

**Diplomarbeit**

**R/S-Overlap in den EKG-Brustwandableitungen  
und das Katz-Wachtel-Phänomen im Kindes- und  
Jugendalter – eine retrospektive Studie**

eingereicht von

**Nikola Owsianka**

zur Erlangung des akademischen Grades

**Doktorin der gesamten Heilkunde**

**(Dr.<sup>in</sup> med. univ.)**

an der

**Medizinischen Universität Graz**

ausgeführt an der

**Universitätsklinik für Kinder- und Jugendheilkunde/**

**Klinische Abteilung für pädiatrische Kardiologie**

unter der Anleitung von

Ao. Univ.-Prof. Dr.med.univ. Martin Köstenberger

Priv.-Doz. Dr.med.univ. Dr.scient.med. Stefan Kurath-Koller

Graz, am 12. April 2024

## **Eidesstattliche Erklärung**

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

*Graz, am 12. April 2024*

*Nikola Owsianka eh.*

## Danksagungen

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich im Laufe des Studiums und während der Erstellung meiner Diplomarbeit unterstützt haben.

Zunächst möchte ich meinen tiefsten Dank an Priv.-Doz. Dr.med.univ. Dr.scient.med. Stefan Kurath-Koller und Ao. Univ.-Prof. Dr.med.univ. Martin Köstenberger aussprechen, dass ich mich im Rahmen meiner Diplomarbeit mit dem spannenden Thema befassen konnte. Besonders die Kombination aus Ihrer fachlichen Kompetenz, Engagement, Geduld sowie zeitnaher Unterstützung bei allen inhaltlichen und organisatorischen Angelegenheiten spielte eine entscheidende Rolle für den erfolgreichen Abschluss.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern, Dorota und Robert, die mich stets mit Liebe und Verständnis begleitet haben. Ich schätze es sehr, dass ihr mir die Möglichkeit gegeben habt, Medizin in Graz zu studieren und, dass ihr in guten sowie schlechten Zeiten immer an mich geglaubt habt.

Ein herzliches Dankeschön geht an meine Freunde für die gemeinsame Zeit, die das Studium zu einer unvergesslichen Erfahrung gemacht hat. Ebenso danke ich für die Unterstützung und die nötigen Kaffeepausen in den herausfordernden Zeiten.

Ein spezieller Dank geht an Georg und Paul, deren fachliche Statistikkompetenzen für meine Diplomarbeit eine große Bereicherung waren.

Weiters möchte ich mich bei Elfriede Schauer und Sieglinde Luftensteiner für das Korrekturlesen meiner Arbeit herzlichst bedanken.

Schließlich möchte ich Julian meinen besonderen Dank aussprechen, der mir immer mit aufmunternden Worten und tatkräftiger Mithilfe zur Seite gestanden ist.

## Zusammenfassung

**Hintergrund:** Viele Kinder und Jugendliche weisen in den Brustwandableitungen  $V_1$  bis  $V_6$  einen Overlap der R- und S-Zacken auf. In den 1960er Jahren wurde das Katz-Wachtel-Phänomen beschrieben, welches hohe R- und S-Zacken  $\geq 50$  mm als EKG-Merkmal bei biventrikulärer Herzhypertrophie auszeichnet. Ziel dieser Arbeit ist es, einen möglichen Zusammenhang zwischen einem R/S Overlap und Herzhypertrophie zu untersuchen sowie die gemessenen EKG-Werte auf mögliche Herzhypertrophie-Merkmale zu analysieren.

**Methode:** Insgesamt wurden 800 Patientinnen und Patienten im Alter von 0 bis 18 Jahren, die zwischen 2016 und 2022 ambulant an der Abteilung für Kinderkardiologie der Universitätsklinik für Kinder und Jugendheilkunde in Graz behandelt wurden, in die Studie aufgenommen. Mithilfe von Medocs wurden 500 Kinder und Jugendliche mit einem Overlap sowie 300 Studienteilnehmende ohne einem Overlap in den Brustwandableitungen  $V_1$  bis  $V_6$  ermittelt. Weiters wurden die Befunde der Echokardiografie auf Anzeichen von Herzhypertrophie untersucht. Bei Patientinnen und Patienten mit mindestens einem R/S Overlap wurden zusätzlich EKG-Messwerte (P-Welle, PQ-Zeit, QRS-Komplex, QT-Zeit, QTc-Zeit nach Wernicke, Amplituden der R- und S-Zacken in den Brustwandableitungen, R/S Ratio) manuell aus dem EKG ermittelt. Weitere Daten wie Alter, Gewicht, Körpergröße und EKG-Datum wurden erhoben und alle gesammelten Daten in einer Excel-Tabelle dokumentiert. Mithilfe von SPSS wurden die Messungen statistisch ausgewertet. Zur Überprüfung auf einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen den R/S Overlaps und der Herzhypertrophie wurden Chi-Quadrat-Tests mit einem Konfidenzintervall von 95% durchgeführt. Die Stärke des Zusammenhanges wurde mithilfe von Phi- und Cramer-V-Wert ermittelt.

**Ergebnisse:** Von den 500 Kindern und Jugendlichen mit einem R/S Overlap hatten 20 eine echokardiografisch bestätigte Herzhypertrophie, während von den 300 Patientinnen und Patienten ohne R/S Overlap nur drei eine Herzhypertrophie aufwiesen. Die Prävalenz einer Herzhypertrophie beträgt bei Vorliegen eines R/S Overlaps 4% und ohne Überlappung 1%. Die Sensitivität für Herzhypertrophie bei Vorhandensein eines beliebigen R/S Overlaps liegt bei 87%, die Spezifität bei 38%. Ein R/S Overlap in den Ableitungen  $V_1/V_2$  (89,38%) oder  $V_5/V_6$  (92,92%) zeigt eine hohe Spezifität, während in der Ableitung  $V_2/V_3$  mit 80% eine hohe Sensitivität

beobachtet werden konnte. Ein statistisch signifikanter, jedoch schwacher Zusammenhang zwischen dem Auftreten eines R/S Overlaps in den Brustwandableitungen  $V_1$  bis  $V_6$  und der Herzhypertrophie wurde mit einem p-Wert  $> 0,05$  in allen Chi-Quadrat-Tests festgestellt. In beiden Gruppen (mit und ohne Herzhypertrophie) gibt es hinsichtlich der Häufigkeit von Overlaps in den Ableitungen  $V_1/V_2$ ,  $V_3/V_4$  und  $V_5/V_6$  keine Abweichungen, wobei die meisten Overlaps in den Ableitungen  $V_3/V_4$  festgestellt wurden. Kinder mit Herzhypertrophie zeigten in den Ableitungen  $V_2/V_3$  und  $V_4/V_5$  mehr Overlaps als die Vergleichsgruppe. Die Mittelwerte der R/S Ratios sind bei Säuglingen im Alter von 0 bis 12 Monaten in beiden Gruppen erhöht. In den anderen Altersgruppen liegen die Mittelwerte unabhängig von der Herzhypertrophie im Normbereich, allerdings weisen junge Kinder mit Herzhypertrophie deutlich höhere und ältere Kinder deutlich niedrigere R/S Ratio-Werte im Vergleich zur Vergleichsgruppe auf. Die Summen der Amplituden der sich überschneidenden R- und S-Zacken sind in den Ableitungen  $V_2/V_3$  und  $V_3/V_4$  bei Kindern mit Herzhypertrophie niedriger und in  $V_4/V_5$  und  $V_5/V_6$  höher als in der Vergleichsgruppe. Die Mittelwerte der S-Zacken sind in den Ableitungen  $V_5$  und  $V_6$  in beiden Gruppen (mit und ohne Herzhypertrophie) geringer als 0,70 cm, ausgenommen bei allen Säuglingen in  $V_5$  und Säuglingen mit hypertrophierten Ventrikeln in  $V_6$ . In der Studie wurden insgesamt zwei Kinder mit einer biventrikulären Herzhypertrophie identifiziert, von denen keines die Katz-Wachtel-Kriterien erfüllte. Fünf männliche Patienten ohne bestätigte Herzhypertrophie zeigten positive Katz-Wachtel-Zeichen, einer in  $V_2$  und vier in  $V_3$ .

**Schlussfolgerung:** Es besteht ein positiver statistisch signifikanter, jedoch schwacher Zusammenhang zwischen einem R/S Overlap in den Brustwandableitungen und der Herzhypertrophie. Aufgrund der Sensitivität und Spezifität kann der R/S Overlap nicht als ein alleinstehender Parameter für die Diagnostik verwendet werden und sollte in Kombination mit weiteren bekannten EKG-Zeichen für Herzhypertrophie interpretiert werden. Für die endgültige Bestätigung der Diagnose einer Herzhypertrophie bleibt die Echokardiografie jedoch stets der Goldstandard.

## Abstract

**Background:** Many children and adolescents show an R/S overlap in the chest leads  $V_1$  to  $V_6$ . In the 1960s, the Katz-Wachtel phenomenon was described, which characterizes high R and S waves greater than 50 mm as an ECG feature in biventricular cardiac hypertrophy. The aim of this work is to investigate a possible connection between an R/S overlap and cardiac hypertrophy and to analyze the measured ECG values for characteristics of potential cardiac hypertrophy.

**Methods:** A total of 800 patients aged 0 to 18 years, who were treated as outpatients at the Division of Paediatric Cardiology at the Department of Paediatrics and Adolescent Medicine in Graz between 2016 and 2022, were included in the study. Medocs was used to identify 500 children and adolescents with an overlap and 300 study participants without an overlap in the chest leads  $V_1$  to  $V_6$ . In addition, the echocardiography findings were analyzed for signs of cardiac hypertrophy. In patients with at least one R/S overlap, additional ECG measurement values (P wave, PQ interval, QRS complex, QT time, QTc time according to Wernicke, amplitudes of the R and S waves in the chest leads, R/S ratio) were manually determined from the ECG. Further data such as age, weight, height and ECG date were collected, and all collected data were documented in an Excel file. The measurements were statistically analyzed using SPSS. Chi-square tests with a 95% confidence interval were carried out to check for a statistically significant correlation between the R/S overlaps and cardiac hypertrophy. The strength of the correlation was determined using the Phi and Cramer V value.

**Results:** Of the 500 children and adolescent with an R/S overlap, 20 had echocardiographically confirmed cardiac hypertrophy, while only three of the 300 patients without an R/S overlap exhibited cardiac hypertrophy. The prevalence of cardiac hypertrophy is 4% in the presence of an R/S overlap and 1% without an overlap. The sensitivity for detecting cardiac hypertrophy in the presence of any R/S overlap is 87%, while the specificity is 38%. An R/S overlap in the leads  $V_1/V_2$  (89.38%) or  $V_5/V_6$  (92.92%) shows a high specificity, while a high sensitivity of 80% was observed in the lead  $V_2/V_3$ . A statistically significant, yet weak, correlation between the presence of an R/S overlap in the chest wall leads  $V_1$  to  $V_6$  and cardiac hypertrophy was established with a p-value  $> 0.05$  in all Chi-square tests. In both groups (with and without cardiac hypertrophy), there were no differences in the

frequency of overlaps in leads  $V_1/V_2$ ,  $V_3/V_4$  and  $V_5/V_6$ , with most overlaps being found in leads  $V_3/V_4$ . Children with cardiac hypertrophy showed more overlaps in leads  $V_2/V_3$  and  $V_4/V_5$  compared to the comparison group. The mean R/S ratio values are elevated in infants aged 0 to 12 months in both groups. In other age groups, the mean values remain within the normal range, irrespective of cardiac hypertrophy, although younger children with cardiac hypertrophy display notably higher and older children considerably lower R/S ratio values compared to the comparison group. The sums of the amplitudes of the overlapping R and S waves are lower in the leads  $V_2/V_3$  and  $V_3/V_4$  in children with cardiac hypertrophy and higher in  $V_4/V_5$  and  $V_5/V_6$  than in the comparison group. The mean values of the S waves are less than 0.70 cm in leads  $V_4/V_5$  and  $V_5/V_6$  in both groups (with and without cardiac hypertrophy), except in all infants in  $V_5$  and in infants with hypertrophied ventricles in  $V_6$ . In the study, a total of two patients with biventricular cardiac hypertrophy were identified, neither of whom met the Katz-Wachtel criteria. Five male patients without confirmed cardiac hypertrophy showed positive Katz-Wachtel signs, one in  $V_2$  and four in  $V_3$ .

**Conclusion:** There is a positive, statistically significant, albeit weak, correlation between R/S overlap in the chest leads and cardiac hypertrophy. Due to its sensitivity and specificity levels, the R/S overlap cannot be utilized as a standalone diagnostic parameter and should be interpreted in conjunction with other known ECG signs of cardiac hypertrophy. Nonetheless, echocardiography continues to be the gold standard for the definitive confirmation of a cardiac hypertrophy diagnosis.

**Keywords:** Biventricular hypertrophy, Electrocardiography, Katz-Wachtel-phenomenon, R/S Overlap

## **Angaben von bereits erfolgten Veröffentlichungen**

Keine Veröffentlichungen.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Danksagungen.....</b>	<b>III</b>
<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>IV</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>VI</b>
<b>Angaben von bereits erfolgten Veröffentlichungen.....</b>	<b>VIII</b>
<b>Abkürzungen und deren Erklärung .....</b>	<b>XI</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>XIV</b>
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	<b>XIX</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>1</b>
1.1 Elektrophysiologische Grundlagen.....	2
1.1.1 Reizleitungssystem des Herzens.....	2
1.1.2 Ruhemembran- und Herzaktionspotenzial.....	4
1.2 Elektrokardiogramm .....	7
1.2.1 Bipolare Extremitätenableitungen nach Einthoven .....	8
1.2.2 Unipolare Extremitätenableitungen nach Goldberger .....	8
1.2.3 Cabrera-Kreis.....	9
1.2.4 Unipolare Brustwandableitungen nach Wilson.....	10
1.2.5 Vektoren der Erregungsausbreitung .....	11
1.2.6 Spezifische Eigenschaften des pädiatrischen Elektrokardiogramms.....	16
1.3 Ventrikuläre Herzhypertrophie - Ätiologie.....	19
1.4 Ventrikuläre Herzhypertrophie im EKG .....	22
1.5 Das Katz-Wachtel-Phänomen .....	25
1.6 Ventrikuläre Herzhypertrophie in der Echokardiographie.....	26
1.6.1 Beurteilung der Ventrikel.....	27
1.6.2 Untersuchungsverfahren.....	30
1.6.3 Hypertrophe Kardiomyopathie in der Echokardiografie .....	32
1.6.4 Z-Scores.....	35
<b>2 Material und Methoden .....</b>	<b>38</b>
2.1 Patient*innenkollektiv .....	38
2.2 Datensammlung .....	38
2.3 Statistische Auswertung .....	39
<b>3 Ergebnisse – mit graphischer Darstellung .....</b>	<b>40</b>
3.1 Anzahl der Studienteilnehmer*innen mit Overlap.....	40
3.2 Anzahl der Studienteilnehmer*innen ohne Overlap .....	43
3.3 R/S Overlap in den Brustwandableitungen .....	44

3.4	Statistische Auswertung der Arbeitshypothese .....	56
3.5	Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps .....	57
3.5.1	Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps nach Alter.....	58
3.5.2	Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps nach Alter - Boxplots.....	60
3.5.3	Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps nach Alter und Herzhypertrophie ...	67
3.6	R/S-Ratio .....	79
3.6.1	R/S-Ratio nach Alter und Herzhypertrophie.....	81
3.6.2	Grafische Darstellung des R/S Ratios nach Alter und Herzhypertrophie.....	82
3.7	Das Katz-Wachtel-Phänomen .....	107
3.8	S-Zacken in den Ableitungen $V_5$ und $V_6$ .....	108
3.8.1	S-Zacken in Ableitung $V_5$ .....	110
3.8.2	S-Zacken in Ableitung $V_6$ .....	114
<b>4</b>	<b>Diskussion .....</b>	<b>119</b>
4.1	R/S Overlap.....	119
4.2	R/S Ratio bei Kindern und Jugendlichen mit/ohne Herzhypertrophie .....	122
4.3	Das Katz-Wachtel-Phänomen .....	124
4.4	Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps .....	125
4.5	S-Zacken in den Ableitungen $V_5$ und $V_6$ .....	127
4.6	Limitationen der Studie.....	128
4.7	Schlussfolgerung .....	130
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>132</b>

## Abkürzungen und deren Erklärung

<b>A.</b>	Arterie
<b>AHA</b>	American Heart Association
<b>ALCAPA</b>	Anomalous Left Coronary Artery from the Pulmonary Artery
<b>AP</b>	Aktionspotenzial
<b>ARVC</b>	Arrhythmogene rechtsventrikuläre Kardiomyopathie
<b>ASD</b>	Vorhofseptumdefekt
<b>ATP</b>	Adenosintriphosphat
<b>AV</b>	Aortenklappe
<b>AV-Knoten</b>	Nodus atrioventrikularis
<b>aVF</b>	Augmented Voltage Foot
<b>aVL</b>	Augmented Voltage Left
<b>aVR</b>	Augmented Voltage Right
<b>bpm</b>	Beats per minutes
<b>BVH</b>	Biventrikuläre Herzhypertrophie
<b>bzw.</b>	beziehungsweise
<b>ca.</b>	Circa
<b>Ca<sup>2+</sup></b>	Calcium-Ion
<b>Cl<sup>-</sup></b>	Chlorid-Ion
<b>CW</b>	kontinuierlicher Doppler
<b>DCM</b>	Dilatative Kardiomyopathie
<b>df</b>	Freiheitsgrad
<b>d.h.</b>	das heißt
<b>EKG</b>	Elektrokardiogramm
<b>EKGs</b>	Elektrokardiogramme
<b>ESC</b>	European Society of Cardiology
<b>et al.</b>	et alii
<b>f.</b>	für
<b>HCM</b>	Hypertrophe Kardiomyopathie
<b>H0</b>	Nullhypothese
<b>H1</b>	Alternativhypothese
<b>ICR</b>	Interkostalraum
<b>I<sub>K1</sub></b>	einwärts gleichrichtender Kaliumstrom

<b>I<sub>KP</sub></b>	Hintergrundstrom
<b>I<sub>to</sub></b>	K <sup>+</sup> -Auswärtsstrom
<b>IQR</b>	Interquartilsbereich
<b>IVS</b>	Interventrikuläres Septum
<b>K<sup>+</sup></b>	Kalium-Ion
<b>K<sub>ir</sub>-Kanäle</b>	einwärts gleichrichtende Kaliumkanäle
<b>KI</b>	Konfidenzintervall
<b>LA</b>	linker Vorhof
<b>LKH</b>	Landeskrankenhaus
<b>LV</b>	linker Ventrikel
<b>LVH</b>	Linksventrikuläre Herzhypertrophie
<b>LVM</b>	Linksventrikuläre Masse
<b>LVOTO</b>	Obstruktion des Linksventrikulären Ausflusstraktes
<b>LVPW</b>	Linksventrikuläre Hinterwand
<b>MAPSE</b>	Mitral annular plane systolic excursion
<b>Mb.</b>	Morbus
<b>Mg<sup>2+</sup></b>	Magnesium
<b>MHz</b>	Megahertz
<b>min</b>	Minute
<b>mmol/l</b>	Millimol pro Liter
<b>ms</b>	Millisekunden
<b>m/s</b>	Meter pro Sekunde
<b>mV</b>	Millivolt
<b>MV</b>	Mitralklappe
<b>Na<sup>+</sup></b>	Natrium
<b>Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup>-ATPase</b>	Natrium-Kalium-ATPase
<b>PMP</b>	posteromedialer Papillarmuskel
<b>PV</b>	Pulmonalklappe
<b>PW</b>	gepulster Doppler
<b>QTc</b>	korrigierte QT-Zeit
<b>RA</b>	rechter Vorhof
<b>RCM</b>	Restriktive Kardiomyopathie
<b>RNA</b>	Ribonucleic acid
<b>RP</b>	Ruhepotenzial

<b>RV</b>	rechter Ventrikel
<b>RVH</b>	Rechtsventrikuläre Herzhypertrophie
<b>sek</b>	Sekunden
<b>TAPSE</b>	Tricuspid annular plane systolic excursion
<b>TV</b>	Trikuspidalklappe
<b>V.</b>	Vena
<b>V<sub>1</sub>-V<sub>6</sub></b>	Brustwandableitungen nach Wilson
<b>VSD</b>	Ventrikelseptumdefekt
<b>WHO</b>	World Health Organization
<b>z.B.</b>	zum Beispiel
<b>0-12m</b>	0 bis 12 Monate
<b>1-5a</b>	1 bis 5 Jahre
<b>6-13a</b>	6 bis 13 Jahre
<b>14-18a</b>	14 bis 18 Jahre
<b>I</b>	Ableitung I nach Einthoven
<b>II</b>	Ableitung II nach Einthoven
<b>III</b>	Ableitung III nach Einthoven

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1</b> Aktionspotenzial und Ionenfluss beim Arbeitsmyokard (11).....	6
<b>Abbildung 2</b> Extremitätenableitungen nach Einthoven (8).....	8
<b>Abbildung 3</b> Extremitätenableitungen nach Goldberger (8).....	9
<b>Abbildung 4</b> Bestimmung des Summenvektors und der Cabrera-Kreis (7).....	10
<b>Abbildung 5</b> Brustwandableitungen nach Wilson (8).....	11
<b>Abbildung 6</b> Nomenklatur des Elektrokardiogramms (8).....	12
<b>Abbildung 7</b> EKG-Merkmale bei BVH/LVH/RVH (15).....	24
<b>Abbildung 8</b> EKG mit Katz-Wachtel-Phänomen bei einem Kind mit isolierten VSD (33).....	25
<b>Abbildung 9</b> Schallkopfpositionen der Standardschnitte (15).....	27
<b>Abbildung 10</b> Parasternaler Langachsenschnitt; AV= Aortenklappe, LA= linker Vorhof, LV= linker Ventrikel, PMP= posteromedialer Papillarmuskel, RV = rechter Ventrikel (38).....	28
<b>Abbildung 11</b> Parasternale kurze Achse; LA= linker Vorhof, PV= Pulmonalklappe, RA= rechter Vorhof, RV= rechter Ventrikel, TV= Trikuspidalklappe (38).....	29
<b>Abbildung 12</b> Vierkammerblick; LA= linker Vorhof, LV= linker Ventrikel, RA= rechter Vorhof, RV= rechter Ventrikel, MV= Mitralklappe, TV= Trikuspidalklappe (38).....	29
<b>Abbildung 13</b> Subkostaler Vierkammerblick; LA= linker Vorhof, LV= linker Ventrikel, RA= rechter Vorhof, RV= rechter Ventrikel (38).....	30
<b>Abbildung 14</b> M-Mode des parasternalen Langachsenschnittes (38).....	31
<b>Abbildung 15</b> Parasternale Längsachse; LA= linker Vorhof, LV= linker Ventrikel (38).....	33
<b>Abbildung 16</b> Apikaler Vierkammerblick; LA= linker Vorhof, LV= linker Ventrikel, RA= rechter Vorhof, RV= rechter Ventrikel (38).....	33
<b>Abbildung 17</b> Zweikammerblick mit apikaler linksventrikulärer Hypertrophie (38).....	34
<b>Abbildung 18</b> Kurzachsenschnitt mit rechtsventrikulärer Hypertrophie (38).....	34
<b>Abbildung 19</b> Apikaler Vierkammerblick mit dilatiertem und hypertrophiertem rechtem Ventrikel; LA= linker Vorhof, LV= linker Ventrikel, RA= rechter Vorhof, RV= rechter Ventrikel (38).....	35

<b>Abbildung 20</b> Enddiastolische Dicke des interventrikulären Septums in mm (42)	36
<b>Abbildung 21</b> Endsystolische Dicke der Hinterwand des linken Ventrikels in mm (42)	36
<b>Abbildung 22</b> Enddiastolische Dicke des rechten vorderen Ventrikels in mm (42)	37
<b>Abbildung 23</b> Enddiastolische Größe des linken Ventrikels in mm (42)	37
<b>Abbildung 24</b> Histogramm der Verteilung der Altersgruppen mit einem R/S Overlap	41
<b>Abbildung 25</b> Gruppiertes Balkendiagramm - Anzahl der Patient*innen mit einem R/S Overlap nach Alter und Herzhypertrophie	41
<b>Abbildung 26</b> Kreisdiagramm - Anzahl der Patient*innen nach Alter ohne Herzhypertrophie	42
<b>Abbildung 27</b> Kreisdiagramm - Anzahl der Patient*innen nach Alter mit Herzhypertrophie	42
<b>Abbildung 28</b> Gruppiertes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in $V_1/V_2$ nach Alter ohne Herzhypertrophie	46
<b>Abbildung 29</b> Gruppiertes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in $V_1/V_2$ nach Alter mit Herzhypertrophie	47
<b>Abbildung 30</b> Gruppiertes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in $V_2/V_3$ nach Alter ohne Herzhypertrophie	48
<b>Abbildung 31</b> Gruppiertes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in $V_2/V_3$ nach Alter mit Herzhypertrophie	49
<b>Abbildung 32</b> Gruppiertes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in $V_3/V_4$ nach Alter ohne Herzhypertrophie	50
<b>Abbildung 33</b> Gruppiertes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in $V_3/V_4$ nach Alter mit Herzhypertrophie	51
<b>Abbildung 34</b> Gruppiertes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in $V_4/V_5$ nach Alter ohne Herzhypertrophie	52
<b>Abbildung 35</b> Gruppiertes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in $V_4/V_5$ nach Alter mit Herzhypertrophie	53
<b>Abbildung 36</b> Gruppiertes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in $V_5/V_6$ nach Alter ohne Herzhypertrophie	54

<b>Abbildung 37</b> Gruppieretes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in $V_5/V_6$ nach Alter mit Herzhypertrophie .....	55
<b>Abbildung 38</b> Gruppierter Boxplot – Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_1/V_2$ nach Alter.....	61
<b>Abbildung 39</b> Gruppierter Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_2/V_3$ nach Alter.....	62
<b>Abbildung 40</b> Gruppierter Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_3/V_4$ nach Alter.....	63
<b>Abbildung 41</b> Gruppierter Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_4/V_5$ nach Alter.....	64
<b>Abbildung 42</b> Gruppierter Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_5/V_6$ nach Alter.....	65
<b>Abbildung 43</b> Gruppierter Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_1/V_2$ nach Alter ohne Herzhypertrophie .....	68
<b>Abbildung 44</b> Gruppierter Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_1/V_2$ nach Alter mit Herzhypertrophie .....	69
<b>Abbildung 45</b> Gruppierter Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_2/V_3$ nach Alter ohne Herzhypertrophie .....	70
<b>Abbildung 46</b> Gruppierter Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_2/V_3$ nach Alter mit Herzhypertrophie .....	71
<b>Abbildung 47</b> Gruppierter Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_3/V_4$ nach Alter ohne Herzhypertrophie .....	73
<b>Abbildung 48</b> Gruppierter Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_3/V_4$ nach Alter mit Herzhypertrophie .....	74
<b>Abbildung 49</b> Gruppierter Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_4/V_5$ nach Alter ohne Herzhypertrophie .....	75
<b>Abbildung 50</b> Gruppierter Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_4/V_5$ nach Alter mit Herzhypertrophie .....	76
<b>Abbildung 51</b> Gruppierter Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_5/V_6$ nach Alter ohne Herzhypertrophie .....	77
<b>Abbildung 52</b> Gruppierter Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_5/V_6$ nach Alter mit Herzhypertrophie .....	78
<b>Abbildung 53</b> Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung $V_1$ ohne Herzhypertrophie.....	82

<b>Abbildung 54</b> Gruppierter Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V <sub>1</sub> ohne Herzhypertrophie.....	83
<b>Abbildung 55</b> Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V <sub>1</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter.....	85
<b>Abbildung 56</b> Gruppierter Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V <sub>1</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter.....	86
<b>Abbildung 57</b> Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V <sub>2</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter.....	87
<b>Abbildung 58</b> Gruppierter Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V <sub>2</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter.....	88
<b>Abbildung 59</b> Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V <sub>2</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter.....	89
<b>Abbildung 60</b> Gruppierter Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V <sub>2</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter.....	90
<b>Abbildung 61</b> Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V <sub>3</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter.....	91
<b>Abbildung 62</b> Gruppierter Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V <sub>3</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter.....	92
<b>Abbildung 63</b> Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V <sub>3</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter.....	93
<b>Abbildung 64</b> Gruppierter Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V <sub>3</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter.....	94
<b>Abbildung 65</b> Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V <sub>4</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter.....	95
<b>Abbildung 66</b> Gruppierter Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V <sub>4</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter.....	96
<b>Abbildung 67</b> Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V <sub>4</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter.....	97
<b>Abbildung 68</b> Gruppierter Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V <sub>4</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter.....	98
<b>Abbildung 69</b> Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V <sub>5</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter.....	99
<b>Abbildung 70</b> Gruppierter Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V <sub>5</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter.....	100

<b>Abbildung 71</b> Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V <sub>5</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter.....	101
<b>Abbildung 72</b> Gruppiertes Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V <sub>5</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter.....	102
<b>Abbildung 73</b> Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V <sub>6</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter.....	103
<b>Abbildung 74</b> Gruppiertes Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V <sub>6</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter.....	104
<b>Abbildung 75</b> Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V <sub>6</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter.....	105
<b>Abbildung 76</b> Gruppiertes Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V <sub>6</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter.....	106
<b>Abbildung 77</b> Gestapeltes Histogramm der S-Zacken in Ableitung V <sub>5</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter.....	110
<b>Abbildung 78</b> Gruppiertes Boxplot der S-Zacken in Ableitung V <sub>5</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter.....	111
<b>Abbildung 79</b> Gestapeltes Histogramm der S-Zacken in Ableitung V <sub>5</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter.....	112
<b>Abbildung 80</b> Gruppiertes Boxplot der S-Zacken in Ableitung V <sub>5</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter.....	113
<b>Abbildung 81</b> Gestapeltes Histogramm der S-Zacke in Ableitung V <sub>6</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter.....	114
<b>Abbildung 82</b> Gruppiertes Boxplot der S-Zacken in Ableitung V <sub>6</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter.....	115
<b>Abbildung 83</b> Gestapeltes Histogramm der S-Zacken in Ableitung V <sub>6</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter.....	116
<b>Abbildung 84</b> Gruppiertes Boxplot der S-Zacken in Ableitung V <sub>6</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter.....	117

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1</b> R/S Ratio Normwerte in Ableitungen $V_1$ , $V_2$ und $V_6$ bei Kindern und Jugendlichen (48).....	16
<b>Tabelle 2</b> Altersabhängige EKG-Normwerte (8) .....	18
<b>Tabelle 3</b> Häufigkeit des Patient*innenkollektivs mit einem R/S Overlap in den Brustwandableitungen $V_1$ - $V_6$ .....	40
<b>Tabelle 4</b> Anzahl der Patient*innen ohne R/S Overlap nach Alter.....	43
<b>Tabelle 5</b> Anzahl der Patient*innen ohne R/S Overlap nach Alter und Herzhypertrophie.....	43
<b>Tabelle 6</b> Anzahl der Overlaps pro EKG nach Herzhypertrophie .....	44
<b>Tabelle 7</b> Anzahl der R/S Overlaps nach Alter und Herzhypertrophie.....	45
<b>Tabelle 8</b> Kreuztabelle Herzhypertrophie und Overlap.....	56
<b>Tabelle 9</b> Chi-Quadrat-Tests - Herzhypertrophie und Overlap.....	56
<b>Tabelle 10</b> Phi- und Cramer-V-Test.....	57
<b>Tabelle 11</b> Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps.....	57
<b>Tabelle 12</b> Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps im Alter 0-12 Monate .....	58
<b>Tabelle 13</b> Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps im Alter 1-5 Jahre ...	59
<b>Tabelle 14</b> Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps im Alter 6-13 Jahre .	59
<b>Tabelle 15</b> Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps im Alter 14-18 Jahre	60
<b>Tabelle 16</b> Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_1/V_2$ nach Alter ..	61
<b>Tabelle 17</b> Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_2/V_3$ nach Alter ..	62
<b>Tabelle 18</b> Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_3/V_4$ nach Alter ..	63
<b>Tabelle 19</b> Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_4/V_5$ nach Alter ..	64
<b>Tabelle 20</b> Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_5/V_6$ nach Alter ..	65
<b>Tabelle 21</b> Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps nach Alter und Herzhypertrophie.....	67
<b>Tabelle 22</b> Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_1/V_2$ nach Alter und Herzhypertrophie.....	68
<b>Tabelle 23</b> Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_2/V_3$ nach Alter und Herzhypertrophie.....	70
<b>Tabelle 24</b> Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_3/V_4$ nach Alter und Herzhypertrophie.....	72

<b>Tabelle 25</b> Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_4/V_5$ nach Alter und Herzhypertrophie.....	74
<b>Tabelle 26</b> Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in $V_5/V_6$ nach Alter und Herzhypertrophie.....	77
<b>Tabelle 27</b> R/S Ratio in $V_1$ bis $V_6$ .....	79
<b>Tabelle 28</b> R/S Ratio nach Alter und Herzhypertrophie.....	81
<b>Tabelle 29</b> R/S Ratio in Ableitung $V_1$ ohne Herzhypertrophie nach Alter .....	83
<b>Tabelle 30</b> R/S Ratio in Ableitung $V_1$ mit Herzhypertrophie nach Alter .....	86
<b>Tabelle 31</b> R/S Ratio in Ableitung $V_2$ ohne Herzhypertrophie nach Alter .....	88
<b>Tabelle 32</b> R/S Ratio in Ableitung $V_2$ mit Herzhypertrophie nach Alter .....	90
<b>Tabelle 33</b> R/S Ratio in Ableitung $V_3$ ohne Herzhypertrophie nach Alter .....	92
<b>Tabelle 34</b> R/S Ratio in Ableitung $V_3$ mit Herzhypertrophie nach Alter .....	94
<b>Tabelle 35</b> R/S Ratio in Ableitung $V_4$ ohne Herzhypertrophie nach Alter .....	96
<b>Tabelle 36</b> R/S Ratio in Ableitung $V_4$ mit Herzhypertrophie nach Alter .....	98
<b>Tabelle 37</b> R/S Ratio in Ableitung $V_5$ ohne Herzhypertrophie nach Alter .....	100
<b>Tabelle 38</b> R/S Ratio in Ableitung $V_5$ mit Herzhypertrophie nach Alter .....	102
<b>Tabelle 39</b> R/S Ratio in Ableitung $V_6$ ohne Herzhypertrophie nach Alter .....	104
<b>Tabelle 40</b> R/S Ratio in Ableitung $V_6$ mit Herzhypertrophie nach Alter .....	106
<b>Tabelle 41</b> Messwerte der S-Zacken in den Ableitungen $V_5$ und $V_6$ .....	108
<b>Tabelle 42</b> S-Zacken in Ableitungen $V_5$ und $V_6$ nach Alter und Herzhypertrophie .....	109
<b>Tabelle 43</b> S-Zacken in Ableitung $V_5$ ohne Herzhypertrophie nach Alter .....	111
<b>Tabelle 44</b> S-Zacken in Ableitung $V_5$ mit Herzhypertrophie nach Alter .....	113
<b>Tabelle 45</b> S-Zacken in Ableitung $V_6$ ohne Herzhypertrophie nach Alter .....	115
<b>Tabelle 46</b> S-Zacken in Ableitung $V_6$ mit Herzhypertrophie nach Alter .....	117

# 1 Einleitung

Das Herz ist eine Muskelpumpe, deren Aufgabe darin besteht die lebenswichtigen Organe täglich mit Blut zu versorgen. Durch das Zusammenspiel der Diastole und Systole, werden pro Minute etwa 5-6 Liter Blut durch den gesamten Körper gepumpt. Dies entspricht über 7000 Liter pro Tag. Seit dem 20. Jahrhundert sind Herz-Kreislauf-System-Erkrankungen die führende Ursache für Todesfälle in allen Entwicklungsländern (1). Angeborene Herzfehler sind die häufigsten Organfehlbildungen bei Neugeborenen, wobei etwa sieben von 1.000 Kindern betroffen sind (2). Von einem medizinischen Standpunkt aus betrachtet, ist das Elektrokardiogramm (EKG) ein preiswertes, nicht invasives, schnell und einfach wiederholbares Instrument, das oft vorläufig zur Erkennung von Herzkrankheiten verwendet wird (3). Ziel dieser Arbeit ist es, EKGs mit R/S Overlap in den Brustwandableitungen (Überlappung von R- und S-Zacken zweier benachbarter Ableitungen) bei Kindern und Jugendlichen hinsichtlich des Zusammenhanges mit ventrikulärer Herzhypertrophie auszuwerten, um eine Verdickung des Herzmuskels schneller erkennen und therapieren zu können. Es soll dabei die klinische Relevanz hinsichtlich des R/S Overlaps analysiert werden mit der Arbeitshypothese, dass der R/S Overlap kein Zeichen für eine ventrikuläre Herzhypertrophie ist. Weiters wird in der Arbeit das Katz-Wachtel-Phänomen erörtert, welches erstmals 1937 beschrieben und in der Literatur als ein typisches Zeichen für biventrikuläre Hypertrophie angegeben wird (4–6).

Die folgende Diplomarbeit gliedert sich in nachstehende Abschnitte: Zunächst werden theoretische Grundlagen der Elektrophysiologie erörtert, folgend wird zum theoretischen Kern der Arbeit übergeleitet und das physiologische Elektrokardiogramm bei Erwachsenen sowie spezifische pädiatrische Merkmale beschrieben. Anschließend wird auf Krankheitsbilder des Herzens und ihre Ursachen mit Fokus auf Herzhypertrophie eingegangen, das Katz-Wachtel-Phänomen erläutert, sowie die Herzhypertrophie in der Echokardiografie näher beschrieben. Nach Beschreibung der Methodik, werden zuletzt die Ergebnisse der Diplomarbeit, welche an der klinischen Abteilung f. pädiatrische Kardiologie am

Universitätsklinikum LKH Graz verfasst wurde, präsentiert und diese anschließend diskutiert.

## **1.1 Elektrophysiologische Grundlagen**

Im folgenden Kapitel werden die Grundlagen der Elektrophysiologie erörtert, da diese die Voraussetzungen für das Verständnis der Funktion des Elektrokardiogramms, sowie dessen Aussagewerte sind. Wie bereits beschrieben, wechselt das Herz in einem bestimmten Rhythmus zwischen Systole und Diastole, um das Blut durch den gesamten Körper pumpen zu können. Damit sich das Herz synchron zusammenziehen und entspannen kann, müssen die Herzmuskelzellen durch elektrische Signale zeitlich und räumlich koordiniert werden (1).

### **1.1.1 Reizleitungssystem des Herzens**

Das Herz besteht aus zwei unterschiedlichen Muskelzellen. Einerseits gibt es die Zellen des Arbeitsmyokards, die für die schnelle Weiterleitung der Erregung sowie die Kontraktion des Herzens verantwortlich sind. Andererseits gibt es die modifizierten Herzmuskelzellen, die zu einer spontanen Impulsbildung befähigt sind und somit als Schrittmacher arbeiten (1).

#### **Arbeitsmyokard**

Die Zellen des Arbeitsmyokards sind quergesteift, langgestreckt, verzweigt und haben einen zentralen Zellkern. Sie bilden über die Glanzstreifen (Disci intercalares), die sich an Zellenden befinden, miteinander verbundene funktionelle Synzytien. Inmitten der Glanzstreifen liegen die Gap junctions (Konnexone) sowie Desmosomen. Die Desmosomen (Macula adhaerens) gewähren die mechanische Kohäsion der Zellen. Gap junctions stellen die Orte mit erniedrigten Membranwiderstands dar, können die Aktionspotenziale schnell weiterleiten und dienen somit der chemischen und elektrischen Kommunikation. Die Effizienz der Erregungsübertragung hängt maßgeblich von der Anzahl der Gap Junctions zwischen den Herzmuskelzellen ab, welche besonders dicht im Bereich der Kammerschenkel und Purkinje-Fasern vorhanden sind (1,7).

## **Erregungsbildungs- und Erregungsleitungssystem**

Die modifizierten Herzmuskelzellen des Erregungsbildungs- und Erregungsleitungssystems weisen einen geringen Anteil an Myofibrillen, T-Tubuli und Mitochondrien auf und haben einen hohen Gehalt an Sarkoplasma. Auf biochemischer Ebene zeichnen sie sich durch eine dominante glykolytische Stoffwechselaktivität aus. Weiters sind diese Herzmuskelzellen breiter und voluminöser (1,7). Die Versorgung des Reizleitungssystems mit sauerstoffreichem Blut erfolgt im Herzen über die Koronararterien. Der Sinusknoten wird von der Sinusknotenarterie versorgt, die in 55-60% von der rechten Koronararterie und in 40-45% vom Ramus circumflexus der linken Koronararterie entspringt. Weiters versorgt die rechte Koronararterie zu 80% den Atrioventrikularknoten (AV-Knoten) (8).

## **Hierarchie der Schrittmacherzentren**

Die Aufgabe des nomotopen Automatiezentrums übernimmt der Schrittmacher mit der höchsten Eigenfrequenz. Physiologisch handelt es sich dabei um den Sinusknoten (primärer Schrittmacher) mit einer Frequenz von 60-80 Schlägen/min. Fällt der Sinusknoten aus, übernimmt seine Funktion der AV-Knoten (sekundärer Schrittmacher) mit einer langsameren Eigenfrequenz von 40-50 Schlägen/min. Bei dem tertiären Schrittmacher handelt es sich um das ventrikuläre Erregungsleitungssystem, das mit einer Frequenz von 30-40 Schlägen/min die Schrittmacherfunktion übernimmt. Dieser ist vor allem bei einer Unterbrechung der Erregungsausbreitung unterhalb des AV-Knotens relevant (7).

## **Ablauf eines Erregungszyklus**

Die Herzerregung beginnt durch die spontane Depolarisation der Zellen im Sinusknoten (Nodus sinuatrialis), der sich epikardial im rechten Vorhof an der Einmündungsstelle der V. cava superior befindet (1,9). Er ist oval geformt und seine Größe ist vergleichbar mit einem Reiskorn (0,5-1,5 mm) (8). Die Erregung breitet sich mit einer Geschwindigkeit von 0,3-0,6 m/s fächerförmig über die Myokardzellen der Vorhöfe aus und gelangt nach etwa 60 ms zum AV-Knoten (1). Dieser befindet sich auf der rechten Seite des Vorhofseptums an der Grenze zwischen Vorhof und Ventrikel an der Spitze des sogenannten Koch-Dreieck. Dieses Dreieck wird posterior durch die Einmündung des Sinus coronarius begrenzt, anterior durch den

Rand des septalen Trikuspidalklappenringes und superior durch die Todaro-Sehne (9). Beim AV-Knoten handelt es sich um die alleinige leitende Verbindung zwischen den beiden Vorhöfen und Herzkammern, da die bindegewebige Ventilebene eine elektrische Trennung zwischen Vorhof und Kammer gewährleistet (1,7). Im AV-Knoten reduziert sich die Leitungsgeschwindigkeit auf etwa 0,05-0,1 m/s (7). Dies ist wichtig, damit die Ventrikel in der Diastole durch die Kontraktion der Vorhöfe genügend Zeit zum Füllen haben. Weiters werden höhere Frequenzen wie z.B. bei Vorhofflimmern zu den Ventrikeln nicht durchgelassen, wodurch man den AV-Knoten als ein Frequenzsieb betrachten kann (1). Vom AV-Knoten breitet sich die Erregung über das His-Bündel im Ventrikelseptum in den rechten und linken Kammerschenkel aus, die sich schlussendlich in die fein verästelten Purkinje-Fasern aufteilen. Die Leitungsgeschwindigkeit steigt im His-Bündel auf 1 m/s und erreicht die Höchstgeschwindigkeit von 4 m/s in den Purkinje-Fasern. Somit sind die Ventrikel nach 60 ms und das Herz nach 210 ms gänzlich erregt. Ein Aktionspotenzial dauert insgesamt 300 ms. Folglich ist die gesamte Erregung des Ventrikels früher abgeschlossen als die absolute Refraktärzeit. Dabei handelt es sich um die Zeitspanne, in der eine erneute Auslösung eines Aktionspotenzials in einer Herzmuskelzelle nicht möglich ist. Auf diese Weise wird sichergestellt, dass eine weitergeleitete Erregung nur zu einer Kontraktion der Ventrikel führt (1,7).

### **1.1.2 Ruhemembran- und Herzaktionspotenzial**

Die Zellen des Herzens wechseln zwischen dem Ruhe- und Aktionspotenzial. Damit wird sichergestellt, dass eine rhythmische Herzaktion, die zwischen Systole und Diastole wechselt, stattfinden kann (1).

#### **Ruhepotential (RP)**

Die Zellen des Arbeitsmyokards besitzen in der Diastole, also nicht erregtem Zustand, ein Ruhemembranpotenzial von ca. -85 mV. Dies entspricht dem physiologischen  $K^+$ -Gleichgewichtspotenzial, da die Kardiomyozyten im Ruhezustand durchlässiger für Kaliumionen sind als für andere Ionen wie Natrium ( $Na^+$ ) oder Chlorid ( $Cl^-$ ) (1,10). Durch die  $Na^+-K^+-ATPase$  wird die Aufrechterhaltung der Ionengradienten gewährleistet. Diese pumpt im stöchiometrischen Verhältnis 2:3 unter Verbrauch von Energie, die durch die Hydroxylase von Adenosintriphosphat (ATP) zur Verfügung gestellt wird, drei Natriumionen ( $Na^+$ ) aus

der Zelle hinaus und zwei Kaliumionen ( $K^+$ ) hinein (7). Da bei positiven Membranpotentialen, die größer als das  $K^+$ -Gleichgewichtspotenzial sind, die  $K^+$ -Ionen aus der Zelle hinausfließen, befinden sich in der Zellmembran die speziellen  $K_{ir}$ -Kanäle, auch Einwärtsgleichrichter genannt. Sie können den Ausstrom verlangsamen, indem sie von positiv geladenen Molekülen, wie Polyaminen und Magnesium-Ionen ( $Mg^{2+}$ ), blockiert werden und dadurch die  $K^+$ -Ionen nicht aus der Zelle fließen können. Somit wird das Ruhepotential durch den  $K^+$ -Strom  $I_{K1}$  stabil gehalten (10). Auch die Tandem-Poren-Kaliumkanäle, die den Hintergrundstrom  $I_{KP}$  bilden, bewahren das Ruhepotential (7).

Im Gegensatz zum Arbeitsmyokard beinhalten die Sinus- und AV-Knoten-Zellen keinen  $K^+$ -Strom  $I_{K1}$ . Das Ruhepotential ist mit ca. -60 mV positiver und instabiler, wodurch eine spontane Depolarisation ermöglicht wird (7).

### **Aktionspotential (AP)**

Das Schwellenpotential des Ventrikelmyokards liegt bei etwa -65 mV. Wird dieser Wert durch Veränderungen der Membranleitfähigkeit für  $Ca^{2+}$ ,  $K^+$  und  $Na^+$  überschritten, werden die Zellen depolarisiert und es entsteht ein Aktionspotential. Der Reiz entspringt physiologisch primär aus dem Sinusknoten. Das Aktionspotential hat eine Dauer von ca. 300 ms, ist somit im Vergleich zu anderen Zellen deutlich länger und lässt sich in folgende Phasen einteilen: (1)

#### Initiale Depolarisation:

Die Initiation beginnt mit dem Kationeneinstrom (1).

#### Depolarisation:

Wird die Nachbarszelle erregt und der Schwellenwert erreicht, öffnen sich die  $Na^+$ -Kanäle, fließen in die Zelle hinein und das Membranpotential wird positiv (ca. +40 mV). Dieser Zustand wird auch als „Overshoot“ bezeichnet (7). Die  $Na^+$ -Kanäle bleiben bis zur Repolarisation geschlossen (1).

#### Frühe schnelle Repolarisation:

Nach der Depolarisation wird der  $K^+$ -Auswärtsstrom ( $I_{to}$ ) aktiviert und es kommt zu einer kurzen Repolarisation (ca. 0 mV). Diese wird auch durch die  $Na^+$ - $Ca^{2+}$ -Austauscher unterstützt (1).

### Plateauphase:

Die spannungsabhängigen L-Typ  $\text{Ca}^{2+}$ -Kanäle in den Muskelfasern öffnen sich. Die Membranleitfähigkeit steigt und es kommt zum langsamen  $\text{Ca}^{2+}$ -Einstrom. In der Plateauphase ist die Kaliumleitfähigkeit reduziert, wodurch Kalium aus der Zelle hinausströmt und das Potenzial ausbalanciert wird (1).

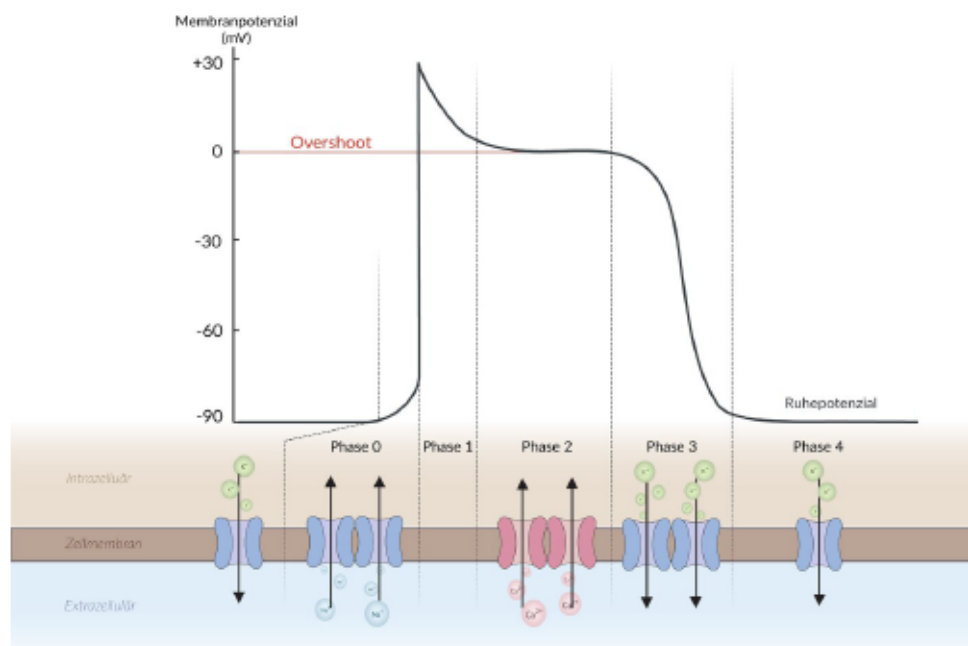
### Repolarisation:

Während der Repolarisation sind die Kalziumkanäle geschlossen und die  $\text{K}^+$ -Permeabilität steigt zu Beginn sehr schnell an und nimmt beim nächsten Aktionspotenzial wieder rasch ab. Die Repolarisation der Zelle ergibt sich folglich aus dem Kaliumausstrom bei hoher  $\text{K}^+$ -Permeabilität (1).

### Ruhepotenzial:

Während ausgeprägter Repolarisation werden die  $\text{K}_{\text{ir}}$ -Kanäle wieder geöffnet, wodurch es zum Kaliumeinstrom kommt und ein Ruhepotenzial entsteht (1).

Die Abbildung 1 veranschaulicht grafisch das Aktionspotenzial und seine Abschnitte, wodurch die Unterschiede zwischen den Phasen zusätzlich hervorgehoben werden (11).



