden mit atrialer Fibrillation mit beiden Verfahren nicht gemessen werden.

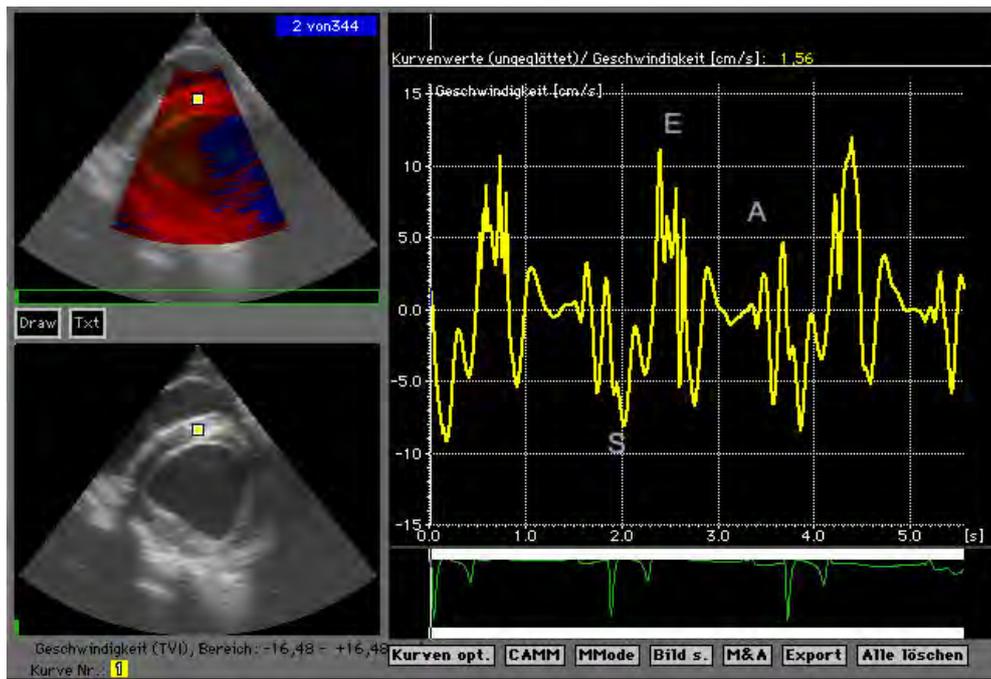


Abbildung 4.3.:

Nachbearbeitung eines GDE-Loops des IVS mit einer geeigneten Auswertungssoftware.



Abbildung 4.4.

Aufzeichnung pulsed-wave-GDE am interventrikulären Septum

(S = systol. Spitzengeschwindigkeit, E = frühdiastolische Spitzengeschwindigkeit, A = spätdiastolische Spitzengeschwindigkeit)

4.3.2. Vergleich der methodenbedingten Geschwindigkeitsunterschiede

In der Humanmedizin wurde festgestellt, dass die mit dem gepulsten Doppler gemessenen Geschwindigkeiten immer höher sind, als die mit den farbkodierten Gewebe-Doppler ermittelten (KUKULSKI 2000). Diese zum Teil technisch bedingte Tatsache sollte auch beim Pferd überprüft werden. Hierzu wurden die drei Einzelmessungen beider Verfahren gemittelt. Die im farbkodierten Gewebe-Doppler errechneten Werte wurden von denen des gepulsten Gewebe-Dopplers abgezogen. Es wurde nur mit den Messwerten (unabhängig vom Vorzeichen) gerechnet, da die Vorzeichen nur die Richtung der Myokardbewegung anzeigen. Aus den Daten wurde eine Häufigkeitstabelle erstellt, wobei ein Wert, der unter oder gleich 0 war, zu einer negativen Aussage führte. Lag der errechnete Wert über 0, waren die mit dem gepulsten Doppler ermittelten Geschwindigkeiten höher als die mit dem farbigen Gewebe-Doppler ermittelten.

Bei allen Pferden konnte diese Aussage für die systolische Spitzengeschwindigkeit (V_S) und die frühdiastolische E-Welle (V_E) an der links ventrikulären Hinterwand getroffen werden (100% der gültigen Prozente). Bei der isovolumetrischen Kontraktionsgeschwindigkeit (V_{IC}) und der spätdiastolischen Kontraktionsgeschwindigkeit (V_A) der linksventrikulären Hinterwand war diese Aussage nur bei einem Pferd nicht gültig. Dies entspricht bei der V_{IC} einem Prozentsatz von 97,5, während es bei der V_A einem Prozentsatz von 74,4 entspricht, da hier die Gruppe AF nicht miteinbezogen werden kann.

Die Messungen an dem Interventrikularseptum zeigen größere Abweichungen. Hier konnte die Aussage bei einem Pferd in der V_S (97,4%), bei 2 Pferden in der V_E (94,7%) und bei 3 Probanden in der V_A (90,3%) nicht bestätigt werden.

4.3.3. Intraindividuelle Messunterschiede

Um die intraindividuellen Unterschiede in den 3 Einzelmessungen zu erfassen und zu berücksichtigen, wurde aus den drei Einzelmessungen je Proband der Maximalwert und der Minimalwert bestimmt. Aus diesen Werten wurde die Differenz gebildet.

4.3.3.1. Ergebnisse der farbkodierten GDE im Gruppenvergleich

An der LVW wurden bei der Messung der V_{IC} große, intraindividuelle Unterschiede bei den Messungen festgestellt. Die geringste Streuung trat bei den Probanden mit mehrf. Klappeninsuffizienzen (n=9) auf, wobei aber auch hier ein Patient eine deutlich größere Abweichung (über 3 cm/s) zeigte. Bei der Kontrollgruppe lag der Median bei 1 cm/s und den

Patienten mit atrialer Fibrillation bei 0,9 cm/s, die Pferde der Kontrollgruppe zeigten jedoch eine größere Streuung nach oben.

Die systolische Wandbewegungsgeschwindigkeit (V_S) wies bei der Differenz zwischen Minimalwert und Maximalwert der Gruppen 1 – 5 eine deutlich geringere Streuung der Ergebnisse auf. Die Differenz zwischen dem 25 Prozent Quantil und dem 75 Prozent Quantil war hier geringer, nur für die Pferde mit atrialer Fibrillation konnte diese Aussage nicht getroffen werden. Bei dieser Gruppe lagen der Maximalwert und der Minimalwert 2,5 cm/s auseinander. 50 Prozent der Pferde dieser Gruppe zeigten aber eine intraindividuelle Schwankungsbreite von 0,9 cm/s oder weniger. Damit waren sie mit der Kontrollgruppe vergleichbar, deren Median bei 0,9 cm/s lag.

Die Differenz der frühdiastolisch gemessenen Geschwindigkeiten (V_E) war bei allen Gruppen vergleichbar. Die Mediane der Gruppen lagen nur um 0,3 cm/s auseinander und lagen zwischen 1,2 cm/s (Mehrf.VI-mD) 1,3 cm/s (Kontrollgruppe) und 1,5 cm/s bei der AF-Gruppe. Die Schwankungsbreite der V_A an der linksventrikulären Hinterwand der Probanden mit mehrf. Klappeninsuffizienzen mit Dilatation war deutlich niedriger (*s.Abb. 4.5.*)

Bei der Messung der systolischen Spitzengeschwindigkeit (V_S) am IVS zeigten alle Boxplots eine relativ gleichmäßige Ausbreitung, nur der Graph der Gruppe mit AF lag deutlich über den anderen und hatte eine größere Streuung (*s.Abb. 4.6.*). Bei dem Gruppenvergleich der Kontrolle mit den Pferden mit atrialer Fibrillation zeigte sich, dass die auftretenden, intraindividuellen Messunterschiede am IVS deutlich größer waren, als die Werte der Kontrollgruppe. Die Boxplots der Werte der V_E zeigten eine geringe Ausbreitung, nur die Pferde mit AF hatten auch hier größere Werte. In den Kontrollgruppe und mehrf. VI-ohne Dilatation wurden je zwei Ausreißer festgestellt und einer bei der Gruppe mehrf. VI-mD. Bei der spätdiastolischen Geschwindigkeit lagen die Mediane aller Gruppen auf dem gleichen Niveau. Der Boxplot der Gruppe mehrf.VI-mD zeigte aber eine größere Spannweite.

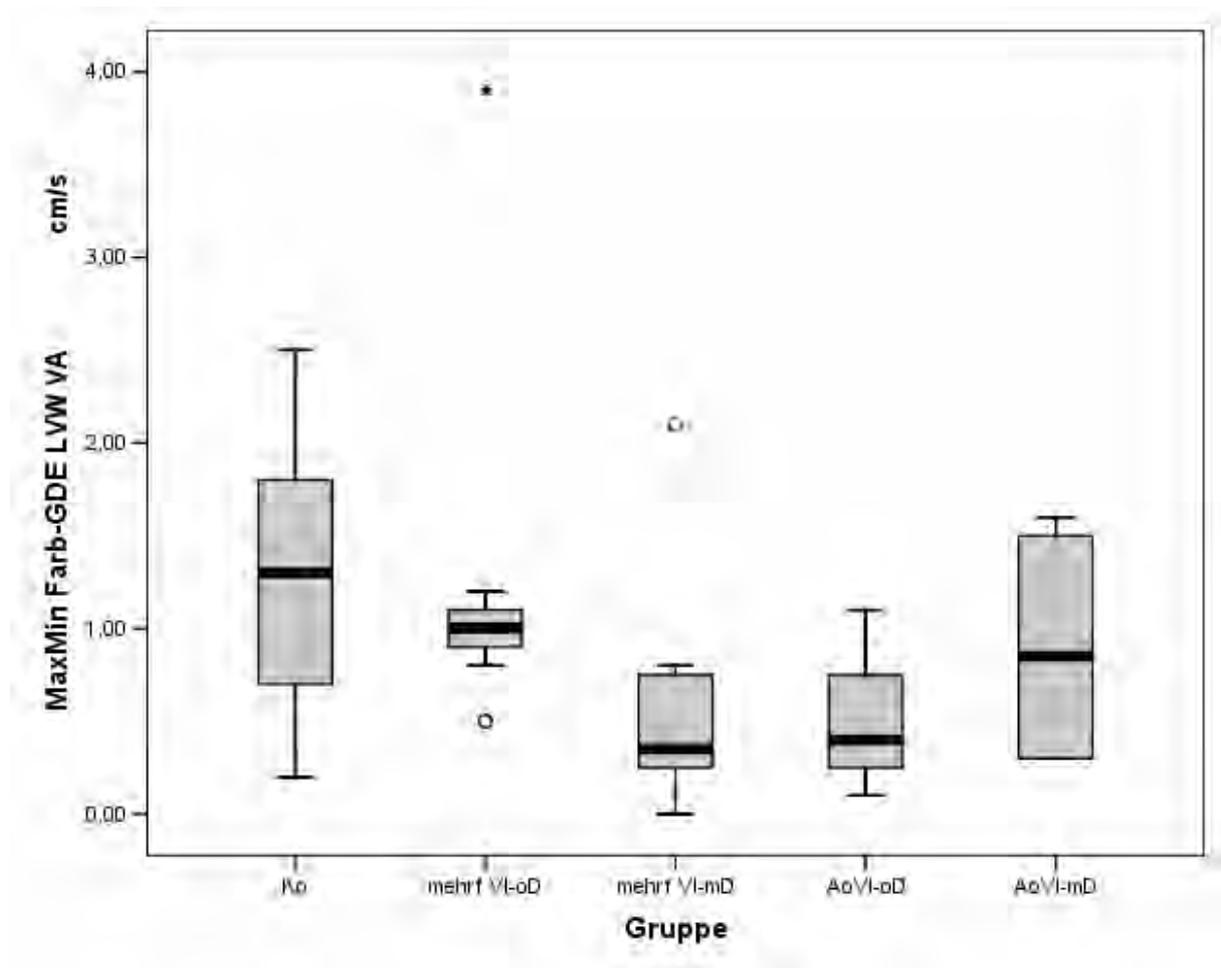


Abbildung 4.5.

Gegenüberstellung der spät-diastolischen Geschwindigkeitsunterschiede (V_A) an der linksventrikulären Hinterwand gemessen mit dem farbkodierten Gewebe-Doppler

Der Median der Kontrollgruppe ($n=10$) lag bei der Berechnung der intraindividuellen Messunterschiede $1,3 \text{ cm/s}$, während der Median der Gruppe 3 (Mehrf.VI-mD, $n= 8$) sich wesentlich niedriger bei $0,35 \text{ cm/s}$ darstellte. Die intraindividuellen Unterschiede waren in der Gruppe 2 ($n=9$) besonders gering, wobei ein Ausreißer nach unten zu beachten ist, aber auch ein Extremwert nach oben. Für die Pferde mit atrialer Fibrillation konnte dieser Wert nicht festgestellt werden.