**Abbildung 1** Aktionspotenzial und Ionenfluss beim Arbeitsmyokard (11)

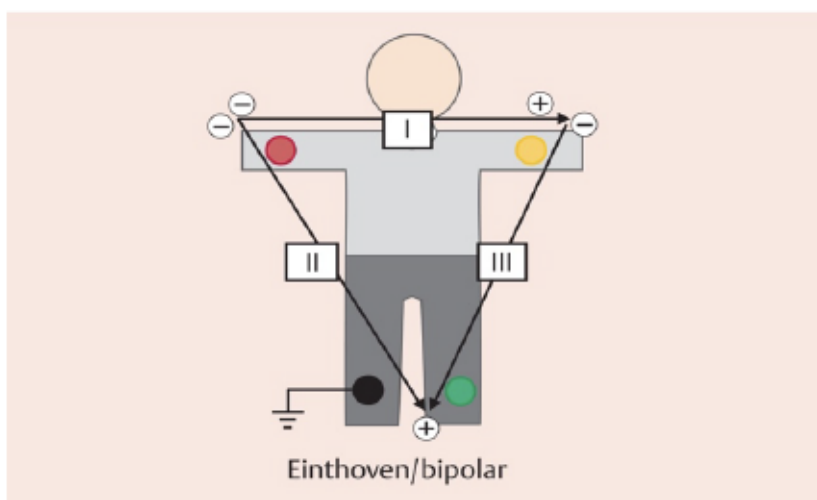
## 1.2 Elektrokardiogramm

Das Elektrokardiogramm (EKG) wird sehr häufig zur Diagnostik der elektrischen Erregung und Erregungsausbreitung über die Atrien und Ventrikel angewendet. Dabei werden Veränderungen der Potentialdifferenzen zwischen den erregten und nicht erregten Kardiomyozyten, die durch das Aktionspotenzial entstehen, dargestellt. Die Potenzialschwankungen werden zu einer Summenpotentialdifferenz bzw. einem Summenvektor addiert. Die erregten und nicht erregten Herzmuskelzellen verhalten sich zueinander wie ein Dipol, also entgegengesetzte elektrische Ladungen. Die Lage des Vektors bestimmt die Richtung und seine Länge die Größe des Vektorpfeils, der von erregten (Minus) zu unerregten (Plus) Herzmuskelzellen zeigt. Es kann mithilfe des EKGs keine direkte Aussage zur Kontraktionskraft des Herzens getroffen werden (1).

Das heutzutage übliche Elektrokardiogramm setzt sich aus 12 Ableitungen (12-Kanal-EKG) zusammen. Mithilfe der Ableitungen können Vektoren der elektrischen Herzerregung ermittelt werden und als Potentialdifferenzen dargestellt werden. Es wird dabei zwischen Extremitäten- und Brustwandableitungen unterschieden. In der Praxis werden die bipolaren Extremitätenableitungen nach Einthoven (I, II, III) sowie unipolare Extremitätenableitungen nach Goldberger (aVR, aVL, aVF) verwendet. Der Vektor befindet sich hier in der Frontalebene. Die unipolare Brustwandableitungen nach Wilson bestehen aus Ableitungen V<sub>1</sub>-V<sub>6</sub>. Der Vektor verläuft in der Horizontalebene (8). Durch die bestimmten Positionen der Ableitungen, können jeweils bestimmte Herzabschnitte dargestellt werden. Die Ableitungen II, III und aVF stellen die Hinterwand (inferior oder diaphragmale Ableitungen) und Ableitungen I und aVL die Seitenwand (laterale Ableitungen) des linken Ventrikels dar. Bei den Brustwandableitungen nach Wilson wird durch die Ableitungen V<sub>1</sub> und V<sub>2</sub> die Vorderwand des rechten Ventrikels (rechtspräkordiale Ableitungen), durch V<sub>3</sub> und V<sub>4</sub> die Vorderwand des linken Ventrikels und das Kammerseptum (anteroseptale Ableitungen) sowie durch V<sub>5</sub> und V<sub>6</sub> seitliche Wand des linken Ventrikels und die Herzspitze dargestellt (12). Dadurch kann mit der Kombination der Extremitäten- und Brustwandableitungen eine dreidimensionale Bewertung der Erregungsausbreitung und Erregungsrückbildung des Herzens erfolgen (7).

### 1.2.1 Bipolare Extremitätenableitungen nach Einthoven

Die drei Extremitätenableitungen nach Einthoven stellen vereinfacht ein gleichseitiges Dreieck, das sogenannte Einthoven-Dreieck, dar. Wie in Abbildung 2 dargestellt, führt die Ableitung I vom rechten Arm zum linken Arm, wobei der Minuspol sich am rechten Arm und der Pluspol am linken Arm befindet. Zwischen dem rechten Arm, dem Minuspol, und dem linken Bein, dem Pluspol, verläuft der Vektor der Ableitung II. Die Verbindung zwischen dem linken Arm als Minuspol und dem linken Bein als Pluspol stellt die Ableitung III dar (1,7,8). Eine Erdungselektrode am rechten Bein verbessert das Signal-Rausch-Verhältnis (7).



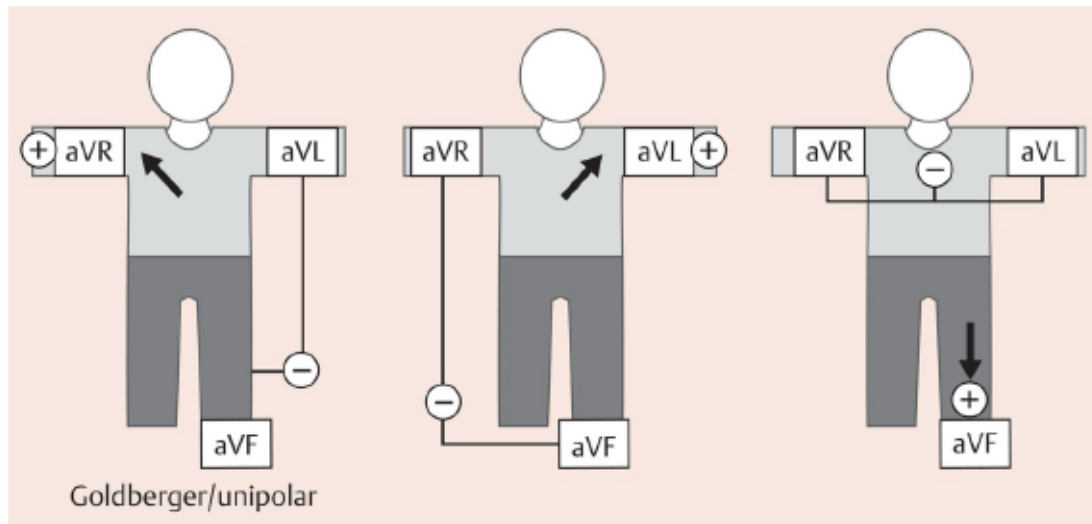
**Abbildung 2** Extremitätenableitungen nach Einthoven (8)

Die Potentialschwankungen bleiben in den Ableitungen gleich, es verändern sich jedoch ihre Amplituden und die Ausschlagrichtung. Durch den R-Vektor im Einthoven-Dreieck kann die elektrische Herzachse bestimmt werden, die mit der anatomischen Herzachse übereinstimmt. Somit liefern die Ableitungen Informationen zur Herzlage (1,7). Es muss jedoch speziell bei einer Herzhypertrophie berücksichtigt werden, dass durch die Zunahme der Herzmasse auch der R-Vektor, ohne einer Veränderung der anatomischen Herzlage, verschoben wird (1).

### 1.2.2 Unipolare Extremitätenableitungen nach Goldberger

Bei der Ableitung nach Goldberger in Abbildung 3 werden die Extremitätenelektroden an den gleichen Stellen wie die Einthoven-Ableitungen positioniert. Diese werden über hochohmige Widerstände miteinander verbunden, um eine indifferente Elektrode zu bilden. Die zwei Elektroden dienen somit als

Referenzelektroden. Die Messung erfolgt, indem die indifferente Elektrode Potenzialänderungen erfasst, die durch die elektrische Aktivität des Herzens erzeugt werden. Diese Potenziale werden als aVR (zum rechten Arm), aVL (zum linken Arm) und aVF (zum linken Fuß) bezeichnet, wobei aV für augmented Voltage, also verstärkte Spannung, steht (7,8).

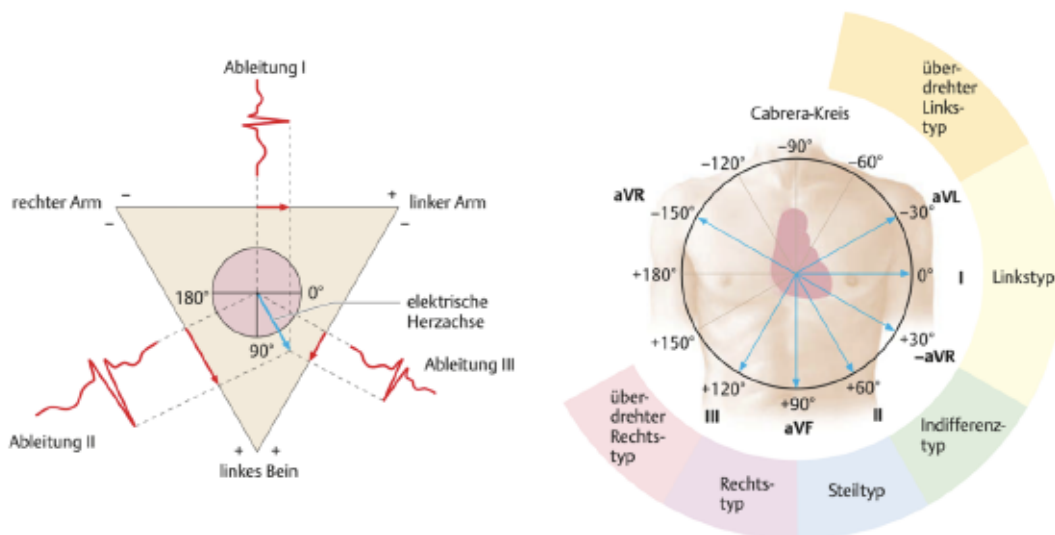


**Abbildung 3** Extremitätenableitungen nach Goldberger (8)

Die Extremitätenableitungen nach Einthoven und Goldberger werden für die Darstellung des Cabrera-Kreises benötigt (8).

### 1.2.3 Cabrera-Kreis

Mithilfe des Cabrera-Kreises kann im klinischen Alltag der Lagetyp des Herzens bestimmt werden. Dabei werden die Amplituden der R-Zacken aus mindestens zwei Ableitungen auf das Einthoven-Dreieck aufgetragen. Bei positiver Amplitude zeigen diese in Richtung Pluspol, andersherum in Richtung des Minuspols. Anschließend werden, wie in Abbildung 4 dargestellt, durch die Spitzen der R-Zacken senkrechte Linien gezogen und durch den Schnittpunkt der Summenvektor bestimmt. Der Summenvektor entspricht der elektrischen Herzachse, die der anatomischen Herzachse konform ist. Aus dem Winkel  $\alpha$ , der zwischen dem Summenvektor und der horizontalen Linie der Ableitung I liegt, kann der Lagetyp abgelesen werden. Je nach Winkelmaß, ergibt sich einer der sechs Lagetypen: überdrehter Linkstyp, Linkstyp, Indifferenztyp, Steiltyp, Rechtstyp oder überdrehter Rechtstyp (7).



**Abbildung 4** Bestimmung des Summenvektors und der Cabrera-Kreis (7)

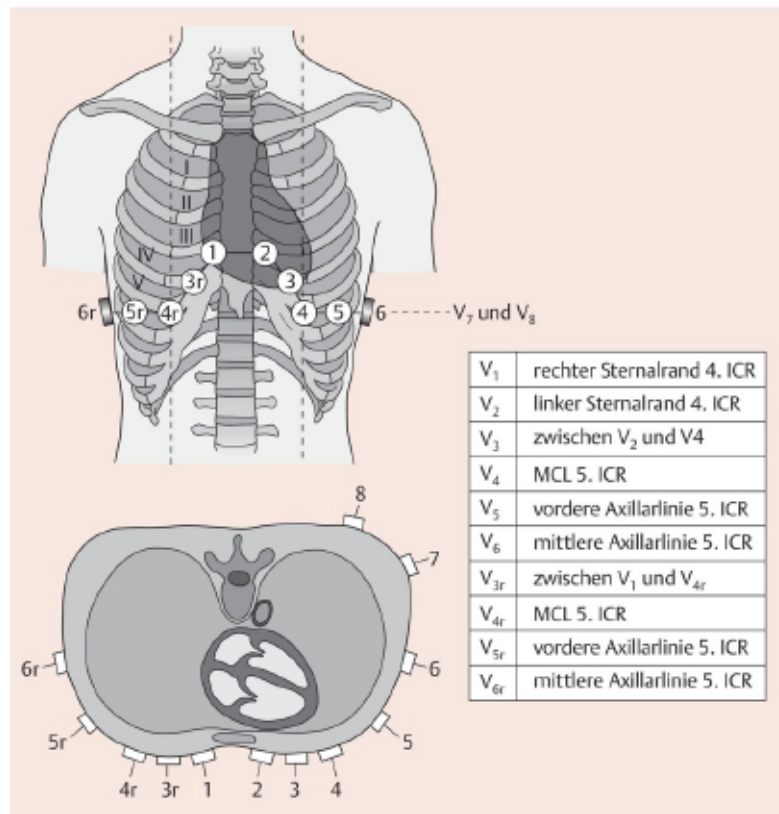
Der Rechtstyp ist bei Säuglingen und Kleinkindern physiologisch. Bei Erwachsenen ist es ein Zeichen für Rechtsherzbelastung. Der Steiltyp kommt am häufigsten bei Kleinkindern vor, während der Indifferenztyp bei Jugendlichen und jungen Erwachsenen am häufigsten anzutreffen ist. Der Linkstyp ist bei Erwachsenen physiologisch, kommt aber auch bei Linksherzbelastung vor. Ein überdrehter Links- sowie Rechtstyp sind pathologisch und ein Zeichen für verschiedene Herzanomalien (7,8). Es ist jedoch wichtig zu beachten, dass der Lagetyp von der Atmung beeinflusst wird (1).

#### 1.2.4 Unipolare Brustwandableitungen nach Wilson

Im Gegensatz zu den Extremitätenableitungen stellen die Brustwandableitungen nach Wilson die Erregungsausbreitung in der horizontalen Ebene dar. An die drei Extremitätenelektroden wird hochohmiger Widerstand angeschlossen, wodurch eine indifferente Elektrode entsteht. Diese befindet sich im Mittelpunkt des Herzgewebes und ermöglicht dadurch die Darstellung elektrischer Signale aus mehreren Richtungen des Herzens. Zusätzlich werden Ableitelektroden, die sogenannten differentiellen Elektroden, an den Thorax angelegt, wodurch die Brustwandableitungen nach Wilson  $V_1$ - $V_6$  abgeleitet werden können (1). Wie in Abbildung 5 zu sehen, werden die Elektroden folgend platziert:

- $V_1$ : 4. Interkostalraum (ICR), rechter Sternalrand
- $V_2$ : 4. ICR, linker Sternalrand

- V<sub>3</sub>: zwischen V<sub>2</sub> und V<sub>4</sub>
- V<sub>4</sub>: 5. ICR, Medioklavikularlinie
- V<sub>5</sub>: 5. ICR, vordere Axillarlinie
- V<sub>6</sub>: 5. ICR, mittlere Axillarlinie



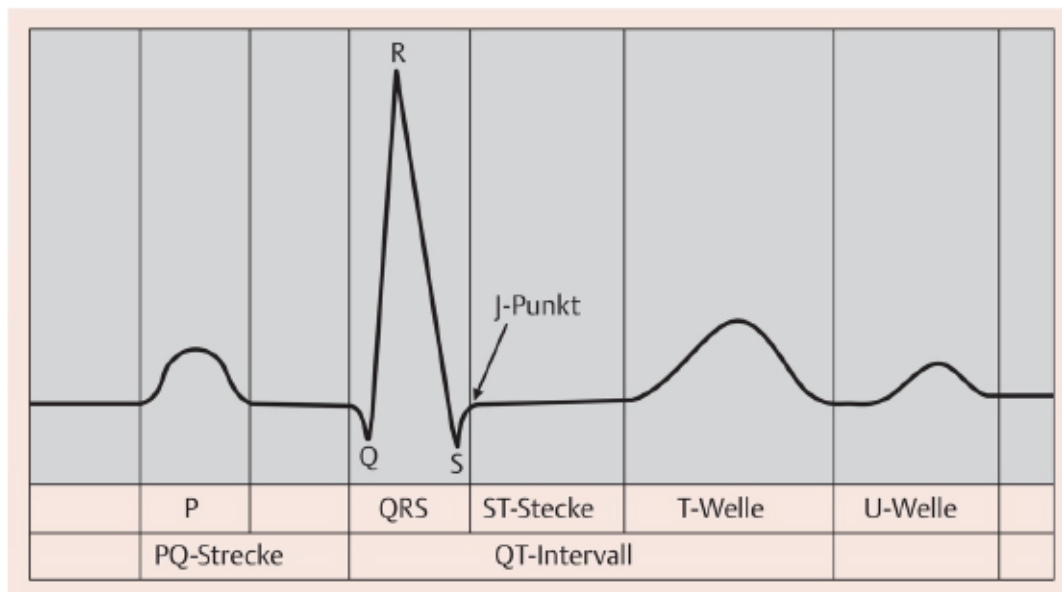
**Abbildung 5** Brustwandableitungen nach Wilson (8)

Aus der Abbildung 5 können ebenfalls die Positionen der Elektroden V<sub>3r</sub>, V<sub>4r</sub>, V<sub>5r</sub> sowie V<sub>6r</sub> entnommen werden, die bei Dextrokardie oder Situs inversus angebracht werden können. Bei jungen Patientinnen sollen die Ableitungen V<sub>4</sub>-V<sub>6</sub> auf der Brust und nicht unterhalb platziert werden, um die Signalqualität zu gewährleisten (8).

### 1.2.5 Vektoren der Erregungsausbreitung

Das Elektrokardiogramm kann mithilfe definierter Abschnitte beschrieben werden. Dabei wird die EKG-Ableitung wie in Abbildung 6 ersichtlich, in eine P-Welle, ein PQ-Intervall, eine Q-Zacke, ein QRS-Komplex, einen J-Punkt, eine ST-Strecke

sowie eine T-Welle eingeteilt. Zur Beurteilung der aufgelisteten Abschnitte wird meist die Extremitätenableitung II verwendet (12).



**Abbildung 6** Nomenklatur des Elektrokardiogramms (8)

### **P-Welle**

Die P-Welle spiegelt die elektrische Erregungsausbreitung der beiden Vorhöfe wider. Da die Erregung physiologisch vom Sinusknoten ausgeht und dieser sich im rechten Vorhof befindet, wird dieser 40-60 ms vor dem linken Vorhof erregt. Daraus folgt, dass in der ersten Hälfte der P-Welle, die Erregung des rechten Vorhofes und in der zweiten Hälfte die Erregung des linken Vorhofes dargestellt wird (13). Bei einer Amplitudenerhöhung  $> 0,3$  mV in Ableitung II spricht man von einem P dextroatriale, welches auf eine Rechtsherzbelastung deutet. Bei einer Dauer von über 100 ms spricht man von einem P sinistroatriale, einem Zeichen für Linksherzbelastung. Sind beide Vorhöfe betroffen, wird es als P biatriale bezeichnet (8).

### **PQ-Zeit/PR-Intervall**

Die PQ-Zeit gibt die Zeit von der Vorhoferregung bis zur Erregung der Herzkammer an. Physiologisch beträgt diese 120-200 ms und hängt von der Frequenz ab, was bedeutet, je höher die Frequenz, desto kleiner die PQ-Zeit und umgekehrt. Ist die PQ-Zeit verlängert spricht man von einem AV-Block I° (12). Bei fehlendem Q wird ein sogenannter PR-Intervall gemessen, bei dem die Dauer vom Beginn der P-Welle

bis zur R-Zacke ermittelt wird. Ist das PQ-Intervall verkürzt, spricht es oftmals für das Wolff-Parkinson-White-Syndrom. Im angloamerikanischen Sprachraum wird oft der Terminus „PR-Intervall“ verwendet, was besonders bei EKGs der Kinder passender ist, da hier nur selten ein Q im QRS-Komplex zu finden ist (8).

### **QRS-Komplex**

Der QRS-Komplex bildet die Erregungsausbreitung in den beiden Herzkammern ab und besteht aus der negativen Q-, positiven R- und negativen S-Zacke (8). Die QRS-Dauer ist altersabhängig. Bei den Erwachsenen beträgt sie 0,06-0,10 sek (60-100 ms) (12).

Die Q-Zacke entspricht dem Beginn der Kammererregung im Kammerseptum und den Papillarmuskeln. Der Vektor zeigt dabei von der Herzspitze zur Herzbasis (8). Physiologisch ist das Vorkommen einer Q-Zacke in allen Extremitätenableitungen und den Brustwandableitungen  $V_5$  und  $V_6$ . Q-Zacken in  $V_1$ - $V_3$  können bei hypertropher Kardiomyopathie nachgewiesen werden (12). Weiters sollte die Dauer einer Q-Zacke  $< 15$  ms betragen. Die Amplitude liegt zwischen 0,2 und 0,3 mV im Normbereich. 10 mm auf dem Papier entsprechen dabei 1,0 Millivolt (mV) elektrischer Spannung (8).

Bei der R-Zacke handelt es sich um den ersten positiven Amplitudenausschlag des QRS-Komplexes (8). Es spiegelt die Erregung von subendo- nach subepikardial und von der Herzbasis zur Herzspitze wider (7). Bei den Kindern und Jugendlichen beträgt die QR-Zeit maximal 30 ms. Eine R-Amplitude über der 98. Perzentile bei normaler intraventrikulärer Erregungsausbreitung kann ein Zeichen für Kammerhypertrophie sein (8).

Abschließend findet die Depolarisation des subepikardialen Anteils der Herzmuskulatur an der Basis des linken Ventrikels statt und ist als die S-Zacke erkennbar (7).

In den Brustwandableitungen wird die R-Zacke von  $V_2$ - $V_6$  immer größer (= R-Progression), die S-Zacke wird invers immer kleiner. In  $V_6$  ist normalerweise kein oder sehr kleines S vorhanden. Findet sich dennoch ein tiefes S in  $V_6$ , spricht man von einer S-Persistenz, die unter anderem ein Zeichen für Rechtsherzbelastung sein kann. Der R/S-Umschlag, d.h. der Zeitpunkt, an dem R größer als S wird, findet physiologisch in den Ableitungen  $V_2/V_3$  oder  $V_3/V_4$  statt. Ist die R/S-Umschlagszone

verzögert, spricht es beispielsweise für eine Linksherzhypertrophie oder einen Vorderwandinfarkt (12).

### **J-Punkt**

Es handelt sich um den Übergang der S-Zacke in die ST-Strecke. Vereinzelt kann auch eine zusätzliche Welle vorhanden sein, die infolgedessen als J-Welle genannt wird (12).

### **ST-Strecke**

Die ST-Strecke entspricht der vollständigen Depolarisation der beiden Herzkammern und wird vom J-Punkt bis zur T-Welle gemessen. Sie zeigt gewöhnlich eine leichte Anhebung in Richtung der T-Welle anstatt völlig isoelektrisch zu verlaufen (8).

Bis zu 0,1 mV unter oder über dem Niveau der TP-Strecke werden Hebungen oder Senkungen der ST-Strecke als normal bewertet. Senkungen über 0,1 mV können ein Zeichen der Schädigung im subendokardialen Myokardbereich darstellen. Weiters können sie bei Schenkelblockierungen sichtbar sein. Hingegen sind Hebungen hauptsächlich pathologisch und sind als Myokardschädigung oder subepikardiale Schädigung z.B. im Rahmen einer Perikarditis, zu betrachten (8).

### **T-Welle**

Die Repolarisation, also die Erregungsrückbildung, verläuft von epi- nach endokardial und wird im EKG als halbrunde und glatte T-Welle, die  $\frac{1}{6}$  bis  $\frac{2}{3}$  der R-Zacke entspricht, dargestellt (8,12). Der Vektor ist in den Ableitungen I und II immer positiv und verläuft konkordant zum QRS-Vektor. T-Wellen-Anomalien können auf viele Störungen hinweisen. Überhöhte T-Wellen sind bei PatientInnen mit Volumenhypertrophie des linken Ventrikels präsent, aber auch bei Bradykardie oder vegetativer Dystonie. Bei Hyperkaliämie von  $> 7$  mmol/l sind hohe und spitze T-Wellen ganz spezifisch. Andererseits kommen abgeflachte T-Wellen bei entzündlichen Vorgängen wie Myo- und Perikarditis, Sinustachykardie, Hypokaliämie oder orthostatischer Dysregulation vor (8).

## U-Welle

Die U-Welle ist in den Ableitungen II, aVL und den Brustwandableitungen V<sub>2</sub>-V<sub>6</sub> zu finden. Sie schließt normalerweise an die T-Welle an. Es wird vermutet, dass es sich dabei um die Repolarisation der Purkinje-Fasern handelt. Ausgeprägte U-Wellen können bei Vagotonie und Hypokaliämie vorkommen (8).

## QT-Intervall

Das QT-Intervall gibt die Dauer der Kammerdepolarisation und Kammerrepolarisation an und wird vom Beginn der Q-Zacke bis zum Ende der T-Welle in Ableitung II oder V<sub>5</sub> gemessen. Je höher die Herzfrequenz, desto kürzer wird das QT-Intervall. Somit ist die QT-Zeit herzfrequenzabhängig und wird für die Bestimmung nach der Bazett-Formel frequenzkorrigiert berechnet (=QTc). Dabei wird die gemessene QT-Zeit in Sekunden durch die Wurzel der Zeit des vorangegangenen RR-Intervalls in Sekunden dividiert:

$$QTc = \frac{QT - Zeit [ms]}{\sqrt{RR - Intervall [s]}}$$

Die präziseste Berechnung erzielt man mit der Bazett-Formel bei Herzfrequenzen zwischen 60 und 100 Schlägen/min (8).

Eine normale QTc-Zeit beträgt bei 1- bis 15-Jährigen maximal 0,44 sek (= 440 ms). Ab 0,46 sek (= 460 ms) spricht man von einer verlängerten QTc-Zeit. Die Werte dazwischen sind grenzwertig (12). Nach vollendetem 15. Lebensjahr gibt es geschlechterspezifische Normwerte für die QTc-Zeit. Bei Frauen liegt diese zwischen 340 ms und 450 ms, bei Männern zwischen 340 ms und 430 ms im Normbereich (8). QTc-Zeit-Werte > 470 ms bei Frauen und > 450 ms bei Männern sind sicher pathologisch und können zu lebensgefährlichen Herzrhythmusstörungen wie z.B. „Torsade-de-pointes-Tachykardien“ führen (8,12).

## R/S-Ratio

Bei gesunden Säuglingen ist das R/S Ratio in den rechts-präkordialen Ableitungen groß und in den linkspräkordialen Ableitungen klein. Bei den Erwachsenen sind die R/S Ratio-Werte genau umgekehrt (14). Ein R/S Ratio größer als 1 in V<sub>1</sub> und kleiner als 1 in V<sub>6</sub> spricht für eine Rechtsherzhypertrophie. Im Gegensatz dazu weist ein

geringes R/S Ratio in  $V_1$  kombiniert mit einem hohen R/S Ratio in  $V_6$  auf eine linksventrikuläre Herzhypertrophie hin (13,14).

In der Tabelle 1 sind die Normwerte nach Alter und Geschlecht aufgelistet.

R/S Ratio: 2. – 98. Perzentile		0-1	1-3	3-6	6-12	1-3	3-5	5-8	8-12	12-16
		Monate	Monate	Monate	Monate	Jahre	Jahre	Jahre	Jahre	Jahre
<b>V<sub>1</sub></b>	♂	0,8-3,7	0,5-5,0	0,4-4,9	0,7-4,2	0,5-2,9	0,3-1,9	0,1-1,7	0,1-1,2	0,1-1,1
	♀	1,0-4,9	0,6-4,4	0,4-4,1	0,4-3,4	0,5-2,8	0,2-1,8	0,1-1,4	0,1-1,1	0,1-1,0
<b>V<sub>2</sub></b>	♂	0,7-2,3	0,6-2,8	0,8-2,2	0,7-2,5	0,5-2,4	0,3-1,5	0,1-1,3	0,1-1,1	0,1-1,1
	♀	0,7-2,5	0,7-2,8	0,6-2,9	0,5-2,2	0,4-1,7	0,3-1,5	0,1-1,2	0,1-1,2	0,1-1,0
<b>V<sub>6</sub></b>	♂	1,0-3,7	0,8-8,3	0,4-S=0	1,1-S=0	0,8-S=0	1,9-S=0	1,8-S=0	1,7-S=0	2,0-S=0
	♀	1,0-3,7	1,7-8,7	1,1-S=0	1,8-S=0	0,5-S=0	2,7-S=0	1,7-S=0	2,0-S=0	1,3-S=0

**Tabelle 1** R/S Ratio Normwerte in Ableitungen  $V_1$ ,  $V_2$  und  $V_6$  bei Kindern und Jugendlichen (48)

## 1.2.6 Spezifische Eigenschaften des pädiatrischen Elektrokardiogramms

Das Alter der untersuchten Person ist für die Interpretation des EKGs ausschlaggebend, da die Normwerte abhängig von der Muskelmasse, der Organgröße und der Leitungsgeschwindigkeit zusammenhängen (8). Dementsprechend weist das Elektrokardiogramm (EKG) von Kindern mehrere Unterschiede zum EKG von Erwachsenen auf, insbesondere in Bezug auf die Herzfrequenz im Ruhezustand. Die Herzfrequenz variiert je nach Alter der Kinder und Jugendlichen. Während bei Neugeborenen die Herzfrequenz zwischen 90-160 Schlägen pro Minute (bpm) liegt, beträgt diese bei Kleinkindern 70-150 bpm und Schulkindern 60-140 bpm. Bei über 15-Jährigen passt sich die Herzfrequenz mit 60-100 bpm derjenigen von Erwachsenen an (15).

Auch der Lagetyp ist vom Alter abhängig und wird durch die Ausrichtung des QRS-Komplexes bestimmt, welcher die intraventrikuläre elektrische Erregung widerspiegelt. Bei Neugeborenen zeigt sich im Vergleich zu älteren Kindern und Erwachsenen eine rechtsverschobene elektrische Herzachse. Bis zum 3. Lebensjahr gleicht sich die Achse dem Wert von  $+ 50^\circ$  an, wie er bei Erwachsenen üblich ist (15).

Die P-Welle mit einer Dauer von 100 ms spricht bei Erwachsenen für eine linksatriale Belastung (8). Bei Säuglingen ist die P-Welle bereits ab 70 ms verbreitert, bei Kleinkindern ab 90 ms. Häufig weist eine verbreiterte P-Welle in den

Extremitätenableitungen I und II ein doppelgipfliges Muster auf (15). Die Amplitude ist altersunabhängig und liegt unter 2,5 mm in Ableitung II. Eine höhere Amplitude spricht für eine rechtsatriale Hypertrophie (14).

Die Dauer des PQ-Intervalls ist alters- und frequenzabhängig und verlängert sich minimal mit dem Alter (14,15). Liegt diese jedoch  $> 200$  ms, ist es in jedem Kindesalter pathologisch und kann ein Zeichen für linksatriale Dilatation sein (8,14). Normalerweise ist eine Q-Zacke in inferioren (II, III, aVF) und anterolateralen Ableitungen (I, aVL) sowie meist in  $V_5$  und  $V_6$  präsent. Wie in Tabelle 2 ersichtlich, ist die Q-Zacke bei der Geburt in Ableitung III mit 5 mm hoch, steigt bis zum Alter von 3 bis 6 Monaten bis 7 mm an und nimmt mit dem Alter konstant wieder ab bis zu einer Höhe von 3 mm (8).

Der QRS-Komplex sollte bis zum 16. Lebensjahr maximal 100 ms betragen. Die QR-Zeit, gemessen in  $V_1$ , ist mit maximaler Dauer von 20-30 ms im Normalbereich. Bei Erwachsenen und Kindern über drei Jahre erfolgt in den Brustwandableitungen eine kontinuierliche R-Progression, mit einer dominanten S-Zacke in  $V_1$ , gleich hohen R- und S-Zacken in den Ableitungen  $V_2$  und  $V_3$ , sowie dominanten R-Zacken in  $V_4$  bis  $V_6$  (14). Im EKG des Neugeborenen zeigt sich eine hohe R-Zacke in den rechts präkordialen Ableitungen und eine hohe S-Zacke in  $V_5$  und  $V_6$ , was der physiologischen Rechtsherzhypertrophie bei der Geburt entspricht (8,14). Niedervoltage  $> 5$  mm kann bei einem Perikarderguss, chronischer restriktiver Perikarditis oder einer Hypothyreose auftreten, sind jedoch bei Neugeborenen möglicherweise normal (14).

Die ST-Strecke verläuft meist auf der isoelektrischen Linie, kann aber bis zu 1 mm in den Extremitätenableitungen hoch bzw. tief sein. In den Brustwandableitungen  $V_3$ ,  $V_4$ ,  $V_5$  und  $V_6$  kann die ST-Strecke sogar um 2 mm von der isoelektrischen Linie abweichen, was auf die frühe Repolarisation des Herzens zurückzuführen ist. Eine Erhöhung kommt bei einer subendokardialen Schädigung wie z.B. Perikarditis vor, eine Senkung bei subepikardialen Schädigung wie z.B. der anomalen linken Koronararterie, die aus der Lungenarterie entspringt (ALCAPA), Myokardtumoren, Glykogenspeicherkrankheiten oder Kardiomyopathien (14,15).

Die T-Welle ist bei der Geburt in Ableitung I positiv, wird bis zur ersten Lebenswoche negativ und verbleibt so bis zum Adoleszentenalter. Eine positive T-Welle kann in diesem Zeitraum auf eine Rechtsherzhypertrophie hinweisen. In den Extremitätenableitungen besteht eine Konkordanz zwischen den T-Wellen und den

QRS-Komplexen (14,15). Sind diskordant negative T-Wellen vorhanden, spricht es für eine Perikarditis oder Myokardhypertrophie. Beim Long-QT-Syndrom ist ein T-Wellen-Alternans typisch, bei dem positive und negative T-Wellen abwechselnd in einer Ableitung auftreten (15). Eine hohe T-Welle kommt bei Elektrolytstörungen wie Hyperkaliämie vor, aber auch bei ventrikulärer Hypertrophie und einem Myokardinfarkt. Auch bei Sportler\*innen ist aufgrund eines hohen Vagotonus eine erhöhte T-Welle möglich (14,15). Andererseits können flache T-Wellen bei Hypothyreose, Myokarditis und einem Kalium- oder Calcium-Mangel auftreten und stellen auch bei Neugeborenen einen normalen Befund dar (14).

Die korrigierte QT-Zeit (QTc) dauert normalerweise < 440 ms und ist ab 460 ms verlängert. Dementsprechend wird eine verlängerte QTc als Long-QT-Syndrom bezeichnet. Ab dem 15. Lebensjahr gibt es geschlechterspezifische Werte. Pathologisch ist die QTc bei Männern > 450 ms und bei Frauen > 470 ms. Bei Neugeborenen kann das QT-Intervall vorübergehend physiologisch verlängert sein und normalisiert sich in der Regel in den ersten Lebenswochen (8). Auch eine QTc kürzer als 370 ms ist pathologisch. Es handelt sich dabei um das Short-QT-Syndrom, welches mit plötzlichem Herztod assoziiert wird (14).

Alle altersbezogenen Normwerte des pädiatrischen EKGs für Zeitintervalle und Amplituden können aus der Tabelle 2 entnommen werden. Diese gibt die Werte der 2. und 98. Perzentile sowie die Mittelwerte in Klammern wieder.

Alter	Herzfrequenz [min]	QRS-Achse [in Grad]	PQ-Intervall [ms]	Q in III [mm]	Q in V <sub>1</sub> [mm]	R in V <sub>1</sub> [mm]	S in V <sub>1</sub> [mm]	R/S in V <sub>1</sub>	R in V <sub>6</sub> [mm]	S in V <sub>6</sub> [mm]	R/S in V <sub>6</sub>	S in V <sub>1</sub> + R in V <sub>6</sub> [mm]	(R + S) in V <sub>6</sub> [mm]
<1 Tag	94–155 (122)	55–168 (+ 135)	79–160 (107)	5	2	5–27 (14)	0,5–23 (9)	0,2–9,8 (2,3)	0–12 (5)	0,2–10 (4)	0,5–9 (2,5)	2–27 (13)	12–52 (32)
1–3 Tage	91–158 (124)	65–171 (+ 134)	81–139 (108)	5	2	5–27 (15)	0,5–21 (10)	0,2–6,0 (2,0)	0,1–12 (5)	0,2–10 (3)	0,5–11 (3)	2–28 (14)	15–53 (33)
3–7 Tage	90–166 (128)	76–168 (+ 133)	75–137 (104)	5	3	3–25 (13)	0,5–17 (7)	0,2–9,8 (2,8)	0,5–12 (5)	0,4–10 (4)	0,5–10 (2,5)	2–25 (12)	13–48 (31)
7–30 Tage	106–182 (148)	65–159 (110)	73–138 (101)	4	3	3–22 (11)	0,5–12 (4)	1,0–7,0 (2,9)	3–17 (8)	0,2–10 (3)	0,5–10 (4)	3–22 (12)	15–48 (31)
1–3 Mon.	120–179 (149)	31–115 (75)	73–130 (98)	5	3	3–19 (10)	0,5–13 (5)	0,3–7,5 (2,3)	5–22 (3)	0,3–7 (3)	0,5–12 (4,5)	6–29 (17)	22–58 (36)
3–6 Mon.	105–185 (142)	7–105 (60)	74–145 (106)	7	3	3–20 (10)	0,5–17 (6)	0,2–6 (2,4)	6–23 (14)	0,2–10 (3)	0,5–18 (6,5)	7–35 (19)	21–58 (38)
6–12 Mon.	107–168 (132)	7–98 (54)	73–156 (156)	6	3	2–20 (9)	0,5–18 (7)	0,1–3,9 (1,8)	6–23 (13)	0,2–8 (2)	0,5–22 (8,8)	7–33 (19)	21–50 (34)
1–3 Jahre	90–151 (119)	8–100 (55)	82–148 (114)	5	3	3–18 (9)	1–21 (9)	0,1–4,2 (1,4)	6–23 (14)	0,1–7 (2)	0,5–28 (9,5)	7–38 (22)	17–48 (33)
3–5 Jahre	73–137 (108)	7–104 (55)	85–161 (118)	4	3	2–18 (8)	2–22 (10)	0,2–8 (0,9)	8–25 (15)	0,1–6 (2)	0,8–30 (11)	13–42 (25)	17–52 (35)
5–8 Jahre	65–133 (100)	10–140 (66)	90–164 (124)	3	5	1–13 (7)	3–24 (12)	0–2,0 (0,8)	9–27 (17)	0,1–4 (1)	1–30 (12)	13–47 (28)	20–53 (36)
8–12 Jahre	63–129 (92)	9–115 (61)	87–171 (128)	3	3	0,5–10 (6)	3–26 (12)	0,1–9 (0,6)	10–26 (17)	0–4 (1)	2–33 (14)	15–45 (28)	21–50 (35)
12–16 Jahre	66–120 (86)	11–133 (58)	92–175 (135)	3	3	0,5–10 (5)	3–22 (11)	0,1–8 (0,5)	7–23 (15)	0–4 (1)	2–39 (15)	11–42 (25)	12–49 (29)

**Tabelle 2** Altersabhängige EKG-Normwerte (8)

### 1.3 Ventrikuläre Herzhypertrophie - Ätiologie

Die ventrikuläre Hypertrophie entsteht durch reversible Zellvergrößerung, bedingt durch die Zunahme von Zellkomponenten. Dies führt schlussendlich zu einer makroskopischen Vergrößerung des Ventrikels. Meist hypertrophiert das Gewebe durch erhöhte Belastung oder durch vermehrte verrichtete Arbeit. Dabei nimmt der Zellkern an Größe zu und die Organellen vermehren sich aufgrund einer gesteigerten Synthese von RNA und Proteinen (16).

Bei einer ventrikulären Herzhypertrophie kann der rechte oder linke Ventrikel betroffen sein und wird dementsprechend als eine Rechts- oder Linksherzhypertrophie bezeichnet. Sind beide Ventrikel betroffen, wird von einer biventrikulären Herzhypertrophie gesprochen (15).

Generell existiert eine Vielzahl angeborener Herzfehler, die zu einer Vergrößerung der Herzkammern führen können.

Ein **Ventrikelseptumdefekt (VSD)** ist eine interventrikuläre Verbindung und ist einer der häufigsten angeborenen Herzfehler. Dieser kann isoliert oder auch in Verbindung mit einer anderen Fehlbildung oder einem assoziierten Syndrom vorkommen. Die Symptome und das klinische Bild variieren je nach Größe, anatomische Details sowie Alter (15,17). Ein großer Shunt auf ventrikulärer Ebene, kann zur erhöhten Volumenbelastung des linken Atriums und Ventrikels führen, was letztendlich zu einer Dilatation und in späterer Folge zur linksventrikulären Hypertrophie führen kann. Die resultierende und anhaltende pulmonale Hypertonie kann schließlich zu einer rechtsventrikulären Hypertrophie und Dilatation führen (17).

Bei den **Kardiomyopathien** handelt es sich um eine vielfältige Gruppe von Herzerkrankungen, die mit sowohl strukturellen als auch funktionellen Funktionsstörungen des Herzmuskels einhergehen. Oft entstehen diese durch genetische Mutationen und sind mit einer anomalen Zunahme der Gewebe- oder Organgröße verbunden, entweder in Form von Hypertrophie oder Dilatation. Kardiomyopathien können auf das Herz beschränkt oder Teil einer systemischen Krankheit sein und führen zu schwerwiegenden Folgen wie Herzversagen oder fortschreitender Herzinsuffizienz. Laut der American Heart Association (AHA)

erfolgt die Einteilung in eine primäre und sekundäre Kardiomyopathie. Die primäre Kardiomyopathie, die ausschließlich den Herzmuskel betrifft, wird weiters in genetisch bedingte, erworbene und gemischte Kardiomyopathien eingeteilt. Bei der sekundären Kardiomyopathie handelt es sich um myokardiale Dysfunktion, die im Zusammenhang mit einer Systemerkrankung stehen (18,19). Die World Health Organization (WHO) und die European Society of Cardiology (ESC) teilen die Kardiomyopathien phänotypisch in dilatative (DCM), hypertrophe (HCM), restriktive (RCM), arrhythmogene rechtsventrikuläre (ARVC) und nicht klassifizierbare Kardiomyopathie ein (16,18).

Bei der **hypertrophen Kardiomyopathie** handelt es sich um eine genetisch bedingte Erkrankung des Sarkomers. Bislang wurden auf 51 Genen insgesamt ca. 1400 Mutationen nachgewiesen, die für Krankheiten verantwortlich sind. Die acht am häufigsten (99%) mutierten Gene sind für kontraktile Proteine kodiert, darunter schwere Myosinkette 7, myosinbindendes Protein C3, Troponin T und I, Tropomyosin alpha-1-Kette sowie leichte Myosinkette 3 (18). Mehrere Studien berichten über Krankheitsmanifestationen bereits im Säuglingsalter. Das mediane Alter betrug bei der Studie von Mukhtar et al. sieben Jahre und bei Lipschultz et al. 5,9 Jahre (20,21). Das charakteristische Merkmal ist eine linksventrikuläre Hypertrophie, die hauptsächlich asymmetrisch, aber auch konzentrisch oder apikal sein kann, ohne offensichtliche hämodynamische Ursache. Die Erkrankung geht mit einer Störung der diastolischen Compliance einher, die zu einer abnormalen Relaxation und verzögerten Öffnung der Mitralklappe führt. Besonders bei asymmetrischer Septumhypertrophie kommt es zur systolisch-dynamischen Obstruktion im linksventrikulären Ausflusstrakt, welche als hypertrophe obstruktive Kardiomyopathie bekannt ist. Die systolische Einengung des linksventrikulären Ausflusswegs führt durch den Venturi-Effekt schließlich zur Mitralinsuffizienz (18). Obwohl die hypertrophe Kardiomyopathie hauptsächlich den linken Ventrikel betrifft, zeigt sich bei vielen Betroffenen eine Beteiligung des rechten Ventrikels. Die rechtsventrikuläre Hypertrophie verursacht strukturelle und funktionelle Veränderungen (22). Besonders auffällig ist, dass bei der Hälfte der in der Studie von Maron et al. untersuchten Patienten und Patientinnen eine hypertrophierte Crista supraventricularis vorzufinden war, ein Befund, der in der Kontrollgruppe ohne Herzhypertrophie nicht festgestellt wurde (23). Diese Veränderungen können zu diskreter systolischer oder diastolischer Dysfunktion führen (22).

Die Patient\*innen zeigen häufig keine Symptome. Zu den ersten Anzeichen gehören Leistungsminderung, Synkopen oder Palpitationen. Gelegentlich kann bei der Auskultation ein hörbares Systolikum festgestellt werden. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, dass der plötzliche Herztod als erstes Anzeichen der Erkrankung auftritt. Die Todesrate liegt dabei zwischen 1-6% pro Jahr, und hypertrophe Kardiomyopathie (HCM) ist die führende Ursache für belastungsinduzierten plötzlichen Herztod bei älteren Kindern und jungen Erwachsenen unter 35 Jahren (18).

Weiters kann die Herzhypertrophie eine Folge bestehender **arterieller Hypertonie** sein, die durch eine Anpassung an die erhöhte Belastung der linken Ventrikelwand entsteht. Auch andere neurohormonelle Faktoren, wie Angiotensin II und das sympathische Nervensystem, die mit arterieller Hypertonie in Zusammenhang stehen, sollen einen Einfluss auf die linksventrikuläre Hypertonie haben (24). Der Blutdruck variiert bei Kindern und Jugendlichen je nach Alter, Geschlecht und Größe, weshalb die arterielle Hypertonie nach überschreiten der entsprechenden 95. Perzentile diagnostiziert wird (15,25). Die Häufigkeit von Bluthochdruck bei Neugeborenen und Säuglingen ist zunächst gering (0,2-0,8%), steigt jedoch mit dem Alter und liegt bei 18-Jährigen bei ca. 10-11%. Im Altersdurchschnitt von 0 bis 18 Jahren liegt diese bei 3-5% (25). Die linksventrikuläre Masse (LVM), die durch fettfreie Körpermaße im Echo bestimmt wird, liegt bei Kindern mit chronischer arterieller Hypertonie zwischen 8 und 41% über der 95. Perzentile. Spezifisch bei Kindern mit Bluthochdruck aufgrund einer chronischen Nierenerkrankung entwickelt sich die linksventrikuläre Hypertrophie relativ früh und nimmt mit abnehmender Nierenfunktion an Bedeutung zu (26).

Auch bei verschiedenen **Klappenvitien** entsteht eine Druckhypertrophie als Reaktion auf die erhöhte Druckbelastung (27). Die Mitralstenose führt zur erniedrigten Füllung des linken Ventrikels, wodurch es zum erniedrigten Herzzeitvolumen und erhöhtem Druck im linken Atrium kommt. Die daraus folgende Lungenstauung und pulmonale Hypertonie führt zu einer Rechtsherzbelastung und -hypertrophie (28). Die Aortenklappenstenose führt ebenso durch die vermehrte Druckbelastung des linken Ventrikels zu einer konzentrischen Hypertrophie. Es hat sich gezeigt, dass das Ausmaß der Herzhypertrophie mit der Schwere der

Beeinträchtigung der früh diastolischen Füllung zusammenhängt (27,28). Bei der Aortenklappeninsuffizienz herrscht durch das diastolische Pendelvolumen eine Volumenbelastung des linken Ventrikels und das Schlagvolumen sowie die Blutdruckamplitude steigt, wodurch der linke Ventrikel exzentrisch hypertrophiert. Die Pulmonalstenose, die oft mit der Fallot'schen Tetralogie auftritt, führt zur Druckbelastung des rechten Ventrikels und einer konzentrischen Hypertrophie (28).

Neben angeborenen Herzfehlern gibt es auch **andere Faktoren**, die vor allem bei Säuglingen zu einer Herzhypertrophie führen können. In der Studie von Stegeman et al. stellten Fehlbildungssyndrome wie Noonan, Cantú und Costello die häufigste Ursache für eine Ventrikelvergrößerung. Die Hypertrophie betraf hauptsächlich das interventrikuläre Septum (IVS) sowie die linksventrikuläre Hinterwand (LVPW) (29). Vor allem bei einer vorhandenen HCM, einer biventrikulären Ausflusstraktobstruktion sowie mindestens einem Red Flag für ein Cardio-faziot-cutanes-Syndrom, muss eine RASopathie ausgeschlossen werden (30). Darüber hinaus kann auch mütterlicher Diabetes mellitus zu einer Herzhypertrophie beim Säugling führen und manifestiert sich vor allem im Bereich des interventrikulären Septums. In der Regel normalisiert sich diese Hypertrophie in den ersten Monaten (29). Weitere mögliche Ursachen sind Sarkomererkrankungen, Stoffwechselerkrankungen, kongenitaler Hyperinsulinismus, neuromuskuläre Erkrankungen sowie Toxine wie Steroide (29,31).

#### **1.4 Ventrikuläre Herzhypertrophie im EKG**

Im EKG können charakteristische Veränderungen vorkommen, die auf eine ventrikuläre Hypertrophie hinweisen. Dazu zählt die Abweichung der QRS-Achse, eine höhere QRS-Amplitude und R/S-Ratio sowie längere QR-Dauer. Weiters können auffällige Q-Zacken und Repolarisationsveränderungen wie ST-Senkungen oder das sogenannte „strain pattern“ auftreten (15).

Die veränderte QRS-Achse ist immer zum hypertrophierten Anteil des Herzens hingelerichtet. Vor allem bei der Rechtsherzhypertrophie kommt es zu einer Rechts-Achsen-Abweichung. Im Gegensatz dazu ist eine Abweichung der linken Achse eher ein Zeichen für eine Volumen- und keine Drucküberlastung. Anatomisch betrachtet, befindet sich der rechte Ventrikel auf der rechten vorderen Seite des Herzens, während der linke Ventrikel sich über die linke inferiore und posteriore

Außenwand des Herzens erstreckt. Bei einer ventrikulären Hypertrophie nimmt die Spannung des QRS-Komplexes in Richtung des jeweiligen Ventrikels zu (6).

Bei der rechtsventrikulären Hypertrophie (RVH) kommen hohe R-Zacken in  $V_4R$ ,  $V_1$  und  $V_2$  sowie tiefe S-Zacken in  $V_5$  und  $V_6$ . Für die Hypertrophie der linken Seite (LVH) sind hohe R-Zacken in  $V_5$  und  $V_6$  sowie tiefe S-Zacken in  $V_4R$ ,  $V_1$  und  $V_2$  charakteristisch. Manchmal kann sich eine ventrikuläre Herzhypertrophie im EKG nur durch eine Veränderung des R/S Ratios erkennen lassen. Bei der RVH ist das Verhältnis in  $V_1$ ,  $V_2$  und  $V_4R$  erhöht und in  $V_5$  sowie  $V_6$  erniedrigt. Bei der LVH verhält sich das R/S Ratio in den Ableitungen genau umgekehrt. Bei ausgeprägter Herzhypertrophie sowie vorhandener Ischämie des Myokards und dem Vorliegen anderer Kriterien für eine ventrikuläre Hypertrophie weist ein breiter QRS-T-Winkel ( $> 90$  Grad) mit einer T-Achse außerhalb des Normalbereichs auf ein „Strain“-Pattern“ (6).

Weiters gibt es noch weitere unspezifische Zeichen für eine Herzhypertrophie wie eine Q-Zacke in  $V_1$  und eine aufrechte T-Welle in  $V_1$  bei Säuglingen nach dem 3. Lebensjahr bei einer RVH oder tiefe Q-Zacken ( $> 5$  mm) und/oder hohe T-Wellen in  $V_5$  und  $V_6$  bei einer LVH durch Volumenüberladung (6).