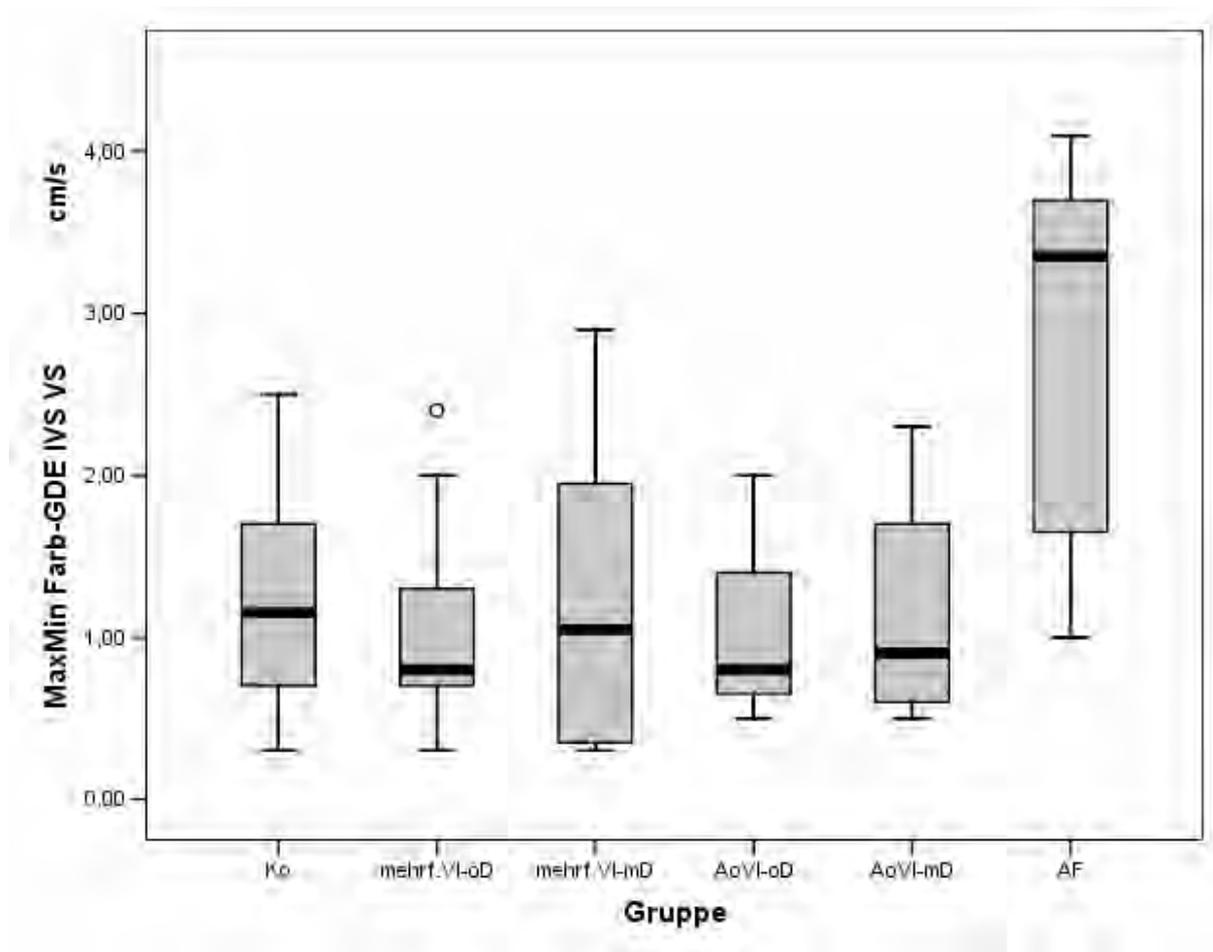


Abbildung 4.6.

Gegenüberstellung der systolischen Spitzengeschwindigkeitsunterschiede (V_s) an dem interventrikulären Septum gemessen mit dem farbkodierten Gewebe-Doppler

Der Median der Kontrollgruppe ($n=10$) lag hier bei 1,2 cm/s und die maximale Abweichung der Untersuchungsergebnisse betrug 2,5 cm/s. Der Median der Gruppe 6 (AF, $n=8$) lag im Gegensatz dazu mit einem Wert von 3,4 cm/s bei über 50 Prozent der Pferde deutlich höher. Die maximale Abweichung wies 4,1 cm/s auf und war damit deutlich über dem Wert der Kontrollgruppe (2,5 cm/s). Bei den Gruppen 2 – 5 konnte kein deutlicher Unterschied festgestellt werden.

4.3.3.2. Ergebnisse der PW-Gewebe-Doppler-Echokardiographie im Gruppenvergleich

Die Boxplots der V_{IC} der LVW zeigten eine sehr unterschiedliche Spannbreite. Hier fiel vor allem die Größe des Boxplots der Gruppe mit AoVI-mD auf, da sich trotz der geringen Probandenzahl ($n=4$) eine große Streuung ergab. Über 75 % der Pferde zeigten hier größere intraindividuelle Schwankungen der Messwerte, als die Pferde der Kontrollgruppe. Auch bei der systolischen Spitzengeschwindigkeit war in dieser Gruppe (AoVI-mD) eine höhere Streuung der Einzelmessungen festzustellen, wobei die Werte innerhalb der Gruppe hier nicht so stark variierten. Die Boxplots der Gruppen 1 – 5 zeigten alle einen relativ geringen Quantilsabstand, eine Ausnahme war der Boxplot der Gruppe 6 (AF), der sich deutlich größer darstellte. Bei der Messung der intraindividuellen Unterschiede der frühdiastolischen Geschwindigkeit konnte bei keiner Gruppe ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Die Boxplots der Kontrollgruppe und der Pferde mit atrialer Fibrillation wiesen hier die größte Ausdehnung auf. Bei der Messung der V_A wurde bei einem Pferd (Nr. 23) ein extremer Ausreißer festgestellt. Die restlichen Werte unterschieden sich nicht signifikant von denen der Kontrollgruppe.

Die Streuung der Differenz zwischen Minimal und Maximalwert der V_S am interventrikulären Septum unterschieden sich bei den Gruppen nicht deutlich. Bei den Gruppen 1 – 3 wurde je ein Ausreißer dargestellt. Der Median der Gruppe AF lag vergleichsweise hoch. Auch bei der Messung der V_E zeigten sich die deutlichsten intraindividuellen Unterschiede in der Gruppe der Pferde mit atrialer Fibrillation. Der Median lag hier höher als bei den anderen Gruppen. In der Kontrollgruppe konnte ein Ausreißer festgestellt werden. Bei der Messung der V_A am IVS zeigte sich ein relativ einheitliches Bild. Die Mediane der Gruppen lagen relativ nah beieinander und sie zeigten keine deutlichen Unterschiede in der Streuung.