### **Rechtsventrikuläre Herzhypertrophie**

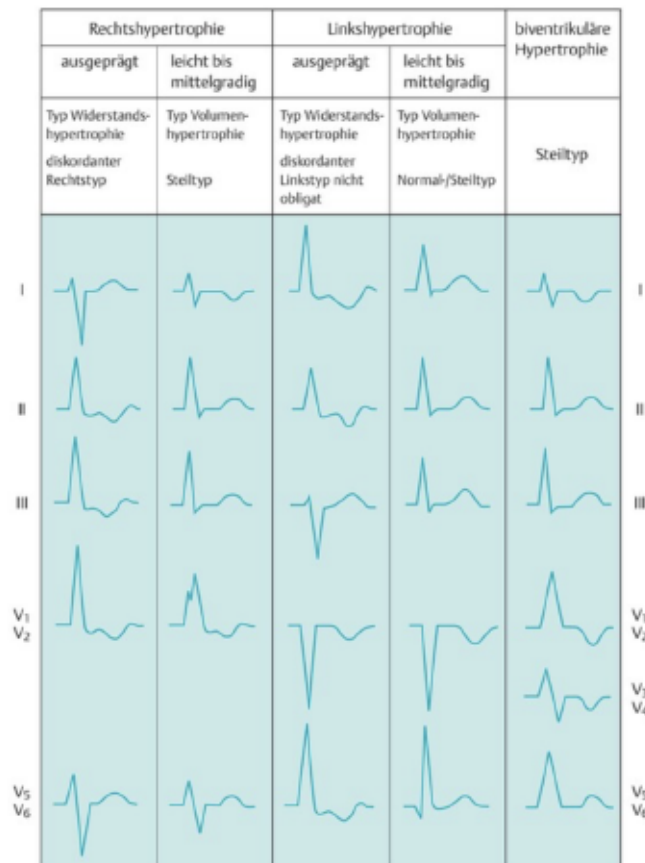
Es gibt mehrere Kriterien, die für eine rechtsventrikuläre Herzhypertrophie in einem EKG sprechen. Es kann zu einer Abweichung der rechten Achse kommen oder einer Steigerung der Amplitudenhöhe des QRS-Komplexes (R-Zacken in  $V_1$  und  $V_2$  oder S-Zacken in I und  $V_6$ ). Weiters sind ein abnormales R/S Ratio in  $V_1$  und  $V_2$  oder ein R/S Ratio  $> 1$  in  $V_6$  bei Kindern älter als 1 Monat, positive T-Wellen in  $V_1$  (älter 3. Lebensjahr) oder eine Q-Zacke in  $V_1$  ein mögliches Zeichen für RVH (6).

### **Linksventrikuläre Herzhypertrophie**

Im Gegensatz zur RVH ist bei einer linksventrikulären Herzhypertrophie eine Achsenabweichung nach links möglich sowie Erhöhung der Amplituden des QRS-Komplexes der R-Zacken in I, II, III, aVL, aVF,  $V_5$  oder  $V_6$  oder der S-Zacken in  $V_1$  oder  $V_2$ . Ein Verdacht auf eine LVH sollte bei einem erniedrigten R/S Ratio in  $V_1$  und  $V_2$  oder Q-Zacken in  $V_5$  und  $V_6$ , die  $> 5$  mm sind, bestehen (6).

## Biventrikuläre Herzhypertrophie

Biventrikuläre Herzhypertrophie (BVH) liegt vor, wenn sowohl die Kriterien für eine Verdickung des rechten als auch des linken Ventrikels erfüllt sind, ohne dass andere Herzerkrankungen wie Präexzitation oder bifaszikuläre Blöcke vorliegen. In manchen Fällen werden die spezifischen Kriterien nur für einen Ventrikel erfüllt, während die Werte des anderen Ventrikels im hochnormalen Bereich liegen (6). Eine weitere Beobachtung bei biventrikulärer Herzhypertrophie ist das „seichte“ S in V<sub>1</sub>. Es handelt sich dabei, um ein S in V<sub>1</sub> < 4 mm und gleichzeitig tiefes S in V<sub>2</sub>. Es weist auf eine BVH hin, da sich die elektrischen Signale bei entgegengesetzten Vektoren gegenseitig beeinflussen (32). Ein weiteres bekanntes Kriterium ist das Katz-Wachtel-Phänomen, welches im eigenen Kapitel genauer erörtert wird.



**Abbildung 7** EKG-Merkmale bei BVH/LVH/RVH (15)

Zusammenfassend zeigt die folgende Abbildung 7 die Kriterien für die unterschiedlichen Herzhypertrophien im EKG. Während bei der Rechtsherzhypertrophie in den Brustwandableitungen vor allem eine hohe R-Zacke rechtspräkordial (V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub>) und tiefe S-Zacke linkspräkordial (V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub>) vorkommt, ist es

bei der Linkshypertrophie genau umgekehrt. Bei der biventrikulären Hypertrophie ist eine rS- oder RS-Konfiguration durchgehend sichtbar (15).

## 1.5 Das Katz-Wachtel-Phänomen

Das Katz-Wachtel-Phänomen wird heutzutage als hohe biphasische QRS-Komplexe (> 50 mm Höhe) in den mittleren präkordialen Ableitungen (V<sub>2</sub>, V<sub>3</sub> oder V<sub>4</sub>) definiert und stellt ein Zeichen für eine biventrikuläre Hypertrophie dar. Das folgende EKG in Abbildung 8 zeigt ein Beispiel für das Katz-Wachtel-Phänomen bei einem Kind mit einem Ventrikelseptumdefekt (33).



**Abbildung 8** EKG mit Katz-Wachtel-Phänomen bei einem Kind mit isolierten VSD (33)

Katz und Wachtel veröffentlichten 1937 eine wissenschaftliche Studie, die sich mit biphasischen QRS-Komplexen bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen befasst hat. In ihrer Forschungsarbeit haben sie insgesamt 43 EKGs mit dem Fokus auf die Extremitätenableitungen I, II und III von Patient\*innen mit einem kongenitalen Herzfehler untersucht. Sie fanden dabei heraus, dass biphasische QRS-Komplexe häufig bei kongenitalen Herzfehlern vorkommen und bei gleich großer Höhe pathognomonisch für angeborene Herzerkrankungen sein können (4). 1952 diskutierten Katz et al. über biphasische QRS-Komplexe bei einem vier Monate alten Kind mit einer angeborenen Herzerkrankung, die zusätzlich in den Brustwandableitungen V<sub>4</sub> bis V<sub>6</sub> vorkamen. Dabei stellte er die Theorie auf, dass die biphasischen QRS-Komplexe eine kombinierte biventrikuläre Belastung darstellen

oder diese durch abnormale intraventrikuläre Erregungsleitungsbahnen verursacht werden (34,35).

Sodi-Pallares und Calder beschrieben 1956 in ihrer Studie biphasische QRS-Komplexe in  $V_2$  bis  $V_4$  mit einer hohen Amplitude und bezeichneten es erstmals als das Katz-Wachtel-Zeichen für biventrikuläre Herzhypertrophie (35).

Elliott et al. befasste sich 1963 in seiner Studie mit elektrokardiografischen und vektorkardiografischen Kriterien für biventrikuläre Hypertrophie. In der Studie wurden zehn Kinder im Alter von 7 Tagen bis 17 Monaten mit einer angeborenen Herzerkrankung untersucht, die zu einer biventrikulären Herzhypertrophie führt. Dabei zeigten sich bei allen 10 Patient\*innen über 50 mm hohe QRS-Komplexe in den Brustwandableitungen  $V_2$ ,  $V_3$  und  $V_4$  und sie beschrieben es als das Katz-Wachtel-Phänomen (35).

Im Jahre 1984 wurden die EKG-Kriterien für links, rechts und biventrikuläre Herzhypertrophie durch Murphy et al. reevaluiert. Dabei wurden 323 erwachsene Männer untersucht. Es zeigte sich, dass die Diagnose für eine biventrikuläre Herzhypertrophie am erfolgreichsten gestellt werden kann, wenn für den linken Ventrikel Veränderungen des linken Vorhofs vorkommen und eines von drei Anzeichen für Hypertrophie des rechten Ventrikels auftreten: R/S-Ratio  $\leq 1$  in den Ableitungen  $V_5$  oder  $V_6$ , eine S-Zacke in  $V_5$  oder  $V_6 \geq 7$  mm oder eine Abweichung nach rechts von mehr als  $+90^\circ$  (36).

Jain et al. führte 1999 eine Studie durch um elektrokardiografische Muster bei Patient\*innen mit echokardiografisch bestätigter biventrikulärer Herzhypertrophie zu beurteilen. Von 69 Patient\*innen hatten 17 (25%) EKG-Zeichen einer Hypertrophie beider Ventrikel. Dabei wurde festgestellt, dass eine S-Zacke in  $V_5/V_6 > 7$  mm, das häufigste Merkmal bei den 17 Studienteilnehmer\*innen war (37).

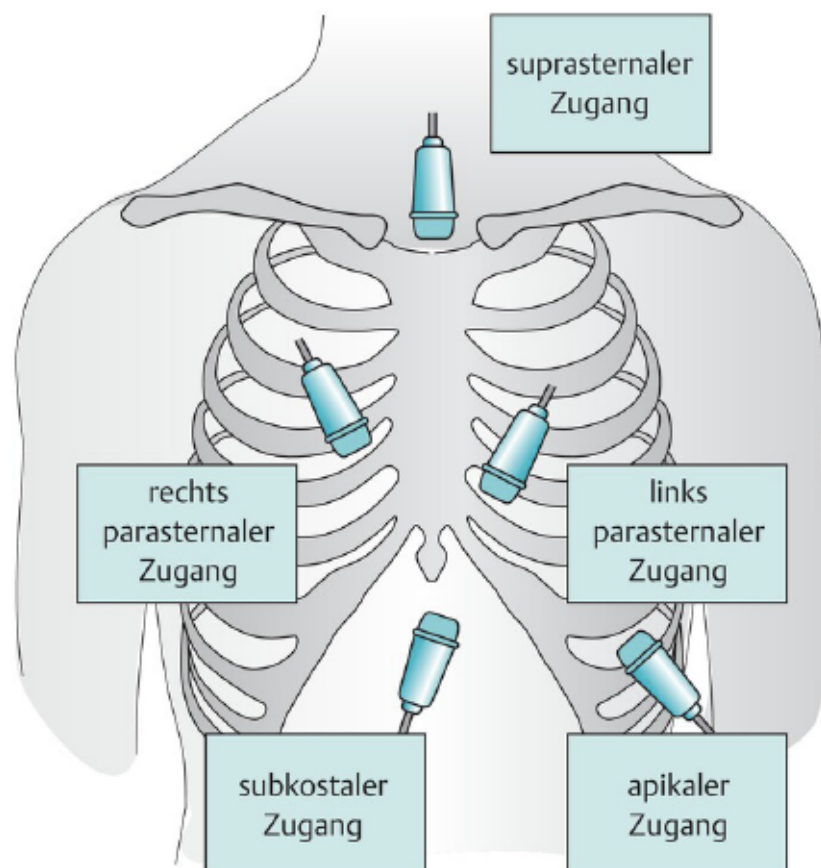
## **1.6 Ventrikuläre Herzhypertrophie in der Echokardiographie**

In der Kinderkardiologie nimmt die Echokardiografie eine zentrale Rolle als führende nichtinvasive bildgebende Diagnosemethode ein und wird derzeit als die beste Methode zur Diagnose von ventrikulärer Herzhypertrophie betrachtet. Bei dem 2-D-Echokardiografieverfahren, auch als B-Mode bezeichnet, wird ein 2-D-Bild mithilfe eines Phased-Array-Schallkopfs erzeugt, indem dieser mehrere Einzelstrahlen aus 128 bis 256 Kristallen, aussendet. Das Bild entsteht durch gezielte zeitliche und

räumliche Aktivierung der Kristalle und ermöglicht ein kreissektorähnliches Schallfeld mit einem Öffnungswinkel von 90° (38).

### 1.6.1 Beurteilung der Ventrikel

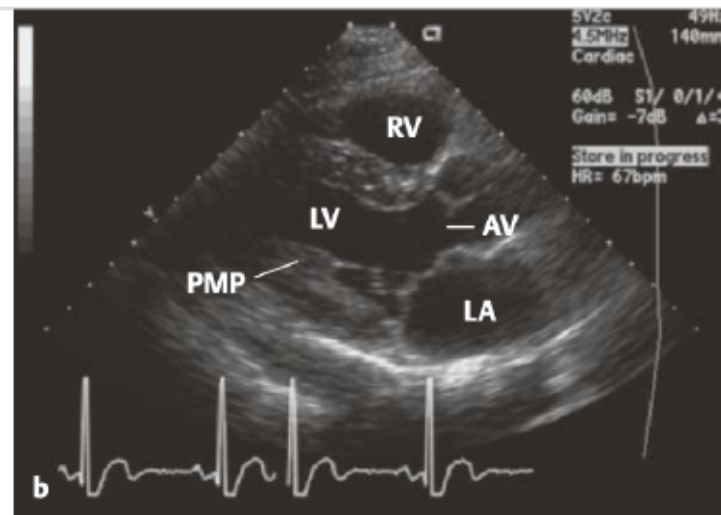
Für die Beurteilung der Funktion und Größe des linken Ventrikels werden die folgenden Schnittebenen verwendet: Parasternale kurze und lange Achse sowie apikale und subkostale Schnittebenen (38). Die Schallkopfpositionen können aus der Abbildung 9 entnommen werden.



**Abbildung 9** Schallkopfpositionen der Standardschnitte (15)

### Parasternale lange Achse

Die Messung der Wanddicke und des Durchmessers des linken Ventrikels erfolgt hauptsächlich in der parasternalen langen Achse. Außerdem kann der linksventrikuläre Aus- und Einflusstrakt hier gut beurteilt werden. Wie in der Abbildung 10 ersichtlich, kann der linke Vorhof, der linke sowie rechte Ventrikel, und der linke Ausflusstrakt gut beurteilt werden. Auch die Mitralklappe und die Aortenklappe sind gut dargestellt (38).

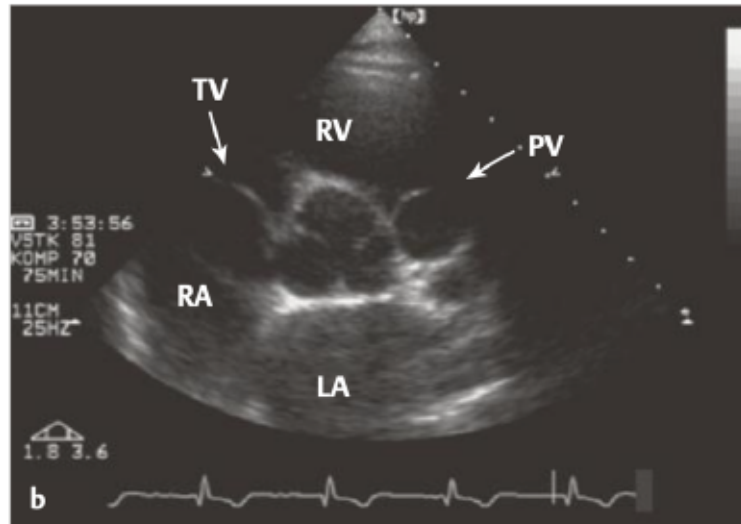


**Abbildung 10** Parasternaler Langachsenschnitt; AV= Aortenklappe, LA= linker Vorhof, LV= linker Ventrikel, PMP= posteromedialer Papillarmuskel, RV = rechter Ventrikel (38)

### Parasternale kurze Achse

Die parasternale kurze Achse eignet sich für die Darstellung des apikalen Segmentes des linken Ventrikels, der sich bei gesunden Proband\*innen als kugelrund darstellen lässt (38).

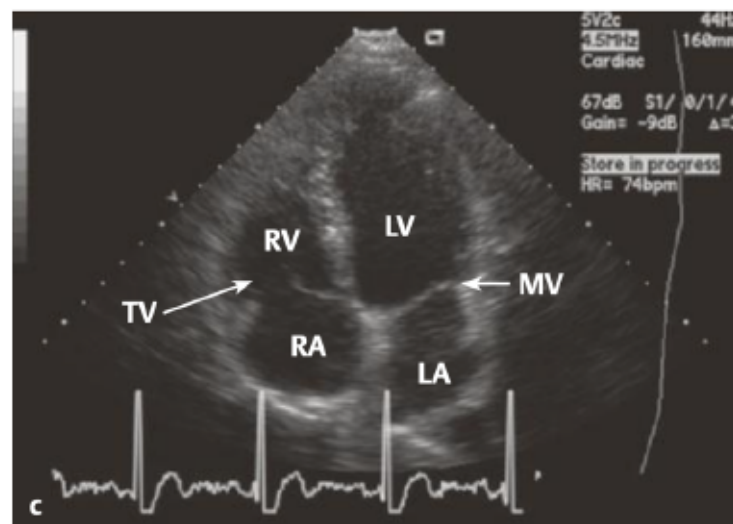
In der Abbildung 11 ist die parasternale kurze Achse so eingestellt, dass die beiden Vorhöfe, die Trikuspidal- sowie Pulmonalklappe und der rechte Ventrikel dargestellt werden.



**Abbildung 11** Parasternale kurze Achse; LA= linker Vorhof, PV= Pulmonalklappe, RA= rechter Vorhof, RV= rechter Ventrikel, TV= Trikuspidalklappe (38)

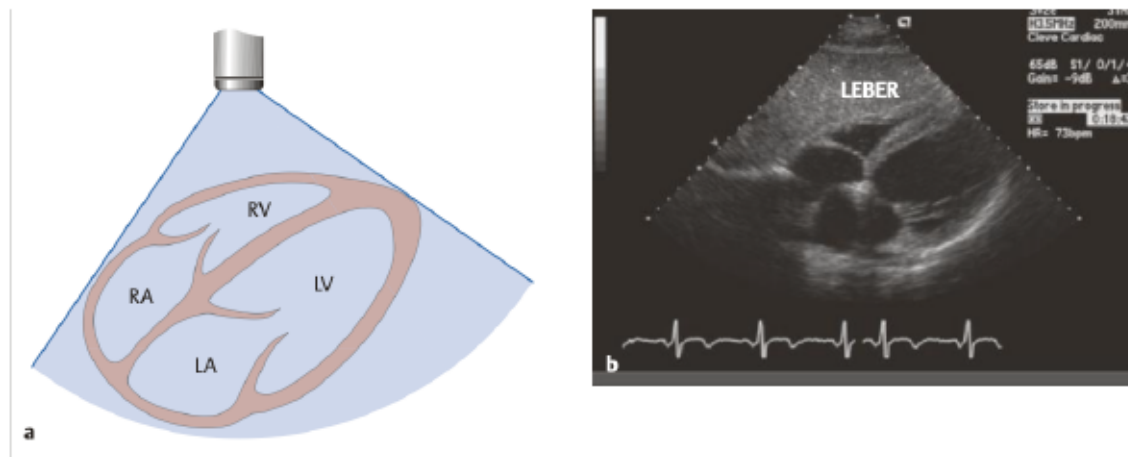
### Apikaler Vierkammerblick

Wie auf der Abbildung 12 ersichtlich, bietet der apikale Vierkammerblick einen guten Überblick über beide Ventrikel. Dabei können der Ausflusstrakt, Apex sowie die laterale und septale Wand gut abgebildet werden. Bei Darstellungsschwierigkeiten können die Schnitte der kurzen Achse sowie der Vierkammerblick subkostal geschallt werden (38).



**Abbildung 12** Vierkammerblick; LA= linker Vorhof, LV= linker Ventrikel, RA= rechter Vorhof, RV= rechter Ventrikel, MV= Mitralklappe, TV= Trikuspidalklappe (38)

Ein subkostaler Vierkammerblick, wie in der Abbildung 13 dargestellt, wird oft verwendet, wenn der linke und rechte Ventrikel in der parasternalen Längsachse oder im apikalen Vierkammerblick schlecht darstellbar ist oder durch Verbandsmaterial und Drainagen nach einer Operation der Zugang eingeschränkt wird. Dabei werden beide Ventrikel wie im apikalen Vierkammerblick dargestellt, das Herz erscheint jedoch leicht nach rechts gedreht (38).



**Abbildung 13** Subkostaler Vierkammerblick; LA= linker Vorhof, LV= linker Ventrikel, RA= rechter Vorhof, RV= rechter Ventrikel (38)

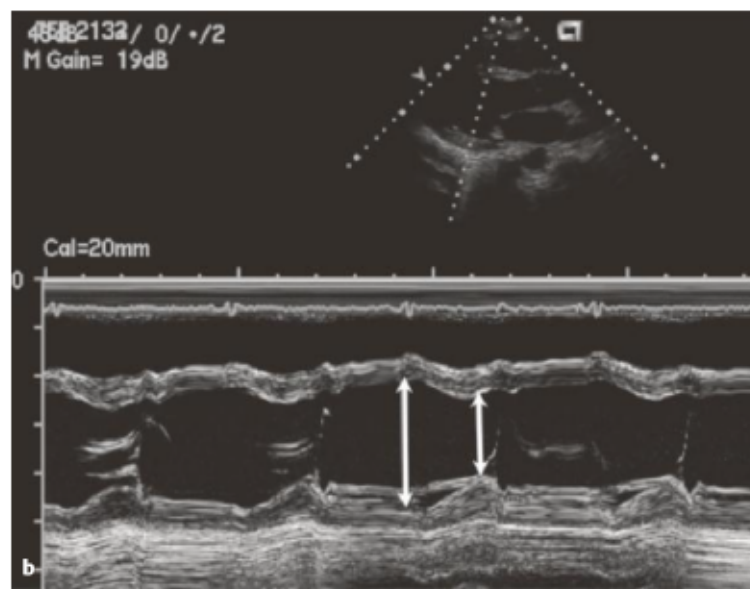
### 1.6.2 Untersuchungsverfahren

Es gibt mehrere Untersuchungsverfahren, die in der Echokardiografie derzeit angewendet werden. Neben zweidimensionalem Herzultraschall werden M-Mode sowie der (farbkodierte-) Doppler durchgeführt. Auch dreidimensionale Darstellung und Gewebedoppler nehmen an Bedeutung zu (15).

#### M-Mode

Beim M-Mode handelt es sich um ein Time-Motion-Verfahren. Dadurch ist es möglich Bewegungsabläufe unterschiedlicher Herzstrukturen zu untersuchen. Im Gegensatz zum 2-D-Verfahren, wird dabei ein einzelner Schallstrahl mit einer hohen Pulsrepetitionsfrequenz zwischen 1000 und 5000/sek erzeugt, der zu einer starken zeitlichen Auflösung (bis  $\leq 1$  ms) führt. Wie auf der Abbildung 14 ersichtlich, werden auf der x-Achse die Zeit und auf der y-Achse die Herzstrukturen wiedergegeben (38).

Mit dem M-Mode können verschiedene wichtige Herzmesswerte bestimmt werden, darunter der Durchmesser des linken Ventrikels am Ende der Diastole und Systole, die Wanddicke des Septums und der hinteren Herzwand in der Diastole, sowie die Größe der Aortenwurzel und des rechten Ventrikels in der Diastole. Der M-Mode wird auch für die Messung der TAPSE („Tricuspid annular plane systolic Excursion“) und MAPSE („Mitral annular plane systolic Excursion“), die die rechte und linke ventrikuläre Funktion wiedergeben, verwendet. Auf der Abbildung 14 ist ein M-Mode des linken Ventrikels bei einem Herzgesunden dargestellt. Der größere Pfeil misst den enddiastolischen und der kleine Pfeil den endsystolischen Durchmesser (38).



**Abbildung 14** M-Mode des parasternalen Langachschnittes (38)

## Dopplerverfahren

Bei dem Dopplerverfahren gibt es zwei unterschiedliche Formen, den kontinuierlichen und gepulsten Doppler. Bei dem kontinuierlichen Doppler (CW) handelt es sich um einen durchgehenden Ultraschallstrahl mit einer Frequenz von 1,8 bis 2 MHz, der die Geschwindigkeit der roten Blutkörperchen im Herzen misst und im 2-D-Bild wiedergibt. Es werden dabei alle Geschwindigkeiten entlang des Strahlverlaufs gemessen, was speziell für hohe Flussgeschwindigkeiten, wie bei Klappenstenosen geeignet ist. Es kann jedoch keine genaue Lokalisation angegeben werden (38).

Im Gegensatz zum kontinuierlichen Doppler, wird bei dem gepulsten Doppler (PW) der Ultraschallstrahl wellenartig ausgesendet. Somit kann eine räumliche

Zuordnung erfolgen. Die Geschwindigkeitsauflösung ist dabei eingeschränkt, deshalb ist die Methode eher für niedrigere Geschwindigkeiten geeignet (38).

### **Darstellung des rechten Ventrikels**

Der rechte Ventrikel wird typischerweise gemeinsam mit dem linken Ventrikel mittels parasternaler und apikaler Vierkammer-Schnittbildtechniken dargestellt, wobei besonders auf Größe sowie Pumpfähigkeit geachtet wird. Da der rechte Ventrikel in keinem Schnitt komplett darstellbar ist, ist die präzise Messung der Ejektionsfraktion auf die 3-D-Echokardiografie beschränkt. Die Hypertrophie des rechten Ventrikels wird durch enddiastolische Dickenzunahme der freien Wand über 5 mm definiert (38).

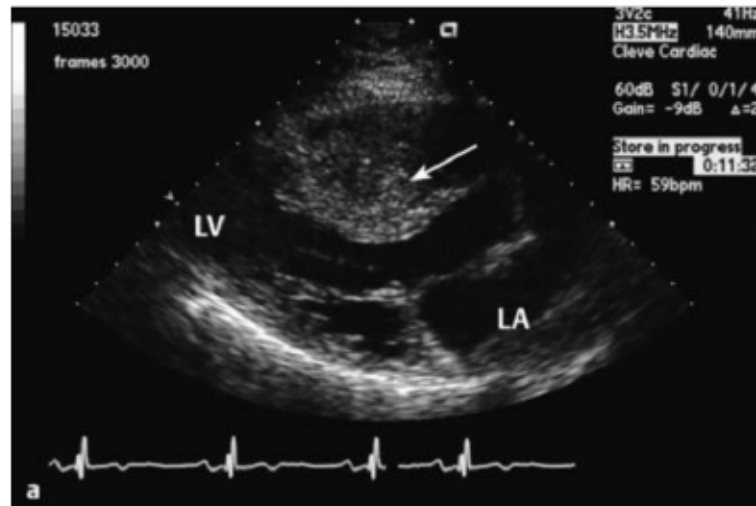
### **1.6.3 Hypertrophe Kardiomyopathie in der Echokardiografie**

Bei der hypertrophen Kardiomyopathie liegt der Fokus auf dem Muster der Hypertrophie, der Präsenz von LVOTO (Obstruktion des linksventrikulären Ausflusstrakts) und einer Rechtsherzhypertrophie sowie möglichen systolischen/diastolischen Dysfunktionen (30). Für die Beurteilung des linken Ventrikels wird vor allem die parasternale Länge, sowie kurze Achse verwendet. In der parasternalen langen Achse kann mithilfe vom M-Mode die Größe des linken und rechten Ventrikels, des Interventrikularseptums und der linksventrikulären Hinterwand in Diastole und Systole dargestellt und gemessen werden (15). Das Ventrikelseptum, der linksventrikuläre enddiastolische Durchmesser sowie die Hinterwand werden während der Enddiastole gemessen, der linksventrikuläre endsystolische Durchmesser sowie die Hinterwand des linken Ventrikels in der Endsystole. Bei Erwachsenen wird die hypertrophe Kardiomyopathie bei einer enddiastolischen Dicke der linksventrikulären Wand von 15 mm oder mehr anerkannt (6).

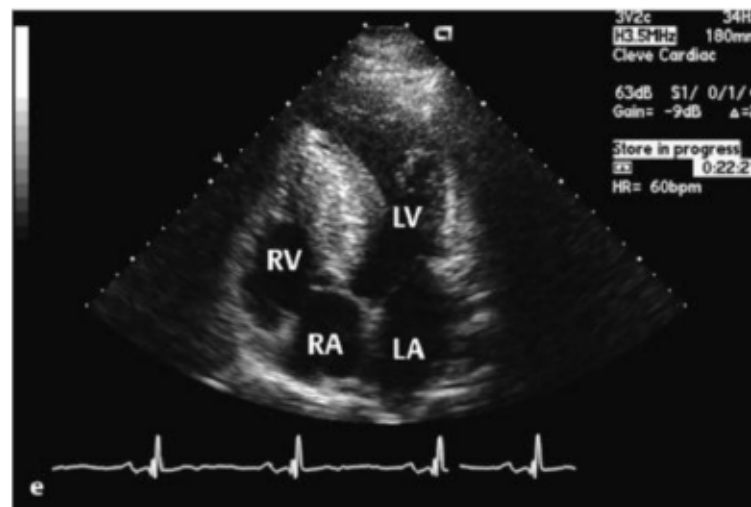
Durch den kontinuierlichen Doppler kann die maximale Flussgeschwindigkeit der Aortenklappe gemessen werden. Beträgt diese über 1,5 m/s, wird diese als pathologisch gewertet und kann ein Zeichen für eine Obstruktion des Ausflusstraktes bei hypertrophen Kardiomyopathie sein (38).

Auf der Abbildung 15 ist die parasternale Längsachse eingestellt. Diese zeigt ein massiv hypertrophiertes Septum bei hypertropher Kardiomyopathie, welches mit

dem Pfeil markiert ist. Die Abbildung 16 ist ein apikaler Vierkammerblick, der ebenfalls ein sehr stark verdicktes Septum darstellt (38).

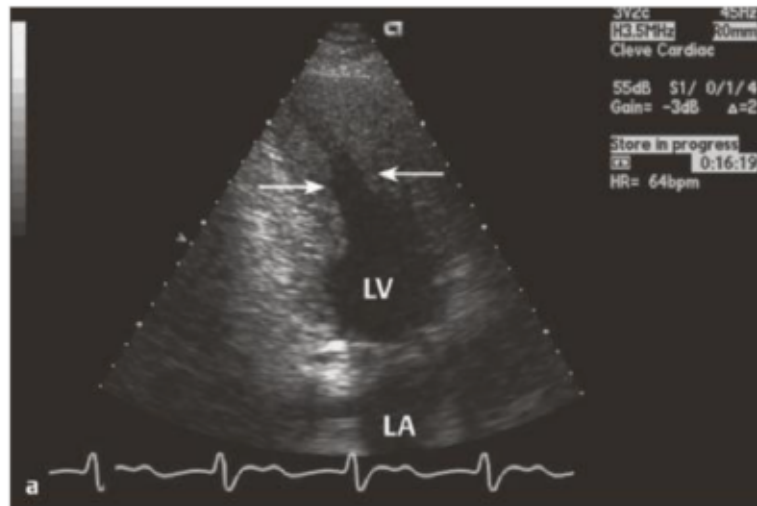


**Abbildung 15** Parasternale Längsachse; LA= linker Vorhof, LV= linker Ventrikel (38)



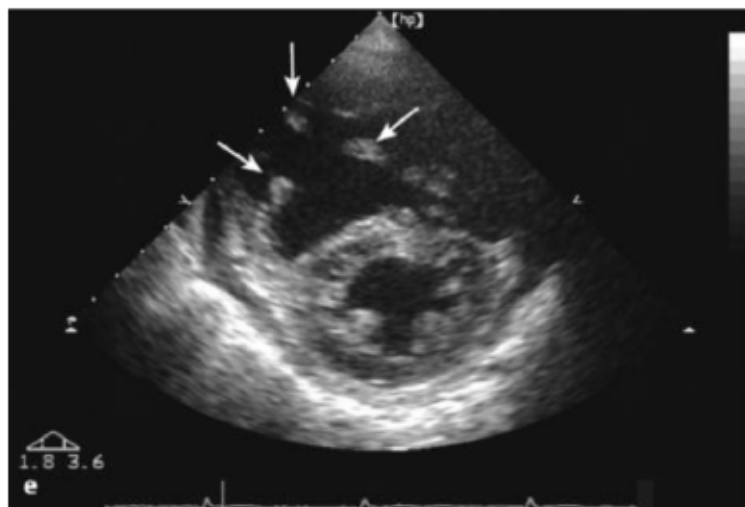
**Abbildung 16** Apikaler Vierkammerblick; LA= linker Vorhof, LV= linker Ventrikel, RA= rechter Vorhof, RV= rechter Ventrikel (38)

Bei dem Zwei-Kammer-Schnitt in der Abbildung 17 sind der linke Vorhof sowie Ventrikel dargestellt. Die beiden Pfeile zeigen auf eine starke Hypertrophie des apikalen Anteils des linken Ventrikels (38).

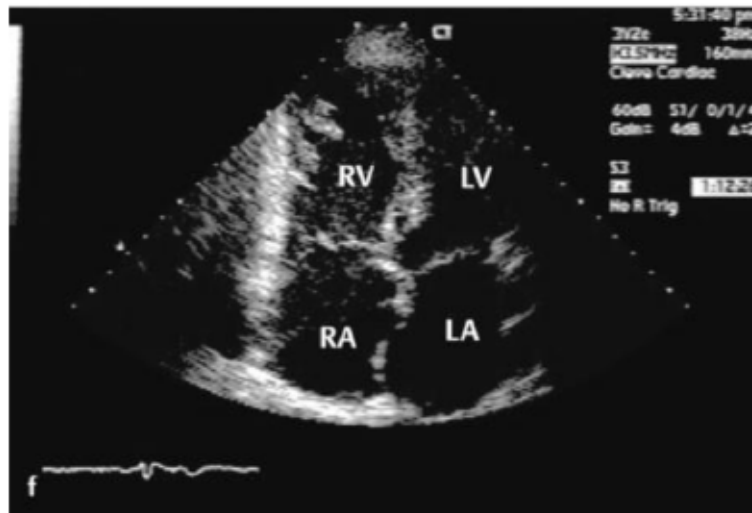


**Abbildung 17** Zweikammerblick mit apikaler linksventrikulärer Hypertrophie (38)

Der rechte Ventrikel kann bei der hypertrophen Kardiomyopathie eine Verdickung des subvalvulären Ausflusstraktes aufweisen. Dadurch wird der Lumen reduziert und resultiert in einer Flussgeschwindigkeit über 1 m/s, die mit dem Doppler gemessen werden kann. Anhand der Bernoulli-Gleichung kann der resultierende Druckgradient ermittelt werden, wodurch die Schwere der Erkrankung bestimmt werden kann. Auf den beiden Echokardiografiebildern in Abbildung 18 und Abbildung 19 ist ein verdickter rechter Ventrikel ersichtlich. Auf dem oberen Bild sind mit den Pfeilen die drei Papillarmuskeln markiert. Auf dem unteren Bild zeigt sich der rechte Ventrikel gleich groß wie der linke mit einer Hypertrophie (38).



**Abbildung 18** Kurzachsenschnitt mit rechtsventrikulärer Hypertrophie (38)



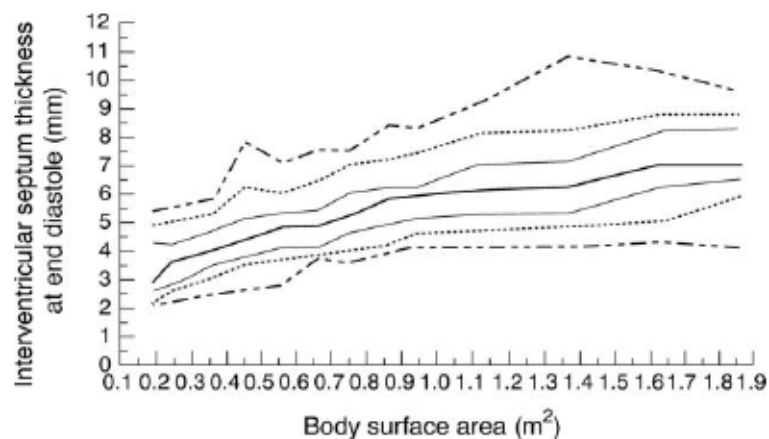
**Abbildung 19** Apikaler Vierkammerblick mit dilatiertem und hypertrophiertem rechtem Ventrikel; LA= linker Vorhof, LV= linker Ventrikel, RA= rechter Vorhof, RV= rechter Ventrikel (38)

Echokardiografisch kann zwischen einer konzentrischen und exzentrischen Hypertrophie unterschieden werden. Eine konzentrische Hypertrophie ist durch eine regelmäßige Verdickung der Wand in allen Herzmuskelabschnitten gekennzeichnet und führt zu linksventrikulärer Obstruktion (39). Diese Art der Hypertrophie kann unter anderem bei Amyloidose, Mb. Fabry oder einer Aortenstenose vorkommen (40). Im Gegensatz zur konzentrischen Hypertrophie, ist eine exzentrische Hypertrophie ebenfalls regelmäßig verteilt, führt aber zu keiner Reduktion des Volumens durch eine Verengung (39). Die exzentrische Hypertrophie kommt vor allem beim Sportlerherz vor. Die HCM ist durch eine asymmetrische septal-betonte Hypertrophie gekennzeichnet (40).

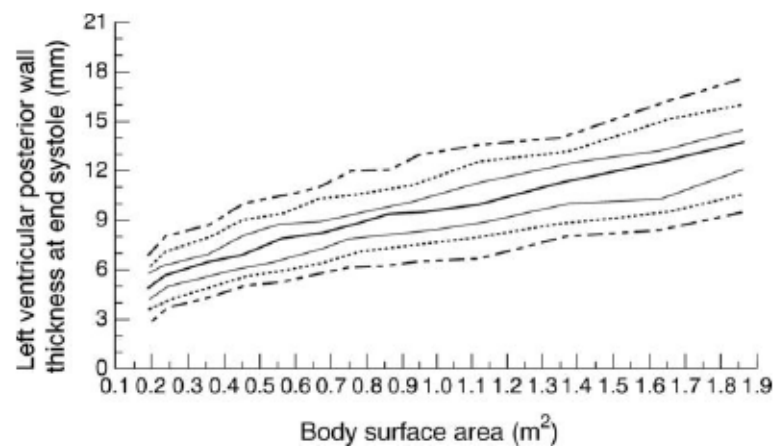
#### **1.6.4 Z-Scores**

Aufgrund des kontinuierlichen Wachstums von Kindern und Jugendlichen kann ein einziger standardisierter „Normalbereich“ für Messwerte nicht angewendet werden. Deshalb wird in der pädiatrischen Echokardiografie der sogenannte Z-Score genutzt, der die Abweichung eines bestimmten Messwertes in Standardabweichungen vom Durchschnitt einer nach Größe, Alter oder Körperoberfläche definierten Bevölkerungsgruppe angibt. Ein positiver Z-Score weist auf einen Wert hin, der über dem Durchschnitt liegt, während ein negativer Z-Score einen unter dem Populationsmittelwert liegenden Wert kennzeichnet. Der Z-

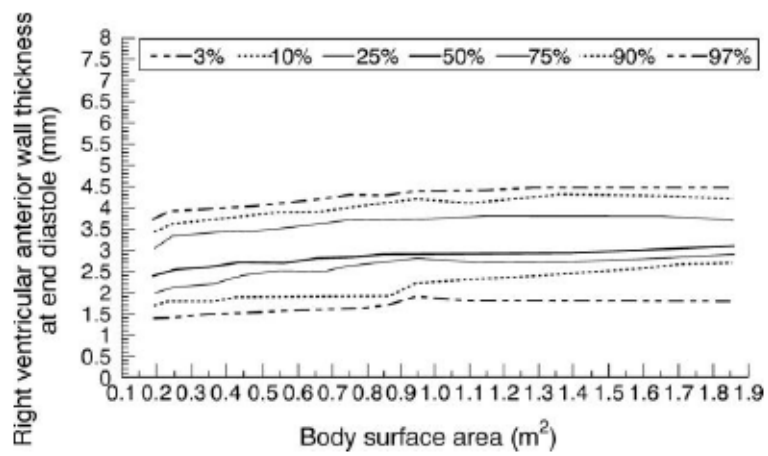
Score ermöglicht somit eine genaue Quantifizierung der Abweichung eines Messwerts vom Bevölkerungsdurchschnitt (41). Bei Kindern und Jugendlichen mit einem Z-Score von 2 oder mehr bei der Messung der enddiastolischen Ventrikeldicke, unter Berücksichtigung der Körperoberfläche, kann die Diagnose einer hypertrophen Kardiomyopathie gestellt werden (6). Die folgenden Diagramme in Abbildung 20, Abbildung 21, Abbildung 22 und Abbildung 23 stellen die relevanten Ergebnisse der Studie von Kampmann et al., in der Normalwerte für M-Mode-Echokardiografie für Kinder und Jugendliche erhoben wurden, dar. Es handelt sich dabei um die Normalwerte des interventrikulären Septums am Ende der Diastole, der Größe des enddiastolischen linken Ventrikels, die Dicke der linksventrikulären hinteren Wand sowie die Dicke der anterioren Wand des rechten Ventrikels am Ende der Diastole, die für die Diagnose der Herzhypertrophie relevant sind (42).



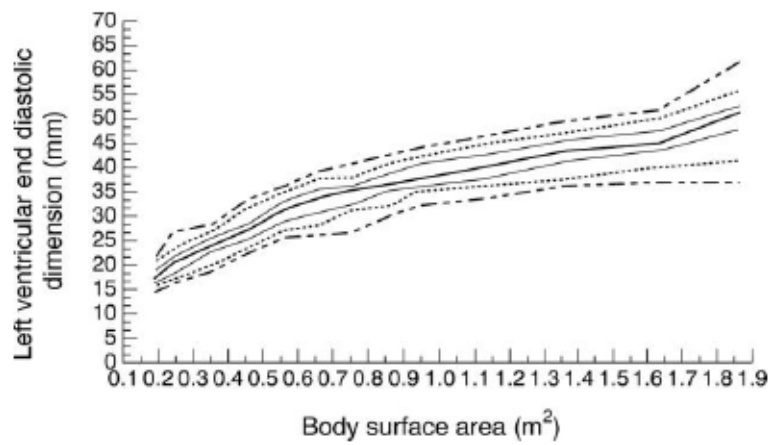
**Abbildung 20** Enddiastolische Dicke des interventrikulären Septums in mm (42)



**Abbildung 21** Endsystolische Dicke der Hinterwand des linken Ventrikels in mm (42)



**Abbildung 22** Enddiastolische Dicke des rechten vorderen Ventrikels in mm (42)



**Abbildung 23** Enddiastolische Größe des linken Ventrikels in mm (42)

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Patient\*innenkollektiv**

Bei dem Patient\*innenkollektiv handelt es sich um Kinder und Jugendliche, die zwischen 2016 und 2022 ambulant an der Abteilung für Kinderkardiologie der Kinderuniversitätsklinik in Graz untersucht wurden. Die Studienteilnehmer\*innen umfassen männliche und weibliche Personen im Alter vom ersten Lebenstag bis zum 18. Lebensjahr. Unter Einhaltung der Ein- und Ausschlusskriterien wurden schlussendlich 500 Patient\*innen mit mindestens einem R/S Overlap in den Brustwandableitungen ( $V_1$ - $V_6$ ) in die Studie aufgenommen. Für die Vergleichsgruppe wurden 300 Patient\*innen erhoben, die in den Brustwandableitungen ( $V_1$ - $V_6$ ) keinen Overlap hatten. Eine echokardiografische Untersuchung wurde bei allen 800 teilnehmenden Kindern und Jugendlichen durchgeführt, um festzustellen, ob eine Herzhypertrophie vorliegt. Die Elektrokardiogramme wurden von ausgebildeten Diplomkrankenschwestern und -pflegern durchgeführt und von Kinderkardiolog\*innen befundet, während die Herzultraschalluntersuchungen von qualifizierten Kinderkardiolog\*innen vorgenommen wurden.

### **2.2 Datensammlung**

In einer Excel-Tabelle wurden für alle 800 Patient\*innen das Alter zum Zeitpunkt der Untersuchung, das Geschlecht, Geburtsdatum, EKG-Datum und der Herzhypertrophiestatus erfasst.

Bei den 500 Kindern und Jugendlichen mit mindestens einem Overlap wurden zusätzlich das Gewicht in kg, die Körpergröße in cm und die Körperoberfläche nach Haycock dokumentiert. Weiters wurden die entsprechenden EKGs befundet und die Herzfrequenz, P-Welle, PQ-Zeit, der QRS-Komplex, die QT-Zeit sowie QTc-Zeit nach Wernicke ermittelt. Die Brustwandableitungen mit R/S-Überlappung wurden notiert und die jeweilige Voltage der R- und S-Zacken, die sich überlappt haben, wurde manuell gemessen und in cm angegeben. Das R/S Ratio wurde mithilfe von Excel berechnet.

Um die Katz-Wachtel-Kriterien zu ermitteln, wurde die Gesamtsumme der R- und S-Zacken der gleichen Brustwandableitung im Excel berechnet.

## **2.3 Statistische Auswertung**

Die statistische Analyse erfolgte mittels SPSS. Die Auswertung beinhaltet deskriptive Statistik, um die Anzahl der Studienteilnehmer\*innen, die Häufigkeit der R/S Overlaps, der Gesamthöhe der R- und S-Zacken, das R/S Ratio sowie die Katz-Wachtel-Kriterien zu ermitteln.

Um die Forschungshypothese zu überprüfen, wurden die 500 Patient\*innen, die mindestens einen R/S Overlap aufwiesen, mit einer Kontrollgruppe von 300 Kindern und Jugendlichen ohne Overlap verglichen. Hierfür kam ein Chi-Quadrat-Test zum Einsatz.

### 3 Ergebnisse – mit graphischer Darstellung

In der Studie wurden insgesamt 800 Kinder und Jugendliche im Alter von 0 bis 18 Jahren untersucht. Davon zeigten 500 in mindestens einer Brustwandableitung (V<sub>1</sub>-V<sub>6</sub>) einen Overlap, also eine Überlappung der benachbarten R- und S-Zacken. Bei 300 Kindern und Jugendlichen konnte kein Overlap in den Brustwandableitungen festgestellt werden. Diese Patient\*innen bildeten die Kontrollgruppe. Hypertrophie trat insgesamt bei 20 Kindern mit Overlap und bei drei Kindern ohne Overlap auf. Aufgrund der geringen Anzahl an Fällen, wurden die Arten der Herzhypertrophie – biventrikulär (2 Fälle), Links- (14 Fälle) und Rechtshypertrophie (4 Fälle) – zusammengefasst. In der Gruppe ohne Overlap wurden insgesamt drei Fälle von linksventrikulärer Hypertrophie identifiziert.

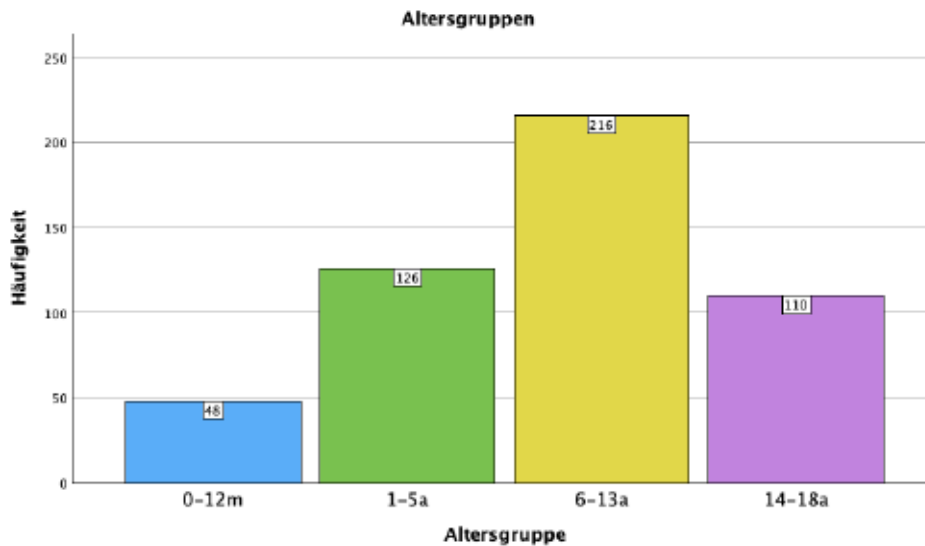
#### 3.1 Anzahl der Studienteilnehmer\*innen mit Overlap

In der Studie wurden 500 Kinder und Jugendliche mit Overlap untersucht, unterteilt in vier Altersgruppen: 0 bis 12 Monate (48 Teilnehmende, 9,6%), 1 bis 5 Jahre (126 Teilnehmende, 25,2%), 6 bis 13 Jahre (216 Teilnehmende, 43,2%) und 14 bis 18 Jahre (110 Teilnehmende, 22%).

Die Mehrheit der Patient\*innen befindet sich in der Gruppe der 6- bis 13-Jährigen. Detaillierte Daten können aus der Tabelle 3 und aus dem Histogramm in der Abbildung 24 entnommen werden.

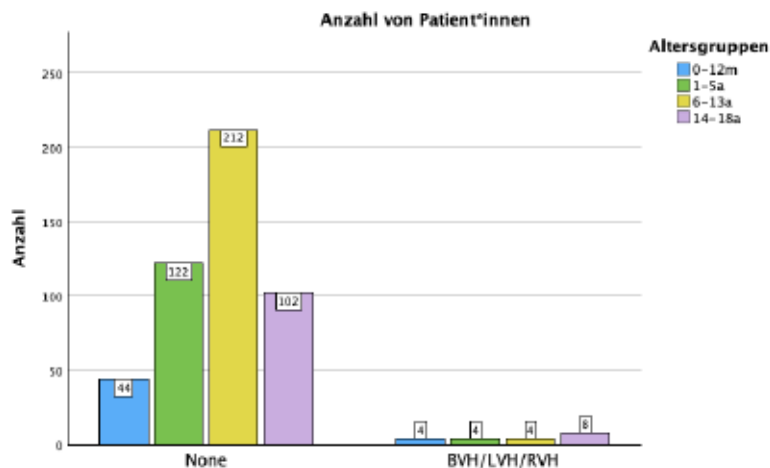
		Altersgruppen		
		Häufigkeit	Prozent	Kumulierte Prozente
Gültig	0-12m	48	9,6	9,6
	1-5a	126	25,2	34,8
	6-13a	216	43,2	78,0
	14-18a	110	22,0	100,0
	Gesamt	500	100,0	

**Tabelle 3** Häufigkeit des Patient\*innenkollektivs mit einem R/S Overlap in den Brustwandableitungen V<sub>1</sub>-V<sub>6</sub>



**Abbildung 24** Histogramm der Verteilung der Altersgruppen mit einem R/S Overlap

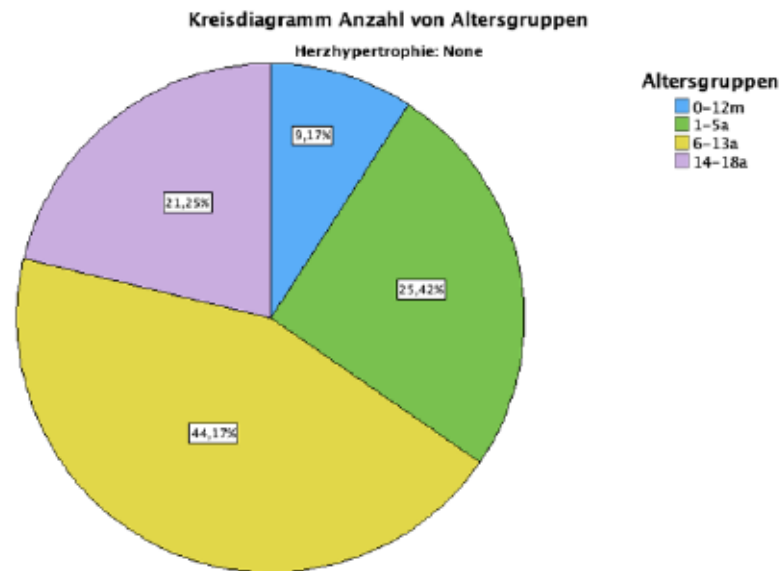
In dem gruppierten Balkendiagramm in Abbildung 25 sind die Studienteilnehmer\*innen mit einem R/S Overlap in den Brustwandableitungen V<sub>1</sub>-V<sub>6</sub>, insgesamt 500 Personen, nach Alter und Hypertrophie-Status unterteilt. Die Prozentangaben beziehen sich auf den Anteil in der jeweiligen Gruppe der Herzhypertrophie. In der Altersgruppe zwischen Tag 0 und 12 Monate „0-12m“ gibt es 48 Personen, wobei 44 (9,17%) keine Herzhypertrophie haben und bei vier (20%) eine Herzhypertrophie vorhanden ist. Die Altersgruppe der 1- bis 5-Jährigen besteht aus 126 Teilnehmer\*innen. Dabei zeigen 122 (25,42%) keine und vier (20%) Personen eine Hypertrophie. Die meisten Teilnehmer\*innen befinden sich in der Altersgruppe zwischen dem 6. und 13. Lebensjahr. Insgesamt sind es 216 Personen, wobei 212 (44,17%) keine und vier (20%) eine Herzhypertrophie haben.