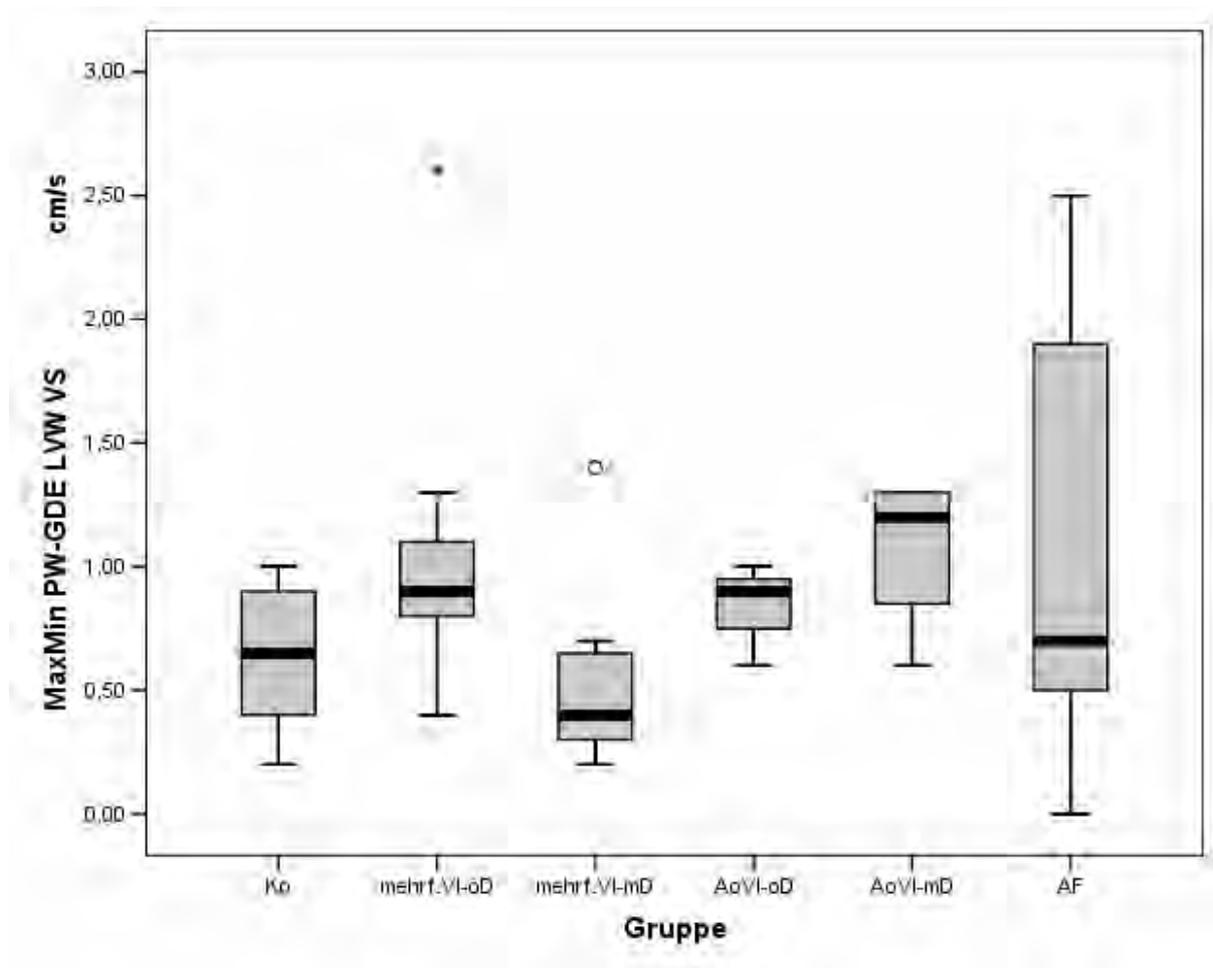


Abbildung 4.7.

Gegenüberstellung der systolischen Spitzengeschwindigkeit (V_s) an der linksventrikulären Hinterwand, gemessen mit dem PW-Gewebe-Doppler

Es gab in dieser Darstellung einen deutlichen Unterschied der intraindividuellen Messergebnisse zwischen Gruppe 1 und 5. Während der Median der Kontrollgruppe bei 0,65 cm/s lag, war dieser bei der Gruppe 5 (AoVI-mD) deutlich höher (1,2 cm/s). Der Quartilsabstand der Gruppe 6 zeigte eine große Streuung und auch die minimal und maximal Werte (0,7 – 2,5 cm/s) dieser Gruppe lagen weit auseinander.

4.3.3.3. Vergleich der intraindividuellen Messunterschiede der beiden GD-Verfahren

Linksventrikuläre Hinterwand

Bei der Messung an der linksventrikulären Hinterwand lag die Messdifferenz bei drei durchgeführten Messungen an drei konsekutiven Herzzyklen in der isovolumetrischen Kontraktion bei ca. 1 cm/s. Abweichende Werte wurden mit der PW-GDE bei der Gruppe Aortenklappeninsuffizienz mit Dilatation (2,7 cm/s) und der Gruppe mit atrialer Fibrillation

(1,65 cm/s) festgestellt, wobei vorallem die starke Streuung der Ergebnisse der AoVI-mD auffiel, da in dieser Gruppe nur 4 Probanden gemessen wurden. Bei der Messung mit dem farbkodierten GDE war hier ein deutlich einheitlicheres Bild der Messdifferenzen festzustellen (AoVI-mD = 0,5 cm/s; AF = 0,9 cm/s).

Die systolische Spitzengeschwindigkeit wies bei den meisten Gruppen mit beiden Verfahren eine geringere Abweichung bei den Messungen auf, die Mediane der Gruppen schwankten zwischen 0,4 cm/s (mehrf.VI-mD n=8) und 1,2 cm/s bei der Gruppe mit AF (n=8). Mit beiden Dopplerverfahren konnten deutlichere Schwankungsbreiten in der Gruppe AF dargestellt werden.

Während der V_E zeigte sich mit dem farbkodierten GD ein einheitlicheres Bild der Messdifferenzen. Hier lagen die Mediane der Gruppen nahe beisammen und schwankten zwischen 1,2 cm/s (Mehrf. VI-mD) und 1,5 cm/s (AF). Bei den Messungen mit der PW-GDE konnte für die AF-Gruppe eine deutlich größere Ausbreitung der Ergebnisse festgestellt werden, und auch der Median lag wesentlich höher bei 2,7 cm/s.

Auch bei der Messung der V_A zeigte sich, dass bei der PW-Gewebe-Doppler-Echokardiographie die Schwankungen zwischen den Einzelmessungen größer waren als bei der Messung mit Hilfe des farbkodierten Gewebe-Dopplers, wobei hier die Gruppe Mehrf.VI-mD die größte Streuung der Ergebnisse hatte. Die Gruppe AoVI-mD ließ das einheitlichste Bild erkennen, was aber auch zum Teil auf die geringe Gruppengroße (n=4) zurückzuführen ist. Aufgrund der bei der atrialen Fibrillation fehlenden spätdiastolischen Ventrikelbewegung konnte für diese Gruppe keine V_A bestimmt werden.