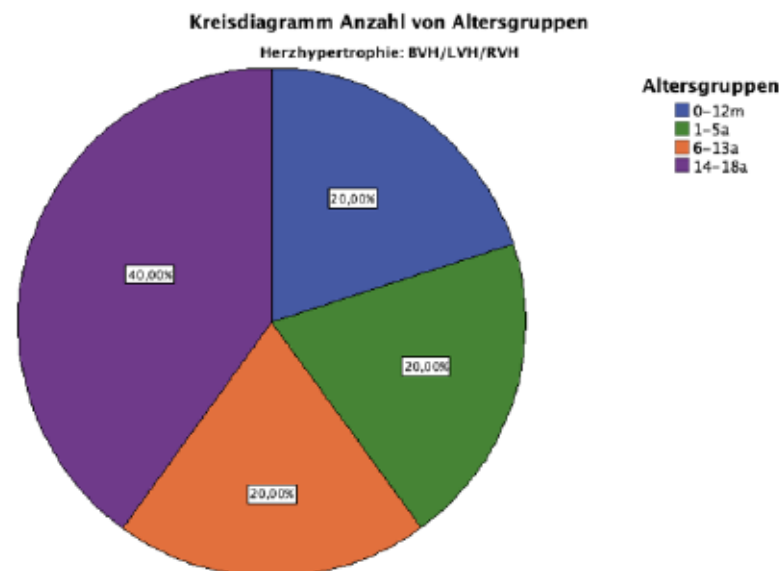
**Abbildung 25** Gruppiertes Balkendiagramm - Anzahl der Patient\*innen mit einem R/S Overlap nach Alter und Herzhypertrophie

Unter den 14- bis 18-Jährigen (110 Personen, 21,25%) weisen 102 Patient\*innen keine und acht (40%) eine Herzhypertrophie auf.

In den folgenden zwei Kreisdiagrammen in Abbildung 26 und Abbildung 27 ist der prozentuelle Anteil der beiden Gruppen (Hypertrophie Ja/Nein) ersichtlich.



**Abbildung 26** Kreisdiagramm - Anzahl der Patient\*innen nach Alter ohne Herzhypertrophie



**Abbildung 27** Kreisdiagramm - Anzahl der Patient\*innen nach Alter mit Herzhypertrophie

### 3.2 Anzahl der Studienteilnehmer\*innen ohne Overlap

		Anzahl	Anzahl (%)
Altersgruppe	0-12m	87	29,0%
	1-5a	45	15,0%
	6-13a	85	28,3%
	14-18a	83	27,7%

**Tabelle 4** Anzahl der Patient\*innen ohne R/S Overlap nach Alter

Bei den Patient\*innen ohne R/S Overlap im EKG handelt es sich um eine Vergleichsgruppe, die in der Tabelle 4 nach Alter aufgelistet ist. Es gibt insgesamt 300 Kinder und Jugendliche eingeteilt in vier Altersgruppen: 0 bis 12 Monate (87 Teilnehmende, 29,0%), 1 bis 5 Jahre (45 Teilnehmende, 15,0%), 6 bis 13 Jahre (85 Teilnehmende, 28,3%) und 14 bis 18 Jahre (83 Teilnehmende, 27,7%).

Die Tabelle 5 verdeutlicht nochmals das Auftreten der Herzhypertrophie in der Gruppe ohne R/S Overlap. Drei Kinder (3%) haben eine echokardiografisch bestätigte Herzhypertrophie, zwei Säuglinge im ersten Lebensjahr und ein 7-jähriges Kind.

			Anzahl	Anzahl (%)	
Altersgruppe	0-12m	Herzhypertrophie	None	85	97,7%
			LVH	2	2,3%
	1-5a	Herzhypertrophie	None	45	100,0%
			LVH	0	0,0%
	6-13a	Herzhypertrophie	None	84	98,8%
			LVH	1	1,2%
	14-18a	Herzhypertrophie	None	83	100,0%
			LVH	0	0,0%

**Tabelle 5** Anzahl der Patient\*innen ohne R/S Overlap nach Alter und Herzhypertrophie

Bei Betrachtung der Fälle in beiden Gruppen ergibt sich insgesamt eine Sensitivität von 87% und eine Spezifität von 38,2% für eine Herzhypertrophie, vorausgesetzt in mindestens zwei benachbarten Ableitungen (V<sub>1</sub> bis V<sub>6</sub>) tritt ein R/S Overlap auf.

### 3.3 R/S Overlap in den Brustwandableitungen

Die Tabelle 6 veranschaulicht die Anzahl der Overlaps, die jeweils gleichzeitig bei einem Kind im EKG aufgetreten sind.

Bei 200 Studienteilnehmenden (40,0%) ohne und vier Kindern (0,8%) mit Herzhypertrophie ist nur ein Overlap in den Ableitungen vorgekommen.

Eine zweifache Überschneidung der oberen S- und unteren R-Zacke ist bei 165 Kindern (33,0%) ohne und neun (1,8%) Kindern mit Herzhypertrophie aufgetreten.

Drei Overlaps gibt es in 89 EKGs (17,8%) bei Kindern ohne Herzhypertrophie und in fünf (1,0%) EKGs bei Kindern mit Herzhypertrophie.

Vier Overlaps kommen in EKGs selten vor: Lediglich bei 19 Patient\*innen (3,8%) ohne und zwei (0,4%) mit Herzhypertrophie sind vier Überschneidungen der Brustwandableitung präsent.

Alle Brustwandableitungen überschneiden sich bei nur sieben Kindern (1,4%) ohne und bei keinem Kind mit Herzhypertrophie.

		Anzahl der Overlaps pro EKG					
		1	2	3	4	5	
Herzhypertrophie	None	Anzahl	200	165	89	19	7
		Anzahl als Spalten (%)	98,0%	94,8%	94,7%	90,5%	100,0%
		Anzahl als Zeilen (%)	41,7%	34,4%	18,5%	4,0%	1,5%
		Anzahl als Schichten (%)	40,0%	33,0%	17,8%	3,8%	1,4%
BVH/LVH/RVH		Anzahl	4	9	5	2	0
		Anzahl als Spalten (%)	2,0%	5,2%	5,3%	9,5%	0,0%
		Anzahl als Zeilen (%)	20,0%	45,0%	25,0%	10,0%	0,0%
		Anzahl als Schichten (%)	0,8%	1,8%	1,0%	0,4%	0,0%

**Tabelle 6** Anzahl der Overlaps pro EKG nach Herzhypertrophie

Die Daten in Tabelle 7 klassifizieren Patient\*innen mit R/S Overlap nach Alter und Herzhypertrophie-Status in vier Alterskategorien: 0 bis 12 Monate, 1 bis 5 Jahre, 6 bis 13 Jahre und 14 bis 18 Jahre sowie in zwei Untergruppen: mit (BVH/LVH/RVH) und ohne (None) Herzhypertrophie. Weiters zeigt die Tabelle die Anzahl der Kinder mit Overlap je nach Kategorie und den prozentualen Anteil innerhalb der Gesamtgruppe und der jeweiligen Altersgruppe.

Altersgruppen			V1/2 R/S Overlap		V2/3 R/S Overlap		V3/4 R/S Overlap		V4/5 R/S Overlap		V5/6 R/S Overlap	
			Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja	Nein	Ja
0-12m	None	Anzahl	37	7	17	27	12	32	22	22	34	10
		Anzahl (%) Insgesamt	8,28%	13,21%	6,05%	12,33%	21,82%	7,19%	7,33%	11,00%	7,33%	27,78%
		Anzahl (%) Altersgruppe	90,24%	100,00%	89,47%	93,10%	100,00%	88,89%	95,65%	88,00%	91,89%	90,91%
	BVH/LVH/RVH	Anzahl	4	0	2	2	0	4	1	3	3	1
		Anzahl (%) Insgesamt	0,89%	0,00%	0,71%	0,91%	0,00%	0,90%	0,33%	1,50%	0,65%	2,78%
		Anzahl (%) Altersgruppe	9,76%	0,00%	10,53%	6,90%	0,00%	11,11%	4,35%	12,00%	8,11%	9,09%
1-5a	None	Anzahl	101	21	61	61	15	107	85	37	115	7
		Anzahl (%) Insgesamt	22,60%	39,62%	21,71%	27,85%	27,27%	24,04%	28,33%	18,50%	24,78%	19,44%
		Anzahl (%) Altersgruppe	96,19%	100,00%	98,39%	95,31%	100,00%	96,40%	97,70%	94,87%	96,64%	100,00%
	BVH/LVH/RVH	Anzahl	4	0	1	3	0	4	2	2	4	0
		Anzahl (%) Insgesamt	0,9%	0,0%	0,4%	1,4%	0,0%	0,9%	0,7%	1,0%	0,9%	0,0%
		Anzahl (%) Altersgruppe	3,81%	0,00%	1,61%	4,69%	0,00%	3,60%	2,30%	5,13%	3,36%	0,00%
6-13a	None	Anzahl	202	10	133	79	16	196	118	94	198	14
		Anzahl (%) Insgesamt	45,19%	18,87%	47,33%	36,07%	29,09%	44,04%	39,33%	47,00%	42,67%	38,89%
		Anzahl (%) Altersgruppe	98,54%	90,91%	98,52%	97,53%	94,12%	98,49%	98,33%	97,92%	98,02%	100,00%
	BVH/LVH/RVH	Anzahl	3	1	2	2	1	3	2	2	4	0
		Anzahl (%) Insgesamt	0,67%	1,89%	0,71%	0,91%	1,82%	0,67%	0,67%	1,00%	0,86%	0,00%
		Anzahl (%) Altersgruppe	1,46%	9,09%	1,48%	2,47%	5,88%	1,51%	1,67%	2,08%	1,98%	0,00%
14-18a	None	Anzahl	89	13	62	40	10	92	66	36	99	3
		Anzahl (%) Insgesamt	19,91%	24,53%	22,06%	18,26%	18,18%	20,67%	22,00%	18,00%	21,34%	8,33%
		Anzahl (%) Altersgruppe	92,71%	92,86%	95,38%	88,89%	90,91%	92,93%	94,29%	90,00%	93,40%	75,00%
	BVH/LVH/RVH	Anzahl	7	1	3	5	1	7	4	4	7	1
		Anzahl (%) Insgesamt	1,57%	1,89%	1,07%	2,28%	1,82%	1,57%	1,33%	2,00%	1,51%	2,78%
		Anzahl (%) Altersgruppe	7,29%	7,14%	4,62%	11,11%	9,09%	7,07%	5,71%	10,00%	6,60%	25,00%

**Tabelle 7** Anzahl der R/S Overlaps nach Alter und Herzhypertrophie

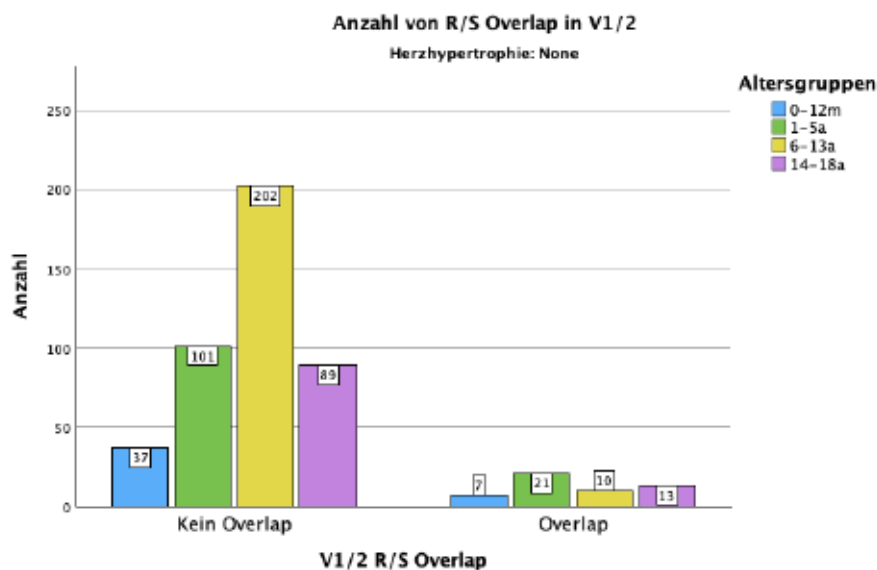
In der Altersgruppe „0-12m“ ohne Herzhypertrophie mit 44 Kindern wurden in den Ableitungen V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> siebenmal, in V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub> 27-mal, in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> 32-mal, in V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> 22-mal und in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> zehnmal ein Overlap beobachtet. Bei den vier Patient\*innen mit einer Herzhypertrophie gibt es in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> keinen Overlap, in V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub> zweimal, in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> viermal, in V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> dreimal und in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> einmal einen Overlap.

In der Gruppe der 1- bis 5-Jährigen ohne Herzhypertrophie gibt es insgesamt 122 Kinder. Dabei ist in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> 21-mal, in V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub> 61-mal, in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> 107, in V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> 37-mal und in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> siebenmal ein Overlap vorhanden. Bei den vier Studienteilnehmer\*innen dieser Altersgruppe mit Herzhypertrophie gibt es einen Overlap in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> nullmal, in V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub> dreimal, in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> viermal, in V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> zweimal und in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> nullmal.

Bei den 6- bis 13-Jährigen ohne Herzhypertrophie mit 212 Teilnehmer\*innen ist in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> zehnmal, in V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub> 79-mal, V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> 196-mal, in V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> 94-mal und in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> 14-mal ein Overlap vorhanden. In der Gruppe mit Herzhypertrophie kommt ein Overlap bei insgesamt vier Kindern in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> einmal, in V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub> zweimal, V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> dreimal, in V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> zweimal und in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> nullmal vor.

Die Gruppe der 14- bis 18-Jährigen bestehend aus 102 Teilnehmer\*innen ohne Herzhypertrophie hatten in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> 13-mal, in V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub> 40-mal, in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> 92-mal, in V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> 36-mal und in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> dreimal einen Overlap. Bei den acht Kindern mit Herzhypertrophie ist in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> einmal, in V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub> fünfmal, in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> siebenmal, in V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> viermal und in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> einmal ein Overlap vorhanden.

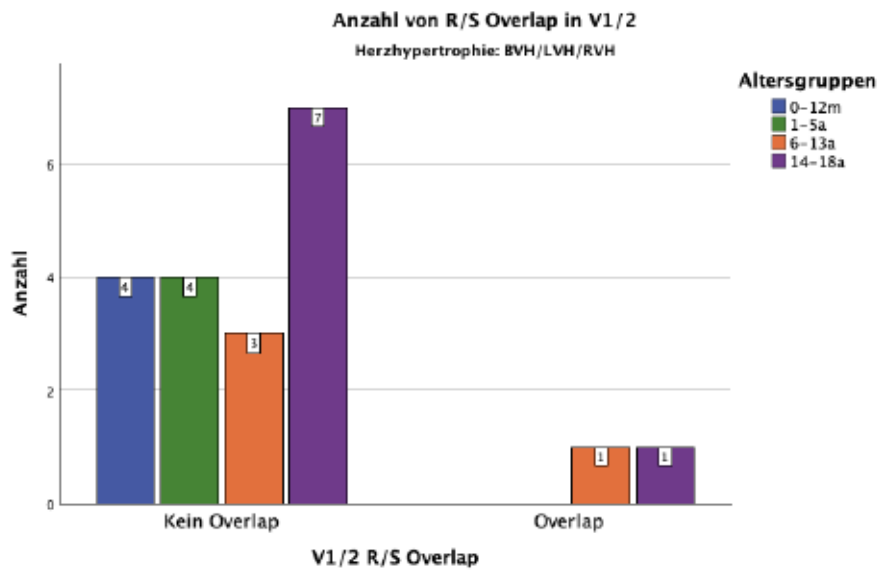
### R/S Overlap in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> ohne Herzhypertrophie



**Abbildung 28** Gruppieretes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> nach Alter ohne Herzhypertrophie

Das Balkendiagramm in Abbildung 28 zeigt die Anzahl der Overlaps in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> ohne Herzhypertrophie gruppiert nach vier Altersgruppen. Auf der linken Seite sind die Fälle ohne Overlap aufgelistet und auf der rechten Seite mit einem Overlap. Insgesamt gibt es bei 429 (89,36 %) Kindern und Jugendlichen keinen Overlap. In der Säuglingsgruppe gibt es siebenmal einen und 37-mal keinen Overlap. Bei den 1- bis 5-Jährigen gibt es 21-mal einen Overlap und 101-mal keinen. Kein Overlap kommt bei den 6- bis 13-Jährigen 202-mal vor und bei zehn Kindern ist ein Overlap vorhanden. Das Balkendiagramm zeigt, dass bei den 14- bis 18-Jährigen 89-mal kein und 13-mal ein Overlap vorhanden ist.

## R/S Overlap in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> mit Herzhypertrophie

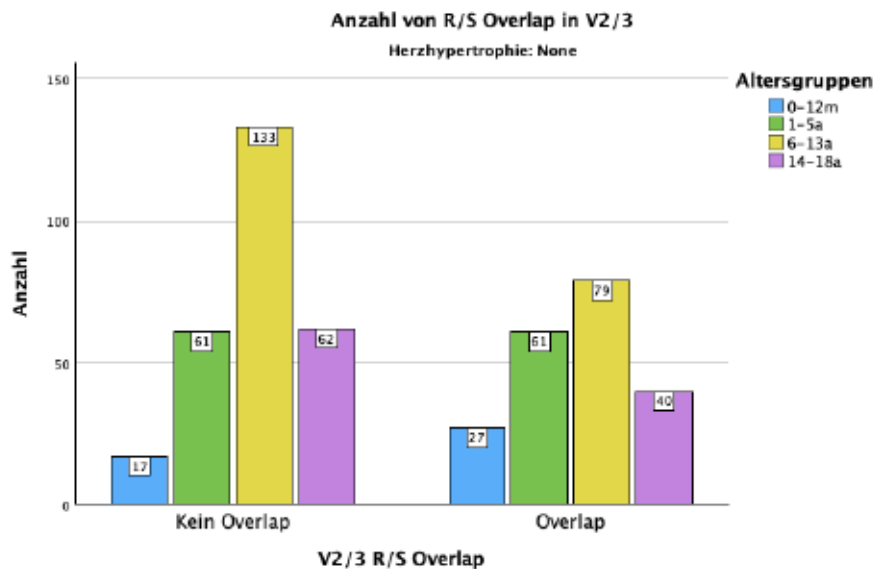


**Abbildung 29** Gruppieretes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> nach Alter mit Herzhypertrophie

Das Balkendiagramm in Abbildung 29 zeigt die Anzahl der Overlaps in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> bei Kindern und Jugendlichen mit Herzhypertrophie. Auf der linken Seite sind die Fälle ohne Overlap aufgelistet und auf der rechten Seite mit einem Overlap. Bei 18 (90%) Patient\*innen gibt es keinen Overlap. Bis zum 6. Lebensjahr gibt es keinen Overlap. In den älteren zwei Gruppen gibt es jeweils einen Overlap.

Die Spezifität für die Herzhypertrophie bei einem R/S Overlap in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> beträgt somit 89,38% und die Sensitivität liegt bei 10%.

## R/S Overlap in V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub> ohne Herzhypertrophie

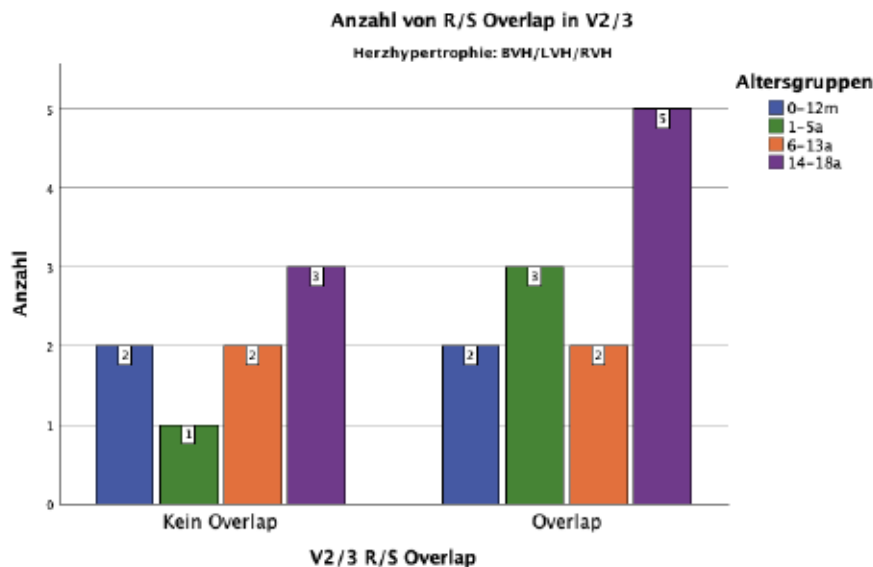


**Abbildung 30** Gruppieretes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub> nach Alter ohne Herzhypertrophie

Die Grafik in Abbildung 30 zeigt die Anzahl der Overlaps in der Ableitung V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub> ohne Herzhypertrophie gruppiert nach vier Altersgruppen. Auf der linken Seite sind die Fälle ohne Overlap und auf der rechten Seite mit einem Overlap aufgelistet. Insgesamt kommt bei 273 (56,87%) Patient\*innen kein R/S Overlap vor.

In der Gruppe „0-12m“ gibt es 27-mal einen Overlap und 17-mal überlappen sich die R- und S-Zacken nicht. Bei den 1- bis 5-Jährigen gibt es jeweils 61-mal einen Overlap und 61-mal keinen. Die Gruppe der 6- bis 13-Jährigen hat 133-mal keine Überlappung und 79-mal einen Overlap. 62-mal ist bei den 14- bis 18-Jährigen kein Overlap ersichtlich, 40-mal Überlappen sich die R- und S-Zacken.

## R/S Overlap in V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub> mit Herzhypertrophie

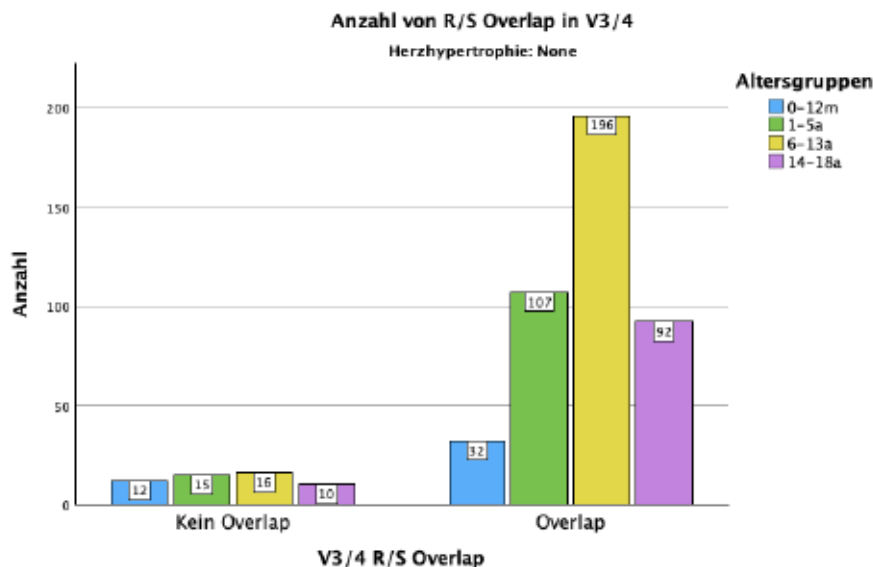


**Abbildung 31** Gruppiertes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub> nach Alter mit Herzhypertrophie

Das folgende Balkendiagramm in Abbildung 31 beschreibt die Anzahl der Überlappungen der R- und S-Zacken in der Ableitung V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub> bei vorhandener Herzhypertrophie. Insgesamt kommt der R/S Overlap bei 12 (90%) Patient\*innen vor. Bei den Kindern zwischen dem 1. Lebensstag und 12. Lebensmonat sowie im Alter von 5 bis 13 Jahren kommt es jeweils zweimal zu keinem Overlap und zweimal zu einem Overlap. Im Gegensatz dazu, gibt es in der Kleinkinder-Gruppe drei Überlappungen und in der ältesten Gruppe fünfmal einen Overlap.

Allgemein beträgt die Sensitivität für Herzhypertrophie bei einem R/S Overlap in V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub> 80% und die Spezifität 58,93%.

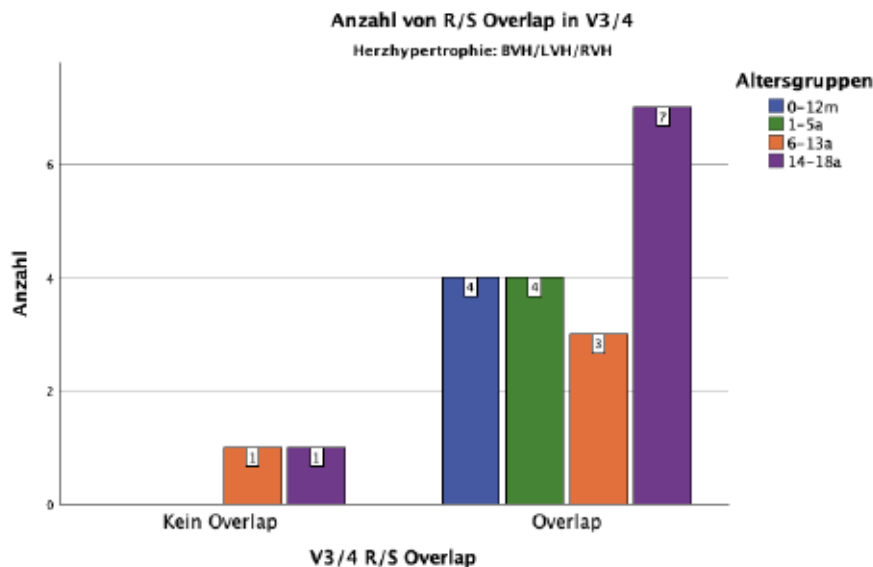
## R/S Overlap in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> ohne Herzhypertrophie



**Abbildung 32** Gruppieretes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> nach Alter ohne Herzhypertrophie

Die Statistik in Abbildung 32, die die Anzahl der R/S Overlaps in den Ableitungen V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> bei Kindern ohne Herzhypertrophie wiedergibt, zeigt, dass über alle vier Altersgruppen hinweg eine höhere Anzahl an R/S Overlaps gegenüber fehlenden Überlappungen verzeichnet wurde. In der jüngsten Altersgruppe gibt es 32 Überlappungen und 12-mal keine. Die Kinder im Alter von 1 bis 5 Jahren weisen 107 Überlappungen auf und 15-mal keine. Die meisten R/S Overlaps kommen in der Altersgruppe der 6- bis 13-Jährigen mit 196 Overlaps und 16-mal diesbezüglich unauffälligen Befunden. In der ältesten Altersgruppe gibt es 92-mal einen Overlap und zehnmal keinen. Insgesamt ist ein Overlap bei 427 Studienteilnehmer\*innen ohne Herzhypertrophie, also 88,96%, präsent.

## R/S Overlap in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> mit Herzhypertrophie

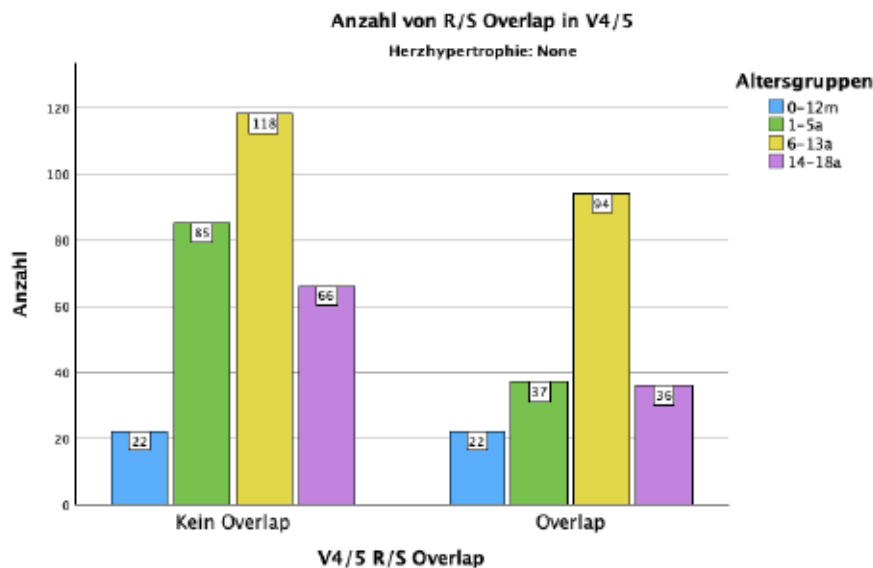


**Abbildung 33** Gruppiertes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> nach Alter mit Herzhypertrophie

Aus dem Diagramm in Abbildung 33 geht hervor, wie viele Kinder mit Herzhypertrophie im EKG einen Overlap der R- und S-Zacken in den Ableitungen V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> haben. Alle vier Patient\*innen zwischen dem 1. Lebensmonat und 12. Lebensmonat und den 1- bis 5-Jährigen haben einen Overlap. In der Altersgruppe der 6- bis 13-Jährigen gibt es drei Overlaps und ein diesbezüglich unauffälliges Elektrokardiogramm. Bei der ältesten Gruppe „14-18 Jahre“ gibt es sieben Überlappungen und einen unauffälligen Befund. Insgesamt ist von 20 Patient\*innen mit Herzhypertrophie bei 18, also 90%, ein Overlap feststellbar.

Die Sensitivität für Herzhypertrophie bei einem R/S Overlap in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> liegt bei 85,71% und die Spezifität bei 41,02%.

## R/S Overlap in V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> ohne Herzhypertrophie



**Abbildung 34** Gruppiertes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> nach Alter ohne Herzhypertrophie

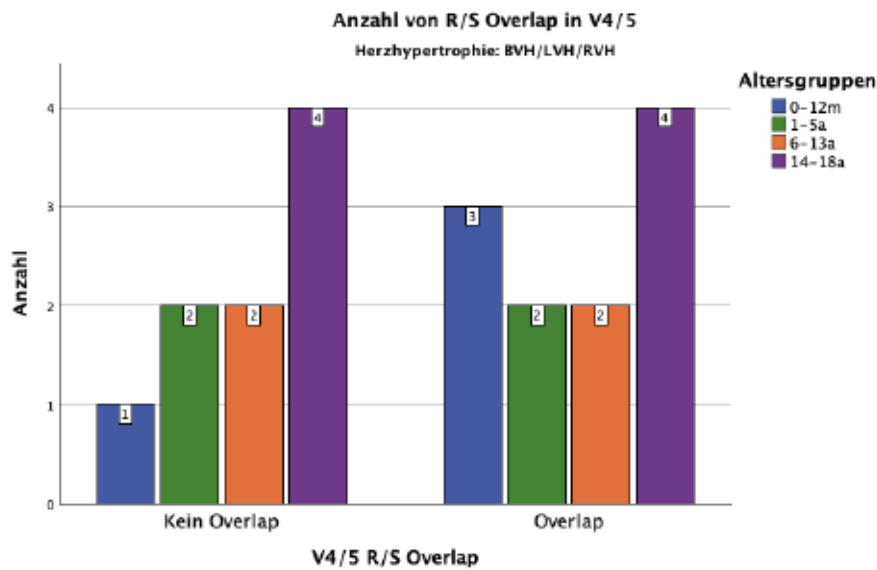
Das Balkendiagramm in Abbildung 34 zeigt die Anzahl der Overlaps der R- und S-Zacken in den Ableitungen V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> bei Kindern, die keine Herzhypertrophie aufweisen. Die Altersgruppe der jüngsten Kinder im Alter zwischen dem 1. Lebensjahr und 12. Monat, zeigt sich ausgeglichen mit 22 Kindern ohne und 22 Kindern mit einem Overlap.

Die älteren Kinder im Alter 1 bis 5 Jahre, weisen 85-mal keinen Overlap im EKG auf und 37-mal ist ein Overlap sichtbar.

Bei den 6- bis 13-Jährigen wurde bei 118 kein Overlap beschrieben und bei 94 Patient\*innen haben sich die Zacken überlappt.

Bei den 14- bis 18-Jährigen ist ein Overlap 36-mal vorgekommen, bei 66 Kindern nicht. Insgesamt war ein R/S Overlap bei 189 (39,38%) Kindern und Jugendlichen ersichtlich.

## R/S Overlap in V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> mit Herzhypertrophie

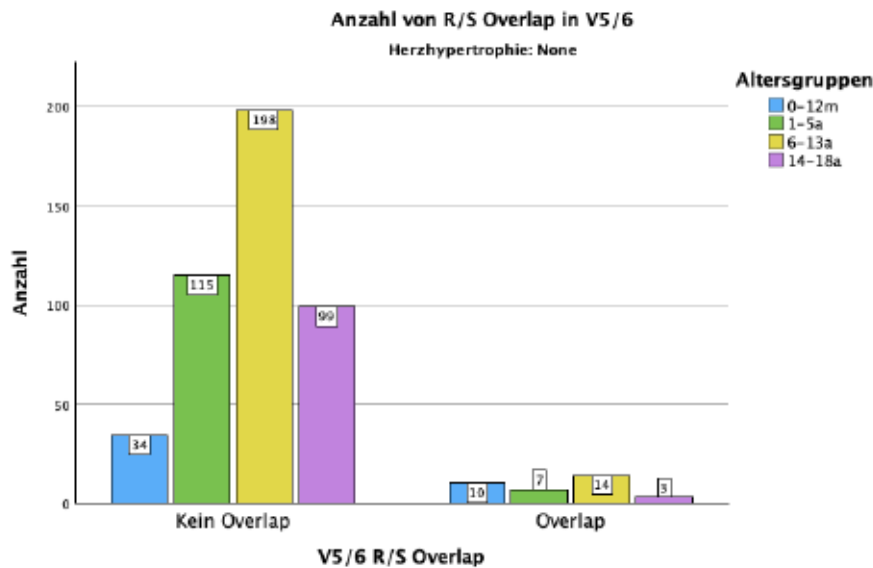


**Abbildung 35** Gruppieretes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> nach Alter mit Herzhypertrophie

Das Balkendiagramm Abbildung 35 gibt die Anzahl der R/S Overlaps in den Ableitungen V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> bei Patient\*innen mit Herzhypertrophie wieder. Auf der x-Achse sind die Gruppen farblich nach den Altersgruppen eingeteilt und es sind zwei Gruppen ersichtlich, mit und ohne Overlap. Die y-Achse zeigt die absolute Anzahl der vorhandenen Fälle. Die dunkelblauen Balken, geben die Anzahl der Overlaps von Kindern im Alter zwischen dem 1. Lebenstag und dem 12. Lebensmonat an. Es gibt drei Overlaps und einmal keinen Overlap. Die beiden Gruppen 1-5 Jahre und 6-13 Jahre haben jeweils zwei Overlaps und zweimal keinen. Die älteste Gruppe bestehend aus 8 Jugendlichen hat jeweils vier Overlaps und viermal keine.

Die Sensitivität für Herzhypertrophie bei einem R/S Overlap in V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> beträgt 55% und die Spezifität 60,63%.

## R/S Overlap in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> ohne Herzhypertrophie

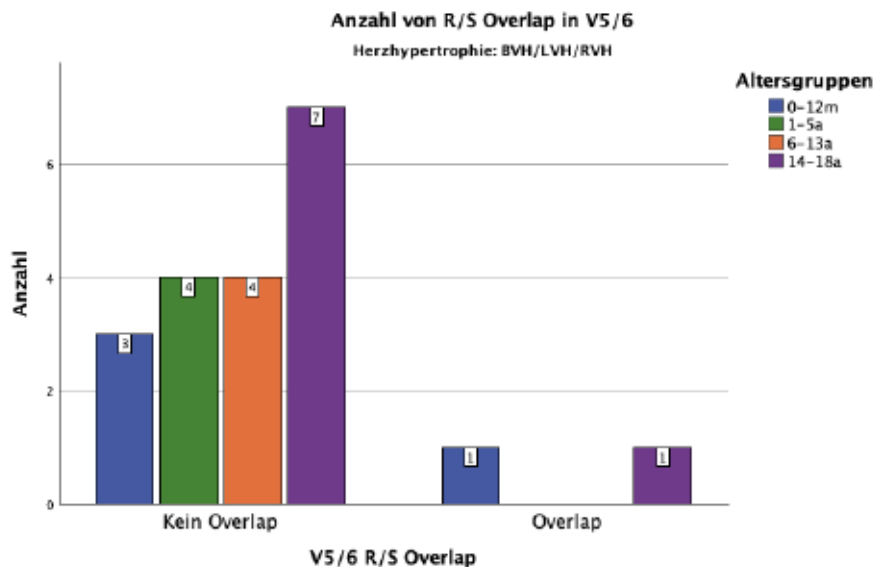


**Abbildung 36** Gruppieretes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> nach Alter ohne Herzhypertrophie

Das Balkendiagramm in Abbildung 36 zeigt die Anzahl der R/S Overlaps der Ableitungen V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> bei Patient\*innen ohne Herzhypertrophie. Es ist ersichtlich, dass bei den meisten Fällen kein Overlap vorhanden ist. Die Balken zeigen links die Anzahl der Kinder mit keinem Overlap (446 Fälle) und rechts die Anzahl der Kinder mit einem Overlap (34). Von insgesamt 480 Fällen, kommt es bei 92,92% zu keinem Overlap.

Die jüngste Gruppe hat 34-mal keinen Overlap und zehnmal eine Überlappung in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub>. Von insgesamt 122 Fällen in der Altersgruppe der 1- bis 5-Jährigen, die durch die grünen Balken dargestellt wird, haben 115 Kinder keinen Overlap. Die meisten Fälle (198 von 212) ohne Overlap befinden sich in der Gruppe der 6- bis 13-Jährigen. In der Gruppe der 14- bis 18-Jährigen gibt es drei Overlaps, die restlichen 99 EKGs weisen keinen Overlap auf.

## R/S Overlap in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> mit Herzhypertrophie



**Abbildung 37** Gruppiertes Balkendiagramm - Anzahl von R/S Overlaps in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> nach Alter mit Herzhypertrophie

Das Balkendiagramm in Abbildung 37 zeigt die Anzahl der R/S Overlaps in den Ableitungen V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> bei Kindern und Jugendlichen mit diagnostizierter Herzhypertrophie. In der jüngsten Altersgruppe, die mit den blauen Balken dargestellt wird, gibt es drei Fälle ohne und einen mit R/S Overlap. Keiner der vier 1- bis 5-Jährigen oder der vier 6- bis 13-Jährigen hat einen Overlap in den Ableitungen V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub>. Nur eine Person im Alter zwischen 14 und 18 Jahren hat einen Overlap. Die restlichen sieben Jugendlichen haben keinen Overlap im EKG.

Die Sensitivität für Herzhypertrophie bei einem R/S Overlap in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> beträgt 10% und die Spezifität 92,92%.

### 3.4 Statistische Auswertung der Arbeitshypothese

Um die Arbeitshypothese zu analysieren, wurde eine Kreuztabelle erstellt. Dafür wurden die Daten der 500 Patient\*innen mit einem R/S Overlap im EKG und die 300 EKGs der Vergleichsgruppe ohne einem Overlap verwendet.

**Herzhypertrophie \* Overlap Kreuztabelle**

Anzahl

		Overlap		Gesamt
		Ja	Nein	
Herzhypertrophie	None	480	297	777
	BVH/LVH/RVH	20	3	23
Gesamt		500	300	800

**Tabelle 8** Kreuztabelle Herzhypertrophie und Overlap

Die Kreuztabelle in Tabelle 8 zeigt die Gesamtanzahl der Kinder und Jugendlichen, die in die Studie aufgenommen wurden. Es gibt insgesamt 777 Kinder ohne Herzhypertrophie und 23 mit. Von den 800 Kindern und Jugendlichen, haben 500 Patient\*innen einen R/S Overlap, 480 Patient\*innen davon ohne und 20 mit diagnostizierter Herzhypertrophie. 300 Kinder haben keinen Overlap in den Brustwandableitungen, davon 297 ohne und drei mit Herzhypertrophie.

**Chi-Quadrat-Tests**

	Wert	df	Asymptotische Signifikanz (zweiseitig)	Exakte Sig. (zweiseitig)	Exakte Sig. (einseitig)
Pearson-Chi-Quadrat	6,043 <sup>a</sup>	1	,014		
Kontinuitätskorrektur <sup>b</sup>	5,017	1	,025		
Likelihood-Quotient	7,047	1	,008		
Exakter Test nach Fisher				,015	,009
Zusammenhang linear-mit-linear	6,036	1	,014		
Anzahl der gültigen Fälle	800				

a. 0 Zellen (0,0%) haben eine erwartete Häufigkeit kleiner 5. Die minimale erwartete Häufigkeit ist 8,63.

b. Wird nur für eine 2x2-Tabelle berechnet

**Tabelle 9** Chi-Quadrat-Tests - Herzhypertrophie und Overlap

Die Nullhypothese (H<sub>0</sub>) der Diplomarbeit lautet, dass es keinen Zusammenhang zwischen R/S Overlaps im EKG und Herzhypertrophie gibt. Das gewählte Signifikanzniveau wurde mit 0,05 (= 5%) festgelegt.

Im Pearson-Chi-Quadrat-Test (Tabelle 9) beträgt der berechnete Wert 6,043 bei einem Freiheitsgrad (df). Die asymptotische Signifikanz (zweiseitig) lautet 0,014. Da bei den restlichen Chi-Quadrat-Tests alle p-Werte auch unter dem gewählten

Signifikanzniveau von 0,05 liegen, weisen die Ergebnisse auf einen statistisch signifikanten Zusammenhang hin, was zur Ablehnung der Nullhypothese führt. Daher wird die Alternativhypothese (H1) angenommen, die besagt, dass ein Zusammenhang zwischen R/S Overlap in den Brustwandableitungen und Herzhypertrophie besteht.

Um die Stärke dieses Zusammenhanges zu bestimmen, wurde der Phi- und Cramer-V-Test durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der Tabelle 10 aufgelistet.

### Symmetrische Maße

		Wert	Näherungsweise Signifikanz
Nominal- bzgl. Nominalmaß	Phi	-,087	,014
	Cramer-V	,087	,014
Anzahl der gültigen Fälle		800	

**Tabelle 10** Phi- und Cramer-V-Test

Sowohl der negative Phi-Wert von -0,087 als auch der Cramer-V-Wert von 0,087 zeigen einen sehr schwachen Zusammenhang zwischen den beiden Variablen, Overlap und Herzhypertrophie. Die Signifikanz von 0,014 deutet jedoch darauf hin, dass es sich, obwohl schwach ausgeprägt, um einen statistisch signifikanten Zusammenhang handelt.

### 3.5 Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps

Die Tabelle 11 zeigt eine statistische Auswertung der zusammengerechneten Höhen der R- und S-Zacken aller 500 Studienteilnehmer\*innen mit mindestens einer Überlappung im EKG ohne der Alter- und Herzhypertrophiegruppeneinteilung. Es handelt sich immer um die S-Zacke der oberen Ableitung und der R-Zacke der unteren Ableitung. In der ersten Zeile „Gültige Anzahl“ wird die Gesamtzahl der Overlaps in den jeweiligen Ableitungen angegeben.

	V1 S-Zacke + V2 R-Zacke	V2 S-Zacke + V3 R-Zacke	V3 S-Zacke + V4 R-Zacke	V4 S-Zacke + V5 R-Zacke	V5 S-Zacke + V6 R-Zacke
Gültige Anzahl	53	219	445	200	36
Mittelwert	2.62	2.75	3.04	2.68	2.46
Minimum	1.65	1.20	1.05	1.50	1.45
Median	2.55	2.60	2.85	2.50	2.43
Maximum	4.12	5.05	13.05	6.60	3.80

**Tabelle 11** Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps

Der Mittelwert gibt den Durchschnitt der R- und S-Zacken der entsprechenden Ableitung wieder. Dieser liegt zwischen 2,46 cm in  $V_5/V_6$  und 3,04 cm in  $V_3/V_4$ . Der Median gibt den Wert an, der in der Datenreihe sich genau in der Mitte befindet. Somit liegen 50% unter dem Median und die andere Hälfte über dem Median. Der niedrigste Median befindet sich in  $V_5/V_6$  mit einer Höhe von 2,43 cm und der Höchste in  $V_3/V_4$  mit 2,85 cm. Das Minimum der R- und S-Zacken liegt zwischen 1,05 cm in  $V_3/V_4$  und 1,65 cm in  $V_1/V_2$ . Das Maximum hat eine Spannweite von 3,80 cm in  $V_5/V_6$  und 13,05 cm in  $V_3/V_4$ .

### 3.5.1 Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps nach Alter

#### Alter 0-12 Monate

a	V1 S-wave + V2 R-wave	V2 S-wave + V3 R-wave	V3 S-wave + V4 R-wave	V4 S-wave + V5 R-wave	V5 S-wave + V6 R-wave
Gültige Anzahl	7	29	36	25	11
Standardabweichung	.415	.403	.384	.573	.159
Mittelwert	2.38	2.75	2.82	2.87	2.62
Minimum	1.90	2.00	2.30	1.95	2.40
Perzentil 25	1.95	2.40	2.55	2.50	2.45
Median	2.30	2.70	2.70	2.75	2.65
Perzentil 75	2.60	3.10	3.03	3.10	2.75
Maximum	3.10	3.65	3.85	4.40	2.80

a. Alter = 0-12m

**Tabelle 12** Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps im Alter 0-12 Monate

Die Tabelle 12 gibt die Summe der R- und S-Zacken für Neugeborene und Säuglinge bis 12 Monate wieder.

Die Gesamthöhe dieser Zacken bei Overlaps variiert zwischen 1,90 cm und 4,40 cm, mit einem Durchschnittswert von 2,38 cm in  $V_1/V_2$  bis 2,87 cm in  $V_4/V_5$ . Die Standardabweichung, die die Variabilität angibt, reicht von 0,159 bis 0,573, wobei die Ableitung  $V_5/V_6$  am wenigstens und  $V_4/V_5$  am stärksten von den Durchschnittswerten abweicht.

## Alter 1-5 Jahre

a	V1 S-wave + V2 R-wave	V2 S-wave + V3 R-wave	V3 S-wave + V4 R-wave	V4 S-wave + V5 R-wave	V5 S-wave + V6 R-wave
Gültige Anzahl	21	64	111	39	7
Standardabweichung	.573	.643	1.094	.413	.333
Mittelwert	2.83	2.86	3.06	2.62	2.57
Minimum	1.80	1.35	2.25	2.05	2.30
Perzentil 25	2.45	2.43	2.55	2.30	2.30
Median	2.80	2.65	2.90	2.50	2.35
Perzentil 75	3.00	3.15	3.30	2.95	2.80
Maximum	4.12	5.05	13.05	3.65	3.15

a. Alter = 1-5a

**Tabelle 13** Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps im Alter 1-5 Jahre

Die Tabelle 13 listet die Summe der R- und S-Zackenhöhen im EKG in den Brustwandableitungen bei Kindern im Alter von 1 bis 5 Jahren auf. Die minimale Summe der Voltage beträgt 1,35 cm in V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub>, während die maximale in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> bei 13,05 cm liegt. Der durchschnittliche Wert bewegt sich in einer Spanne von 2,57 cm und 3,06 cm. Die größte Variabilität der Werte tritt im V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> Overlap auf, wo auch die meisten Overlaps registriert wurden. Das 25. Perzentil, also der Wert, unterhalb dessen 25% der Messwerte liegen, beträgt 2,30 cm für die Ableitungen V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> und V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub>, und steigt auf 2,55 in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub>. Das 75. Perzentil, also der Wert, unterhalb dessen 75% der Messwerte liegen, beträgt 2,80 cm in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> und steigt auf 3,30 cm in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub>.

## Alter 6-13 Jahre

a	V1 S-wave + V2 R-wave	V2 S-wave + V3 R-wave	V3 S-wave + V4 R-wave	V4 S-wave + V5 R-wave	V5 S-wave + V6 R-wave
Gültige Anzahl	11	81	199	96	14
Standardabweichung	.409	.493	.705	.608	.460
Mittelwert	2.53	2.68	3.09	2.71	2.50
Minimum	1.65	1.20	1.90	2.05	2.00
Perzentil 25	2.40	2.40	2.60	2.38	2.20
Median	2.55	2.55	2.90	2.50	2.38
Perzentil 75	2.70	2.85	3.40	2.88	2.60
Maximum	3.15	4.80	6.15	6.60	3.80

a. Alter = 6-13a

**Tabelle 14** Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps im Alter 6-13 Jahre

Die Tabelle 14 präsentiert die kumulierten Werte der R- und S-Zacken bei Kindern im Altersbereich von 6 bis 13 Jahren.

Das Minimum liegt zwischen 1,20 cm in V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub> und 2,05 cm in V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub>, während das Maximum zwischen 3,15 cm in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> und 6,60 cm in V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> liegt. Der Mittelwert variiert mit Werten zwischen 2,53 und 3,09 cm. Die Variabilität dieser Werte reicht zwischen 0,409 in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> und 0,705 in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub>. Der Median nimmt mit 2,38 cm in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> den niedrigsten Wert an, während in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> mit 2,90 cm der größte Median vorkommt. Die Werte des 25. Perzentils liegen zwischen 2,20 und 2,60 cm und des 75. Perzentils zwischen 2,60 und 3,40 cm.

### Alter 14-18 Jahre

<sup>a</sup>	V1 S-wave + V2 R-wave	V2 S-wave + V3 R-wave	V3 S-wave + V4 R-wave	V4 S-wave + V5 R-wave	V5 S-wave + V6 R-wave
Gültige Anzahl	14	45	99	40	4
Standardabweichung	.512	.433	.713	.516	.364
Mittelwert	2.51	2.71	2.99	2.53	1.71
Minimum	1.65	1.60	1.05	1.50	1.45
Perzentil 25	2.25	2.40	2.50	2.30	1.50
Median	2.45	2.60	2.80	2.45	1.58
Perzentil 75	2.70	2.90	3.30	2.65	1.93
Maximum	3.70	3.80	5.10	4.35	2.25

a. Alter = 14-18a

**Tabelle 15** Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps im Alter 14-18 Jahre

Die Tabelle 15 zeigt zusammengefasste Messwerte der Amplituden der R- und S-Zacken in den Brustwandableitungen bei Jugendlichen im Alter von 14 bis 18 Jahren. Mit 99 Fällen befinden sich die meisten Overlaps an der Stelle des Overlaps der V<sub>3</sub>-S-Zacke und der V<sub>4</sub>-R-Zacke. Auch die maximale zusammengeführte Höhe mit 5,10 cm und die niedrigste Überlappung mit 1,05 cm befinden sich in der V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub>-Ableitung. Der Mittelwert bewegt sich im Bereich zwischen 1,71 und 2,99 cm. Der Median variiert zwischen 1,58 cm in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> und 2,80 cm in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub>. Das 25. Perzentil hat Werte zwischen 1,50 cm in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> und 2,50 in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub>, während das 75. Perzentil zwischen 1,93 cm in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> und 3,30 cm in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> variiert.