Interventrikularseptum

Im Septum konnte in der Messkurve keine isovolumetrische Kontraktionsgeschwindigkeit verlässlich dargestellt werden. Es sind uns auch keine Literaturstellen bekannt, bei denen dieser Messzeitpunkt beim Menschen bestimmt werden konnte.

Bei der Ermittlung der V_S -Messdifferenz zeigte sich bei den Medianen ein relativ einheitliches Bild. Die Werte schwankten zwischen 0,8 cm/s und 1,7 cm/s, aber die Gruppe AF zeigte deutlich höhere Differenzen bei den drei Einzelmessungen (3,1 cm/s beim PW-GD, 3,4 cm/s bei der Messung mit dem farbkodierten Gewebe-Doppler).

Auch bei der Messung der V_E war die größte Streuung der Ergebnisse bei der PW-Messung der AF Gruppe festzustellen, und auch der Median lag deutlich über dem der anderen Gruppen.

Bei spätdiastolische Geschwindigkeit konnten mit beiden Gewebe-Doppler-Verfahren vergleichbare Messdifferenzen nachgewiesen werden.

4.3.4. Interindividuelle Messunterschiede

4.3.4.1. Gruppenvergleich

Zur Darstellung der interindividuellen Messunterschiede wurde ein Vergleich der Mittelwerte der einzelnen Gruppen mit denen der Kontrollgruppe durchgeführt. Für jeden Parameter (V_{IC} ; V_S ; V_E ; V_A) wurden an beiden festgelegten Messpunkten (LVW, IVS) aus drei Einzelmessungen das arithmetische Mittel bestimmt. Die ermittelten Werte der Gruppen mit Herzklappenveränderungen wurden mit denen der Kontrollgruppe verglichen. Als Nullhypothese wurde angenommen, dass Pferde mit Veränderungen andere Geschwindigkeiten zeigen als Herzgesunde. Diese Aussage wurde mit dem Mann-Whitney U Test überprüft.

Beim Vergleich der Kontrollgruppe mit den Werten der Probanden mit mehrf. Klappeninsuffizienzen ohne Dilatation (Gruppe 2) konnten bei beiden GDE-Verfahren keine signifikanten Unterschiede bei den erhobenen Parametern festgestellt werden ($p > 0,05$). Geschwindigkeitsunterschiede für denselben Parameter waren nicht deutlich.

Dasselbe Ergebnis erbrachte die Überprüfung der Gruppen 3 (Mehrf. VI-mD) und 4 (Ao VI-oD). Auch hier blieb die asymptotische Signifikanz deutlich über dem gewählten Signifikanzniveau ($p = 0,05$).

Bei dem Gruppenvergleich der herzgesunden Probanden gegen die Pferde mit Aortenklappeninsuffizienz mit Dilatation (Gruppe 5) zeigten sich an der linksventrikulären Hinterwand keine deutlichen Geschwindigkeitsunterschiede. Bei den Messungen am interventrikulären Septum war aber ein deutlicher Geschwindigkeitsunterschied der systolischen Spitzengeschwindigkeit (V_S) nachzuweisen. Die asymptotische Signifikanz lag bei der Messung mit dem farbkodierten Gewebe-Doppler-Echokardiographie bei $p = 0,005$. Auch die mit dem gepulsten Gewebe-Doppler gemessenen Geschwindigkeitswerte waren eindeutig schneller ($p = 0,011$).

Die linksventrikuläre Hinterwand bewegte sich bei den Pferden mit atrialer Fibrillation während der isovolumetrischen Kontraktion deutlich schneller als bei den herzgesunden Patienten. Diese Aussage konnte für beide Gewebe-Doppler Verfahren getroffen werden. Mit der farbkodierten GDE konnte ein signifikanter Unterschied in den Geschwindigkeiten der

V_{IC} von $p = 0,001$ nachgewiesen werden. Mit der „pulsed wave“ GDE wurde ebenfalls ein deutlicher Unterschied festgestellt ($p = 0,033$).