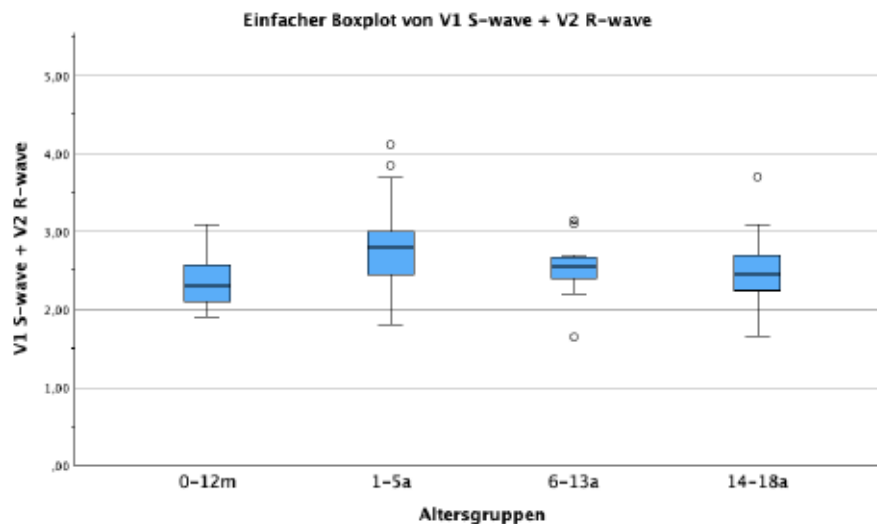
### 3.5.2 Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps nach Alter - Boxplots

Die folgenden Diagramme zeigen Boxplots der Gesamtsummen der R- und S-Zacken der Overlaps für jede Altersgruppe in den entsprechenden Brustwandableitungen von V<sub>1</sub> bis V<sub>6</sub>. Es gibt immer jeweils vier Altersgruppen, die auf der x-Achse dargestellt sind: 0 bis 12 Monate, 1 bis 5 Jahre, 6 bis 13 Jahre und

14 bis 18 Jahre. Die blauen Kästen repräsentieren den Interquartilsbereich (IQR), der 50% der Daten umfasst. Der Median wird durch die schwarze Linie im Kasten dargestellt. Die Linien, die nach oben und unten zeigen, die sogenannten „Whisker“, erstrecken sich bis zu den am weitesten entfernten Punkten, die keine Ausreißer sind. Ausreißer werden als einzelne Kreise oder Sternchen dargestellt.

### Ableitung $V_1/V_2$

Im dargestellten Boxplot in Abbildung 38 ist die Verteilung der Summen der  $V_1$ -S-Zacken und  $V_2$ -R-Zacken im EKG ersichtlich. Die genauen Werte sind in der Tabelle 16 dargestellt.



**Abbildung 38** Gruppiertes Boxplot – Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in  $V_1/V_2$  nach Alter

		Gültige Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75
V1 S-Zacke + V2 R-Zacke	0-12m	7	2,38	1,90	3,10	1,95	2,30	2,60
	1-5a	21	2,83	1,80	4,12	2,45	2,80	3,00
	6-13a	11	2,53	1,65	3,15	2,40	2,55	2,70
	14-18a	14	2,51	1,65	3,70	2,25	2,45	2,70

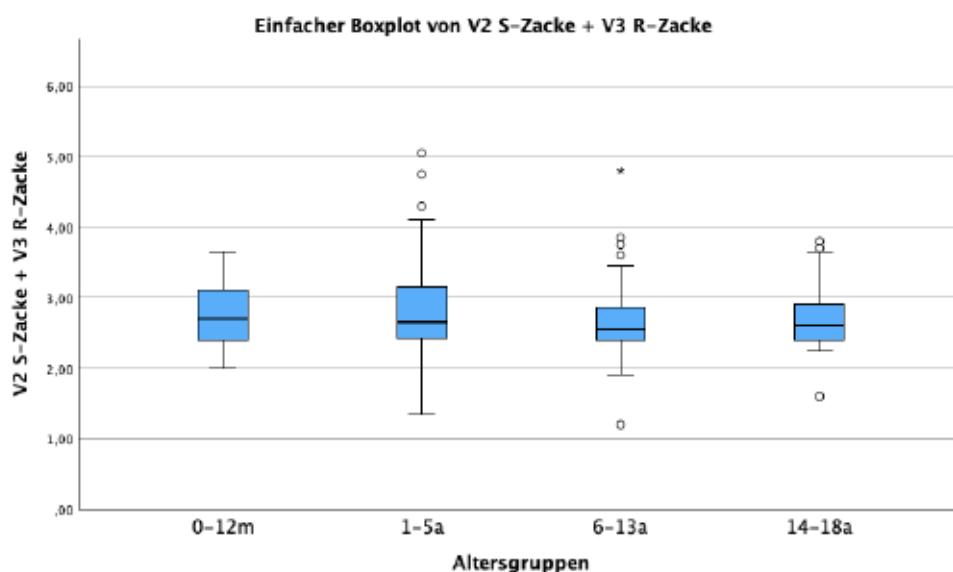
**Tabelle 16** Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in  $V_1/V_2$  nach Alter

In der jüngsten Altersgruppe (0-12 Monate) streuen die Werte zwischen 1,90 und 3,10 cm. Es gibt keine Ausreißer. Der Mittelwert liegt bei 2,38 cm und der Median bei 2,30 cm. Das 25. Perzentil beträgt 1,95 cm und das 75. Perzentil 2,60 cm.

Die Gruppe der 1- bis 5-Jährigen bestehend aus 21 Kindern zeigt die größte Spannweite zwischen 1,80 und 4,12 cm. Diese Gruppe enthält den größten Median, welcher bei 2,80 cm liegt.

In der Gruppe der 6- bis 13-Jährigen reichen die Werte von 1,65 bis 3,15 cm, mit einem Mittelwert von 2,53 cm. Es gibt mehrere Ausreißer, die das Minimum und Maximum definieren, dennoch liegen 50% der Werte zwischen 2,40 und 2,70 cm. In der ältesten Gruppe liegen die Werte zwischen 1,65 und 3,70 cm, wobei 50% der Werte sich im Bereich von 2,25 und 2,70 cm befinden. Der Median ist bei den Säuglingen mit 2,30 cm am niedrigsten und bei den Kleinkindern mit 2,80 cm am höchsten.

### Ableitung $V_2/V_3$



**Abbildung 39** Gruppierter Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in  $V_2/V_3$  nach Alter

		Gültige Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75
V2 S-Zacke + V3 R-Zacke	0-12m	29	2,75	2,00	3,65	2,40	2,70	3,10
	1-5a	64	2,86	1,35	5,05	2,43	2,65	3,15
	6-13a	81	2,68	1,20	4,80	2,40	2,55	2,85
	14-18a	45	2,71	1,60	3,80	2,40	2,60	2,90

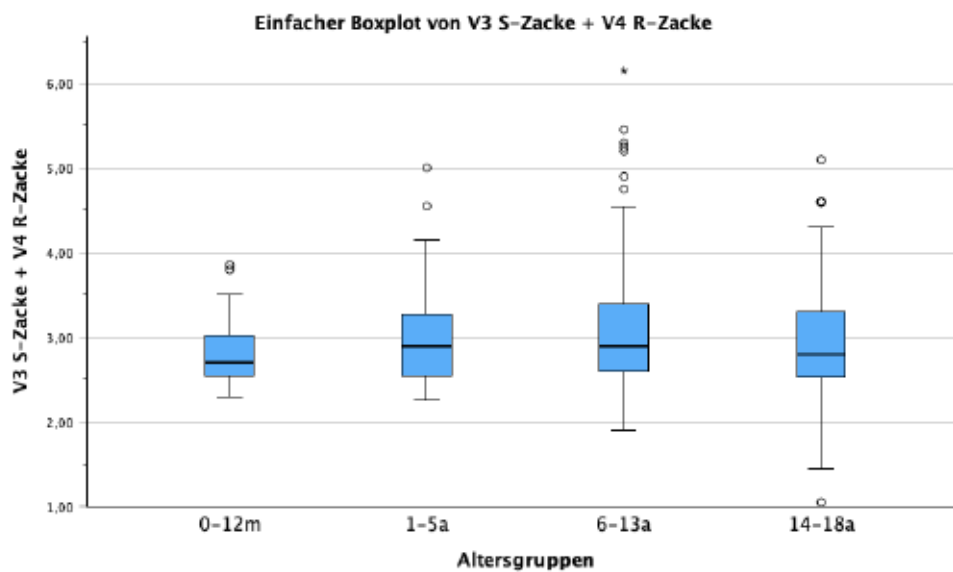
**Tabelle 17** Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in  $V_2/V_3$  nach Alter

Die Boxplots in Abbildung 39 spiegeln die Gesamtsumme der Höhen der R-Zacken in  $V_3$  und S-Zacken in  $V_2$  in allen Altersgruppen. Aus der Tabelle 17 können die genauen Werte entnommen werden.

Die geringste kombinierte Höhe wurde in der Altersgruppe der 6- bis 13-Jährigen mit 1,20 cm festgestellt, während die größte Summe in der Altersgruppe der 1- bis 5-Jährigen mit 5,05 cm verzeichnet wurde. Es ist auch die Altersgruppe mit der

größten Spannweite von 3,70 cm, die zwischen 1,35 cm und 5,05 cm liegt. Auffallend ist, dass in allen vier Altersgruppen das untere Quartil bei ca. 2,40 cm liegt. Der Median verbleibt konstant bei ungefähr 2,60 cm über alle Altersgruppen. Das obere Quartil befindet sich bei den jüngeren zwei Altersgruppen knapp über 3 cm (3,10 und 3,15 cm), während es bei den beiden älteren Gruppen knapp darunter liegt (2,85 und 2,90 cm).

### Ableitung V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub>



**Abbildung 40** Gruppierter Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> nach Alter

		Gültige Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75	
V3 S-Zacke + V4 R-Zacke	Altersgruppen	0-12m	36	2.82	2.30	3.85	2.55	2.70	3.03
		1-5a	111	3.06	2.25	3.05	2.55	2.90	3.30
		6-13a	199	3.09	1.90	6.15	2.60	2.90	3.40
		14-18a	99	2.99	1.05	5.10	2.50	2.80	3.30

**Tabelle 18** Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub> nach Alter

Der obere gruppierte Boxplot in Abbildung 40 gibt die Gesamtsumme der Höhen der R-Zacke der V<sub>4</sub>-Ableitung und der S-Zacke der V<sub>3</sub>-Ableitung gruppiert nach vier Altersgruppen wieder. Die genauen Werte für die Amplituden in den verschiedenen Altersgruppen lassen sich aus der Tabelle 18 ablesen.

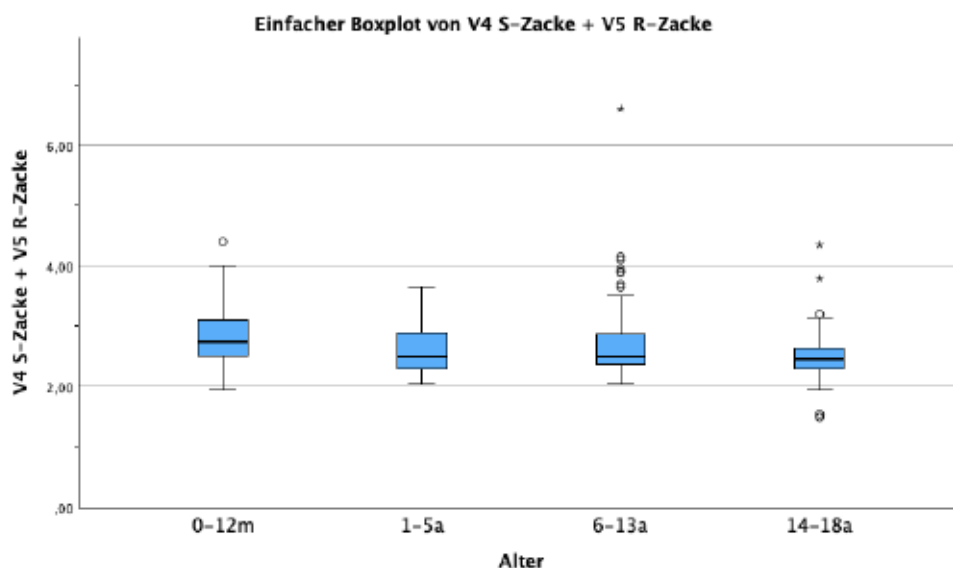
In der Gruppe der Kinder im Alter vom 1. Lebenstag bis zum 12. Lebensmonat liegen die Werte zwischen 2,30 und 3,85 cm. Es ist die Gruppe mit dem höchsten Minimum und dem kleinsten Maximum. Die jüngsten Kinder haben auch den kleinsten Median mit 2,70 cm.

Die Gruppe der 1- bis 5-Jährigen mit 111 Kindern verzeichnet den höchsten gemessenen Wert von 13,05 cm, welcher aufgrund der Beschränkung der y-Achse bis 6,50 cm nicht dargestellt wird. Diese Einstellung der Achsenbegrenzung dient einer verbesserten Darstellung der Boxplots.

Interessanterweise beträgt die 25. Perzentile in den beiden jüngeren Gruppen 2,55 cm und die anderen zwei Gruppen liegen einmal 0,05 cm über und unter diesem Wert. Das 75. Perzentil ist in der jüngsten Gruppe mit 3,03 cm am kleinsten. In den anderen Gruppen liegt dieses zwischen 3,30 und 3,40 cm. Der Median beträgt in der Gruppe der 1- bis 5-Jährigen und 6- bis 13-Jährigen, also bei insgesamt 310 Kindern 2,90 cm. In der jüngsten Altersgruppe nimmt dieser den Wert von 2,70 cm und in der ältesten Gruppe 2,80 cm an.

### Ableitung $V_4/V_5$

Die Boxplots in Abbildung 41 zeigen die kombinierten Amplituden der R-Zacken der  $V_5$ -Ableitung und der S-Zacken der  $V_4$ -Ableitung in den verschiedenen Altersgruppen. Die genauen Werte sind in der Tabelle 19 dargestellt.



**Abbildung 41** Gruppiertes Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in  $V_4/V_5$  nach Alter

		Gültige Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75
V4 S-Zacke + V5 R-Zacke	Altersgruppen 0-12m	25	2,87	1,95	4,40	2,50	2,75	3,10
	1-5a	39	2,62	2,05	3,65	2,30	2,50	2,95
	6-13a	96	2,71	2,05	6,60	2,38	2,50	2,88
	14-18a	40	2,53	1,50	4,35	2,30	2,45	2,65

**Tabelle 19** Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in  $V_4/V_5$  nach Alter

Die 25 Säuglinge zeigen Werte zwischen 1,95 bis 4,40 cm. Die Mittelwerte erreichen den höchsten Wert bei den Säuglingen mit 2,87 cm und nehmen mit dem Alter stetig bis 2,53 cm ab.

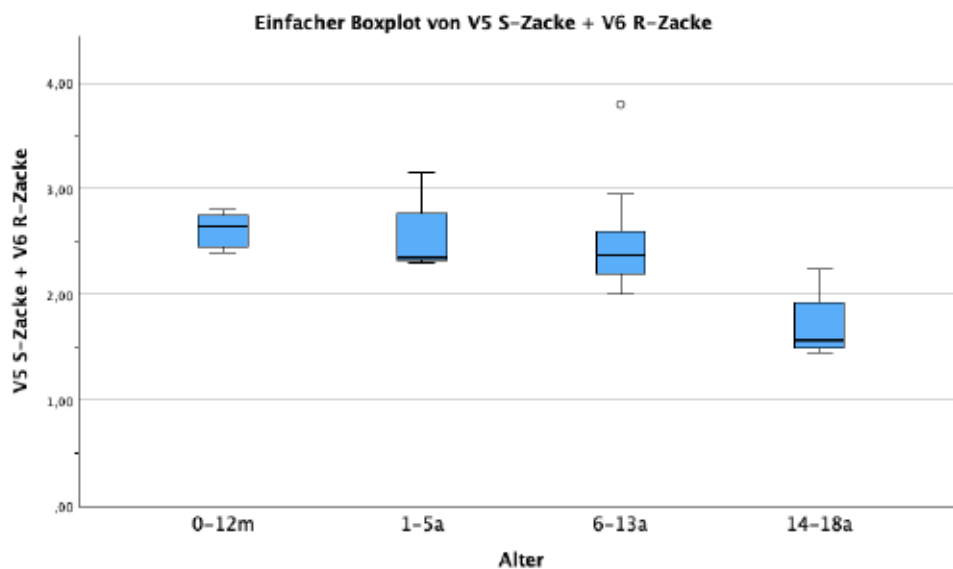
Die 39 Kleinkinder bis zum Alter von 6 Jahren, haben Amplituden zwischen 2,05 und 3,65 cm.

Die 96 Schulkinder (6 bis 13 Jahre) weisen eine Bandbreite der R- und S-Zacken von 2,05 und 6,60 cm auf. Bei den ältesten Kindern liegen die Werte zwischen 1,50 und 4,35 cm.

Die Mediane sinken von 2,75 cm bei den Jüngsten auf 2,45 cm bei den Ältesten ab. Auffällig zeigen sich die zwei Boxplots der 1- bis 5-Jährigen und der 6- bis 13-Jährigen, da diese einen sehr ähnlichen Interquartilsbereich haben. Der Median beträgt in beiden Gruppen 2,50 cm.

Im Gegensatz zu den jüngeren Kindern, haben die beiden älteren Gruppen viele Ausreißer. Die älteste Gruppe weist die geringste Wertebreite zwischen dem 1. und 3. Quartil auf.

## Ableitung $V_5/V_6$



**Abbildung 42** Gruppierter Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in  $V_5/V_6$  nach Alter

		Gültige Anzahl	Mittelwert	Minimum	Maximum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75
V5 S-Zacke + V6 R-Zacke	Altersgruppen 0-12m	11	2,62	2,40	2,80	2,45	2,65	2,75
	1-5a	7	2,57	2,30	3,15	2,30	2,35	2,80
	6-13a	14	2,50	2,00	3,80	2,20	2,38	2,60
	14-18a	4	1,71	1,45	2,25	1,50	1,58	1,93

**Tabelle 20** Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in  $V_5/V_6$  nach Alter

Die oberen Boxplots in Abbildung 42 spiegeln die Gesamthöhe der R-Zacken in  $V_6$  und der S-Zacken in  $V_5$  unterteilt nach Altersgruppen. Die Tabelle 20 listet die genauen Messwerte auf.

Der Mittelwert liegt zwischen 1,71 und 2,62 cm, die Minimalwerte zwischen 2,40 und 1,45 cm. Beide Werte nehmen mit dem Alter ab.

Die Höchstwerte reichen von 2,25 bei Ältesten bis 3,80 cm bei den 6- bis 13-Jährigen.

Der Median, der zwischen 1,58 und 2,65 cm liegt, zeigt ebenfalls eine Abnahme mit zunehmendem Alter.

Besonders in der ältesten Gruppe sind die Werte deutlich niedriger, mit mindestens 75% unter 2 cm. In den anderen Gruppen sind alle Werte  $\geq 2$  cm.

### 3.5.3 Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps nach Alter und Herzhypertrophie

			V1 S-Zacke + V2 R-Zacke	V2 S-Zacke + V3 R-Zacke	V3 S-Zacke + V4 R-Zacke	V4 S-Zacke + V5 R-Zacke	V5 S-Zacke + V6 R-Zacke	
Altersgruppen	0-12m	None	Gültige Anzahl	7	27	32	22	10
			Mittelwert	2.38	2.73	2.80	2.86	2.63
			Minimum	1.90	2.00	2.30	1.95	2.40
			Median	2.30	2.70	2.70	2.73	2.70
		Maximum	3.10	3.65	3.80	4.40	2.80	
		BVH/LVH/RVH	Gültige Anzahl	0	2	4	3	1
			Mittelwert	.	3.03	2.96	2.88	2.60
			Minimum	.	2.45	2.55	2.30	2.60
	Median		.	3.03	2.73	3.00	2.60	
	1-5a	None	Gültige Anzahl	21	61	107	37	7
			Mittelwert	2.83	2.85	3.06	2.63	2.57
			Minimum	1.80	1.35	2.25	2.05	2.30
			Median	2.80	2.65	2.90	2.50	2.35
		Maximum	4.12	5.05	13.05	3.65	3.15	
		BVH/LVH/RVH	Gültige Anzahl	0	3	4	2	0
			Mittelwert	.	3.18	3.13	2.40	.
Minimum			.	2.30	2.75	2.30	.	
Median	.		3.50	3.13	2.40	.		
6-13a	None	Gültige Anzahl	10	79	196	94	14	
		Mittelwert	2.54	2.68	3.09	2.72	2.50	
		Minimum	1.65	1.20	1.90	2.05	2.00	
		Median	2.55	2.55	2.90	2.53	2.38	
	Maximum	3.15	4.80	6.15	6.60	3.80		
	BVH/LVH/RVH	Gültige Anzahl	1	2	3	2	0	
		Mittelwert	2.45	2.58	2.93	2.38	.	
		Minimum	2.45	2.45	2.35	2.35	.	
Median		2.45	2.58	2.90	2.38	.		
14-18a	None	Gültige Anzahl	13	40	92	36	3	
		Mittelwert	2.42	2.71	2.96	2.54	1.53	
		Minimum	1.65	2.25	1.05	1.50	1.45	
		Median	2.45	2.58	2.80	2.45	1.55	
	Maximum	3.10	3.70	5.10	4.35	1.60		
	BVH/LVH/RVH	Gültige Anzahl	1	5	7	4	1	
		Mittelwert	3.70	2.72	3.36	2.45	2.25	
		Minimum	3.70	1.60	2.55	2.10	2.25	
Median		3.70	2.60	3.00	2.45	2.25		
Maximum	3.70	3.80	4.60	2.80	2.25			

**Tabelle 21** Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps nach Alter und Herzhypertrophie

Die Tabelle 21 enthält Messwerte der Gesamthöhen der R- und S-Zacken, aller 500 Kinder und Jugendlichen mit mindestens einem Overlap in den Brustwandableitungen. Die meisten Overlaps kommen in den Ableitungen V<sub>3</sub> und V<sub>4</sub> vor, gefolgt von V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub> und V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub>. Während bei den Säuglingen und den 6- bis 13-Jährigen die wenigsten Overlaps in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> vorkommen, sind es in den Gruppen 1 bis 5 Jahre und 14 bis 18 Jahre die Ableitungen V<sub>5</sub> und V<sub>6</sub>.

Bis auf den Overlap in V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub> bei einem Kind der ältesten Altersgruppe mit Herzhypertrophie liegen alle Minimalwerte bei Kindern ohne Herzhypertrophie niedriger als bei denen mit einer Herzhypertrophie. Die Höchstwerte hingegen sind überwiegend bei den Kindern ohne Herzhypertrophie größer.

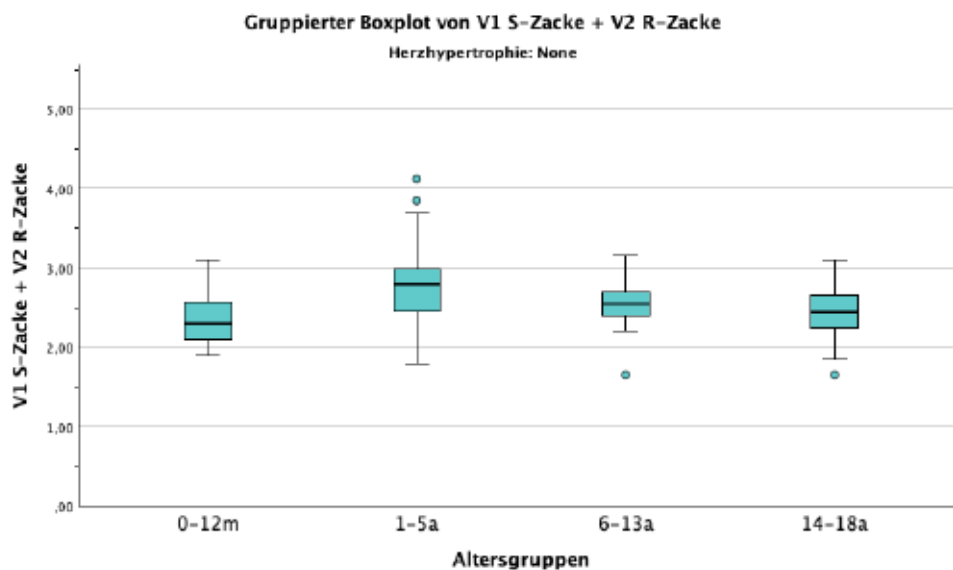
Im nächsten Abschnitt erfolgt eine detaillierte Analyse der spezifischen Messergebnisse für die einzelnen Gruppen.

## Ableitung $V_1/V_2$

		V1 S-Zacke + V2 R-Zacke								
		Gesamtzahl	Gültige Anzahl	Minimum	Maximum	Mittelwert	Perzentil 25	Median	Perzentil 75	
Herzhypertrophie	None	0-12m	44	7	1.90	3.10	2.38	1,95	2.30	2,60
		1-5a	122	21	1.80	4.12	2.83	2,45	2.80	3,00
		6-13a	212	10	1.65	3.15	2.54	2,40	2.55	2,70
		14-18a	102	13	1.65	3.10	2.42	2,25	2.45	2,65
BVH/LVH/RVH		0-12m	4	0	.	.	.	.	.	.
		1-5a	4	0	.	.	.	.	.	.
		6-13a	4	1	2.45	2.45	2.45	2,45	2.45	2,45
		14-18a	8	1	3.70	3.70	3.70	3,70	3.70	3,70

**Tabelle 22** Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in  $V_1/V_2$  nach Alter und Herzhypertrophie

Die Tabelle 22 beschreibt die Summen der Amplituden der  $V_1$ -S- und  $V_2$ -R-Zacken. Sie ist gruppiert nach den vier Altersgruppen: 0 bis 12 Monate, 1 bis 5 Jahre, 6 bis 13 Jahre und 14 bis 18 Jahre. Weiters sind die Altersgruppen in zwei weitere Gruppen eingeteilt: mit (BVH/LVH/RVH) und ohne (None) Herzhypertrophie. Die Gesamtzahl beschreibt die Anzahl der Patient\*innen in der jeweiligen Gruppe, die gültige Anzahl gibt die Anzahl der vorhandenen Overlaps in der bestimmten Gruppe wieder.



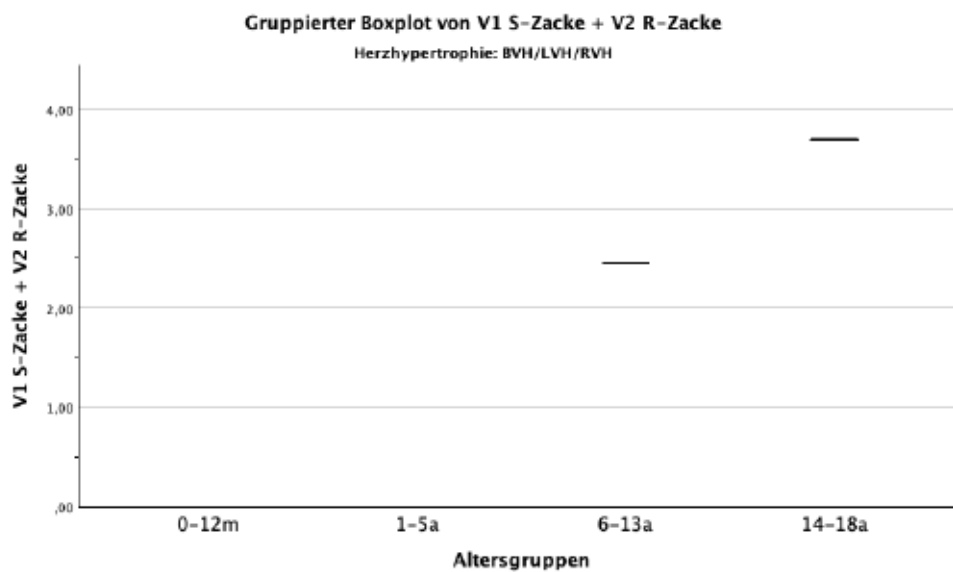
**Abbildung 43** Gruppiertes Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in  $V_1/V_2$  nach Alter ohne Herzhypertrophie

Die Grafik in Abbildung 43 stellt die Messwerte der Tabelle 22 mit der Gesamtsummen der R- und S-Zacken in den  $V_1/V_2$ -Ableitungen bei Kindern ohne einer Herzhypertrophie visuell dar. Die vier Altersgruppen sind auf der x-Achse gekennzeichnet sind. Die y-Achse verläuft von 0 bis 5 cm.

Die Minimalwerte sind in den zwei jüngeren Gruppen mit 1,90 und 1,80 cm höher als in den zwei älteren Gruppen (1,65 cm). Die Maximalwerte liegen zwischen 3,10 cm jeweils in der jüngsten und ältesten Gruppe und 4,12 cm bei den 1- bis 5-Jährigen.

Die Mediane befinden sich in allen Altersgruppen zwischen 2,30 und 2,80 cm. In der Gruppe der 1- bis 5-Jährigen ist der Median am höchsten.

Das 25. Perzentil verläuft zwischen 1,95 und 2,45 cm. Das 75. Perzentil nimmt Werte zwischen 2,60 und 3,00 cm an. In den drei älteren Gruppen befinden sich Ausreißer.



**Abbildung 44** Gruppiertes Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> nach Alter mit Herzhypertrophie

Bei dem oberen gruppierten Boxplot in Abbildung 44 handelt es sich um die Gesamtsummen der Amplituden der V<sub>1</sub>-S-Zacke sowie der V<sub>2</sub>-R-Zacken bei Kindern mit Herzhypertrophie gruppiert nach vier Altersgruppen.

In der Säuglingsgruppe und den 1- bis 5-Jährigen gibt es in den Ableitungen V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> keinen Overlap, somit kann kein Boxplot dargestellt werden.

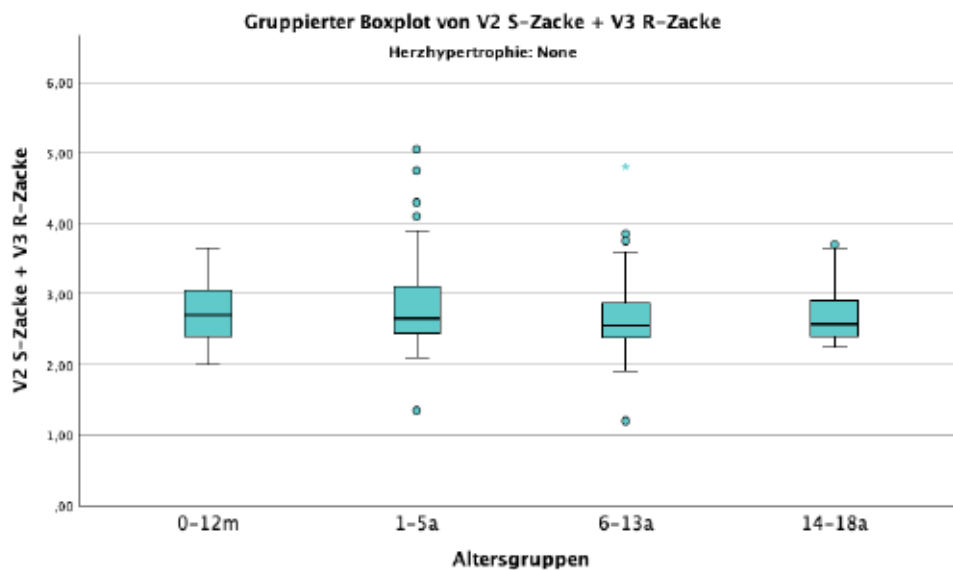
In jeder der beiden älteren Gruppen befindet sich jeweils ein Kind, bei dem ein Overlap in V<sub>1</sub>/V<sub>2</sub> festgestellt wurde, mit Messwerten von 2,45 cm und 3,70 cm.

## Ableitung $V_2/V_3$

		V2 S-Zacke + V3 R-Zacke								
		Gesamtzahl	Gültige Anzahl	Minimum	Maximum	Mittelwert	Perzentil 25	Median	Perzentil 75	
Herzhypertrophie	None	0-12m	44	27	2,00	3,65	2,73	2,40	2,70	3,10
		1-5a	122	61	1,35	5,05	2,85	2,45	2,65	3,10
		6-13a	212	79	1,20	4,80	2,68	2,35	2,55	2,90
		14-18a	102	40	2,25	3,70	2,71	2,40	2,58	2,90
	BVH/LVH/RVH	0-12m	4	2	2,45	3,60	3,03	2,45	3,03	3,60
		1-5a	4	3	2,30	3,75	3,18	2,30	3,50	3,75
		6-13a	4	2	2,45	2,70	2,58	2,45	2,58	2,70
		14-18a	8	5	1,60	3,80	2,72	2,60	2,60	3,00

**Tabelle 23** Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in  $V_2/V_3$  nach Alter und Herzhypertrophie

Die Tabelle 23 beschreibt die Summen der Amplituden der  $V_2$ -S- und  $V_3$ -R-Zacken. Sie ist gruppiert nach den vier Altersgruppen: 0 bis 12 Monate, 1 bis 5 Jahre, 6 bis 13 Jahre und 14 bis 18 Jahre. Weiters sind die Altersgruppen in zwei weitere Gruppen eingeteilt: mit (BVH/LVH/RVH) und ohne (None) Herzhypertrophie. Die Gesamtzahl beschreibt die Anzahl der Patient\*innen in der jeweiligen Gruppe, die gültige Anzahl gibt die Anzahl der vorhandenen Overlaps in der bestimmten Gruppe wieder. Die spezifischen Messwerte der zugeordneten Boxplots werden im folgenden Abschnitt genauer beschrieben.

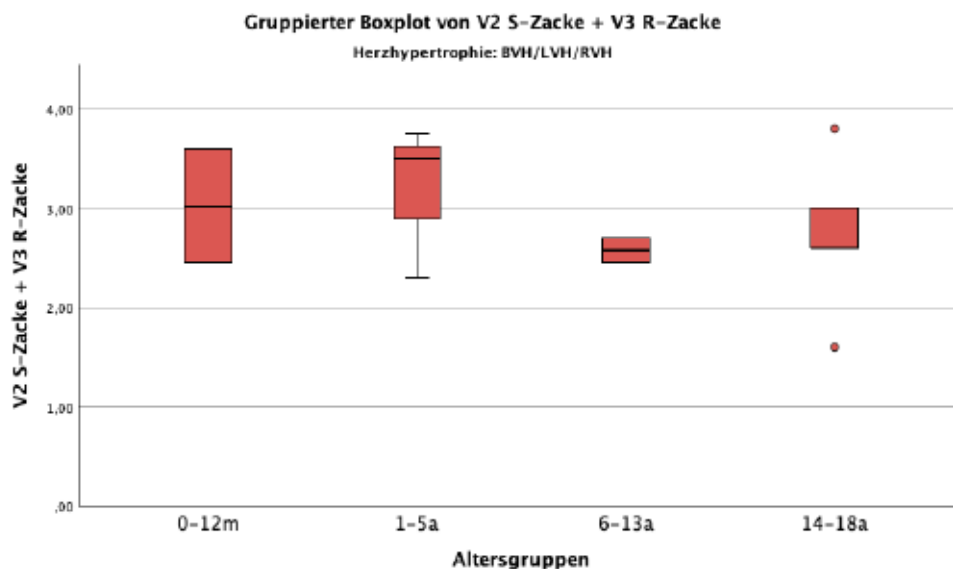


**Abbildung 45** Gruppiertes Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in  $V_2/V_3$  nach Alter ohne Herzhypertrophie

Der gruppierte Boxplot in Abbildung 45 stellt die Gesamtsummen der Amplituden der  $V_2$ -S- und  $V_3$ -R-Zacken bei Kindern und Jugendlichen in allen Altersgruppen ohne Herzhypertrophie dar.

Die kleinsten Zacken variieren zwischen 1,20 cm in der Gruppe der 6- bis 13-Jährigen und 2,25 cm bei den 14- bis 18-Jährigen. Die höchsten Zacken bewegen sich im Bereich von 3,65 cm in der jüngsten Gruppe bis zu 5,05 cm bei den 1- bis 5-Jährigen. Der Mittelwert liegt zwischen 2,68 und 2,85 cm. Der Median bewegt sich zwischen 2,55 und 2,70 cm, wobei er in den beiden älteren Gruppen niedriger ausfällt.

50% der Werte in den beiden älteren Gruppen befinden sich im Bereich 2,35 bzw. 2,40 cm bis 2,90 cm, während sie in den beiden jüngeren Gruppen zwischen 2,40 und 3,15 cm liegen. Mit Ausnahme der jüngsten Gruppe haben alle Gruppen mindestens einen Ausreißer, wobei die Gruppen der Klein- und Schulkinder mehrere Ausreißer im oberen Bereich aufweisen.



**Abbildung 46** Gruppiertes Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in  $V_2/V_3$  nach Alter mit Herzhypertrophie

Der gruppierte Boxplot in Abbildung 46 zeigt den R/S Overlap im Bereich  $V_2/V_3$  und gibt die Summen der Amplituden der  $V_2$ -S-Zacke sowie der  $V_3$ -R-Zacke in vier verschiedenen Altersgruppen wieder. Dabei handelt es sich um EKGs von Kindern und Jugendlichen mit Herzhypertrophie.

Die niedrigsten Zacken befinden sich bei den 14- bis 18-Jährigen mit 1,60 cm, während die Höchsten bei den Säuglingen mit einer Höhe von 2,45 cm auftreten. Die Amplituden erreichen Werte bis zu 2,70 cm und 3,80 cm.

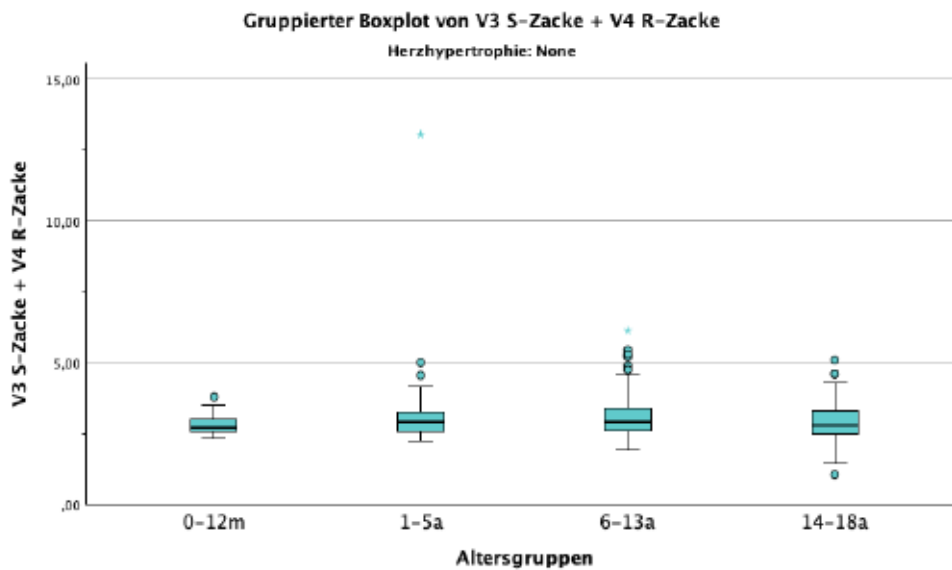
In der Gruppe der Kinder im ersten Lebensjahr gibt es nur zwei Patient\*innen mit einem Overlap in  $V_2/V_3$  und einer Herzhypertrophie, wobei die Zackenhöhe 2,45 cm und 3,60 cm betragen, die zugleich die minimalen und maximalen Höhen dieser Gruppe darstellen. Bei den vier Kindern im Alter von 1 bis 5 Jahren liegt der Mittelwert bei 3,18 cm mit einem Median von 3,50 cm. 50% der Werte liegen zwischen 2,30 und 3,75 cm. Bei den Schulkindern erstreckt sich der Interquartilsabstand, in dem sich die Hälfte aller Werte befindet, von 2,45 cm bis 2,70 cm. Bei den Jugendlichen gibt es acht Patient\*innen, deren Gesamthöhe der Zacken zwischen 1,60 und 3,80 cm liegt. Damit sind die niedrigste und höchste Zacke in dieser Gruppe zu finden. Die Hälfte der Werte liegt im Bereich zwischen 2,60 und 3,00 cm, was bedeutet, dass die Minimal- und Maximalhöhen als Ausreißer betrachtet werden.

### Ableitung $V_3/V_4$

		V3 S-Zacke + V4 R-Zacke								
		Gesamtzahl	Gültige Anzahl	Minimum	Maximum	Mittelwert	Perzentil 25	Median	Perzentil 75	
Herzhypertrophie	None	0-12m	44	32	2.30	3.80	2.80	2.55	2.70	3.03
		1-5a	122	107	2.25	13.05	3.06	2.55	2.90	3.30
		6-13a	212	196	1.90	6.15	3.09	2.60	2.90	3.40
		14-18a	102	92	1.05	5.10	2.96	2.50	2.80	3.30
	BVH/LVH/RVH	0-12m	4	4	2.55	3.85	2.96	2.58	2.73	3.35
		1-5a	4	4	2.75	3.50	3.13	2.93	3.13	3.33
		6-13a	4	3	2.35	3.55	2.93	2.35	2.90	3.55
		14-18a	8	7	2.55	4.60	3.36	2.65	3.00	4.60

**Tabelle 24** Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in  $V_3/V_4$  nach Alter und Herzhypertrophie

Die Tabelle 24 zeigt die Gesamtamplituden der  $V_3$ -S- und  $V_4$ -R-Zacken aufgeteilt nach vier Alterskategorien: 0 bis 12 Monate, 1 bis 5 Jahre, 6 bis 13 Jahre und 14 bis 18 Jahre. Zusätzlich sind diese Altersgruppen unterteilt in „mit“ (BVH/LVH/RVH) und „ohne“ (None) Herzhypertrophie. Die Gesamtzahl bezieht sich auf die Gesamtzahl der Patient\*innen in jeder Gruppe, während die gültige Anzahl, die Anzahl der Patient\*innen mit festgestellten Overlaps in jeder spezifischen Gruppe angibt. Die detaillierte Analyse der entsprechenden Boxplots für diese Messwerte erfolgt im nächsten Abschnitt.



**Abbildung 47** Gruppiertes Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in V<sub>3</sub>V<sub>4</sub> nach Alter ohne Herzhypertrophie

Diese Grafik in Abbildung 47 zeigt vier Boxplots, die die Summen der V<sub>3</sub>-S-Zacke und V<sub>4</sub>-R-Zacken bei Kindern ohne Herzhypertrophie eingeteilt in vier Altersgruppen.

Die y-Achse erstreckt sich bis 15 cm und repräsentiert die Summe der Zackenhöhen. Alle Boxplots befinden sich unterhalb von 5 cm. In jeder Altersgruppe gibt es mehrere Ausreißer, wobei der höchste Ausreißer in der Gruppe der 1- bis 5-Jährigen liegt und 13,05 cm erreicht, was auch die größte gemessene Zackenhöhe in allen Altersgruppen darstellt.

Trotz der Präsenz von Ausreißern in allen Gruppen, ist der Interquartilsabstand ziemlich ähnlich, mit dem 25. Perzentil zwischen 2,50 und 2,60 cm und dem 75. Perzentil zwischen 3,03 und 3,40 cm.

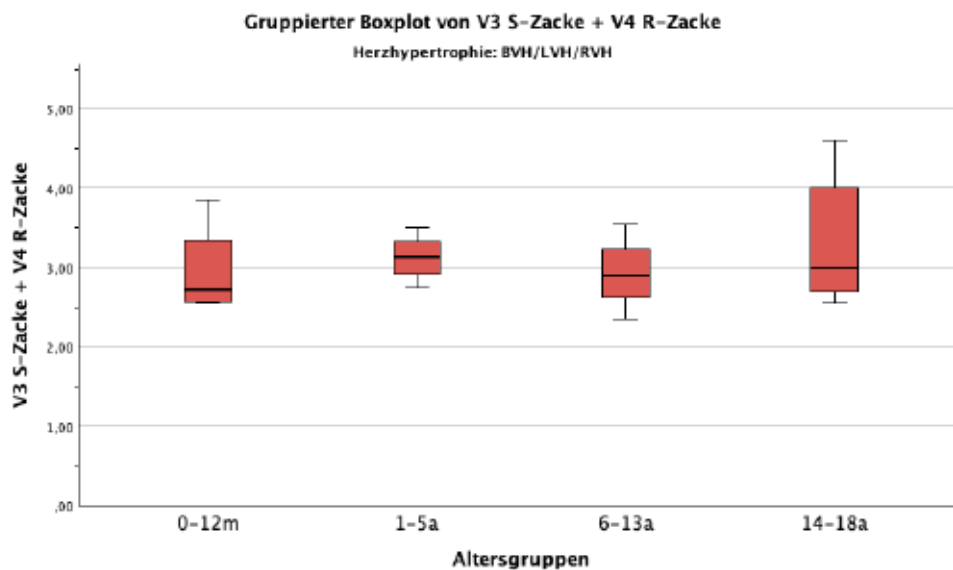
Der Median in der Säuglingsgruppe nimmt mit 2,70 cm den niedrigsten Wert an und ist in den Gruppen der 1- bis 5-Jährigen und 6- bis 13-Jährigen jeweils 2,90 cm hoch, während er in der ältesten Gruppe 2,80 cm beträgt.

Die Minimalwerte beginnen bei 2,30 cm bei den Säuglingen und fallen mit zunehmendem Alter bis zu 1,05 cm ab.

Die geringste maximale Zackenhöhe befindet sich in der Gruppe der Kinder im ersten Lebensjahr, mit einer Spanne von 2,30 bis 3,80 cm.

In der Altersgruppe von ein bis fünf Jahren liegt der kleinste gemessene Wert bei 2,25 cm und der Höchste bei 13,05 cm, mit einem Durchschnittswert von 3,06 cm

und einem Median von 2,90 cm. Die älteste Gruppe zeigt eine Spanne von 1,05 bis 5,10 cm mit einem Durchschnitt von 2,96 cm.



**Abbildung 48** Gruppiertes Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in  $V_3/V_4$  nach Alter mit Herzhypertrophie

Bei dem folgenden gruppierten Boxplot in Abbildung 48 handelt es sich um die Summen der Amplituden der  $V_3$ -S-Zacke und der  $V_4$ -R-Zacke bei Kindern mit Herzhypertrophie, gruppiert nach vier Altersgruppen.

Bei den drei jüngeren Gruppen befinden sich alle Werte unter 4 cm.

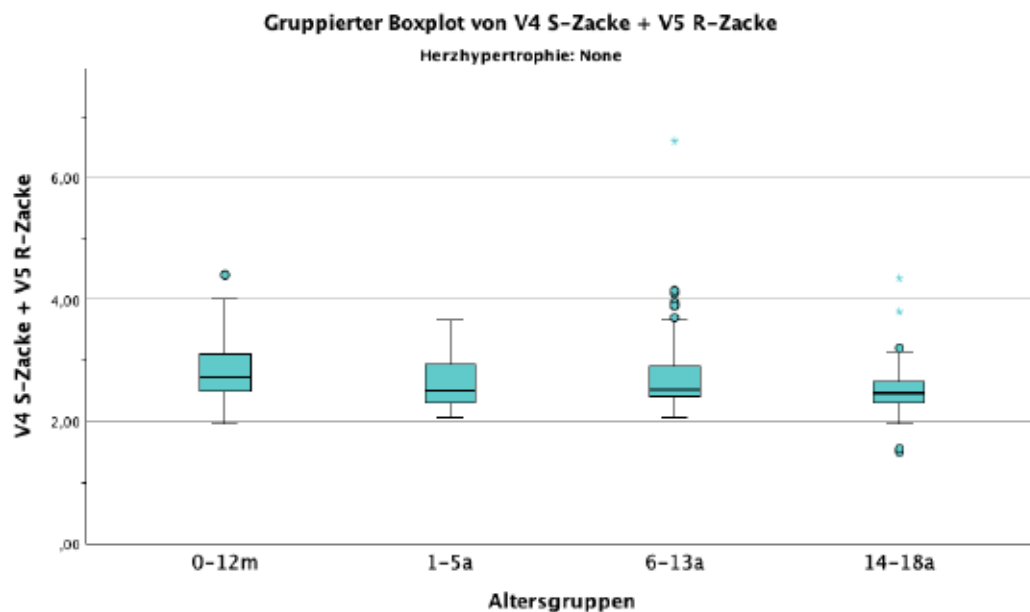
Die größte Spannbreite besteht in der Gruppe der 14- bis 18-Jährigen und beträgt 2,55 bis 4,60 cm. Die Minimal- und Maximalwerte liegen zwischen 2,35 und 2,75 cm bzw. zwischen 3,50 und 4,60 cm. Der Mittelwert liegt zwischen 2,93 und 3,36 cm, wobei dieser in der ältesten Gruppe am höchsten ist. Der höchste Medianwert, 3,13 cm, findet sich bei den 1- bis 5-Jährigen wieder und variiert in den anderen Gruppen zwischen 2,73 und 3,13 cm.

### Ableitung $V_4/V_5$

		V4 S-Zacke + V5 R-Zacke								
		Gesamtzahl	Gültige Anzahl	Minimum	Maximum	Mittelwert	Perzentil 25	Median	Perzentil 75	
Herzhypertrophie	None	0-12m	44	22	1.95	4.40	2.86	2.50	2.73	3.10
		1-5a	122	37	2.05	3.65	2.63	2.30	2.50	2.95
		6-13a	212	94	2.05	6.60	2.72	2.40	2.53	2.90
		14-18a	102	36	1.50	4.35	2.54	2.30	2.45	2.65
BVH/LVH/RVH		0-12m	4	3	2.30	3.35	2.88	2.30	3.00	3.35
		1-5a	4	2	2.30	2.50	2.40	2.30	2.40	2.50
		6-13a	4	2	2.35	2.40	2.38	2.35	2.38	2.40
		14-18a	8	4	2.10	2.80	2.45	2.20	2.45	2.70

**Tabelle 25** Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in  $V_4/V_5$  nach Alter und Herzhypertrophie

Die Tabelle 25 zeigt die Gesamtamplituden der V<sub>4</sub>-S- und V<sub>5</sub>-R-Zacken aufgeteilt nach vier Alterskategorien: 0 bis 12 Monate, 1 bis 5 Jahre, 6 bis 13 Jahre und 14 bis 18 Jahre. Zusätzlich sind diese Altersgruppen weiter unterteilt in solche mit (BVH/LVH/RVH) und ohne (None) Herzhypertrophie. Die Gesamtzahl bezieht sich auf die Gesamtzahl der Patient\*innen in jeder Gruppe, während die gültige Anzahl, die Anzahl der Patient\*innen mit festgestellten Overlaps in jeder spezifischen Gruppe angibt. Der nächste Abschnitt konzentriert sich auf eine genaue Analyse der Messwerte innerhalb der entsprechenden Boxplots.



**Abbildung 49** Gruppiertes Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> nach Alter ohne Herzhypertrophie

Bei dem folgenden gruppierten Boxplot in Abbildung 49 handelt es sich um die Summen der Amplituden der V<sub>4</sub>-S-Zacken und V<sub>3</sub>-R-Zacken bei Kindern zwischen dem 1. Lebenstag und 18. Lebensjahr ohne Herzhypertrophie.