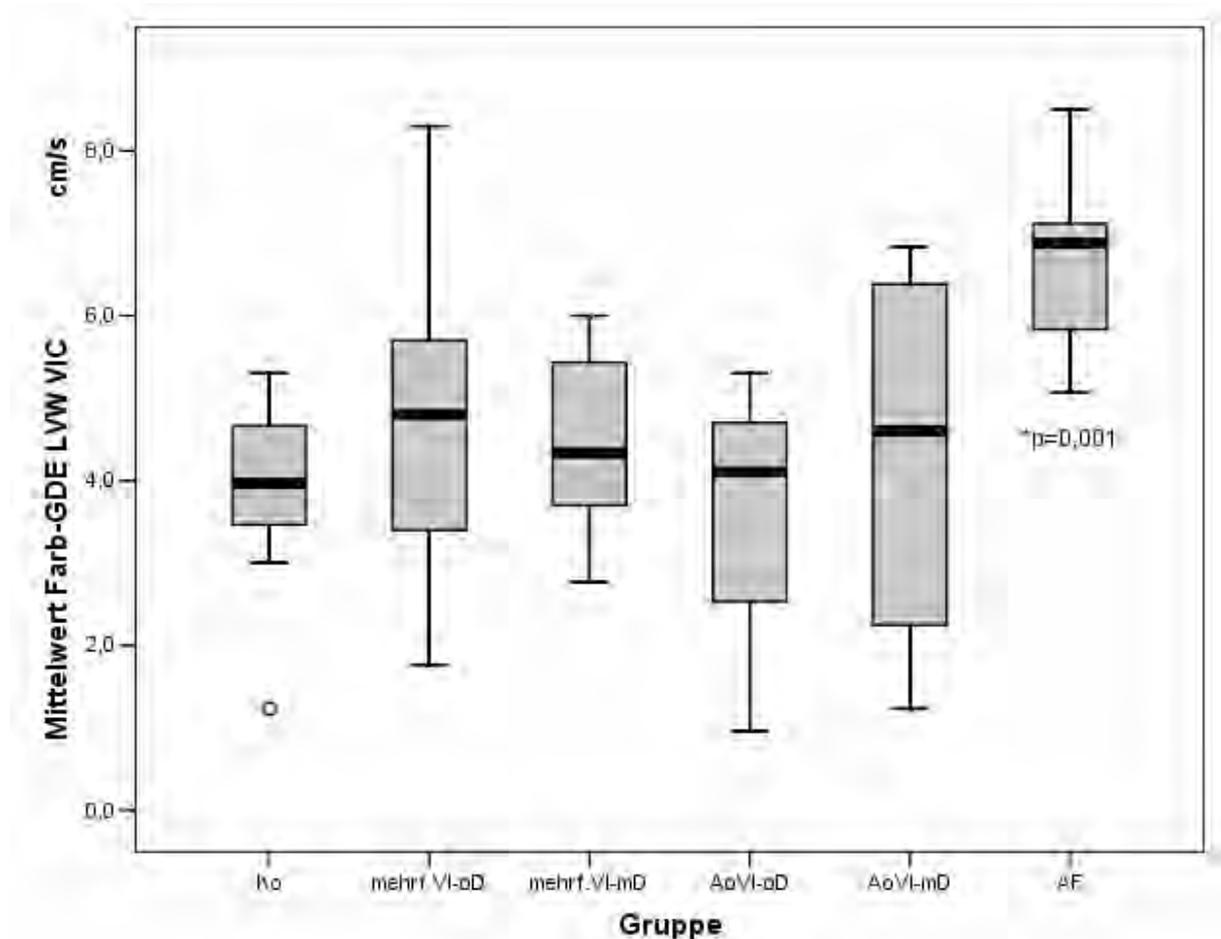


Abbildung 4.8.

Gegenüberstellung der isovolumetrischen Kontraktionsgeschwindigkeit an der linksventrikulären Hinterwand gemessen mit dem farbkodierten Gewebe-Doppler.

Wie aus der Abbildung hervorgeht, lag der Median der Kontrollgruppe ($n=9$) deutlich unter dem der Pferde mit atrialer Fibrillation ($n=8$). 75 % der Pferde mit atrialer Fibrillation zeigten deutlich höhere Geschwindigkeiten als die Kontrollgruppe. Der Mann-Whitney U-Test zeigte einen deutlichen Gruppenunterschied ($p = 0,001$). Der Median der Kontrollgruppe lag bei 4 cm/s während der Median der AF-Gruppe mit 6,9 cm/s deutlich höher lag. Bei der Gruppe Aortenklappeninsuffizienz mit Dilatation fällt die große Spannweite auf, was auf eine geringe Patientenzahl zurückzuführen ist ($n=4$).

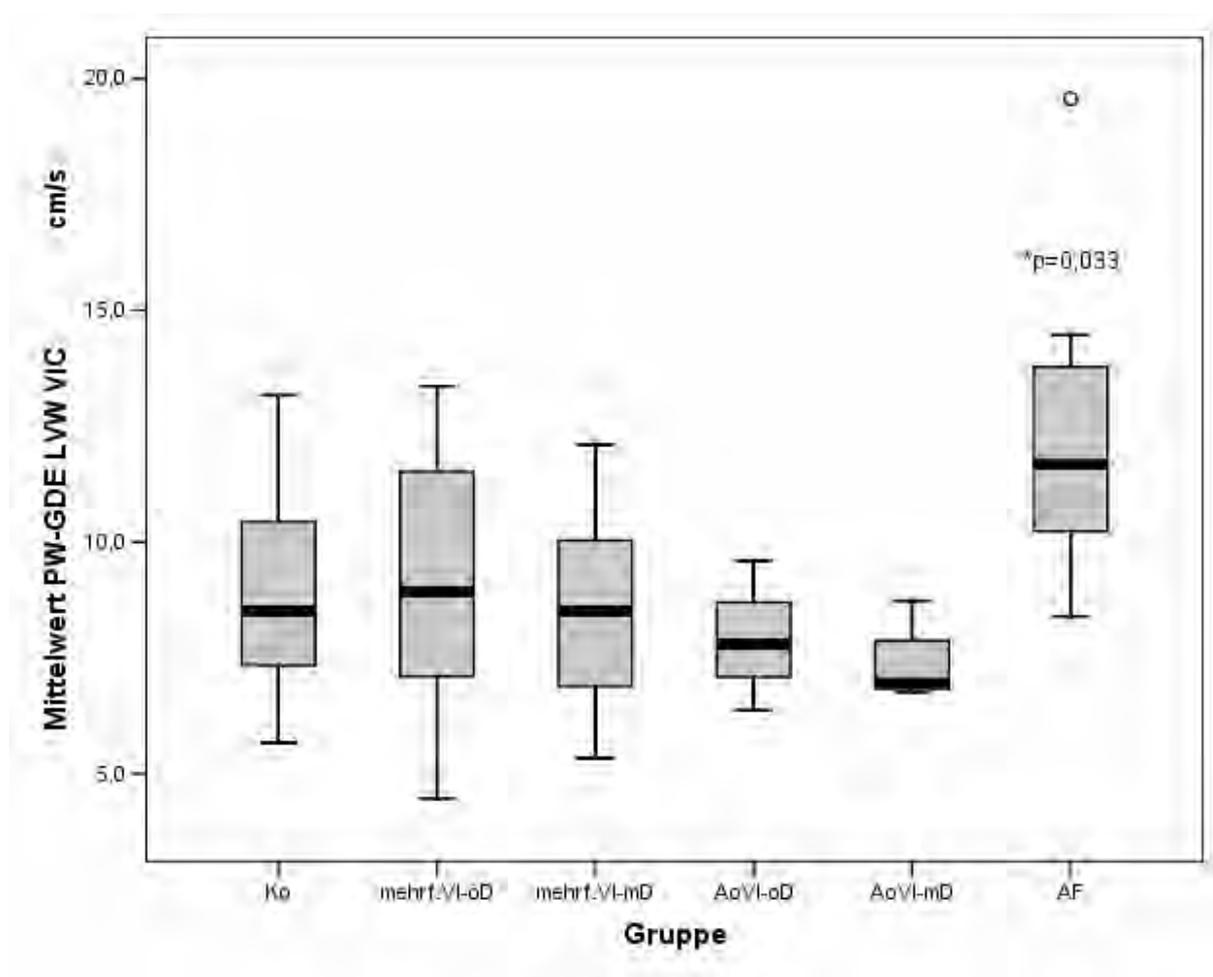


Abbildung 4.9.

Gegenüberstellung der isovolumetrischen Kontraktionsgeschwindigkeit an der linksventrikulären Hinterwand gemessen mit dem „pulsed wave“ Gewebe-Doppler

Auch in dieser Darstellung ist ein deutlicher Unterschied in der V_{IC} der Gruppe mit atrialer Fibrillation ($n=8$) gegenüber der Kontrollgruppe ($n=10$) zu sehen. Der Median dieser Gruppe (11,7 cm/s) liegt mit 3,2 cm/s über dem Median der Kontrollgruppe (8,5 cm/s). In der Gruppe AF ist ein Ausreißer nach oben zu verzeichnen. Die restlichen Boxplots unterschieden sich nicht deutlich von den Ergebnissen der Kontrollgruppe.