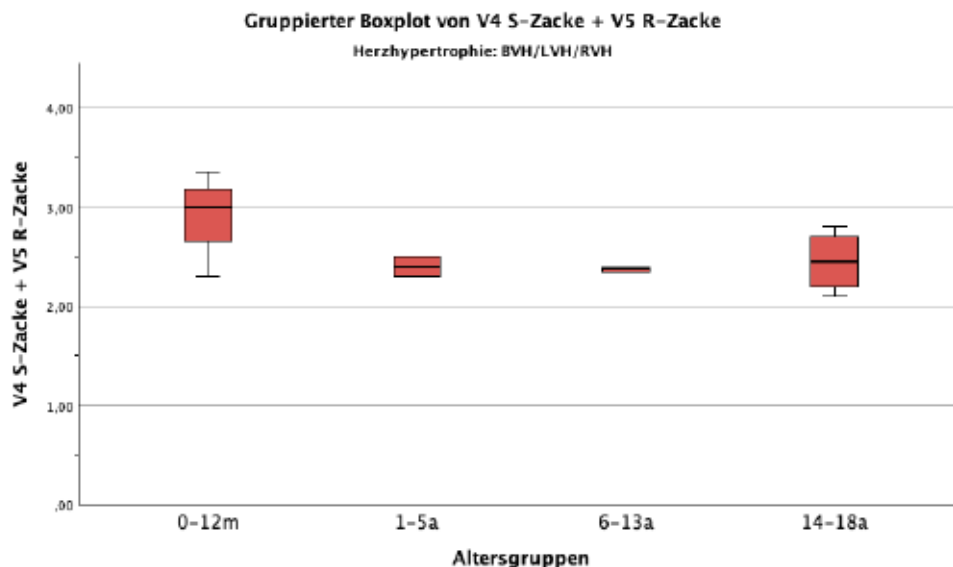
Die Minimalhöhe variiert von 1,50 cm in der ältesten Gruppe bis 2,05 cm in der Gruppe der 1- bis 5-Jährigen und der 6- bis 13-Jährigen.

Die Maximalhöhe beträgt 3,65 cm bei den Kleinkindern und erreicht bis zu 6,60 cm bei den Schulkindern.

Der Median befindet sich zwischen 2,45 und 2,73 cm, wobei der höchste Median in der jüngsten und der niedrigste Median in der ältesten Gruppe zu finden ist.

Das 1. Quartil beträgt durchgehend ca. 2,38 cm. Das 3. Quartil liegt zwischen 2,65 und 3,10 cm und nimmt mit dem Alter ab.

Die engste Spanne des Quartilsabstandes findet sich in der ältesten Altersgruppe, zwischen 2,30 und 2,65 cm wieder.



**Abbildung 50** Gruppiertes Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in  $V_4/V_5$  nach Alter mit Herzhypertrophie

Bei dem folgenden gruppierten Boxplot in Abbildung 50 handelt es sich um die Summen der Amplituden der R- und S-Zacken der Overlaps in  $V_4/V_5$  bei Kindern zwischen dem ersten Lebenstag und dem 18. Lebensjahr mit Herzhypertrophie.

Die Höhe der Overlap-Zacken wird auf der y-Achse dargestellt, die von 0 bis 5 cm reicht. Auf der x-Achse sind die Altersgruppen dargestellt.

Die Altersgruppe von 0-12 Monaten hat den höchsten Median mit 3,00 cm, während der Median der anderen drei Gruppen im Bereich von 2,38 bis 2,45 cm liegt.

Die beiden jüngeren Gruppen weisen sowohl für das 25. Perzentil als auch für die Minimalhöhen einen Wert von 2,30 cm auf. In den anderen Gruppen befindet sich das 25. Perzentil bei 2,35 bzw. 2,20 cm.

Die niedrigste Minimalhöhe variiert zwischen 2,10 cm bei den 14- bis 18-Jährigen und 2,35 cm bei den 6- bis 13-Jährigen.

Die Maximalhöhe reicht von 3,35 cm bei den Säuglingen bis zu einem niedrigsten Wert von 2,40 cm bei den 6- bis 13-Jährigen.

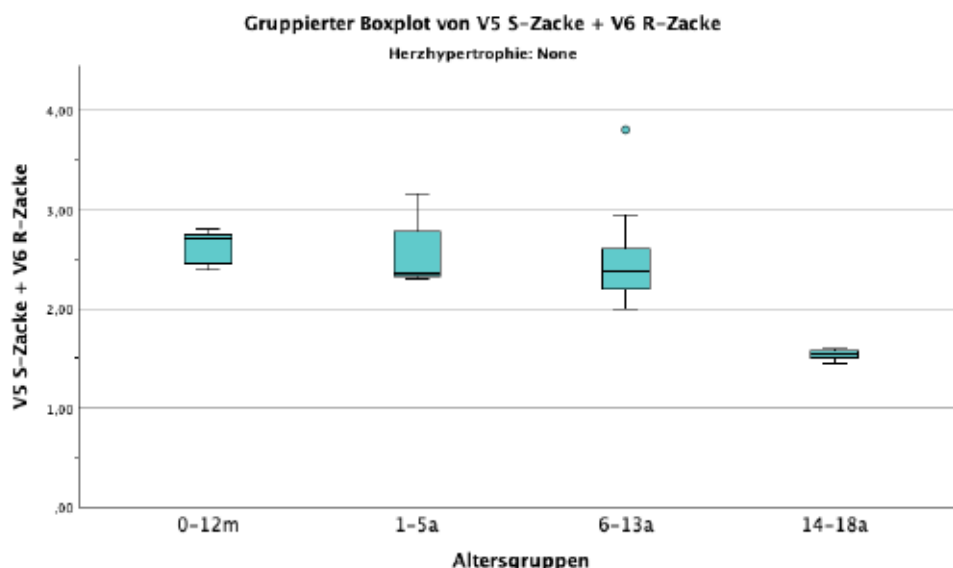
Die Altersgruppe von 0 bis 12 Monaten zeigt eine größere Variabilität im oberen Bereich, während alle anderen Gruppen Werte unter 3,00 cm aufweisen.

## Ableitung V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub>

Herzhypertrophie		Gesamtzahl	Gültige Anzahl	V <sub>5</sub> S-Zacke + V <sub>6</sub> R-Zacke						
				Minimum	Maximum	Mittelwert	Perzentil 25	Median	Perzentil 75	
None	0-12m	44	10	2.40	2.80	2.63	2.45	2.70	2.75	
	1-5a	122	7	2.30	3.15	2.57	2.30	2.35	2.80	
	6-13a	212	14	2.00	3.80	2.50	2.20	2.38	2.60	
	14-18a	102	3	1.45	1.60	1.53	1.45	1.55	1.60	
BVH/LVH/RVH	0-12m	4	1	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	2.60	
	1-5a	4	0	-	-	-	-	-	-	
	6-13a	4	0	-	-	-	-	-	-	
	14-18a	8	1	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	2.25	

**Tabelle 26** Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> nach Alter und Herzhypertrophie

Die Tabelle 26 präsentiert die Gesamtamplituden der V<sub>5</sub>-S- und V<sub>6</sub>-R-Zacken, untergliedert in vier Altersbereiche: Neugeborene (0-12 Monate), Kleinkinder (1-5 Jahre), Schulkinder (6-13 Jahre) und Jugendliche (14-18 Jahre). Diese Gruppen sind zusätzlich nach dem Vorhandensein einer Herzhypertrophie (BVH/LVH/RVH) oder deren Abwesenheit (None) klassifiziert. Die Gesamtzahl gibt die Anzahl aller Patient\*innen der jeweiligen Gruppe an, gültige Anzahl spezifiziert die Zahl der Patient\*innen mit nachgewiesenen Overlaps in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub>. Im folgenden Teil wird eine detaillierte Bewertung der Messergebnisse in den zugehörigen Boxplots vorgenommen.



**Abbildung 51** Gruppiertes Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> nach Alter ohne Herzhypertrophie

Der gruppierte Boxplot in Abbildung 51 der Overlaps in den Ableitungen V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> stellt die gemeinsame Höhe der V<sub>5</sub>-S-Zacke und V<sub>6</sub>-R-Zacken bei Kindern ohne Herzhypertrophie dar. Es gibt vier Boxplots, die der Altersgruppe entsprechen und

auf der x-Achse angegeben sind. Die y-Achse zeigt die Summe der Zackenhöhen in cm an und reicht bis zu 4 cm.

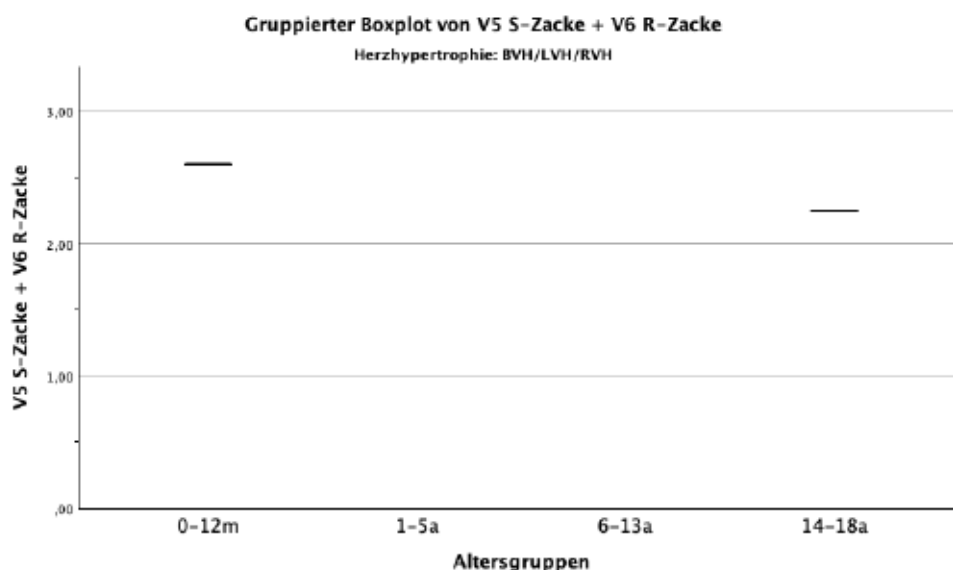
Die Altersgruppe von 0-12 Monaten hat einen Boxplot zwischen 2,45 und 2,75 cm und einen Median bei 2,70 cm. Trotz keiner Ausreißer hat diese Gruppe den höchsten Mittelwert mit 2,63 cm.

Die Altersgruppe von 1 bis 5 Jahren hat eine Box zwischen 2,30 und 2,80 cm mit einem Median von 2,35 cm. Der Mittelwert liegt über dem Median bei 2,57 cm.

In der Altersgruppe von 6 bis 13 Jahren befindet sich der Median bei 2,38 cm. Der Interquartilsbereich verläuft von 2,20 bis 2,60 cm.

Bei der Altersgruppe der 14- bis 18-jährigen Patient\*innen liegt der Median bei 1,55 cm und der Boxplot im Bereich zwischen 1,45 bis 1,60 cm, was deutlich niedriger ist als in den anderen Gruppen.

Die Minimalhöhe liegt zwischen 1,45 und 2,40 cm und nimmt mit dem Alter ab. Die Maximalhöhe variiert zwischen 1,60 und 3,80 cm. Die höchste Zacke mit einer Höhe von 3,80 cm befindet sich in der Gruppe der 6- bis 13-Jährigen.



**Abbildung 52** Gruppierter Boxplot - Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps in V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> nach Alter mit Herzhypertrophie

Der gruppierte Boxplot in Abbildung 52 zeigt die Höhe der Amplituden der V<sub>5</sub>-S-Zacke und V<sub>6</sub>-R-Zacken bei Kindern mit Herzhypertrophie im Zusammenhang mit dem V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub> Overlap. In diesen Ableitungen gibt es insgesamt zwei Overlaps, jeweils einen in der jüngsten und einen in der ältesten Altersgruppe. Bei dem Kind im Alter

unter einem Jahr beträgt die Gesamthöhe der Zacken 2,60 cm. Das Kind im Alter zwischen 14 und 18 Jahren weist eine Gesamthöhe der Zacken von 2,25 cm auf.

### 3.6 R/S-Ratio

	V1 R/S Ratio	V2 R/S Ratio	V3 R/S Ratio	V4 R/S Ratio	V5 R/S Ratio	V6 R/S Ratio
Gültige Anzahl	482	490	495	476	436	341
Mittelwert	1,10	1,08	1,17	5,30	8,71	8,45
Median	,40	,54	,62	2,20	4,50	6,25
Minimum	,00	,00	,00	,00	,02	,00
Maximum	25,00	17,00	38,75	105,00	210,00	55,00

**Tabelle 27** R/S Ratio in V<sub>1</sub> bis V<sub>6</sub>

Die Tabelle 27 gibt die R/S-Ratio, also das Verhältnis der R- und S-Zacken, von den sechs Brustwandableitungen V<sub>1</sub> bis V<sub>6</sub> wieder. Die Werte sind unabhängig vom Alter oder dem Vorliegen einer Herzhypertrophie und repräsentieren alle 500 Patient\*innen zusammen.

Unter „Gültige Anzahl“ sind die Messungen aufgeführt, bei denen keine Division durch 0 stattfand. Messwerte von 0 befinden sich hauptsächlich in der Ableitung V<sub>6</sub>, wo die S-Zacke physiologisch sehr klein ist oder fehlt (12).

Die 482 Messungen des R/S Ratios in V<sub>1</sub> weisen einen Mittelwert von 1,10 und einen Median von 0,40 auf. Die Spanne der Werte reicht von 0,00 bis 25,00.

R/S Ratio in V<sub>2</sub> umfasst 490 gültige Messungen mit einem Mittelwert von 1,08. Der Median liegt bei 0,54 und die Werte bewegen sich zwischen 0,00 und 17,00.

Für das R/S Ratio in V<sub>3</sub> liegen 495 gültige Messungen vor, neben fünf ungültigen Werten. Der Mittelwert beträgt 1,17, der Median 0,62. Die Werte variieren zwischen 0,00 und 38,75.

In V<sub>4</sub> gibt es 476 gültige R/S Ratio-Messungen. Hier liegt der Mittelwert bei 5,30 und der Median bei 2,20 mit Werten zwischen 0,00 und 105,00.

In V<sub>5</sub> wurden 436 gültige und 64 ungültige Messungen der R/S-Ratio verzeichnet. Der Mittelwert beträgt 8,71, der Median 4,50. Die Werte streuen von 0,02 bis 210,00. Das R/S Ratio in V<sub>6</sub> weist 341 gültige Messungen auf, die sich zwischen 0,00 und 55,00 erstrecken. Der Mittelwert liegt bei 8,45 und der Median bei 6,25.

Während die Mittelwerte zwischen V<sub>1</sub> und V<sub>3</sub> zwischen 1,08 und 1,17 liegen, befinden sich die Mittelwerte der restlichen drei Ableitungen im Bereich zwischen 5,30 und 8,71. Ebenso sind die Mediane von V<sub>1</sub> bis V<sub>3</sub> niedrig und von V<sub>4</sub> bis V<sub>6</sub>

deutlich höher. Von  $V_2$  und  $V_5$  erhöhen sich die Maximalwerte kontinuierlich, während sie in  $V_6$  wieder deutlich abnehmen.

### 3.6.1 R/S-Ratio nach Alter und Herzhypertrophie

Altersgruppen	Herzhypertrophie	Statistiken									
		V1 R/S Ratio	V2 R/S Ratio	V3 R/S Ratio	V4 R/S Ratio	V5 R/S Ratio	V6 R/S Ratio				
0-12m	None	N	Gültig	42	43	44	44	41	40		
			Fehlend	2	1	0	0	3	4		
		Mittelwert	2,14	1,40	1,37	2,26	2,73	4,99			
		Median	1,37	1,11	1,14	1,45	2,00	2,38			
		Minimum	,03	,03	,00	,06	,19	,39			
		Maximum	21,50	8,33	5,20	13,00	13,67	22,00			
	BVH/LVH/RVH	N	Gültig	2	4	4	4	4	4		
			Fehlend	2	0	0	0	0	0		
		Mittelwert	3,70	2,48	1,35	1,35	1,27	1,33			
		Median	3,70	1,53	,49	,58	,97	,94			
		Minimum	,40	,36	,40	,52	,44	,44			
		Maximum	7,00	6,50	4,00	3,73	2,69	3,00			
		1-5a	None	N	Gültig	119	121	122	119	112	86
					Fehlend	3	1	0	3	10	36
Mittelwert	,94			1,05	1,05	5,91	8,02	7,61			
Median	,50			,66	,71	2,43	4,36	5,50			
Minimum	,00			,01	,03	,16	,06	,22			
Maximum	12,83			13,80	16,25	105,00	45,00	50,00			
BVH/LVH/RVH	N		Gültig	3	4	4	4	4	2		
			Fehlend	1	0	0	0	0	2		
	Mittelwert		2,56	,61	1,02	1,93	3,08	3,61			
	Median		1,33	,54	,59	1,64	3,65	3,61			
	Minimum		,33	,44	,41	,46	,28	,71			
	Maximum		6,00	,92	2,50	4,00	4,75	6,50			
	6-13a		None	N	Gültig	204	207	209	201	178	141
					Fehlend	8	5	3	11	34	71
Mittelwert		1,03		1,04	,85	5,26	9,57	9,67			
Median		,35		,44	,50	2,40	5,07	7,33			
Minimum		,00		,00	,02	,01	,02	,00			
Maximum		25,00		15,00	9,33	105,00	210,00	55,00			
BVH/LVH/RVH		N	Gültig	4	4	4	3	4	3		
			Fehlend	0	0	0	1	0	1		
		Mittelwert	1,70	2,15	4,29	6,51	16,26	7,60			
		Median	1,18	,62	1,25	4,75	15,29	1,50			
		Minimum	,09	,18	,34	,27	,18	,04			
		Maximum	4,33	7,17	14,33	14,50	34,29	21,25			
		14-18a	None	N	Gültig	101	99	100	93	86	59
					Fehlend	1	3	2	9	16	43
Mittelwert	,93			,98	1,84	6,65	11,29	9,94			
Median	,31			,42	,55	2,78	7,13	8,00			
Minimum	,00			,00	,00	,00	,53	,89			
Maximum	16,00			17,00	38,75	39,00	75,00	40,00			
BVH/LVH/RVH	N		Gültig	7	8	8	8	7	6		
			Fehlend	1	0	0	0	1	2		
	Mittelwert		,21	1,14	,28	1,22	4,35	7,18			
	Median		,10	,12	,16	1,38	3,25	5,43			
	Minimum		,01	,00	,02	,05	,47	,24			
	Maximum		,87	8,00	,95	2,91	10,00	18,00			

**Tabelle 28** R/S Ratio nach Alter und Herzhypertrophie

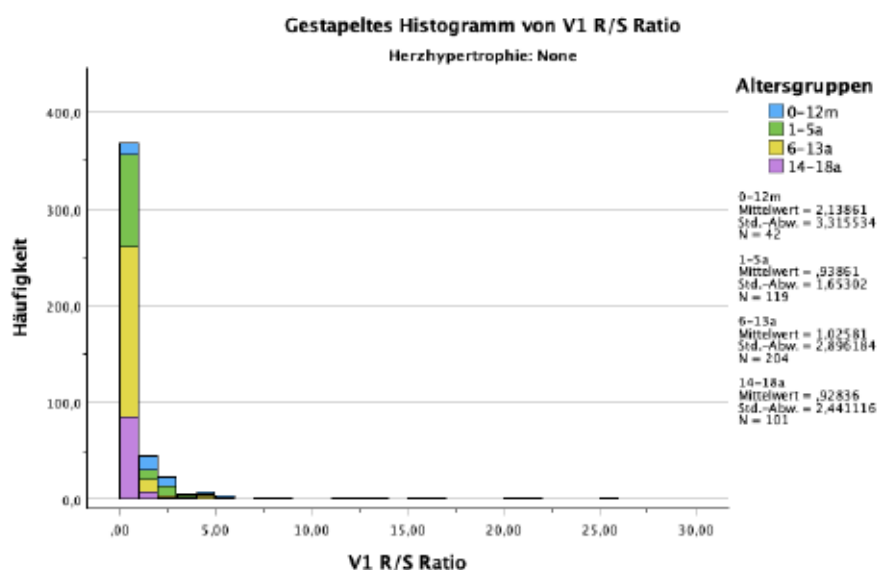
Die dargestellte Tabelle 28 veranschaulicht die R/S Ratio-Werte aller Brustwandableitungen (V<sub>1</sub> bis V<sub>6</sub>), eingeteilt nach vier Altersgruppen bei Patient\*innen mit mindestens einem Overlap. Die Werte sind zudem nach dem Vorhandensein oder Fehlen von Herzhypertrophie in „None“ (keine) und „BVH/LVH/RVH“ (biventrikuläre Herzhypertrophie, linksventrikuläre Herzhypertrophie und rechtsventrikuläre Herzhypertrophie) kategorisiert. Für jede Gruppe werden gültige (Gültig) und fehlende (Fehlend) Messungen angegeben.

In den Gruppen ohne Herzhypertrophie sind die Mittelwerte von V<sub>1</sub> bis V<sub>3</sub> meist niedrig und von V<sub>4</sub> bis V<sub>6</sub> deutlich höher. In der Gruppe mit Herzhypertrophie sind die Werte generell niedriger und es zeigt sich kein großer Unterschied innerhalb von V<sub>1</sub> bis V<sub>6</sub>. Die Minimalwerte in den Gruppen mit Herzhypertrophie sind leicht höher als ohne Herzhypertrophie. Die Maximalwerte sind in den Gruppen ohne Herzhypertrophie deutlich höher.

### 3.6.2 Grafische Darstellung des R/S Ratios nach Alter und Herzhypertrophie

Auf den folgenden Seiten wird das R/S Ratio der verschiedenen Ableitungen in einem gestapelten Histogramm als auch in Boxplots visualisiert. Dabei werden Gruppen von Patient\*innen ohne und mit Herzhypertrophie unterschieden. Weiters sind die Patient\*innen in vier Altersgruppen unterteilt: 0 bis 12 Monate, 1 bis 5 Jahre, 6 bis 13 Jahre und 14 bis 18 Jahre. Die Altersgruppen sind farblich markiert: Blau für 0-12 Monate, Grün für 1-5 Jahre, Gelb für 6-13 Jahre und Lila für 14-18 Jahre. Auf der x-Achse der Histogramme ist der Wert des R/S Ratios dargestellt, während auf der y-Achse die Häufigkeit in der jeweiligen Altersgruppe aufgeführt ist. Die Boxplots sind in zwei Farben dargestellt: Türkis für Patient\*innen ohne Herzhypertrophie und Rot für Patient\*innen mit Herzhypertrophie.

#### R/S Ratio in Ableitung V<sub>1</sub> ohne Herzhypertrophie



**Abbildung 53** Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V<sub>1</sub> ohne Herzhypertrophie

Das gestapelte Histogramm in Abbildung 53 beschreibt das R/S Ratio der Ableitung  $V_1$  bei Kindern ohne Herzhypertrophie. Genaue Messwerte können aus der Tabelle 29 entnommen werden.

a	Altersgruppen	Gesamtzahl	Gültige Anzahl	V1 R/S Ratio					
				Mittelwert	Minimum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75	Maximum
	0-12m	44	42	2,14	,03	,82	1,37	2,25	21,50
	1-5a	122	119	,94	,00	,31	,50	,86	12,83
	6-13a	212	204	1,03	,00	,17	,35	,65	25,00
	14-18a	102	101	,93	,00	,13	,31	,63	16,00

a. Herzhypertrophie = None

**Tabelle 29** R/S Ratio in Ableitung  $V_1$  ohne Herzhypertrophie nach Alter

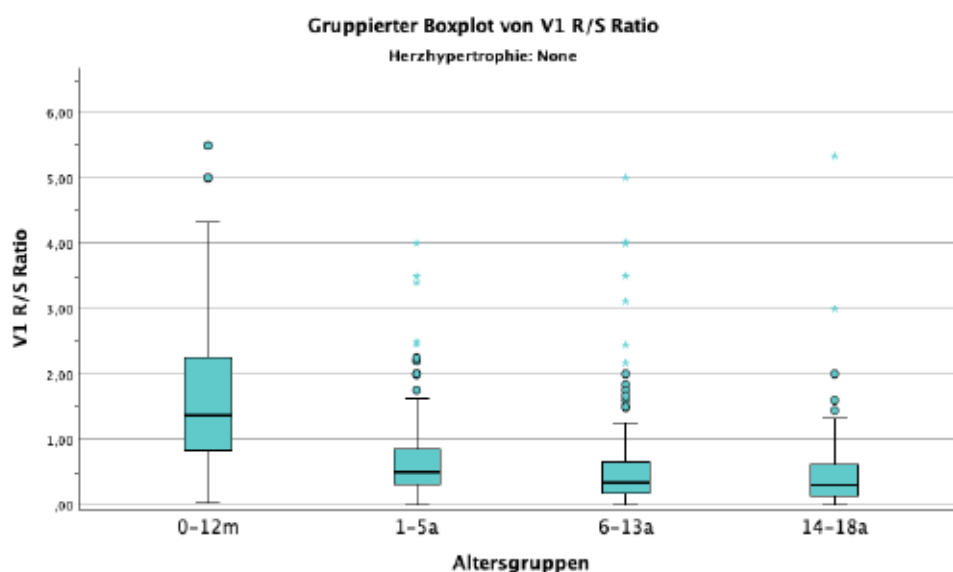
Es ist ersichtlich, dass die meisten R/S Ratio-Werte vor allem zwischen 0,00 und 5,00 liegen. Ca. 375 Messungen befinden sich zwischen 0,00 und 1,00.

Für die Gruppe „0-12 Monate“ beträgt der Mittelwert 2,14 mit einer Standardabweichung von 3,32 bei 42 gültigen Messungen.

In der Gruppe der 1- bis 5-Jährigen liegt der Mittelwert des R/S Ratios bei 0,94 mit einer Standardabweichung von 1,65, basierend auf 119 gültigen Messungen.

Die Gruppe mit Kindern zwischen 6 und 13 Jahren hat einen Mittelwert des R/S Ratios von 1,03 mit einer Standardabweichung von 2,89 bei 204 gültigen Messwerten.

In der ältesten Gruppe der 14- bis 18-Jährigen gibt es 101 gültige Messungen mit einem Mittelwert von 0,93 und einer Standardabweichung von 2,44.



**Abbildung 54** Gruppiertes Boxplot von R/S Ratio in Ableitung  $V_1$  ohne Herzhypertrophie

Bei dem gruppierten Boxplot in Abbildung 54, der das R/S Ratio der  $V_1$  Ableitung bei Kindern ohne Herzhypertrophie zeigt, sind vier Boxplots eingeteilt in vier Altersgruppen ersichtlich.

In der Gruppe der 0-12 Monate alten Kinder gibt es 42 gültige und 2 ungültige Messungen. Die Werte reichen von 0,03 bis 21,50. Der Median ist mit 1,37 deutlich höher als in den anderen Gruppen. Auch der gesamte Interquartilsabstand ist deutlich größer.

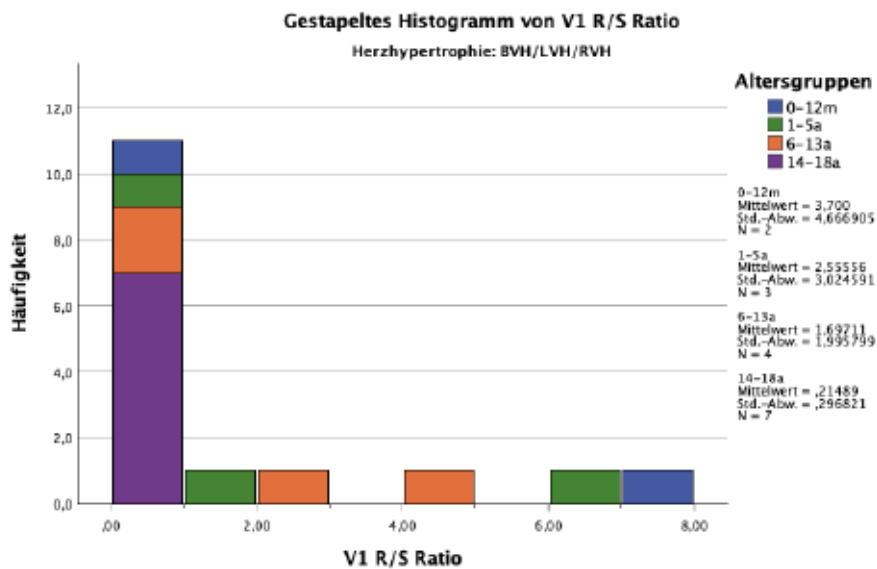
Die Gruppe der Kleinkinder im Alter von 1 bis 5 Jahren hat 119 gültige und 3 ungültige Messungen. Der Mittelwert liegt hier bei 0,94 und der Median bei 0,50. Das R/S Ratio liegt in dieser Gruppe zwischen 0,00 und 12,83.

In der Gruppe der 6- bis 13-Jährigen gibt es 204 valide und 8 ungültige Messungen. Der Mittelwert beträgt 1,03 und der Median 0,35. Die Werte liegen zwischen 0,00 und 25,00. Das erste Quartil liegt bei 0,17 und das zweite bei 0,65, somit befindet sich die Hälfte der Werte in diesem Bereich.

Die älteste Gruppe, also Kinder zwischen dem 14. und 18. Lebensjahr, hat 101 gültige Messwerte. Ein Wert ist ungültig. Der Mittelwert beträgt 0,93. Der Median liegt bei 0,31. Die Werte befinden sich zwischen 0,00 und 16,00. 50% der Werte befinden sich im Bereich zwischen 0,13 und 0,63.

Es gibt in allen vier Gruppen viele Ausreißer. Der Median nimmt mit dem Alter immer mehr ab. Außer in der jüngsten Gruppe sind alle Interquartilsabstände ähnlich groß. In der Gruppe der Säuglinge beginnt das 1. Quartil erst an der Stelle, an der sich das 3. Quartil der zweiten Gruppe befindet. Daher sind mehr als 75% der R/S Ratio-Werte bei den Säuglingen höher als mindestens 75% der Werte aller anderen Gruppen.

## R/S Ratio in Ableitung V<sub>1</sub> mit Herzhypertrophie



**Abbildung 55** Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V<sub>1</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

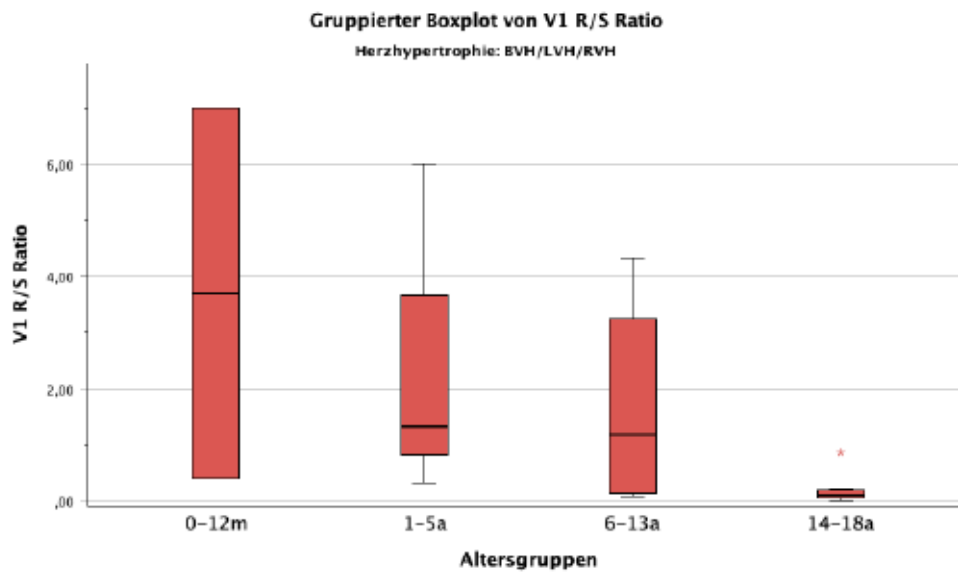
Das Histogramm in Abbildung 55 zeigt die Häufigkeitsverteilung des R/S Ratios in der V<sub>1</sub>-Ableitung bei Kindern mit Herzhypertrophie, aufgeteilt in vier Altersgruppen. Für die Gruppe der 0-12 Monate alten Kinder liegt der Mittelwert der R/S- Ratio bei 3,70 mit einer Standardabweichung von 4,67.

Bei den drei Kindern im Alter von 1 bis 5 Jahren beträgt der Mittelwert 2,56, mit einer Standardabweichung von 3,02.

Die Gruppe der 6- bis 13-Jährigen weist einen Mittelwert von 1,70 und eine Standardabweichung von 2,00 auf.

In der Gruppe der 14- bis 18-Jährigen liegt der Mittelwert bei 0,21 mit einer Standardabweichung von 0,30.

Das Histogramm verdeutlicht, dass die meisten Werte des R/S Ratios zwischen 0,00 und 1,00 liegen, wobei in den beiden jüngeren Gruppen die Standardabweichung und der Mittelwert größer sind.



**Abbildung 56** Gruppiertes Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V<sub>1</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

a	Altersgruppen	Gesamtzahl	Gültige Anzahl	Mittelwert	V1 R/S Ratio				
					Minimum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75	Maximum
	0-12m	4	2	3,70	,40	,40	3,70	7,00	7,00
	1-5a	4	3	2,56	,33	,33	1,33	6,00	6,00
	6-13a	4	4	1,70	,09	,15	1,18	3,24	4,33
	14-18a	8	7	,21	,01	,04	,10	,23	,87

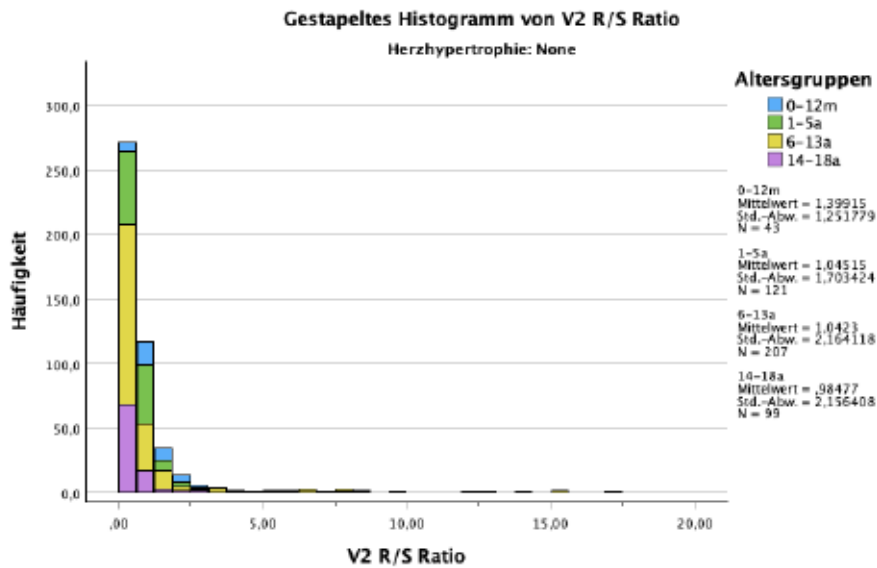
a. Herzhypertrophie = BVH/LVH/RVH

**Tabelle 30** R/S Ratio in Ableitung V<sub>1</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

Der gruppierte Boxplot in Abbildung 56 des V<sub>1</sub> R/S Ratios stellt die Werteverteilung bei Kindern im Alter von 0 bis 18 Jahren dar, unterteilt in vier Altersgruppen. Alle Kinder in der Untersuchung wurden mit Herzhypertrophie diagnostiziert. Die genauen Messwerte sind in Tabelle 30 zu finden.

Der Boxplot für die jüngste Gruppe (0-12 Monate) zeigt einen Bereich von 0,40 bis 7,00, mit einem Median von 3,70. Bei den Kleinkindern zwischen 1 und 5 Jahren variieren die Werte zwischen 0,33 und 6,00, mit einem Median bei 1,33. In der Gruppe der 6- bis 13-Jährigen reichen die Werte von 0,09 bis 4,33. Der Median liegt bei 1,18. Die älteste Gruppe zeigt Werte von 0,01 bis 0,87 mit einem Median von 0,10. Der Interquartilsabstand ist in dieser Gruppe am kleinsten und liegt bei 0,04 bis 0,23. Es gibt einen Ausreißer, der bei 0,87 liegt und daher das Maximum bildet. Es wird deutlich, dass die älteste Gruppe die geringste Variabilität der Werte aufweist, während die Werte in den drei anderen Gruppen deutlich höher und breiter gestreut sind.

## R/S Ratio in Ableitung V<sub>2</sub> ohne Herzhypertrophie



**Abbildung 57** Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V<sub>2</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

Das folgende gestapelte Histogramm in Abbildung 57 zeigt die Häufigkeiten der V<sub>2</sub> R/S Ratio-Werte bei Kindern ohne Herzhypertrophie, klassifiziert in vier Altersgruppen.

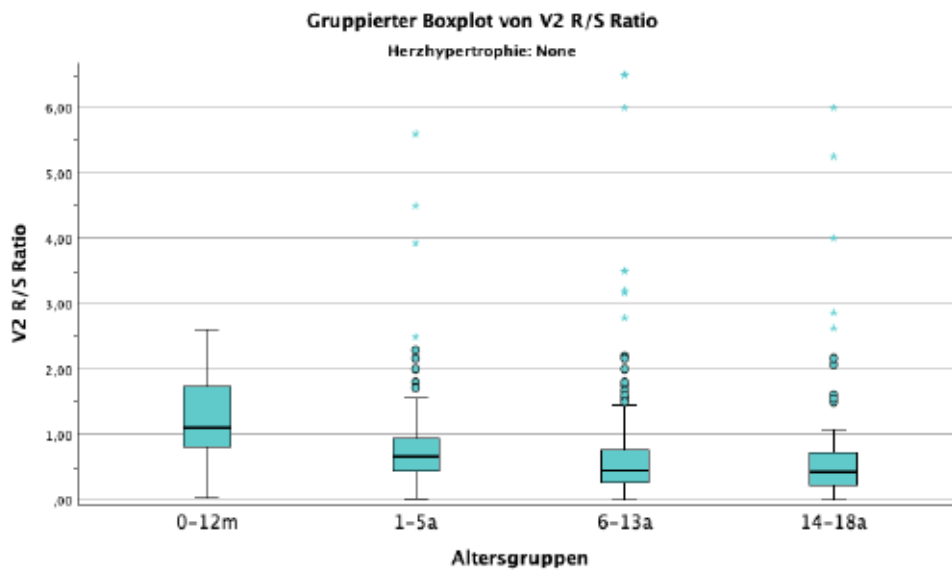
Für die Gruppe von 0-12 Monaten mit 43 Patient\*innen beträgt der Mittelwert 1,40 mit einer Standardabweichung von 1,25.

121 Kinder im Alter von 1 bis 5 Jahren weisen ein durchschnittliches R/S Ratio von 1,05 mit einer Standardabweichung von 1,70.

In der Gruppe der 6- bis 13-Jährigen beträgt der Mittelwert 1,04 mit einer Standardabweichung von 2,16. Diese Gruppe umfasst 207 Kinder.

In der Alterskategorie der 14- bis 18-Jährigen haben 99 Jugendliche ein durchschnittliches R/S Ratio von 0,98 mit einer Standardabweichung von 2,16.

Es zeigt sich, dass die Mittelwerte des R/S Ratios in der Ableitung V<sub>2</sub> bei den jüngsten und den ältesten Patient\*innen am niedrigsten sind, wobei die Variabilität der Werte mit dem Alter zunimmt. Die Mehrheit der Werte liegt insgesamt zwischen 0,00 und 2,50.



**Abbildung 58** Gruppiertes Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V<sub>2</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

Altersgruppen	Gesamtzahl	Gültige Anzahl	Mittelwert	V2 R/S Ratio				
				Minimum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75	Maximum
0-12m	44	43	1,40	,03	,79	1,11	1,81	8,33
1-5a	122	121	1,05	,01	,44	,66	,94	13,80
6-13a	212	207	1,04	,00	,27	,44	,77	15,00
14-18a	102	99	,98	,00	,23	,42	,73	17,00

a. Herzhypertrophie = None

**Tabelle 31** R/S Ratio in Ableitung V<sub>2</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

Das gruppierte Boxplot in Abbildung 58 präsentiert das R/S Ratio der V<sub>2</sub>-Ableitung, aufgeteilt in vier Altersgruppen bei Kindern ohne Herzhypertrophie. In der Tabelle 31 sind die genauen Messwerte aufgelistet.

In der Kategorie der 0- bis 12-Monate alten Kinder reichen die Werte von 0,03 bis 8,33 mit einem Median von 1,11 und einem Interquartilsabstand zwischen 0,79 und 1,81. In dieser Gruppe gibt es keine Ausreißer.

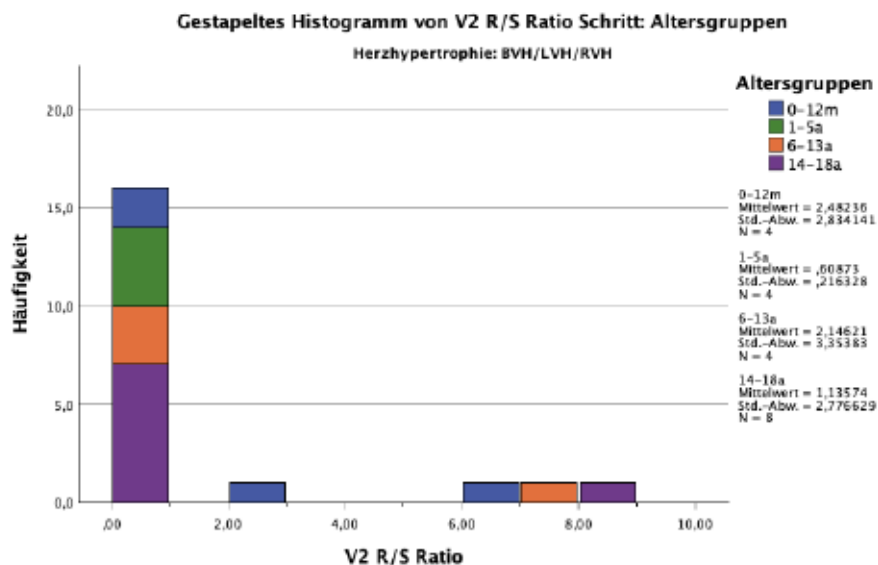
Die 1- bis 5-Jährigen weisen Werte von 0,01 bis 13,80 auf, mit einem Median von 0,66 und einem ausgeprägten Aufkommen an Ausreißern. Das erste Quartil liegt bei 0,66 und das dritte bei 0,94, was bedeutet, dass sich 50% der Werte in diesem Bereich befinden.

Bei Kindern im Alter von 6 bis 13 Jahren variiert das R/S Ratio zwischen 0,00 und 15,00 mit einem Median bei 0,44. Weiters sind viele Ausreißer vorhanden.

In der Gruppe der 14- bis 18-Jährigen bewegen sich die Werte zwischen 0,00 und 17,00 mit einem Median von 0,42. Ab einem Wert von ca. 1,10 sind zahlreiche Ausreißer feststellbar. Trotz gleicher Minimalwerte in allen vier Gruppen zeigt sich,

dass der Interquartilsabstand in der jüngsten Gruppe größer ist und der Median mit 1,11 im Vergleich zu den älteren Kindern höher liegt, was auf ein tendenziell höheres R/S Ratio bei Säuglingen hindeutet.

## R/S Ratio in Ableitung V<sub>2</sub> mit Herzhypertrophie



**Abbildung 59** Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V<sub>2</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

Das gestapelte Histogramm in Abbildung 59 stellt die Anzahl der unterschiedlichen R/S Ratio-Werte in der Ableitung V<sub>2</sub> bei Kindern und Jugendlichen mit Herzhypertrophie dar.

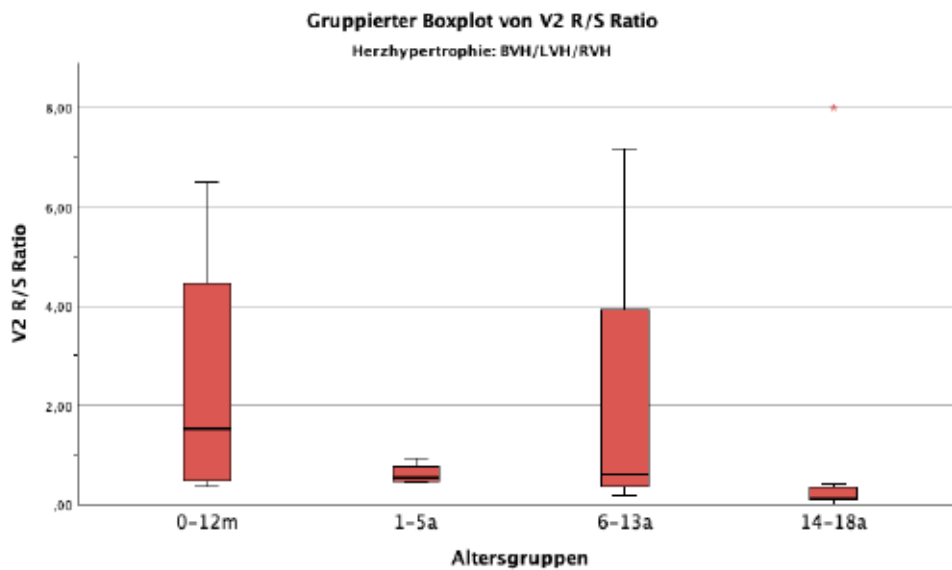
Die Gruppe der Säuglinge, bestehend aus vier Patient\*innen, weist einen Mittelwert von 2,48 mit einer Standardabweichung von 2,83 auf.

In der Gruppe der 1- bis 5-Jährigen haben die vier Patient\*innen einen R/S Ratio-Durchschnittswert von 0,61 bei einer Standardabweichung von 0,22.

Die vier Kinder zwischen 6 und 13 Jahren weisen ein durchschnittliches R/S Ratio von 2,15 mit einer Standardabweichung von 3,35 auf.

Bei den acht Jugendlichen im Alter von 14 bis 18 Jahren liegt das durchschnittliche R/S Ratio bei 1,14 mit einer Standardabweichung von 2,78.

Die meisten Werte befinden sich im Bereich zwischen 0,00 und 1,00. Die größte Streuung der Werte ist in der Gruppe der 6- bis 13-Jährigen zu finden, gefolgt von der Gruppe der Jugendlichen. Die geringste Variabilität des R/S Ratios ist in der Gruppe der Kleinkinder zu beobachten.



**Abbildung 60** Gruppiertes Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V<sub>2</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

a	Altersgruppen	Gesamtzahl	Gültige Anzahl	Mittelwert	V2 R/S Ratio				
					Minimum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75	Maximum
	0-12m	4	4	2,48	,36	,49	1,53	4,47	6,50
	1-5a	4	4	,61	,44	,46	,54	,76	,92
	6-13a	4	4	2,15	,18	,37	,62	3,92	7,17
	14-18a	8	8	1,14	,00	,08	,12	,35	8,00

a. Herzhypertrophie = BVH/LVH/RVH

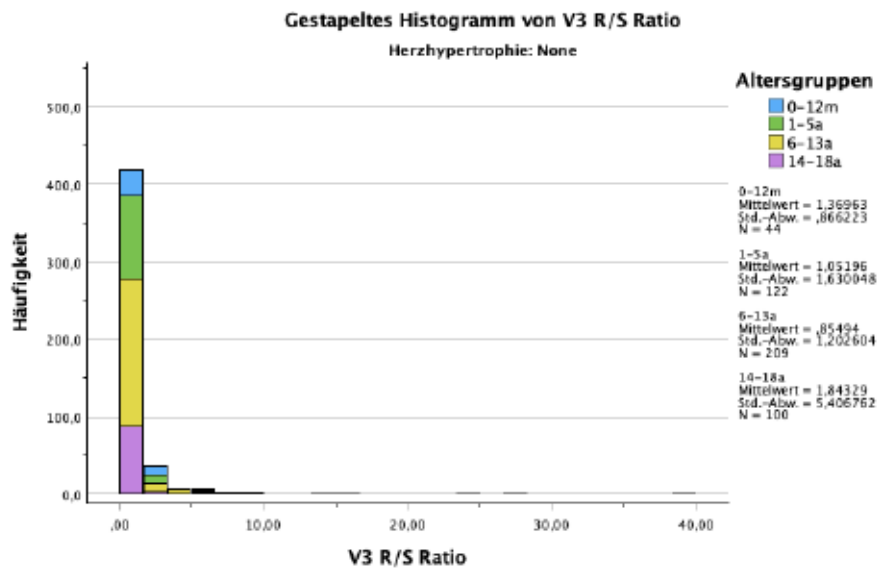
**Tabelle 32** R/S Ratio in Ableitung V<sub>2</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

Das gruppierte Boxplot in Abbildung 60 veranschaulicht die Verteilung des R/S Ratios der V<sub>2</sub>-Ableitung bei Kindern und Jugendlichen mit Herzhypertrophie. Die Tabelle 32 enthält die genauen Messwerte.

Die jüngste Gruppe weist Werte zwischen 0,36 und 6,50 auf, mit einem Median von 1,53. Die Gruppe von Kindern im Alter von 1 bis 5 Jahren enthält Werte zwischen 0,44 und 0,92, mit einem Median von 0,54. Die Kategorie der 6- bis 13-Jährigen weist ein R/S-Verhältnis zwischen 0,18 und 7,17, mit einem Median von 0,62 auf. Die älteste Gruppe zeigt eine Variabilität der Werte zwischen 0,00 und 8,00. Der Median liegt bei 0,12. Es gibt einen Ausreißer bei 8,00.

Der Median ist bei den Säuglingen am höchsten und bei den ältesten Kindern am niedrigsten. Die jüngste Gruppe und die Schulkinder zeigen einen breiten Boxplot, während die Spannweite bei den Kleinkindern und Jugendlichen sehr gering ist.

## R/S Ratio in Ableitung V<sub>3</sub> ohne Herzhypertrophie



**Abbildung 61** Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V<sub>3</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

Das Histogramm in Abbildung 61 beschreibt die Häufigkeit des R/S Verhältnisses in der Ableitung V<sub>3</sub> bei Kindern ohne Herzhypertrophie, unterteilt in vier verschiedene Altersgruppen.

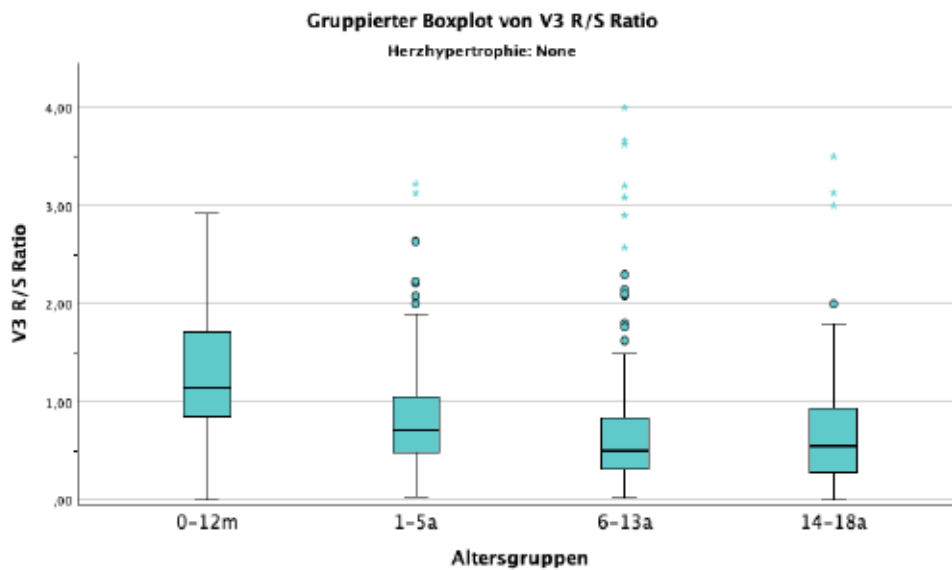
In der Gruppe der jüngsten Kinder beträgt der Mittelwert des R/S Ratios 1,37 mit einer Standardabweichung von 0,87, basierend auf 44 Patient\*innen.

Die 122 Kinder im Alter von 1 bis 5 Jahren, haben ein durchschnittliches R/S Ratio von 1,05 mit einer Standardabweichung von 1,63.

Die 209 Schulkinder im Alter von 6 bis 13 Jahren weisen einen Mittelwert des R/S Ratios von 0,85 mit einer Standardabweichung von 1,20 auf.

Die 100 Jugendlichen im Alter von 14 bis 18 Jahren zeigen ein durchschnittliches R/S Ratio von 1,84 mit einer hohen Standardabweichung von 5,41.

Die meisten Werte befinden sich im Bereich zwischen 0,00 und ca. 2,00. Die hohe Standardabweichung in der ältesten Gruppe weist auf mehrere Ausreißer hin, die bis zu einem Wert von 40 auf der x-Achse reichen.



**Abbildung 62** Gruppiertes Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V<sub>3</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

a	Altersgruppen	Gesamtzahl	Gültige Anzahl	Mittelwert	V3 R/S Ratio				
					Minimum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75	Maximum
	0-12m	44	44	1,37	,00	,85	1,14	1,71	5,20
	1-5a	122	122	1,05	,03	,48	,71	1,05	16,25
	6-13a	212	209	,85	,02	,31	,50	,83	9,33
	14-18a	102	100	1,84	,00	,28	,55	,93	38,75

a. Herzhypertrophie = None

**Tabelle 33** R/S Ratio in Ableitung V<sub>3</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

Das gruppierte Boxplot in Abbildung 62 zeigt das R/S Ratio in der Ableitung V<sub>3</sub>, unterteilt nach vier Altersgruppen. Um die Boxplots übersichtlich zu halten, reicht die y-Achse bis 4,00, obwohl mehrere Ausreißer diesen Wert übersteigen. Die genauen Messwerte sind in Tabelle 33 aufgelistet.

In der Gruppe der 0- bis 12-Monate alten Kinder variieren die Werte zwischen 0,00 und 5,20, mit einem Median von 1,14.

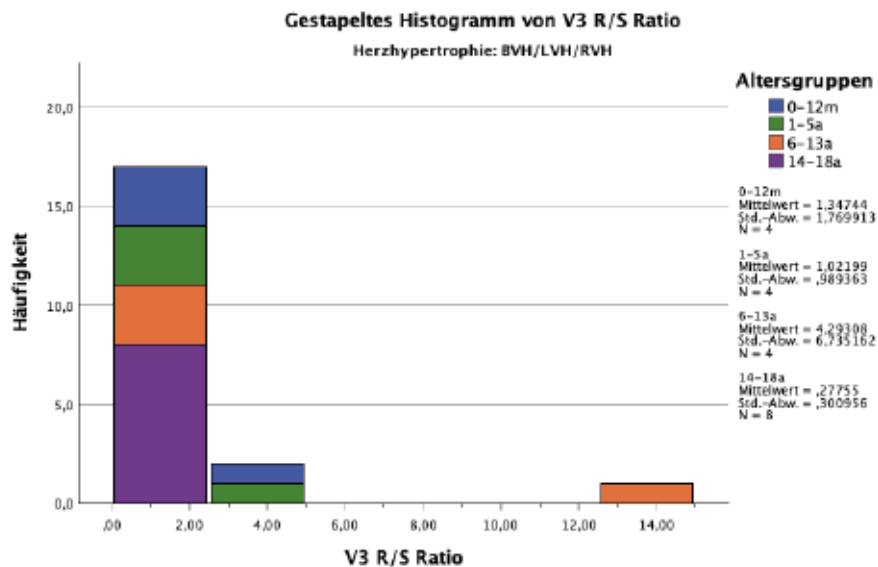
In der Gruppe der 1- bis 5-Jährigen liegen die Werte zwischen 0,03 und 16,25, mit einem Median von 0,71 und mehreren Ausreißern ab etwa 1,90.

Die Altersgruppe der 6- bis 13-Jährigen enthält Werte zwischen 0,02 und 9,33. Der Median liegt bei 0,50. In dieser Gruppe sind auch viele Ausreißer ab ca. 1,50 enthalten.

In der letzten Altersgruppe erstrecken sich die Werte von 0,00 bis 38,75. Der Median liegt bei 0,55. Ab ca. 2,00 sind mehrere Ausreißer vorhanden.

Der Median ist in der Gruppe der Säuglinge am höchsten, fällt bei den 6- bis 13-Jährigen bis auf 0,50 ab und steigt bei den 14- bis 18-Jährigen wieder leicht an.

## R/S Ratio in Ableitung V<sub>3</sub> mit Herzhypertrophie



**Abbildung 63** Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V<sub>3</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

Das folgende Histogramm in Abbildung 63 gibt die Anzahl der R/S Ratio-Werte in V<sub>3</sub> bei Kindern mit Herzhypertrophie wieder, unterteilt in vier Altersgruppen.

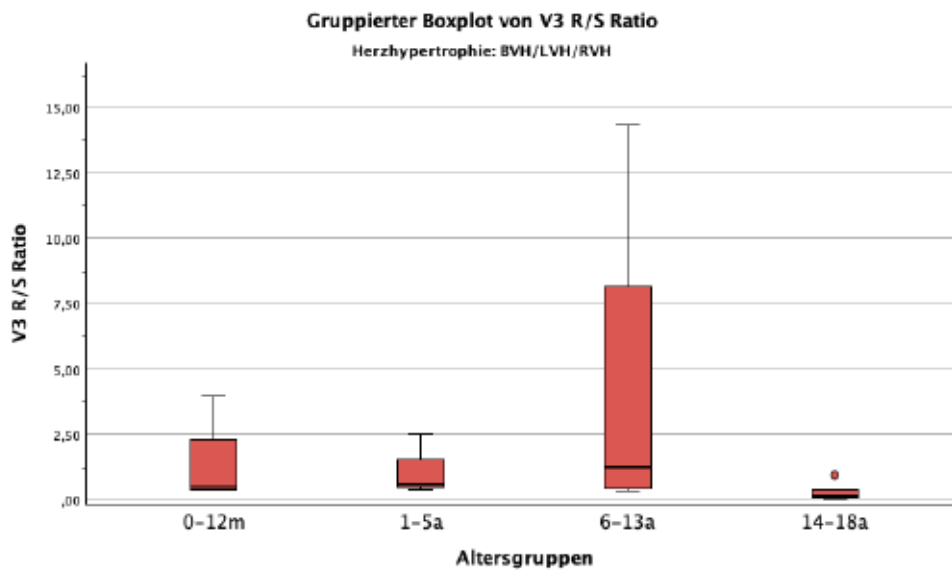
Die Gruppe der Säuglinge mit vier Kindern hat einen Mittelwert von 1,35 mit einer Standardabweichung von 1,77.

Bei den vier Kindern im Alter von 1 bis 5 Jahren liegt der Durchschnittswert des R/S Ratios bei 1,02 mit einer Standardabweichung von 0,99.

Die Gruppe der 6- bis 13-Jährigen umfasst vier Patient\*innen und zeigt einen R/S Durchschnittswert von 4,29 mit einer Standardabweichung von 6,74.

In der ältesten Gruppe, den 14- bis 18-Jährigen, mit acht Patient\*innen, liegt der Mittelwert bei 0,28, mit einer Standardabweichung von 0,30.

Obwohl die Werte bei den Schulkindern höher liegen und eine größere Variabilität aufzeigen, liegen die meisten Werte in den übrigen Gruppen zwischen 0,00 und 5,00.



**Abbildung 64** Gruppiertes Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V<sub>3</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

a	Altersgruppen	Gesamtzahl	Gültige Anzahl	V3 R/S Ratio					
				Mittelwert	Minimum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75	Maximum
	0-12m	4	4	1,35	,40	,41	,49	2,28	4,00
	1-5a	4	4	1,02	,41	,49	,59	1,56	2,50
	6-13a	4	4	4,29	,34	,42	1,25	8,17	14,33
	14-18a	8	8	,28	,02	,09	,16	,37	,95

a. Herzhypertrophie = BVH/LVH/RVH

**Tabelle 34** R/S Ratio in Ableitung V<sub>3</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

Das gruppierte Boxplot in Abbildung 64 von R/S Ratio in der Ableitung V<sub>3</sub> zeigt die Werte bei Kindern mit Herzhypertrophie, unterteilt in vier Altersgruppen. Die Tabelle 34 gibt die genauen Messwerte wieder.

In der ersten Altersgruppe mit Kindern im Alter von 0 bis 12 Monaten, liegt der Median bei 0,49, mit Werten zwischen 0,40 und 4,00. Der Interquartilsbereich erstreckt sich von 0,41 bis 2,28.

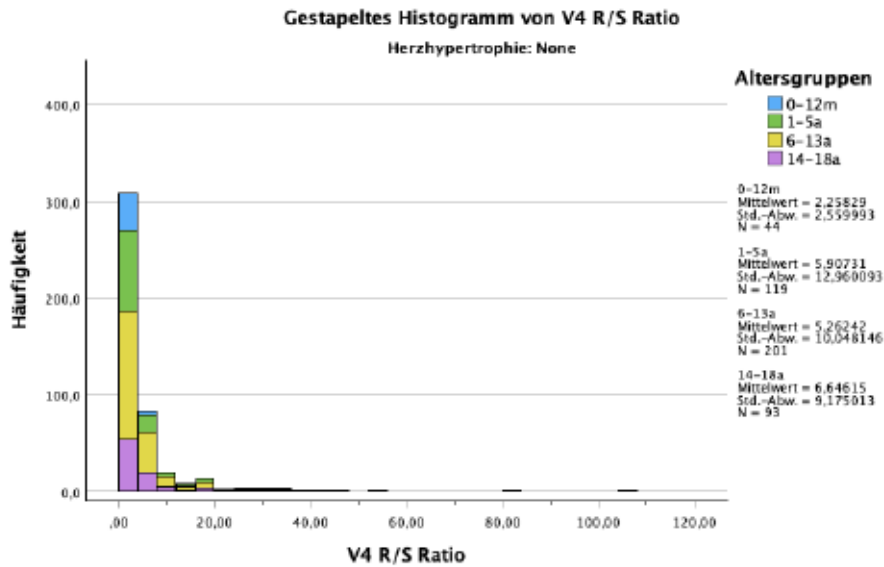
In der Kategorie der 1- bis 5-Jährigen liegen die Werte zwischen 0,41 und 2,50. Der Median befindet sich bei 0,59.

Die 6- bis 13-jährigen Kinder zeigen R/S Ratio-Werte zwischen 0,34 und 14,33, mit einem Median von 1,25.

Bei den 14- bis 18-Jährigen variieren die Werte zwischen 0,02 und 0,95, mit einem Median von 0,16. Diese Werte repräsentieren den schmalsten Interquartilsabstand und zeigen somit die geringste Variabilität an.

Während die Gruppe der Schulkinder den größten Interquartilsabstand aufweist, haben die drei jüngeren Gruppen ähnliche Minimalwerte, während die älteste Gruppe die niedrigsten R/S Ratios zeigt.

## R/S Ratio in Ableitung V<sub>4</sub> ohne Herzhypertrophie



**Abbildung 65** Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V<sub>4</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

Das vorliegende Diagramm in Abbildung 65 zeigt das R/S Ratio der V<sub>4</sub> Ableitung bei Kindern und Jugendlichen ohne Herzhypertrophie.

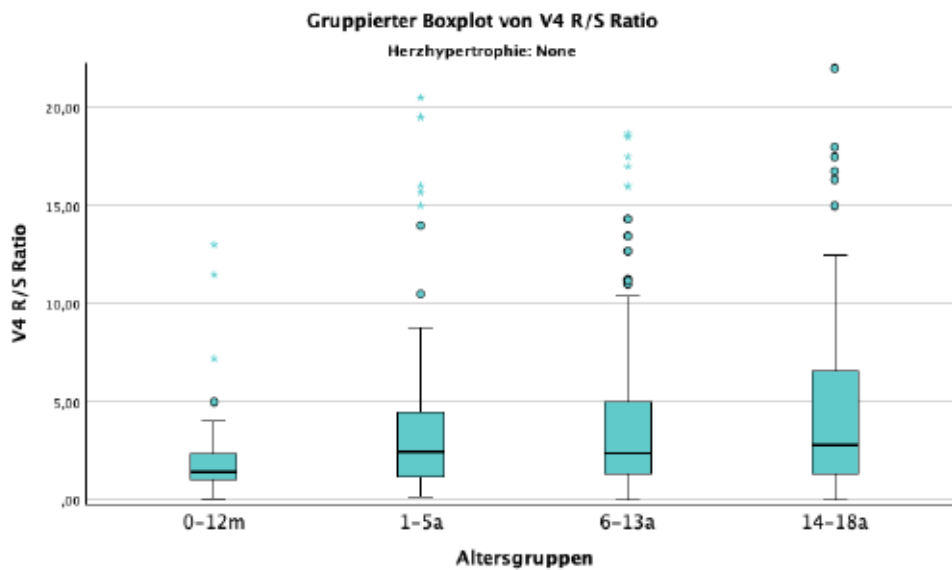
Die Gruppe mit 44 Säuglingen weist einen Mittelwert von 2,26 mit einer Standardabweichung von 2,56 auf.

In der Gruppe der 1- bis 5-Jährigen beträgt der durchschnittliche R/S-Ratio-Wert 5,91 mit einer Standardabweichung von 12,96, basierend auf 119 Patient\*innen.

Bei den 6- bis 13-Jährigen mit 201 Kindern und Jugendlichen liegt der durchschnittliche Wert bei 5,26, mit einer Standardabweichung von 10,05.

Die älteste Gruppe der 14- bis 18-Jährigen zeigt einen Mittelwert von 6,65 mit einer Standardabweichung von 9,18, basierend auf 93 Messungen.

Abgesehen von den jüngsten Kindern, weisen die älteren Gruppen in der V<sub>4</sub>-Ableitung hohe Durchschnittswerte und sehr hohe Standardabweichungen auf, was auf viele Ausreißer und eine hohe Variabilität der Werte hinweist. Da es sich um Kinder ohne Herzhypertrophie handelt, zeigt sich, dass auch bei einem normalen Herzmuskel hohe R/S Ratio-Werte erreicht werden können.



**Abbildung 66** Gruppiertes Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V<sub>4</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

a	Altersgruppen	Gesamtzahl	Gültige Anzahl	Mittelwert	V4 R/S Ratio				
					Minimum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75	Maximum
	0-12m	44	44	2,26	,06	1,02	1,45	2,36	13,00
	1-5a	122	119	5,91	,16	1,14	2,43	4,50	105,00
	6-13a	212	201	5,26	,01	1,35	2,40	5,00	105,00
	14-18a	102	93	6,65	,00	1,37	2,78	6,57	39,00

a. Herzhypertrophie = None

**Tabelle 35** R/S Ratio in Ableitung V<sub>4</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

Die Grafik in Abbildung 66 stellt vier gruppierte Boxplots dar, die das R/S Ratio der Ableitung V<sub>4</sub> in vier Altersgruppen zeigen. Die Tabelle 35 veranschaulicht die genauen Messwerte.

Die Gruppe 0- bis 12-Monate umfasst 44 Messungen mit Werten zwischen 0,06 und 13,00, wobei der Median bei 1,45 liegt und die Hälfte der Werte sich im Bereich von 1,02 bis 2,36 befinden.

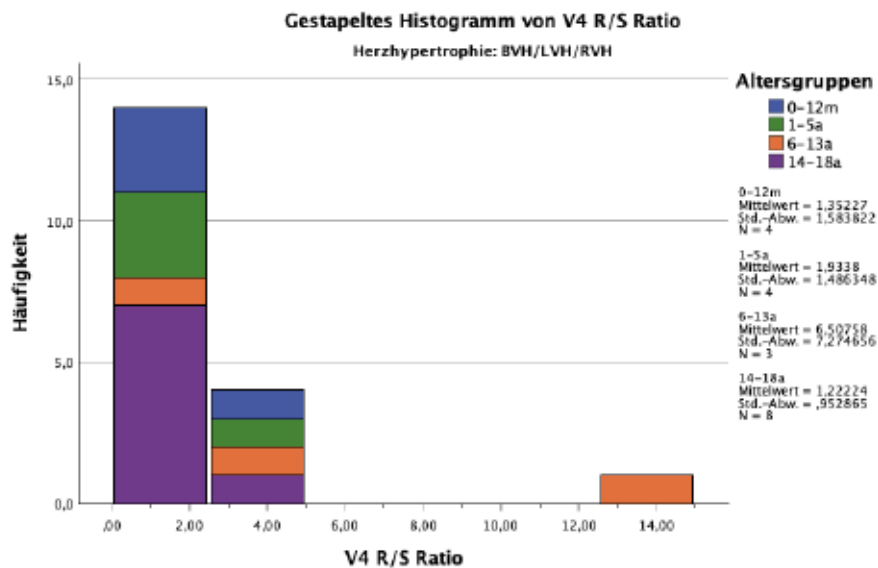
In der Altersgruppe der 1- bis 5-Jährigen, die 119 Kinder umfasst, reichen die Werte von 0,16 bis 105,00, mit einem Median von 2,43.

Die Gruppe der 6- bis 13-Jährigen, bestehend aus 201 Kindern, weist R/S Ratio-Werte zwischen 0,01 und 105,00 auf. Der Median befindet sich bei 2,40.

In der Gruppe der 14- bis 18-Jährigen, mit 93 gültigen Messungen, liegen die Werte zwischen 0,00 und 39,00, mit 50% der Werte zwischen 1,37 und 6,57.

Es zeigt sich, dass die Gruppe der Säuglinge den kleinsten Interquartilsabstand hat und somit die geringste Variabilität. Zudem nimmt mit zunehmendem Alter die Größe der Boxplots stetig zu, was eine größere Streuung und Variabilität der Werte bedeutet, obwohl die Mediane in den drei älteren Gruppen relativ ähnlich sind.

## R/S Ratio in Ableitung V<sub>4</sub> mit Herzhypertrophie



**Abbildung 67** Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V<sub>4</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

Die Grafik in Abbildung 67 zeigt ein gestapeltes Histogramm des V<sub>4</sub> R/S Ratios bei Kindern mit Herzhypertrophie, unterteilt in vier Altersgruppen.

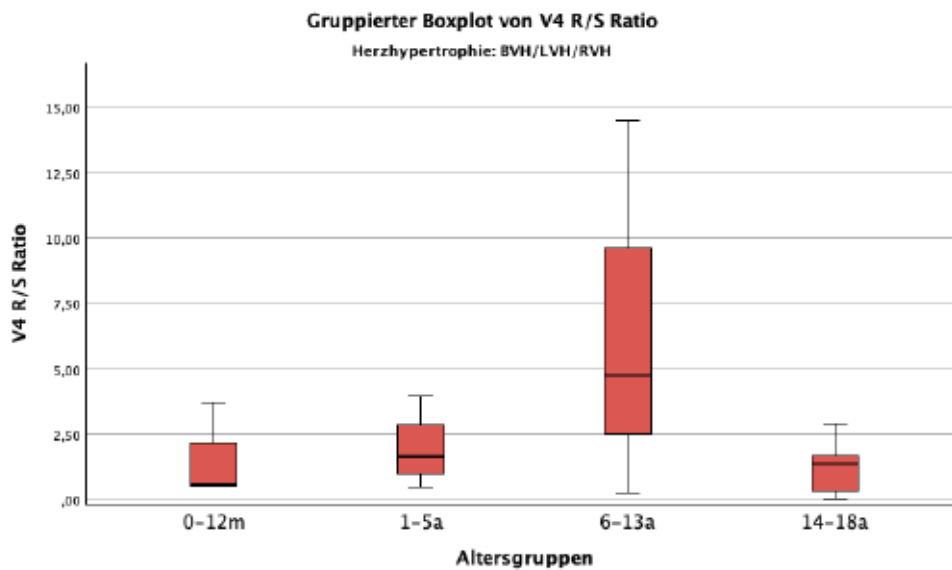
In der Gruppe der 0 bis 12 Monate alten Kinder gibt es vier gültige Messungen mit einem Mittelwert von 1,35 und einer Standardabweichung von 1,58.

Die Kinder im Alter von 1 bis 5 Jahren weisen ein durchschnittliches R/S Ratio von 1,93 mit einer Standardabweichung von 1,49 auf, basierend auf vier gültigen Messungen.

In der Alterskategorie der 6- bis 13-Jährigen gibt es drei gültige Messungen mit einem Durchschnittswert von 6,51, mit einer Standardabweichung von 7,27.

Die Gruppe der acht Jugendlichen im Alter von 14 bis 18 Jahren zeigt ein durchschnittliches R/S Ratio von 1,22 und eine Standardabweichung von 0,95.

Obwohl die meisten Messungen in allen Altersgruppen tendenziell niedrig sind, weist die Gruppe der Schulkinder zwischen 6 und 13 Jahren die größte Variabilität des R/S Ratios auf, einschließlich eines Ausreißers bei 14,50.



**Abbildung 68** Gruppiertes Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V<sub>4</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

a	Altersgruppen	Gesamtzahl	Gültige Anzahl	V4 R/S Ratio					
				Mittelwert	Minimum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75	Maximum
	0-12m	4	4	1,35	,52	,54	,58	2,17	3,73
	1-5a	4	4	1,93	,46	1,00	1,64	2,87	4,00
	6-13a	4	3	6,51	,27	,27	4,75	14,50	14,50
	14-18a	8	8	1,22	,05	,33	1,38	1,70	2,91

a. Herzhypertrophie = BVH/LVH/RVH

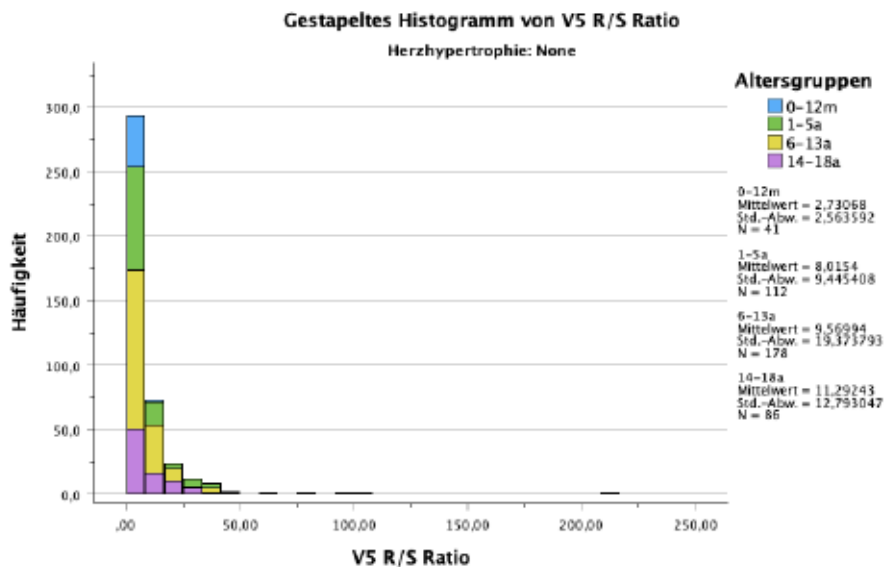
**Tabelle 36** R/S Ratio in Ableitung V<sub>4</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

Das Schaubild in Abbildung 68 zeigt das R/S Ratio der Ableitung V<sub>4</sub>, dargestellt in vier Boxplots, die den vier Altersgruppen entsprechen. Es handelt sich um Kinder und Jugendliche mit Herzhypertrophie. Die Tabelle 36 beinhaltet die genauen Messwerte.

In der jüngsten Gruppe variieren die Werte zwischen 0,52 und 3,73. Der Median liegt bei 0,58. Die Box ist deutlich klein und unterhalb dieser ist kein Whisker sichtbar, was daraufhin deutet, dass die meisten Werte im Interquartilsbereich von 0,54 bis 2,17 liegen. In der Altersgruppe der 1- bis 5-Jährigen reichen die R/S Ratio-Werte von 0,46 bis 4,00, mit einem Median bei 1,64. Bei den 6- bis 13-Jährigen bewegen sich die Werte zwischen 0,27 und 14,50. Der Median liegt deutlich höher als in den anderen Gruppen bei 4,75, auch die Box ist deutlich größer. In der ältesten Gruppe liegen die Werte zwischen 0,05 und 2,91 mit einem Median von 1,38.

Es kann beobachtet werden, dass in drei Gruppen die Werte maximal bis 4,00 reichen, während in der Gruppe der 6- bis 13-Jährigen eine deutlich größere Spannbreite der Werte und ein deutlich höherer Median festzustellen sind.

## R/S Ratio in Ableitung V<sub>5</sub> ohne Herzhypertrophie



**Abbildung 69** Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V<sub>5</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

Die Grafik in Abbildung 69 gibt Aufschluss über das R/S Ratio der Ableitung V<sub>5</sub> bei Kindern ohne Herzhypertrophie, unterteilt in vier Altersgruppen.

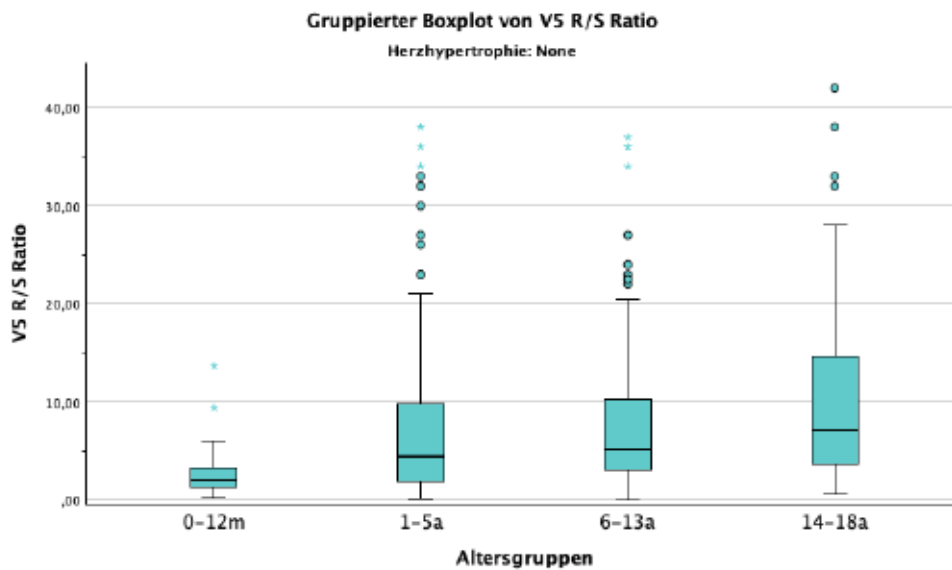
Die jüngste Gruppe umfasst 41 Messungen mit einem Mittelwert von 2,73 und einer Standardabweichung von 2,56.

In der Kategorie der 1- bis 5-Jährigen gibt es 112 gültige Messungen mit einem durchschnittlichen Wert von 8,02 und einer Standardabweichung von 9,45.

Die 178 Messungen in der Gruppe der 6- bis 13-Jährigen zeigen einen durchschnittlichen Wert von 9,57 mit einer Standardabweichung von 19,37.

Die Gruppe der 14- bis 18-Jährigen weist 86 gültige Messungen auf, mit einem Durchschnittswert von 11,29 und einer Standardabweichung von 12,79.

Während die Werte in der jüngsten Gruppe deutlich niedriger sind als in den anderen, zeigt sich auch eine geringere Standardabweichung, die auf eine kleinere Streuung hinweist. Die Werte in den anderen Altersgruppen zeigen dagegen eine breitere Streuung, was sie weniger vorhersehbar macht.



**Abbildung 70** Gruppiertes Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V<sub>5</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

Altersgruppen	Gesamtzahl	Gültige Anzahl	Mittelwert	V5 R/S Ratio				
				Minimum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75	Maximum
0-12m	44	41	2,73	,19	1,33	2,00	3,30	13,67
1-5a	122	112	8,02	,06	1,89	4,36	9,83	45,00
6-13a	212	178	9,57	,02	3,00	5,07	10,25	210,00
14-18a	102	86	11,29	,53	3,67	7,13	14,67	75,00

a. Herzhypertrophie = None

**Tabelle 37** R/S Ratio in Ableitung V<sub>5</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

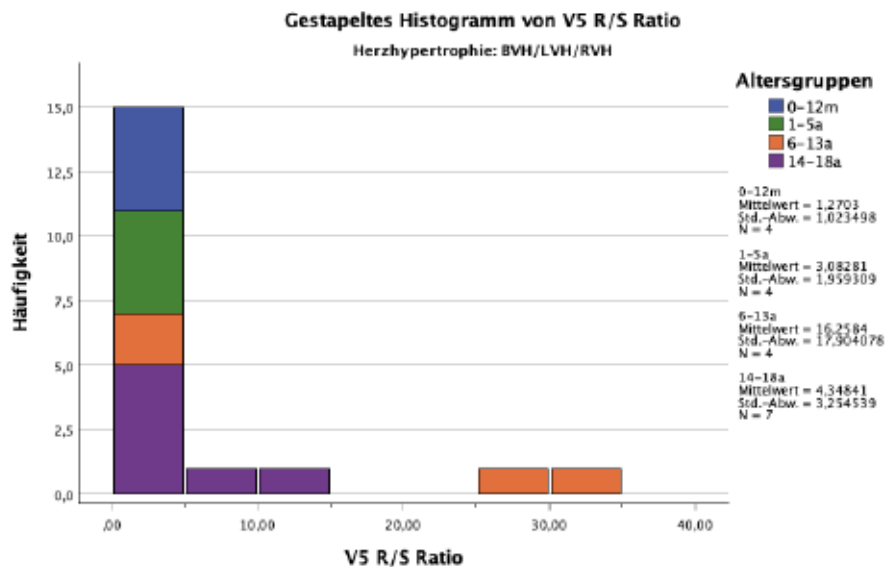
Die Grafik in Abbildung 70 stellt die gruppierten Boxplots der R/S-Ratio in der Ableitung V<sub>5</sub> dar. Die Kinder und Jugendlichen ohne Herzhypertrophie sind in vier verschiedene Altersgruppen unterteilt. Die genauen Messwerte sind in Tabelle 37 dargestellt.

In der Altersgruppe von 0 bis 12 Monaten liegen die R/S Ratio-Werte zwischen 0,19 und 13,67 mit einem Median von 2,00 und einem Interquartilsbereich von 1,33 bis 3,30. Das R/S Ratio weist in der Gruppe der 1- bis 5-Jährigen Werte zwischen 0,06 und 45,00 auf. Der Median befindet sich bei 4,36.

In der Altersgruppe von 6 bis 13 Jahren liegen die Werte zwischen 0,02 und 210,00 und der Median bei 5,07. Bei der ältesten Gruppe, den 14- bis 18-Jährigen, variiert das R/S Ratio zwischen 0,53 und 75,00, wobei der Median bei 7,13 liegt.

Die Gruppe der Säuglinge hat den kleinsten Interquartilsabstand und den niedrigsten Maximalwert aller Gruppen. Die zwei mittleren Altersgruppen zeigen sehr ähnliche Boxplots, mit Medianwerten von 4,36 bzw. 5,07. Trotz vieler Ausreißer zeigen beide Gruppen ähnliche R/S Ratio-Tendenzen in der Ableitung V<sub>5</sub>. Die älteste Gruppe hat die breiteste Box, die bis 14,67 reicht.

## R/S Ratio in Ableitung V<sub>5</sub> mit Herzhypertrophie



**Abbildung 71** Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V<sub>5</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

Die hier gezeigte Abbildung 71 präsentiert das R/S Ratio der Ableitung V<sub>5</sub> bei Kindern und Jugendlichen mit Herzhypertrophie, unterteilt in vier Altersgruppen.

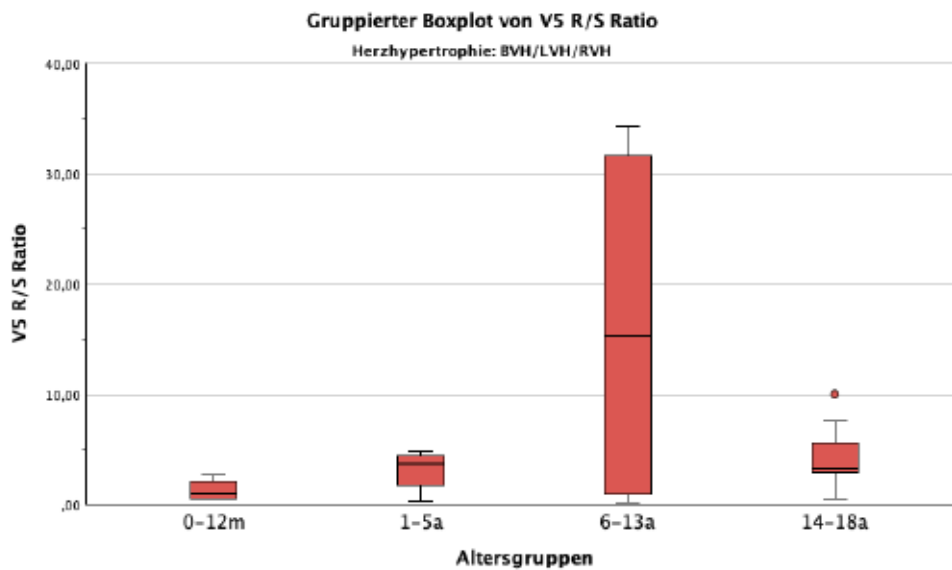
In der jüngsten Gruppe befinden sich vier Säuglinge, die einen Mittelwert von 1,27 und eine Standardabweichung von 1,02 aufweisen.

In der Gruppe der 1- bis 5-Jährigen liegen vier gültige Messungen vor, mit einem Durchschnittswert von 3,08 und einer Standardabweichung von 1,96.

In der Altersgruppe von 6 bis 13 Jahren, die vier Kinder umfasst, liegt der Mittelwert bei 16,26, mit einer Standardabweichung von 17,90.

Der Mittelwert der sieben Messungen in der Altersgruppe von 14 bis 18 Jahren beträgt 4,35 und hat eine Standardabweichung von 3,25.

Obwohl die meisten Werte zwischen 0,00 und 5,00 liegen, weisen die älteren Gruppen höhere Werte auf. Insbesondere zeigt die Gruppe der Schulkinder die größte Variabilität und die höchsten Mittelwerte.



**Abbildung 72** Gruppiertes Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V<sub>5</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

a	Altersgruppen	Gesamtzahl	Gültige Anzahl	Mittelwert	V5 R/S Ratio				
					Minimum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75	Maximum
	0-12m	4	4	1,27	,44	,53	,97	2,01	2,69
	1-5a	4	4	3,08	,28	1,79	3,65	4,38	4,75
	6-13a	4	4	16,26	,18	,87	15,29	31,64	34,29
	14-18a	8	7	4,35	,47	2,50	3,25	7,50	10,00

a. Herzhypertrophie = BVH/LVH/RVH

**Tabelle 38** R/S Ratio in Ableitung V<sub>5</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

Die hier gezeigte Grafik in Abbildung 72 präsentiert die Boxplots des R/S Ratios in der Ableitung V<sub>5</sub> bei Kindern und Jugendlichen mit Herzhypertrophie. Die Messwerte sind ebenfalls in Tabelle 38 dargestellt.

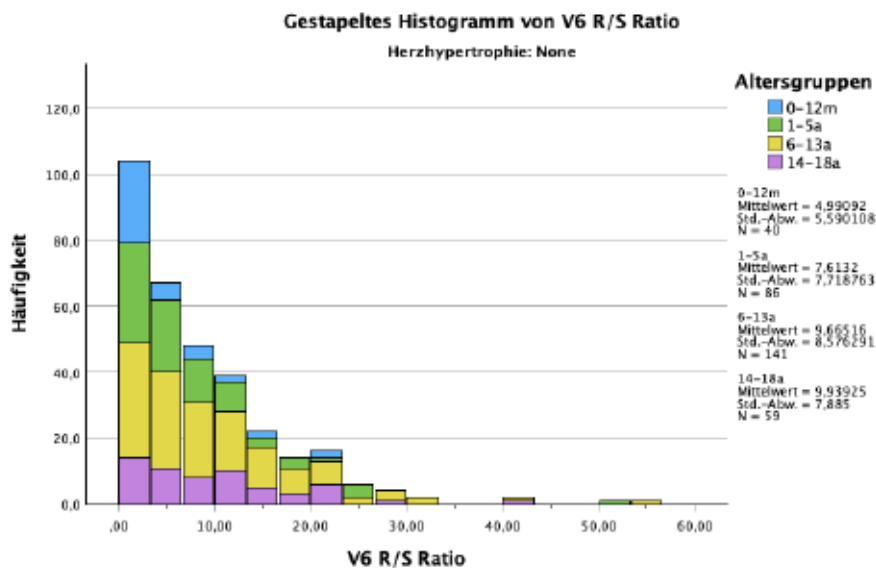
Die Werte für die Altersgruppe von 0 bis 12 Monaten liegen zwischen 0,44 und 2,69. Der Median befindet sich bei 0,97. Dies stellt die schmalste Box aller vier Gruppen dar und deutet auf die geringste Variabilität hin.

Für die Altersgruppe von 1 bis 5 Jahren reichen die Werte von 0,28 bis 4,75, mit einem Median von 3,65.

Bei den vier 6- bis 13-Jährigen liegen die Werte zwischen 0,18 und 34,29, mit einem Median von 15,29, was diese Gruppe als die mit der höchsten Variabilität kennzeichnet. Das dritte Quartil erstreckt sich bis zu 31,64.

Im Altersbereich von 14 bis 18 Jahren finden sich Werte zwischen 0,47 und 10,00, mit einem Median von 3,25. Es gibt in dieser Gruppe einen Ausreißer.

## R/S Ratio in Ableitung V<sub>6</sub> ohne Herzhypertrophie



**Abbildung 73** Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V<sub>6</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

Die dargestellte Grafik in Abbildung 73 veranschaulicht das R/S Ratio der Ableitung V<sub>6</sub>. Es handelt sich um Kinder und Jugendliche ohne Herzhypertrophie, die in vier Altersgruppen unterteilt sind.

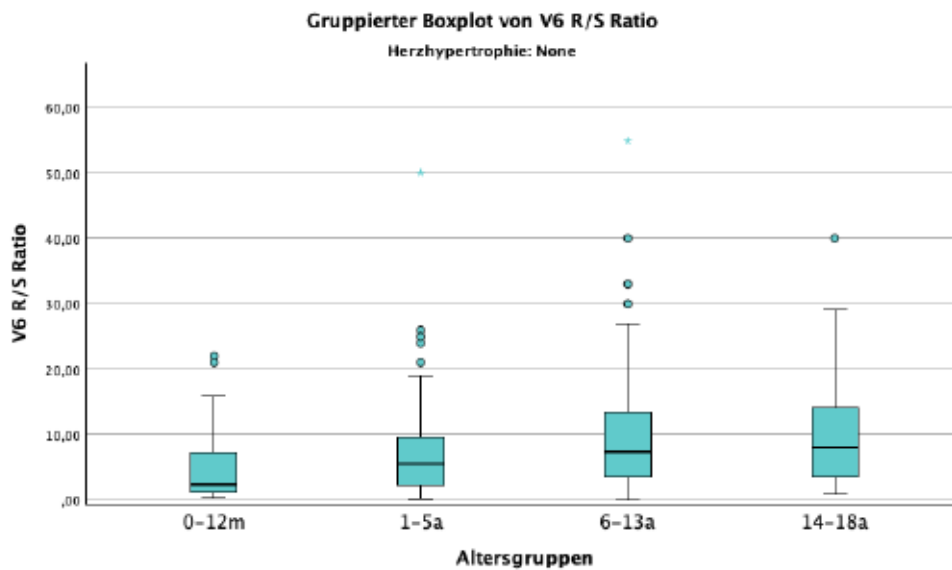
Innerhalb der Alterskategorie 0 bis 12 Monate ergibt sich bei 40 gültigen Messungen ein Durchschnittswert von 4,99 mit einer Standardabweichung von 5,59.

Ein durchschnittlicher Mittelwert von 7,61 charakterisiert die Altersgruppe der 1- bis 5-Jährigen bei 86 gültigen Messwerten und einer Standardabweichung von 7,72.

Für die Gruppe der 6- bis 13-Jährigen wird ein Mittelwert von 9,67 und eine Standardabweichung von 8,58 aus 141 gültigen Messungen angegeben.

Bei den 59 gültigen Messungen der 14- bis 18-Jährigen ergibt sich ein Mittelwert von 9,94. Die Standardabweichung beträgt 7,89.

Zu beobachten ist, dass der Mittelwert des R/S Ratios mit zunehmendem Alter tendenziell steigt, was möglicherweise auf Wachstum und Veränderungen in der Herzkonfiguration zurückzuführen ist. Es gibt in jeder Altersgruppe eine hohe Standardabweichung, die auf eine breite Streuung auch unterhalb der Altersgruppen hindeutet.



**Abbildung 74** Gruppiertes Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V<sub>6</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

a	Altersgruppen	Gesamtzahl	Gültige Anzahl	Mittelwert	V6 R/S Ratio				
					Minimum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75	Maximum
	0-12m	44	40	4,99	,39	1,23	2,38	7,25	22,00
	1-5a	122	86	7,61	,22	2,30	5,50	9,50	50,00
	6-13a	212	141	9,67	,00	3,50	7,33	13,50	55,00
	14-18a	102	59	9,94	,89	3,50	8,00	15,00	40,00

a. Herzhypertrophie = None

**Tabelle 39** R/S Ratio in Ableitung V<sub>6</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

Das gruppierte Boxplot in Abbildung 74 von R/S Ratio in der Ableitung V<sub>6</sub> verdeutlicht die R/S Ratio-Unterschiede zwischen den vier Altersgruppen bei Kindern und Jugendlichen ohne Herzhypertrophie. Die Tabelle 39 gibt die genauen Messwerte wieder.

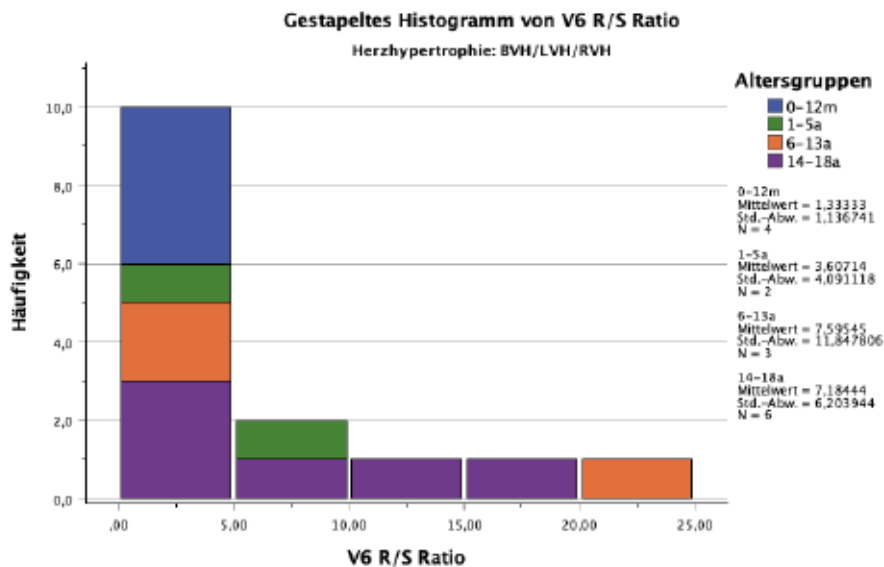
Bei den Säuglingen reichen die Werte von 0,39 bis 22,00. Der Median ist bei 2,38, sodass 50% der Werte darüber und darunter liegen.

Die Minimal- und Maximalwerte der Gruppe im Alter von 1 bis 5 Jahren liegen zwischen 0,22 und 50,00, mit einem Median bei 5,50.

Für die Altersklasse von 6 bis 13 Jahren liegen die Werte zwischen 0,00 und 55,00, mit einem Median bei 7,33. Für die Altersstufe von 14 bis 18 Jahren befinden sich die Werte zwischen 0,89 und 40,00. Der Median liegt bei 8,00.

Alle Altersgruppen enthalten mehrere Ausreißer, die deutlich über den oberen Whisker hinausgehen. Die jüngste Gruppe zeigt mit dem kleinsten Boxplot die geringste Streuung. Zudem zeigt sich, dass der Median mit zunehmendem Alter ansteigt, was auf eine Steigerung des R/S Ratios in V<sub>6</sub> mit dem Alter hinweist.

## R/S Ratio in Ableitung V<sub>6</sub> mit Herzhypertrophie



**Abbildung 75** Gestapeltes Histogramm von R/S Ratio in Ableitung V<sub>6</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

Das gruppierte Histogramm in Abbildung 75 präsentiert das V<sub>6</sub> R/S Ratio bei Kindern und Jugendlichen zwischen 0 und 18 Jahren, eingeteilt in vier Altersgruppen, bei denen eine Herzhypertrophie diagnostiziert wurde.

In der Altersgruppe von 0 bis 12 Monaten liegt der Durchschnittswert bei 1,33 mit einer Standardabweichung von 1,14, basierend auf vier gültigen Messwerten.

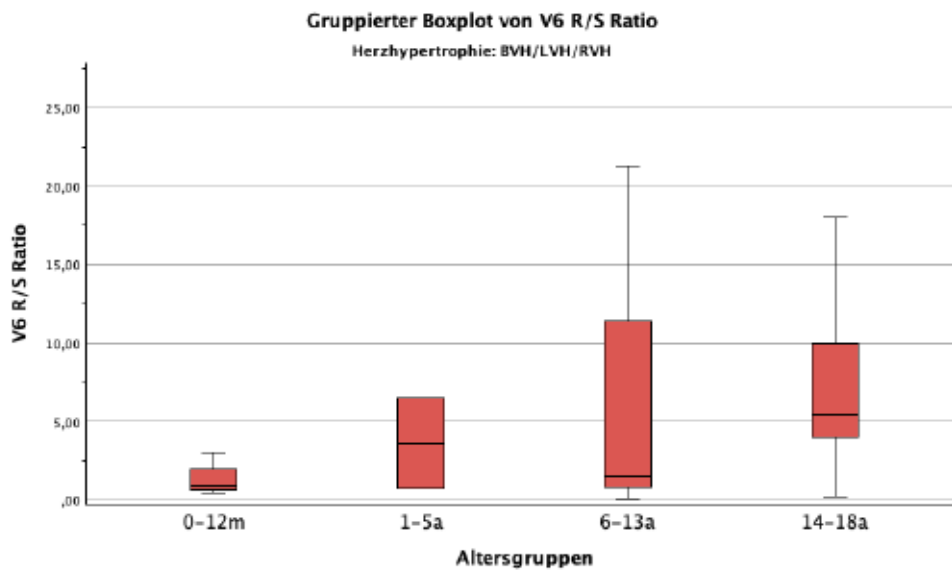
Der Mittelwert in der Altersgruppe von 1 bis 5 Jahren beträgt 3,61. Dieser wurde jedoch aus nur zwei gültigen Messungen ermittelt. Die Standardabweichung beträgt 4,09.

In der Altersgruppe von 6 bis 13 Jahren liegt der Mittelwert bei 7,60. Es gibt drei gültige Messwerte mit einer Standardabweichung von 11,85.

Innerhalb der Alterskategorie 14 bis 18 Jahre ergibt sich ein Durchschnittswert von 7,18 bei sechs gültigen Messwerten und einer Standardabweichung von 6,20.

Die Daten zeigen, dass das R/S Ratio in der Ableitung V<sub>6</sub> bei Patient\*innen mit Herzhypertrophie mit dem Alter zunimmt. Die Gruppe der 6- bis 13-Jährigen und der 14- bis 18-Jährigen hat deutlich höheres R/S Ratio als die zwei jüngeren Gruppen, wobei die Schulkinder den höchsten Mittelwert haben.

Das R/S Ratio der beiden jüngeren Gruppen weist kleinere Standardabweichungen auf als die der älteren Gruppen, was eine genauere Vorhersage der Werte bei den jüngeren Patient\*innen ermöglichen könnte.



**Abbildung 76** Gruppiertes Boxplot von R/S Ratio in Ableitung V<sub>6</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

Altersgruppen	Gesamtzahl	Gültige Anzahl	Mittelwert	V6 R/S Ratio				
				Minimum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75	Maximum
0-12m	4	4	1,33	,44	,67	,94	2,00	3,00
1-5a	4	2	3,61	,71	,71	3,61	6,50	6,50
6-13a	4	3	7,60	,04	,04	1,50	21,25	21,25
14-18a	8	6	7,18	,24	4,00	5,43	10,00	18,00

a. Herzhypertrophie = BVH/LVH/RVH

**Tabelle 40** R/S Ratio in Ableitung V<sub>6</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

Die visuelle Analyse in Abbildung 76 offenbart die Verteilung des R/S Ratios in vier nach Alter gruppierten Boxplots bei Kindern und Jugendlichen mit Herzhypertrophie in der Ableitung V<sub>6</sub>. Genaue Messwerte können der Tabelle 40 entnommen werden. Für die Altersgruppe 0 bis 12 Monate sind Werte zwischen 0,44 und 3,00 angegeben. Der Median liegt deutlich im unteren Bereich bei 0,94. Der Interquartilsabstand liegt zwischen 0,67 und 2,00. Die Altersklasse 1 bis 5 Jahre enthält Werte im Bereich von 0,71 bis 6,50 mit einem Median bei 3,61. Bei den 6- bis 13-Jährigen befinden sich die Werte zwischen 0,04 und 21,25. Der Median liegt bei 1,50. Diese Gruppe weist den größten Interquartilsabstand und die längsten Whisker auf. Die Altersgruppe 14 bis 18 Jahre enthält Werte zwischen 0,24 und 18,00. Der Median liegt bei 5,43.

Die Boxplots zeigen, dass die jüngste Gruppe die geringste Streuung und das kleinste R/S Ratio aufweist, gefolgt von der Gruppe der 1- bis 5-Jährigen. Interessanterweise befinden sich in der Gruppe der 6- bis 13-Jährigen die höchsten Werte mit der größten Streuung.

### 3.7 Das Katz-Wachtel-Phänomen

Von 500 Studienteilnehmer\*innen mit mindestens einem Overlap in den Brustwandableitungen haben nur fünf Patienten das Kriterium des Katz-Wachtel-Phänomens in den Ableitungen  $V_2$ ,  $V_3$  und  $V_4$ , also ein biphasischer QRS-Komplex  $\geq 50$  mm (= 5,00 cm) Gesamthöhe, erfüllt. Alle Patienten sind männlich und weisen keine Herzhypertrophie auf.

In der Ableitung  $V_2$  hat nur ein Patient ein QRS-Komplex mit der Gesamthöhe von 7,50 cm. Es handelt sich dabei um einen 11 Jahre alten Jungen mit einer hochgradigen valvulären Pulmonalstenose. Im EKG zeigt sich ein Sinusrhythmus, 56 bpm, eine P-Welle von 90 ms, ein PQ-Intervall von 130 ms, ein QRS-Komplex von 90 ms, ein QT-Intervall von 390 ms und eine QTc (nach Wernicke) von 379,91 ms. Es gibt zwei Überlappungen in den Ableitungen  $V_3/V_4$  und  $V_4/V_5$ . In der  $V_2$ -Ableitung zeigte die R-Zacke eine Höhe von 6,50 cm, die S-Zacke von 1,00 cm. Das R/S Ratio in  $V_2$  beträgt 0,15.

In der Ableitung  $V_3$  gibt es insgesamt vier männliche Patienten mit einer Gesamthöhe des QRS-Komplexes  $\geq 50$  mm.