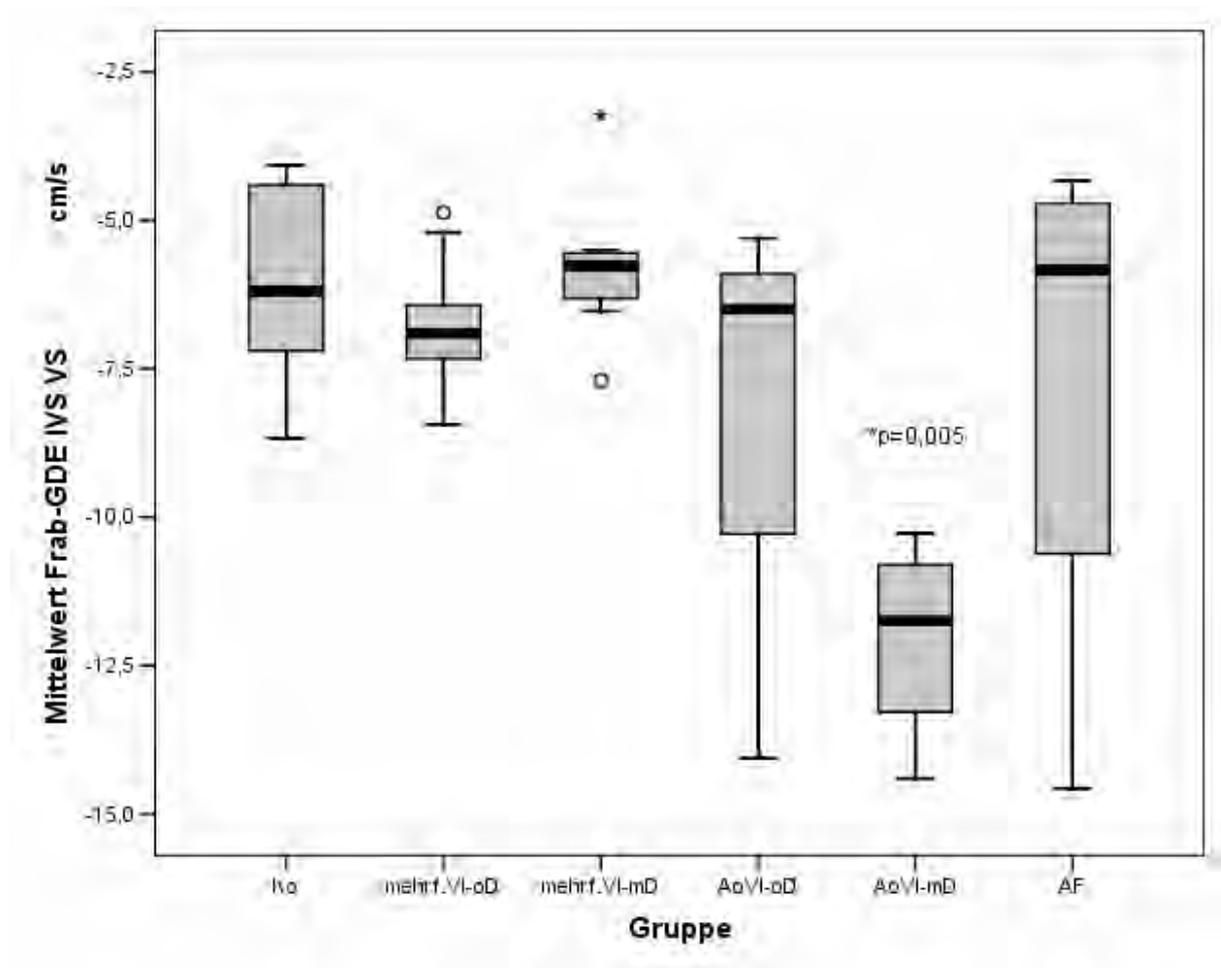


Abbildung 4.10.

Gegenüberstellung der systolischen Spitzengeschwindigkeit am interventrikulären Septum mit dem farbkodierten Gewebe-Doppler

Die Boxplots zeigen einen deutlichen Unterschied der V_s der Pferde mit einer Aortenklappeninsuffizienz mit Dilatation ($n=4$) zu der Kontrollgruppe ($n=9$). Die Mediane der Gruppen liegen 5,6 cm/s auseinander, während die der anderen Gruppen höchstens um 0,7 cm/s abweichen (Gruppe 2, $n=9$). Auffällig ist auch die Streuung des Boxplots der Gruppe 4 (Ao VI-ohne Dilatation), zumal hier nur eine geringe Patientenzahl zur Verfügung stand ($n = 3$).

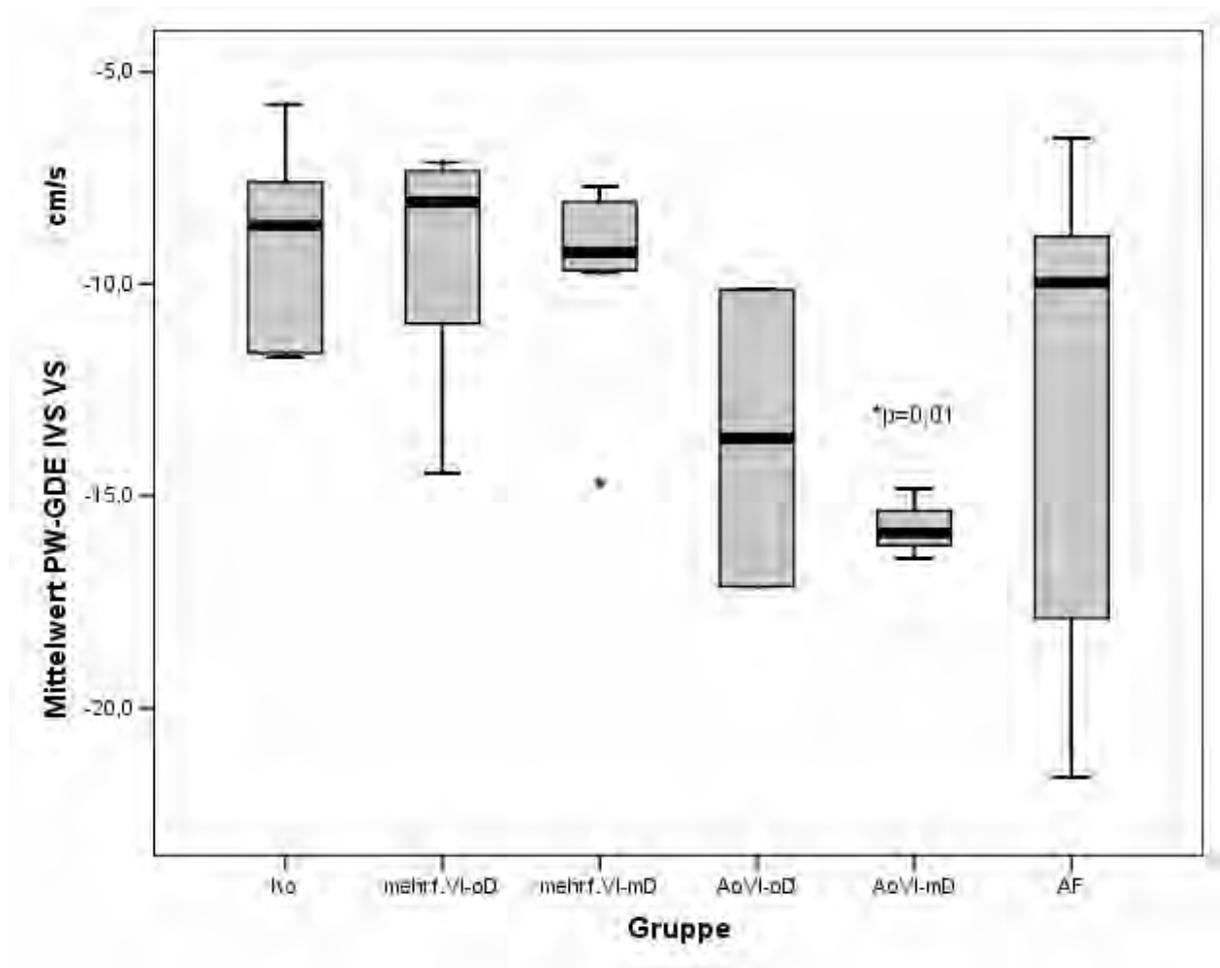


Abbildung 4.11.

Gegenüberstellung der systolischen Spitzengeschwindigkeit am interventrikulären Septum mit dem pulsed-wave Gewebe-Doppler

Auch in dieser Grafik ist ein deutlicher Unterschied der V_S zwischen den Gruppen 1 (Kontrollgruppe, $n=10$) und Gruppe 5 (Ao VI-mD, $n=3$) erkennbar ($p = 0,01$). Der Geschwindigkeitsunterschied der Mediane beträgt hier 7,3 cm/s. Auch bei der Messung mit dem gepulsten Gewebe-Doppler wurden in der Gruppe Aortenklappeninsuffizienz ohne Dilatation sehr uneinheitliche Werte gemessen ($n = 3$).

Die Gruppe AF ($n=7$) wies keinen signifikanten Unterschied zur Kontrollgruppe auf. Der Minimumwert (6,6 cm/s) und der Maximumwert (21,6 cm/s) zeigten ein sehr uneinheitliches Bild.

4.3.4.2. Vergleich der Gewebe-Doppler-Verfahren

Linksventrikuläre Hinterwand

Die V_{IC} lag bei der Messung mit dem PW-GD deutlich höher als bei der Messung mit dem farbkodierten Gewebe-Doppler. Bei beiden Verfahren war die Standardabweichung der Ergebnisse bei den Messungen mit dem farbkodierten GD niedriger als bei den Ergebnissen mit dem PW-GD. Vor allem bei den Pferden mit atrialer Fibrillation lagen die Ergebnisse im PW-GD ($11,6 \pm 3,5$) deutlich über jenen im farbkodierten GD ($6,9 \pm 1,1$ cm/s).

Bei der systolischen Spitzengeschwindigkeit ergab sich ein recht einheitliches Bild. In der Gruppe AoVI-ohne Dilatation war aber mit dem PW-GD die Streuung der Ergebnisse wesentlich breiter als bei den Messungen mit dem farbkodierten GD. Dieses Vorkommen galt ebenso für die AF-Gruppe, bei der mit dem PW-Gewebe-Doppler ($8 \pm 2,6$ cm/s zu $6,2 \pm 1,6$ cm/s) eine größere Standardabweichung auffiel.

Zu einer relativ großen Streuung der Ergebnisse kam es bei der Messung der V_E mit dem PW-Gewebe-Doppler. Die Messungen zeigten eine deutlich höhere Standardabweichung als die mit dem farbkodierte GD gemessenen Werte. Besonders auffällig waren die Messungen bei der AF-Gruppe, hier lagen die Werte mit dem PW-GD bei $-26,5 \pm 7,3$ cm/s, während sie beim farbkodierten Gewebe-Doppler bei $-10,7 \pm 1,5$ cm/s lagen.

Bei der spätdiastolischen Myokardgeschwindigkeit (V_A) zeigte sich eine deutlich größere Standardabweichung in der Kontrollgruppe bei den Messungen mit dem PW-GD ($-11,8 \pm 4,7$) als bei der farbkodierten GDE ($-7,6 \pm 2$ cm/s).

Interventrikularseptum

Die Ausbreitung der Ergebnisse der V_S wies bei den beiden Verfahren ein einheitliches Bild auf. Die Graphen der PW-GDE streuten aber auch hier mehr als die Daten im farbkodierten GD. Am ausgeprägtesten war hier auch wieder die AF-Gruppe (PW-GD -10 ± 6 cm/s zu farbkodierten GDE $5,8 \pm 3,8$ cm/s).

Bei der frühdiaastolischen Geschwindigkeit fiel beim direkten Vergleich der beiden Verfahren auf, dass fast alle Graphen der PW-Messergebnisse eine deutlich größere Streuung der Ergebnisse darstellten. Besonders deutlich waren hier die Messungen in der Kontrollgruppe und bei den Pferden mit atrialer Fibrillation. Während in der Kontrollgruppe mit dem farbkodierten GD eine Geschwindigkeit von $9,5 \pm 1,7$ cm/s gemessen wurde, lagen die Werte im PW-GD bei $19,1 \pm 6$ cm/s. Ein noch deutlicher Unterschied zeigte sich in der AF-Gruppe, bei der im PW-GD ein Wert von $21,4 \pm 12$ cm/s im Gegensatz zur farbkodierten GDE $9,2 \pm 1,9$ cm/s gemessen wurde.

In der V_A wurde bei allen Boxplots eine größere Streuung der Messdaten bei der Messung mit dem PW-Gewebe-Doppler deutlich. Die Standardabweichungen lagen bei diesen Gruppen ebenso höher als bei dem direkten Vergleich mit den farbkodierte Gewebe-Doppeler-Daten. Eine Ausnahme bildete hier die Gruppe AoVI-ohne Dilatation, bei der eine geringere Ausbreitung der Ergebnisse im PW-GD vorlag.