Die höchste Gesamthöhe mit 13,30 cm zeigt sich bei einem 1-jährigen Knaben mit einem hämodynamisch wirksamen Ventrikelseptumdefekt (VSD) und Vorhofseptumdefekt Typ II (ASD II). Aus dem EKG wurden folgende Daten erhoben: Sinusrhythmus, Herzfrequenz 143 bpm, P-Welle 60 ms, PQ-Intervall 90 ms, QRS-Dauer 140 ms, QT 290 ms, QTc (nach Wernicke) 403,39 ms. Es gibt drei Overlaps, jeweils in  $V_2/V_3$ ,  $V_3/V_4$  und  $V_4/V_5$ . Die R-Zacke in  $V_3$  hat eine Höhe von 1,80 cm und die S-Zacke von 11,50 cm, was zu einem R/S Ratio von 0,16 führt.

Bei dem zweiten 14-jährigen Patienten mit einer Dystrophinopathie vom Typ Duchenne hat der QRS-Komplex eine Gesamthöhe von 5,50 cm. Im EKG zeigt sich eine Herzfrequenz von 92 bpm, P-Welle 80 ms, PQ-Intervall 110 ms, QRS-Dauer 90 ms, QT 310 ms und QTc (nach Wernicke) 364,67 ms. Es gibt wiederum drei Overlaps in  $V_1/V_2$ ,  $V_2/V_3$  und  $V_3/V_4$ . In  $V_3$  beträgt die Höhe der R-Zacke 2,10 cm und die der S-Zacke 3,40 cm, mit einem R/S Ratio von 0,62.

Der dritte Patient mit einer totalen Lungenvenenfehlmündung vom infradiaphragmalen Typ mit Pulmonalvenenobstruktion und großem ASD II befindet

sich im 8. Lebensjahr und zeigt eine QRS-Gesamtsumme von 5,30 cm. Im EKG zeigt sich eine Herzfrequenz von 92 bpm, die P-Welle ist nicht sichtbar, ein QRS-Komplex mit 110 ms, QT mit 400 ms, QTc (nach Wernicke) mit 470,55 ms. Es gibt insgesamt vier Overlaps in V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub>, V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub>, V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> und V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub>. In V<sub>3</sub> ist die R-Zacke 0,25 cm und die S-Zacke 5,05 cm hoch mit einem R/S Ratio von 0,06. Dieser Patient erfüllt auch als einziger die Katz-Wachtel-Kriterien in V<sub>5</sub> mit einer Gesamthöhe des QRS-Komplexes von 5,05 cm.

Der vierte Patient ist 10 Jahre alt und hat einen Double Inlet Left Ventricle mit subaortaler Ausflussskammer, eine L-Transposition der großen Arterien und valvuläre Pulmonalstenose. Der QRS-Komplex ist insgesamt 5,00 cm hoch. Im EKG zeigt sich ein Sinusrhythmus mit 81 Schlägen pro Minute, eine P-Welle mit 70 ms, ein PQ-Intervall mit 150 ms, ein QRS-Komplex mit 160 ms, QT mit 440 ms und eine QTc-Zeit von 493,15 ms (nach Wernicke). Dieser Patient hat insgesamt vier Overlaps in V<sub>2</sub>/V<sub>3</sub>, V<sub>3</sub>/V<sub>4</sub>, V<sub>4</sub>/V<sub>5</sub> und V<sub>5</sub>/V<sub>6</sub>. Die R-Zacke ist in der Ableitung V<sub>3</sub> 2,20 cm und die S-Zacke 2,80 cm hoch, mit einem R/S Ratio von 0,79.

In der Ableitung V<sub>4</sub> gibt es keine Studienteilnehmer\*innen, deren QRS-Komplex  $\geq$  50 mm Gesamthöhe aufweist.

### 3.8 S-Zacken in den Ableitungen V<sub>5</sub> und V<sub>6</sub>

Die folgende Tabelle 41 zeigt die Messwerte der S-Zacken in den Ableitungen V<sub>5</sub> und V<sub>6</sub>. In V<sub>5</sub> beträgt der Durchschnittswert 0,35 cm und in V<sub>6</sub> 0,18 cm. In V<sub>5</sub> variieren die Werte zwischen 0,00 und 2,65 cm, während in V<sub>6</sub> die Werte im Bereich von 0,00 bis 1,80 cm liegen.

	V5 S-Zacke	V6 S-Zacke
Mittelwert	.35	.18
Minimum	.00	.00
Maximum	2.65	1.80

**Tabelle 41** Messwerte der S-Zacken in den Ableitungen V<sub>5</sub> und V<sub>6</sub>

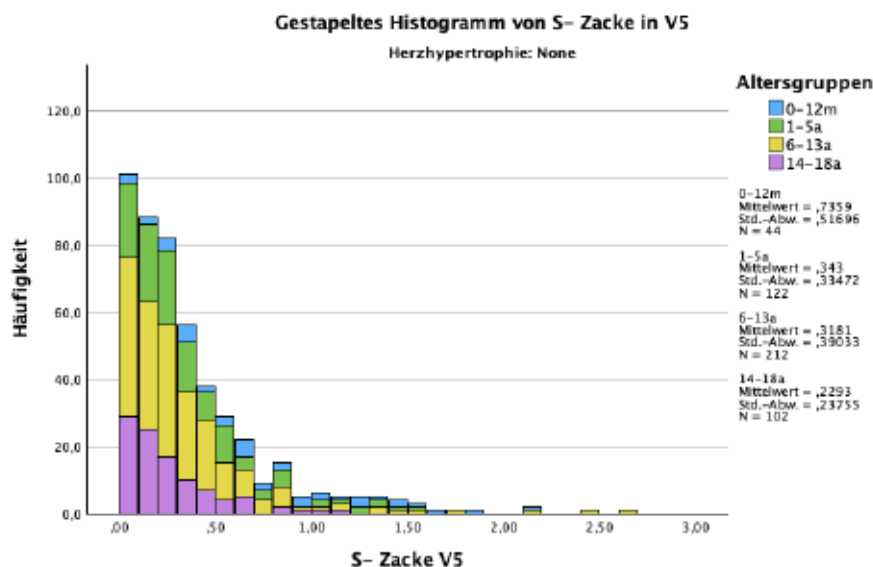
Die Messwerte, unterteilt in vier Altersgruppen und klassifiziert nach dem Herzhypertrophiestatus, befinden sich in der Tabelle 42. Auf die einzelnen Kategorien und Ableitungen wird im folgenden Abschnitt genauer eingegangen.

			V5 S-Zacke	V6 S-Zacke	
Altersgruppen	0-12m	None	Mittelwert	.74	.42
			Minimum	.00	.00
			Maximum	2.10	1.80
		BVH/LVH/RVH	Mittelwert	1.18	.71
			Minimum	.65	.50
			Maximum	1.80	.90
	1-5a	None	Mittelwert	.34	.16
			Minimum	.00	.00
			Maximum	1.50	1.10
		BVH/LVH/RVH	Mittelwert	.61	.22
			Minimum	.15	.00
			Maximum	1.60	.70
6-13a	None	Mittelwert	.32	.16	
		Minimum	.00	.00	
		Maximum	2.65	1.50	
	BVH/LVH/RVH	Mittelwert	.33	.26	
		Minimum	.05	.00	
		Maximum	.85	.55	
14-18a	None	Mittelwert	.23	.10	
		Minimum	.00	.00	
		Maximum	1.15	.65	
	BVH/LVH/RVH	Mittelwert	.41	.28	
		Minimum	.00	.00	
		Maximum	1.50	1.25	

**Tabelle 42** S-Zacken in Ableitungen V<sub>5</sub> und V<sub>6</sub> nach Alter und Herzhypertrophie

### 3.8.1 S-Zacken in Ableitung V<sub>5</sub>

#### Ohne Herzhypertrophie



**Abbildung 77** Gestapeltes Histogramm der S-Zacken in Ableitung V<sub>5</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

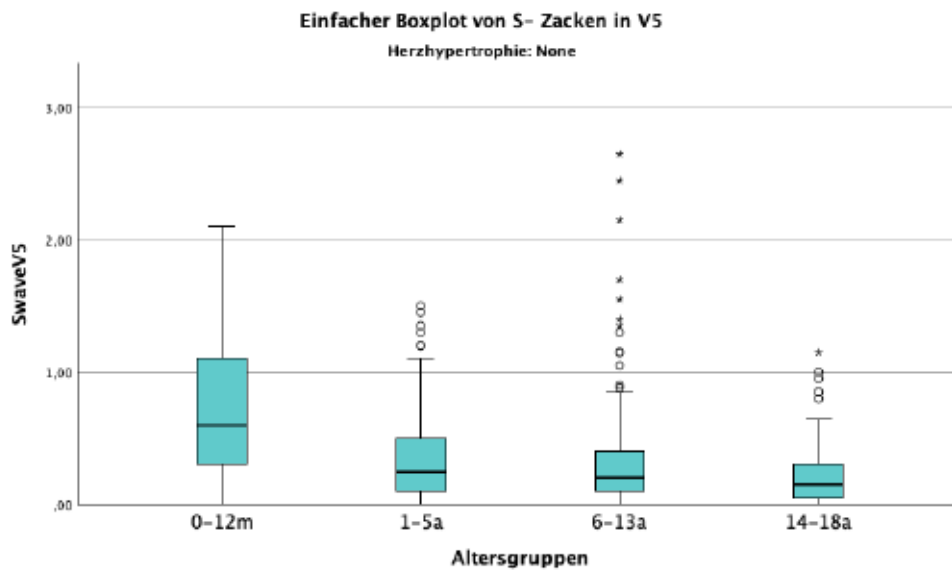
Das folgende Histogramm in Abbildung 77 beschreibt die Häufigkeit der Höhen der S-Zacken in der Ableitung V<sub>5</sub> bei Kindern und Jugendlichen, unterteilt in vier Altersgruppen ohne Herzhypertrophie. Es gibt insgesamt 64 Patient\*innen ohne Herzhypertrophie mit einer S-Zacke  $\geq 7$  mm in der Ableitung V<sub>5</sub>.

Bei den Säuglingen beträgt der Mittelwert 0,74 cm, basierend auf 44 Messungen, mit einer Standardabweichung von 0,52.

In der Gruppe der 1- bis 5-Jährigen mit 122 Studienteilnehmer\*innen liegt die durchschnittliche Höhe bei 0,34 cm und einer Standardabweichung von 0,33.

Die Gruppe der 212 Schulkinder im Alter von sechs bis 13 Jahren weist einen Mittelwert von 0,32 auf, mit einer Standardabweichung von 0,39.

In der ältesten Gruppe beträgt der Durchschnittswert 0,23 cm, basierend auf 102 Messungen, mit einer Standardabweichung von 0,24.



**Abbildung 78** Gruppiertes Boxplot der S-Zacken in Ableitung V<sub>5</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

		S - Zacken in V5					
		Mittelwert	Minimum	Maximum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75
Altersgruppen	0-12m	,74	,00	2,10	,30	,60	1,10
	1-5a	,34	,00	1,50	,10	,25	,50
	6-13a	,32	,00	2,65	,10	,20	,40
	14-18a	,23	,00	1,15	,05	,15	,30

a. Herzhypertrophie = None

**Tabelle 43** S-Zacken in Ableitung V<sub>5</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

Die Grafik in Abbildung 78 zeigt vier gruppierte Boxplots der Höhen der S-Zacken in der Ableitung V<sub>5</sub> bei Kindern ohne Herzhypertrophie, unterteilt in vier Altersgruppen. Die genauen Messwerte können auch aus der Tabelle 43 entnommen werden.

Die Gruppe der jüngsten Kinder zeigt Werte zwischen 0,00 und 2,10 cm und hat den breitesten Interquartilsabstand, der von 0,30 bis 1,10 cm reicht, mit einem Median von 0,60 cm.

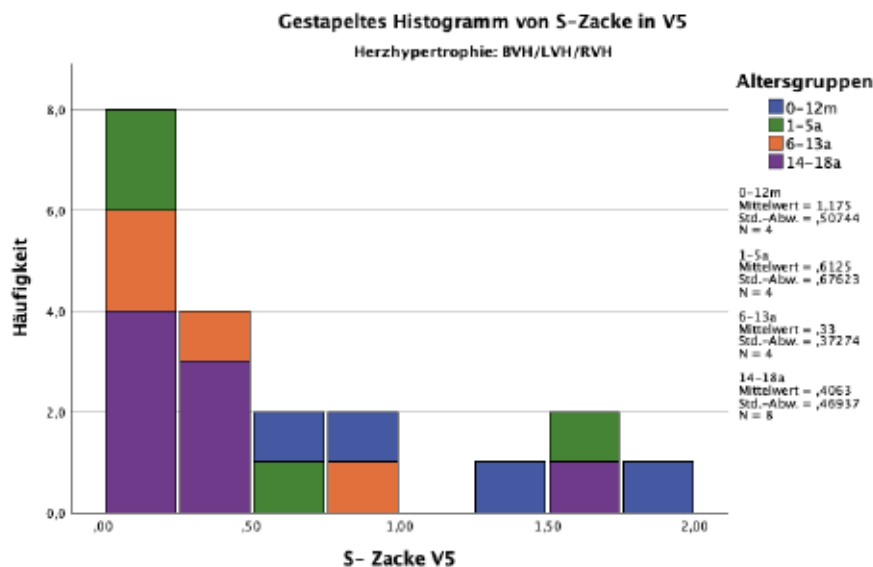
In der Gruppe der 1- bis 5-Jährigen variieren die Werte zwischen 0,00 und 1,50 cm. Der Median liegt bei 0,25, das erste Quartil bei 0,10 cm und das dritte Quartil bei 0,50 cm.

Die Gruppe der Kinder im Alter von sechs bis 13 Jahren weist Werte von 0,00 bis 2,65 cm auf, mit einem Median von 0,20 cm.

In der ältesten Gruppe, den 14- bis 18-Jährigen, liegen die Werte zwischen 0,00 und 1,15 cm, mit einem Median von 0,15 cm.

Während die jüngste Gruppe den breitesten Boxplot aufweist, sind die anderen Boxplots deutlich kleiner, zeigen jedoch viele Ausreißer. Der Median sinkt mit zunehmendem Alter kontinuierlich.

## Mit Herzhypertrophie



**Abbildung 79** Gestapeltes Histogramm der S-Zacken in Ableitung V<sub>5</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

Das folgende Histogramm in Abbildung 79 gibt die Häufigkeit der Höhen der S-Zacken in der Ableitung V<sub>5</sub> bei Kindern und Jugendlichen mit Herzhypertrophie, unterteilt in vier Altersgruppen wieder. Insgesamt gibt es 20 Kinder mit Herzhypertrophie: jeweils vier in den ersten drei Altersgruppen und acht Kinder zwischen dem 14. und 18. Lebensjahr. Sechs Patient\*innen mit Herzhypertrophie haben eine S-Zacke  $\geq 7$  mm in der Ableitung V<sub>5</sub>.

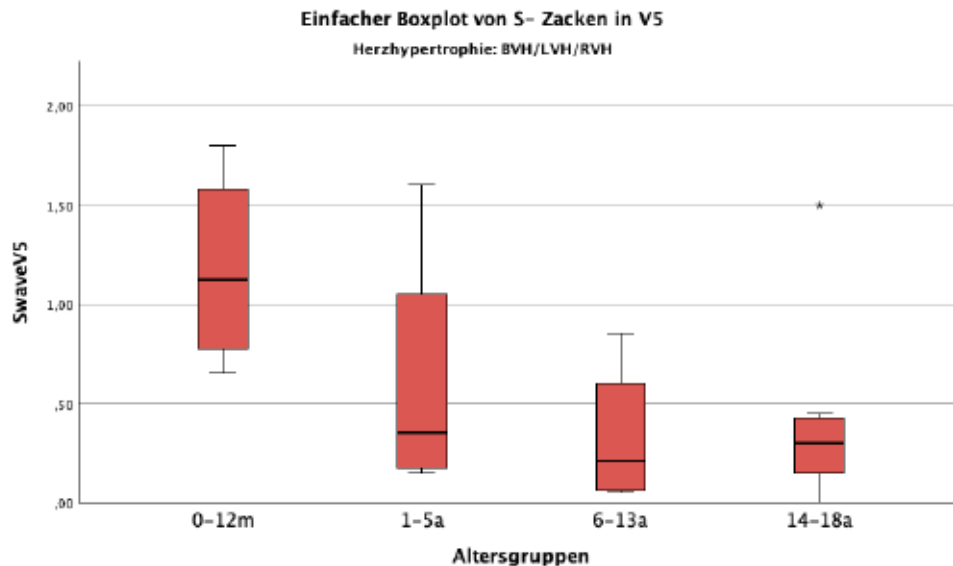
Die jüngsten Kinder weisen durchschnittlich eine Zackenhöhe von 1,18 cm bei einer Standardabweichung von 0,51 auf.

Kinder im Alter von 1 bis 5 Jahren haben einen Mittelwert von 0,61 cm bei einer Standardabweichung von 0,68.

Die durchschnittliche S-Zackenhöhe liegt bei den 6- bis 13-Jährigen bei 0,33 cm, mit einer Standardabweichung von 0,37.

Die ältesten Kinder zeigen einen Mittelwert von 0,41 und eine Standardabweichung von 0,47.

Die Analyse zeigt, dass die Zackenhöhe durchschnittlich in den jüngeren Gruppen höher ist als in den zwei Älteren. Auch die Standardabweichung nimmt mit dem zunehmenden Alter ab, was auf eine geringere Variabilität der Werte hindeutet.



**Abbildung 80** Gruppiertes Boxplot der S-Zacken in Ableitung V<sub>5</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

		S - Zacken in V5					
a		Mittelwert	Minimum	Maximum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75
Altersgruppen	0-12m	1,18	,65	1,80	,78	1,13	1,58
	1-5a	,61	,15	1,60	,18	,35	1,05
	6-13a	,33	,05	,85	,06	,21	,60
	14-18a	,41	,00	1,50	,15	,30	,43

a. Herzhypertrophie = BVH/LVH/RVH

**Tabelle 44** S-Zacken in Ableitung V<sub>5</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

Die Grafik in Abbildung 80 zeigt einen gruppierten Boxplot der S-Zackenhöhen in der Ableitung V<sub>5</sub> bei Kindern mit Herzhypertrophie, unterteilt in vier Altersgruppen. Die genauen Messwerte sind in Tabelle 44 dargestellt.

In der Säuglingsgruppe variieren die Werte zwischen 0,65 und 1,80 cm, mit einem Median von 1,13 cm. Der Interquartilsbereich erstreckt sich von 0,78 bis 1,58 cm. Es handelt sich dabei um die breiteste Box.

Die Messwerte der 1- bis 5-Jährigen liegen zwischen 0,15 und 1,60 cm, mit einem Median von 0,35 cm. Das erste Quartil befindet sich bei 0,18 cm und das dritte Quartil bei 1,05 cm.

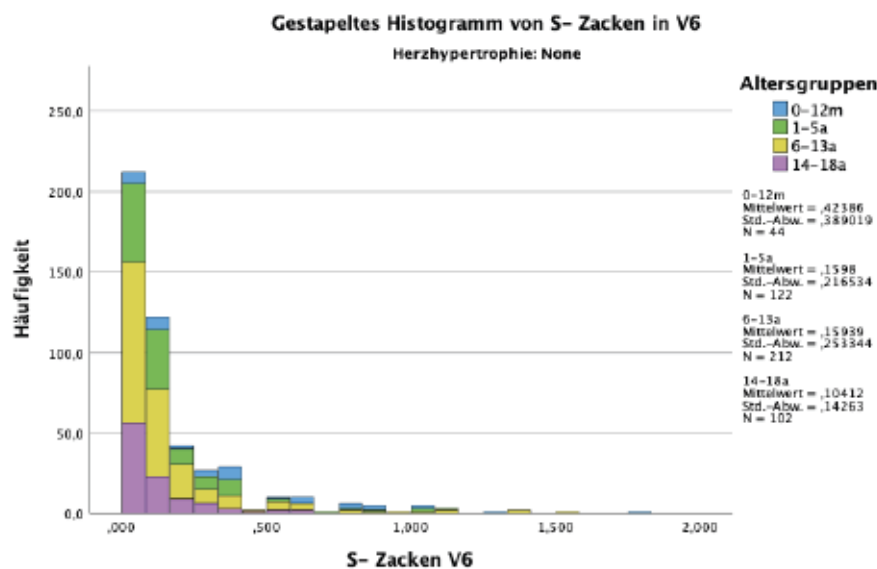
Bei den Schulkindern im Alter von sechs bis 13 Jahren variieren die Werte zwischen 0,05 und 0,85 cm, bei einem Median von 0,21 cm.

In der Gruppe der 14- bis 18-Jährigen erstrecken sich die Werte von 0,00 bis 1,50 cm. Der Median liegt bei 0,30 cm und demzufolge leicht höher als bei der jüngeren Gruppe. Es handelt sich jedoch in dieser Gruppe um den kleinsten Interquartilsabstand.

Es zeigt sich, dass die S-Zackenhöhe bei den Kindern mit dem Alter abnimmt und die Variabilität der Werte kleiner wird.

### 3.8.2 S-Zacken in Ableitung V<sub>6</sub>

#### Ohne Herzhypertrophie



**Abbildung 81** Gestapeltes Histogramm der S-Zacke in Ableitung V<sub>6</sub> ohne Herzhypertrophie nach Alter

Die folgende Grafik in Abbildung 81 stellt die Häufigkeit der S-Zackenhöhen in der Ableitung V<sub>6</sub> bei Kindern und Jugendlichen ohne Herzhypertrophie, unterteilt in vier Altersgruppen, dar. Es gibt insgesamt 26 Patient\*innen ohne Herzhypertrophie mit einer S-Zacke  $\geq 7$  mm (= 0,70 cm) in der Ableitung V<sub>6</sub>.

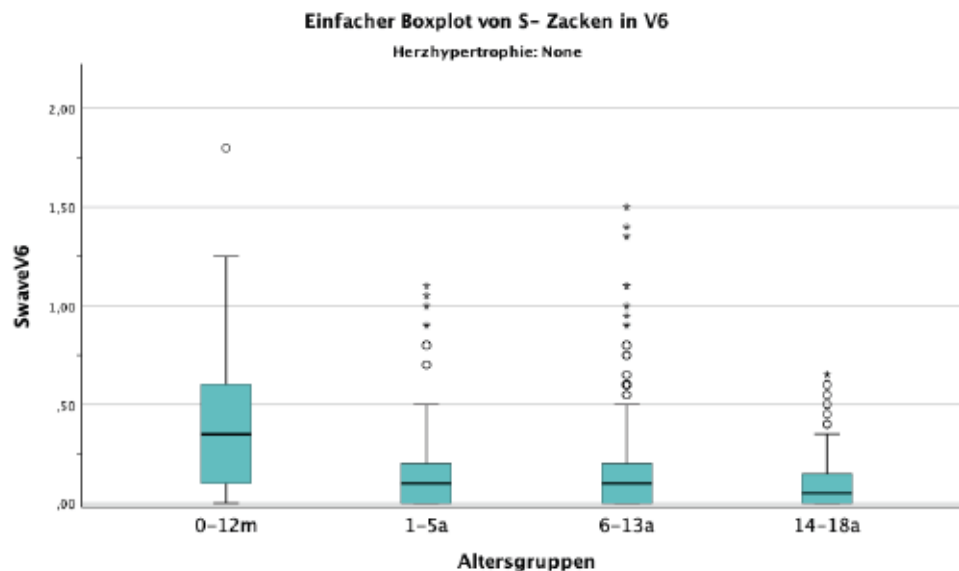
In der Gruppe der Säuglinge liegt der Mittelwert bei 0,42 cm bei einer Standardabweichung von 0,39.

Die Kleinkinder in der Gruppe von 1 bis 5 Jahren haben einen durchschnittlichen Wert der S-Zackenhöhe von 0,16 cm bei einer Standardabweichung von 0,22.

In der Gruppe der 6- bis 13-Jährigen liegt der Mittelwert bei 0,16 cm bei einer Standardabweichung von 0,25.

Die ältesten Kinder haben eine durchschnittliche S-Zackenhöhe von 0,10 cm mit einer Standardabweichung von 0,14.

Es zeigt sich, dass die S-Zackenhöhe in  $V_6$  mit zunehmendem Alter abnimmt und die Variabilität sinkt.



**Abbildung 82** Gruppiertes Boxplot der S-Zacken in Ableitung  $V_6$  ohne Herzhypertrophie nach Alter

		S- Zacken in V6					
		Mittelwert	Minimum	Maximum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75
Altersgruppen	0-12m	,42	,00	1,80	,10	,35	,60
	1-5a	,16	,00	1,10	,00	,10	,20
	6-13a	,16	,00	1,50	,00	,10	,20
	14-18a	,10	,00	,65	,00	,05	,15

a. Herzhypertrophie = None

**Tabelle 45** S-Zacken in Ableitung  $V_6$  ohne Herzhypertrophie nach Alter

Das folgende gruppierte Boxplot in Abbildung 82 zeigt die S-Zackenhöhen in der Ableitung  $V_6$  bei Kindern und Jugendlichen ohne Herzhypertrophie, unterteilt in vier Altersgruppen. Die genauen Messwerte sind in Tabelle 45 dargestellt.

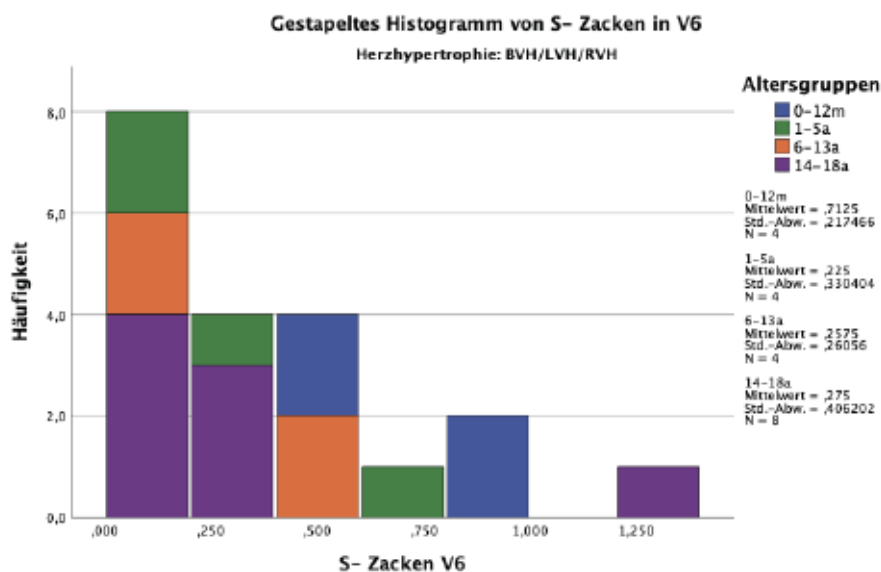
Die Gruppe der Säuglinge weist Werte zwischen 0,00 und 1,80 cm auf, mit einem Median von 0,35 cm. Diese Gruppe hat die breiteste Box, mit dem ersten Quartil bei 0,10 cm und dem dritten Quartil bei 0,60 cm.

Die Boxplots der restlichen Gruppen sind sich sehr ähnlich. In allen drei Gruppen sind die Minimalwerte und gleichzeitig das 1. Quartil bei 0,00 cm. Der Median beträgt in den beiden jüngeren Gruppen 0,10 cm und sinkt in der ältesten Gruppe

auf 0,05 cm. Das dritte Quartil ist in den zwei mittleren Gruppen mit 0,20 cm identisch, jedoch unterscheiden sich die Maximalwerte mit 1,10 cm bei den Kleinkindern und 1,50 cm bei den Schulkindern.

In der ältesten Gruppe variieren die Werte zwischen 0,00 und 0,65 cm, mit einem Median von 0,05 cm, dem ersten Quartil bei 0,00 cm und dem Dritten bei 0,15 cm. In allen Gruppen sind Ausreißer vorhanden.

## Mit Herzhypertrophie



**Abbildung 83** Gestapeltes Histogramm der S-Zacken in Ableitung V<sub>6</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

Das Histogramm in Abbildung 83 stellt die Häufigkeiten der S-Zackenhöhen in der Ableitung V<sub>6</sub> bei Kindern und Jugendlichen ohne Herzhypertrophie, unterteilt in vier Altersgruppen, dar. Es gibt insgesamt vier Patient\*innen mit Herzhypertrophie mit einer S-Zacke  $\geq 7$  mm (= 0,70 cm) in der Ableitung V<sub>6</sub>.

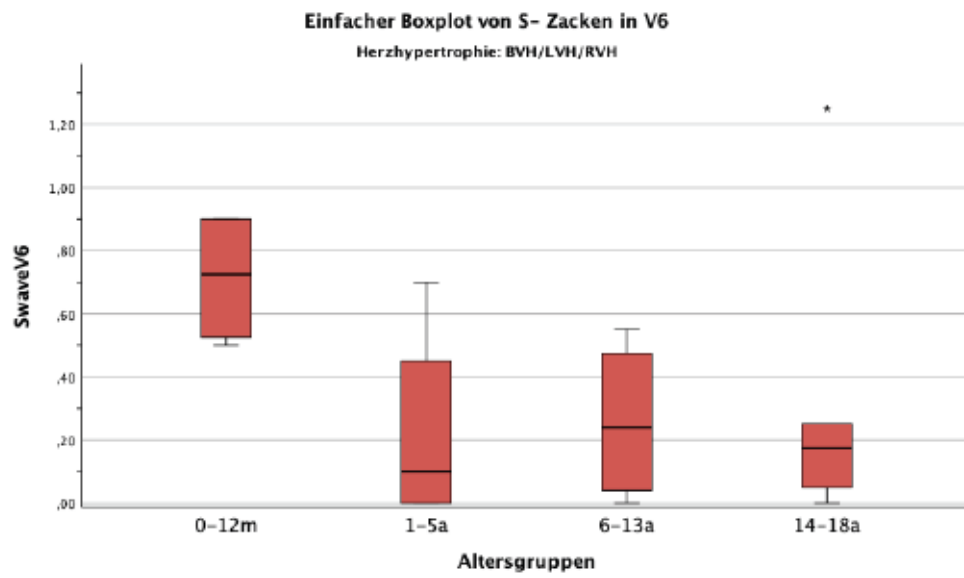
In der jüngsten Gruppe liegt die Durchschnittshöhe der S-Zacke bei 0,71 cm mit einer Standardabweichung von 0,22.

Die Gruppe der 1- bis 5-Jährigen weist einen Mittelwert von 0,22 cm und eine Standardabweichung von 0,33 auf.

Die vier Kinder der Altersgruppe 6 bis 13 Jahre zeigen eine durchschnittliche S-Zackenhöhe von 0,26 cm mit einer Standardabweichung von 0,26.

Die ältesten Kinder, die gleichzeitig die größte Gruppe bilden, haben einen Mittelwert von 0,28 cm und eine Standardabweichung von 0,41.

Die jüngste Gruppe verzeichnet den höchsten Mittelwert und die geringste Standardabweichung, während die älteste Gruppe den niedrigsten Mittelwert und die größte Standardabweichung aufweist.



**Abbildung 84** Gruppiertes Boxplot der S-Zacken in Ableitung V<sub>6</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

		S- Zacken in V6					
		Mittelwert	Minimum	Maximum	Perzentil 25	Median	Perzentil 75
Altersgruppen	0-12m	,71	,50	,90	,53	,73	,90
	1-5a	,22	,00	,70	,00	,10	,45
	6-13a	,26	,00	,55	,04	,24	,48
	14-18a	,28	,00	1,25	,05	,18	,25

a. Herzhypertrophie = BVH/LVH/RVH

**Tabelle 46** S-Zacken in Ableitung V<sub>6</sub> mit Herzhypertrophie nach Alter

Die Grafik in Abbildung 84 zeigt vier gruppierte Boxplots, die die S- Zackenhöhen in der Ableitung V<sub>6</sub> bei Kindern und Jugendlichen mit Herzhypertrophie, unterteilt in vier Altersgruppen, darstellen. Detaillierte Messwerte können aus Tabelle 46 entnommen werden.

In der Gruppe der Säuglinge variieren die Messwerte zwischen 0,50 und 0,90 cm, mit einem Median von 0,73 cm. Der Interquartilsabstand reicht von 0,53 bis 0,90 cm.

Die Gruppe der Kleinkinder weist Messwerte zwischen 0,00 und 0,70 cm auf. Der Median befindet sich bei 0,10 cm, begleitet von einem breiten Interquartilsabstand, der sich von 0,00 bis 0,45 cm erstreckt.

Die Messwerte der 6- bis 13-Jährigen reichen von 0,00 bis 0,55 cm, mit einem Median von 0,24 cm. Der Interquartilsabstand ist ähnlich dem der Kleinkinder, mit einem Bereich von 0,04 bis 0,48 cm.

Die älteste Gruppe weist mit dem Ausreißer bei 1,25 cm den höchsten Maximalwert auf. Die Gruppe hat jedoch den kleinsten Boxplot, mit einem Median von 0,18 cm und einem Interquartilsabstand von 0,05 bis 0,25 cm.

## 4 Diskussion

Die Hauptfragestellung der Arbeit untersucht den Zusammenhang zwischen den R/S Overlaps in den Brustwandableitungen  $V_1$  bis  $V_6$  und deren Zusammenhang mit einer Hypertrophie des Herzens. In den folgenden Kapiteln werden zusätzlich das R/S Ratio, die Gesamtsumme der Amplituden der R- und S-Zacken der Overlaps, sowie die S-Zackenhöhe in  $V_5$  und  $V_6$  diskutiert. Eine weitere Betrachtung der Arbeit ist das Katz-Wachtel-Phänomen, welches durch eine R- und S-Zackenhöhe  $\geq 50$  mm in den Ableitungen  $V_2$ ,  $V_3$  oder  $V_4$  gekennzeichnet ist und als Indikator für eine biventrikuläre Hypertrophie gelten soll (4,33,35).

### 4.1 R/S Overlap

In der Auswertung der EKGs der klinischen Abteilung für pädiatrische Kardiologie in Graz ist ein R/S Overlap in den Brustwandableitungen  $V_1$  bis  $V_6$  bei Kindern und Jugendlichen ein häufig auftretendes Phänomen. Die Studienpopulation umfasst insgesamt 800 Patientinnen und Patienten bis zum 18. Lebensjahr.

Davon ist bei 500 Patient\*innen mindestens in zwei benachbarten Ableitungen ein R/S Overlap in den Brustwandableitungen  $V_1$  bis  $V_6$  aufgetreten. Echokardiografisch wurde bei 20 Kindern und Jugendlichen eine Herzhypertrophie bestätigt: jeweils vier in den drei jüngeren Altersgruppen (0-12 Monate, 1-5 Jahre, 6-13 Jahre) und acht bei Jugendlichen im Alter von 14 bis 18 Jahren. Die Prävalenz für Herzhypertrophie bei Vorliegen mindestens eines R/S Overlaps beträgt somit 4% (20 von 500). In den Altersgruppen verteilt sich die Prävalenz wie folgt: 8,33% (0-12 Monate), 3,17% (1-5 Jahre), 1,85% (6-13 Jahre) und 7,27% (14-18 Jahre).

Bei den 300 Kindern und Jugendlichen ohne R/S Overlap in den Brustwandableitungen gab es drei Fälle einer Herzhypertrophie, zweimal bei einem Säugling und einmal bei einem der Kinder im Alter von 6 bis 13 Jahren. Dies entspricht einer Prävalenz von 1%. Aufgeschlüsselt nach Altersgruppen zeigen die Gruppen der 1- bis 5-Jährigen und 14- bis 18-Jährigen eine Prävalenz von 0%. Die Gruppe der Säuglinge zeigt eine Prävalenz von 2,30% und die Prävalenz der Gruppe der 6- bis 13-Jährigen beträgt 1,18%.

Eine Prävalenz für Herzhypertrophie, einschließlich aller möglichen Ursachen, ist bei Kindern und Jugendlichen nicht bekannt. Für die hypertrophe Kardiomyopathie gibt es auch keine Angaben zur Prävalenz, jedoch liegt die Inzidenz bei 0,3-0,5 Fällen/100.000 Kinder (43). In der Gesamtbevölkerung wird die Prävalenz mit 1:500,

also 0,02%, angegeben (44). Die Prävalenz für Linksherzhypertrophie bei arterieller Hypertonie beträgt 8% (45).

Die statistische Auswertung ergab, dass die Anzahl der R/S Overlaps je nach Ableitung variiert. Bei Patient\*innen ohne Herzhypertrophie gab es in  $V_1/V_2$  bei 429 (89,36%) Kindern und Jugendlichen keinen Overlap, verglichen mit 18 (90%) Kindern mit Herzhypertrophie. Somit ist die Aufteilung der Overlaps in  $V_1/V_2$  unabhängig von der Herzhypertrophie prozentual gleich.

In  $V_2/V_3$  zeigten 56,87% (273 Fälle) der Kinder ohne Herzhypertrophie keinen Overlap, während bei Kindern mit Herzhypertrophie die Anzahl der Overlaps mit 60% (12 Fälle) überwiegt. Der Grund dafür könnte sein, dass bei Kindern infolge der Hypertrophie die R-Zacken in  $V_3$  deutlich höher sind als in  $V_2$ , was zum Überlappen von R- und S-Zacken führt. Auch bei Herzbelastung bewegt sich das Herz um eine annähernde Vertikalachse und der rechte Ventrikel rückt nach anterior (12). Bei Säuglingen ohne Herzhypertrophie dominierte der Overlap in  $V_2/V_3$  mit 61,36% (27 Fälle). Dies könnte auf die physiologischen Veränderungen der rechtsventrikulären Masse und der Herzachse hinweisen (8).

In  $V_3/V_4$  traten in beiden Gruppen am häufigsten Overlaps auf: bei 88,96% (427 Fälle) ohne und 90% (18 Fälle) mit Herzhypertrophie. In dieser Ableitung zeigten Säuglinge ohne Herzhypertrophie den geringsten Prozentsatz an R/S Overlaps (72,72%, 32 Fälle). In den Ableitungen  $V_2/V_3$  oder  $V_3/V_4$  erfolgt normalerweise der sogenannte R/S Umschlag. Hierbei übersteigt die Amplitude der R-Zacke jene der S-Zacke, was zur sichtbaren R-Progression bis zur Ableitung  $V_6$  führt (12). Diese Besonderheit könnte erklären, warum in den Ableitungen  $V_3/V_4$  die meisten R/S Überlappungen beobachtet werden.

In den Ableitungen  $V_4/V_5$  ist bei beiden Gruppen ein Rückgang der R/S Overlaps festzustellen, was der normalen physiologischen R-Progression entspricht (12). In der Gruppe ohne Herzhypertrophie dominieren mit 60,63% (291 Fälle) die Fälle ohne Overlap, während in der Gruppe mit Herzhypertrophie 45% (9 Fälle) keinen Overlap aufweisen. Dies könnte auf eine verzögerte R-Progression oder auf eine S-Persistenz in dieser Patient\*innengruppe hinweisen (12).

In den Ableitungen  $V_5/V_6$  haben 92,92% (446 Fälle) der Gruppe ohne Herzhypertrophie und 90% (18 Fälle) der Patient\*innen mit Herzhypertrophie keinen Overlap.

Insgesamt zeigen beide Gruppen ein ähnliches Verteilungsmuster der R/S Overlaps über die Ableitungen  $V_1$  bis  $V_6$ . Während  $V_1$  und  $V_6$ , in beiden Gruppen die geringste

Anzahl von Overlaps aufweisen, sind in  $V_3/V_4$  die meisten Overlaps anzutreffen. In den Ableitungen dazwischen, in  $V_2/V_3$  und  $V_4/V_5$ , haben die Patient\*innen ohne Herzhypertrophie anteilig weniger Overlaps im Vergleich zu Kindern und Jugendlichen mit Herzhypertrophie. Dieser Unterschied könnte durch die Verdickung des Herzmuskels bei Kindern und Jugendlichen mit Herzhypertrophie erklärt werden, was zu Veränderungen in der Herzachse führt und die Dauer sowie den Weg der elektrischen Erregungsausbreitung verändern kann (12).

Die durchgeführten statistischen Tests (Chi-Quadrat-Tests) zur Überprüfung, ob ein Zusammenhang zwischen dem Auftreten eines R/S Overlaps in den Brustwandableitungen ( $V_1$  bis  $V_6$ ) und der Herzhypertrophie besteht, ergaben einen p-Wert unter 0,05 (KI 95%). Folglich besteht ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den beiden Variablen, somit steht das Auftreten eines R/S Overlaps mit Herzhypertrophie in Verbindung. Allerdings ist die Stärke dieses Zusammenhanges eher schwach ausgeprägt. Daher ist es empfehlenswert, weitere Studien durchzuführen, um die genauen Beziehungen zwischen einem R/S Overlap und der Herzhypertrophie zu erforschen.

Weiters könnte das häufige Auftreten eines R/S Overlaps in den Brustwandableitungen bei Kindern und Jugendlichen durch ihre typischerweise geringere Menge an Körperfett im Vergleich zu Erwachsenen bedingt sein. Dies führt dazu, dass das Herz näher an der Thoraxwand liegt, was wiederum die Amplituden erhöhen kann (8).

Mit einer Sensitivität von 87,0% stellt der R/S Overlap im EKG einen effektiven Indikator zur Identifizierung von Patient\*innen mit Herzhypertrophie dar, da es ausreichend viele richtig positive, also Patient\*innen mit einer Herzhypertrophie, als solche erkennt. Allerdings führt eine Spezifität von nur 38,2% dazu, dass viele gesunde Patient\*innen, als falsch positiv, also mit einer Herzhypertrophie, eingestuft werden.

Bei der Betrachtung der Sensitivität und Spezifität der einzelnen Ableitungen, zeigt der R/S Overlap in Ableitung  $V_1/V_2$  mit 89,38% und in Ableitung  $V_5/V_6$  mit 92,92% eine hohe Spezifität, während in der Ableitung  $V_2/V_3$  mit 80% eine hohe Sensitivität beobachtet werden konnte. Darauf folgend, wäre es sinnvoll, bei der Diagnostik die Ableitungen  $V_1/V_2$  und  $V_5/V_6$  sowie  $V_2/V_3$  gleichzeitig zu betrachten, da bei einer hohen Spezifität, die Herzhypertrophie richtig erkannt wird und bei hoher Sensitivität können die gesunden Kinder und Jugendlichen gut ermittelt werden.

Bei Anwendung des EKGs sollte der R/S Overlap in den Brustwandableitungen bei Kindern und Jugendlichen nicht isoliert, sondern in Kombination mit weiteren diagnostischen EKG-Merkmalen zur Diagnose einer Herzhypertrophie herangezogen werden, um die Genauigkeit der Diagnosestellung zu verbessern.

#### **4.2 R/S Ratio bei Kindern und Jugendlichen mit/ohne Herzhypertrophie**

Bei der untersuchten Gruppe der 500 Kinder und Jugendlichen mit einem Overlap beträgt der Mittelwert des R/S Ratios in den ersten drei Ableitungen etwa 1,12. Bei Erwachsenen wird ein R/S Ratio mit einem Wert  $> 1$  in den rechts-präkordialen Ableitungen üblicherweise als abnormal betrachtet (13). Im Gegensatz dazu ist bei Kindern und Jugendlichen bis zum 16. Lebensjahr das R/S Ratio  $> 1$  in Ableitung  $V_1$  als normal anzusehen (46). Besonders in den ersten 30 Lebensstagen ist das R/S Ratio in  $V_1$  bei Neugeborenen typischerweise höher als bei älteren Kindern (47).

In den linkspräkordialen Ableitungen, insbesondere in  $V_5$  und  $V_6$ , wurde eine deutliche Zunahme des R/S Ratios, mit einem Mittelwert von 7,49, beobachtet. Diese Beobachtung wurde auch in anderen Studien bestätigt, wo ebenfalls ein signifikanter Anstieg des R/S Ratios in diesen Ableitungen festgestellt wurde (46–48).

In den EKG-Messungen bei Kindern ohne Herzhypertrophie, die mindestens einen Overlap aufweisen, ist eine auffällige Differenz besonders in der jüngsten Gruppe (0-12 Monate) im Vergleich zu den älteren Altersgruppen erkennbar. Säuglinge zeigen zwischen  $V_1$  und  $V_3$  nicht nur höhere R/S Ratio-Werte, sondern auch eine größere Variabilität dieser Werte, wohingegen es zwischen  $V_4$  und  $V_6$  die niedrigsten R/S Ratio-Werte aufweisen. Auch in anderen Studien wurden ähnliche Muster beobachtet (46–48) und werden mit physiologischer Herzentwicklung und -anatomie bei Neugeborenen in Verbindung gebracht (8).

Unabhängig vom Alter gibt es in  $V_1$  hohe Spitzenwerte, die deutlich über der 98. Perzentile liegen (47,48). In diesem Fall handelt es sich um mehrere Ausreißer. Die minimalen und maximalen Werte des R/S Ratios sind dennoch klinisch weniger bedeutsam, wenn die R- oder S-Zacken sehr hohe Amplitudenwerte annehmen (46).

In Ableitung  $V_6$  zeigt sich, dass das R/S Ratio mit zunehmendem Alter der Kinder kontinuierlich ansteigt. Besonders in den beiden jüngeren Altersgruppen gibt es mehrere Ausreißer, die deutlich über der in anderen Studien festgelegten 98. Perzentile liegen (47,48). Dies könnte auf die Herausforderungen beim Anbringen der EKG-Elektroden bei kleineren Kindern zurückgeführt werden, da deren Körperoberfläche deutlich kleiner ist.

Bei Kindern mit Herzhypertrophie wird in der Ableitung  $V_1$  eine Abnahme der Mittelwerte und Mediane der R/S-Ratio mit steigendem Alter beobachtet. Die Mittelwerte für die jüngeren Altersgruppen (0-12 Monate und 1-5 Jahre) überschreiten beide den Wert von 2, was nach Davignon et al. als abnorm betrachtet wird. Auch in der Gruppe ohne Herzhypertrophie zeigt sich bei Säuglingen ein durchschnittliches R/S Ratio von 2,14, was in  $V_1$  als pathologisch gilt. Die Gruppe der 1- bis 5-Jährigen liegt jedoch mit einem Mittelwert von 0,94 innerhalb des Normbereichs (46).

Laut den Messwerten von Lue et al., liegen die Mittelwerte der Säuglingsgruppe innerhalb des Normalbereichs (47). Der Median ist im Vergleich zu Rijnbeek et al. innerhalb der höheren Perzentilen, verbleibt dennoch im Referenzbereich (48). Mit einem Mittelwert von 2,56 und einem Median von 1,33 befinden sich die Werte der 1- bis 5-Jährigen mit Herzhypertrophie im Normalbereich. Bei den 6- bis 13-Jährigen mit einem Mittelwert von 1,70 und einem Median von 1,18 liegt der Median über der 98. Perzentile, während sich der Mittelwert im oberen Bereich zwischen der 75. und 98. Perzentile hält. Die älteste untersuchte Gruppe zeigt mit einem Mittelwert von 0,21 und einem Median von 0,10 Werte, die eher im Bereich zwischen dem 2. (Median) und 25. Perzentil (Mittelwert) liegen (47,48). Diese Daten zeigen, dass auch Kinder und Jugendliche mit diagnostizierter Herzhypertrophie normale EKG-Werte aufweisen können.

In Ableitung  $V_6$  steigt das R/S Ratio bei Kindern mit Herzhypertrophie altersabhängig. Im Vergleich zu etablierten Normwerten liegt der Mittelwert von 1,33 der jüngsten Kinder (0-12 Monate) im unteren Normalbereich und der Median von 0,94 nahe an der 2. Perzentile. Bei den Kleinkindern (1-5 Jahre) liegt der Mittelwert von 3,61 nahe der 25. Perzentile und der Median ebenfalls bei 3,61, was diesen im unteren Normalbereich positioniert. Die 6- bis 13-Jährigen weisen einen Mittelwert von 7,60 im unteren Normalbereich auf, während der Median von 1,50 deutlich unter der 2. Perzentile liegt. Der Mittelwert der ältesten Kinder von 7,18 liegt auch im

unteren Normalbereich. Gleichzeitig befindet sich der Median genau im erwarteten Normbereich (47,48).

Besonders bei den 6- bis 13-Jährigen ist der Median in  $V_4$  und  $V_5$  im Vergleich zu anderen Altersgruppen höher, sinkt jedoch in  $V_6$  deutlich ab. Da die Gruppe nur aus vier Studienteilnehmer\*innen besteht, könnten einzelne hohe Werte den Median stark beeinflussen. Trotzdem entsprechen die Werte den Normwerten, tendieren jedoch zum unteren Perzentilenbereich.

### **4.3 Das Katz-Wachtel-Phänomen**

Das Katz-Wachtel-Phänomen beschreibt biphasische QRS-Komplexe in Ableitungen  $V_2$ ,  $V_3$  oder  $V_4$  als Zeichen für biventrikuläre Herzhypertrophie (33,35). In der Studie von Katz und Wachtel aus dem Jahr 1937 wurden EKGs von Patient\*innen zwischen 0 und 45 Jahren untersucht. Dabei bezogen sich die Mediziner auf die Extremitätenableitungen I, II und III (4). Erst 1963 beschrieb Elliot et al. biphasische QRS-Komplexe in den Brustwandableitungen bei zehn Säuglingen im Alter von 7 Tagen bis 17 Monaten (35).

In der gesamten Studie, die EKGs bei Kindern und Jugendlichen im Alter von 0 bis 18 Jahren ermittelt hat, wurden nur zwei Patient\*innen mit bestätigter biventrikulärer Herzhypertrophie (im Alter von 3 Monaten und einem Jahr) beobachtet. In beiden Fällen lagen die Summen der R- und S-Amplituden in den genannten Ableitungen unter 50 mm, was unterhalb der in der Literatur beschriebenen Schwelle liegt (33,35). Daher ist das Patientenkollektiv zu klein, um signifikante Schlussfolgerungen zu ziehen.

Darüber hinaus erfüllten fünf männliche Patienten, im Alter zwischen 1 und 14 Jahren, ohne diagnostizierter Herzhypertrophie die Katz-Wachtel-Kriterien in mindestens einer der Ableitungen (ein Fall in  $V_2$  und vier Fälle in  $V_3$ ). Insbesondere zeigten die vier Patienten, die die Kriterien in  $V_3$  erfüllten, eine hohe Anzahl von R/S Overlaps in den Brustwandableitungen pro EKG – jeweils zwei hatten drei Overlaps und zwei vier Overlaps.

Die Ergebnisse legen nahe, dass das Katz-Wachtel-Phänomen auch bei Kindern und Jugendlichen ohne Herzhypertrophie auftreten kann. Keiner der 20 Studienteilnehmer\*innen mit diagnostizierter Herzhypertrophie erfüllte die genannten Kriterien, was darauf hinweist, dass das Phänomen nicht ausschließlich auf Fälle biventrikulärer Herzhypertrophie beschränkt ist. Die Stichprobengröße mit Herzhypertrophie (20 Fälle) und besonders bezüglich der Fälle mit biventrikulärer

Herzhypertrophie (2 Fälle) war jedoch in dieser Studie gering. Daher sind weitere Untersuchungen mit einem angepassten Patient\*innenkollektiv notwendig, um fundiertere Aussagen über das Katz-Wachtel-Phänomen machen zu können.

#### **4.4 Summe der R- und S-Zacken der R/S Overlaps**

Es wurde der Zusammenhang des R/S Overlaps in den Brustwandableitungen und Herzhypertrophie untersucht und festgestellt, dass ein signifikanter Zusammenhang besteht. Es ist daher sinnvoll, die Summen der sich überschneidenden R- und S-Zacken näher zu betrachten. Da in anderen Studien die R- und S-Zacken einzeln beschrieben werden, ist ein Vergleich mit den Werten dieser Studie nicht sinnvoll (46,48).

Bei Kindern ohne Herzhypertrophie wurde in jeder Ableitung mindestens ein Overlap beobachtet. Im Gegensatz dazu zeigten die Studienteilnehmer\*innen mit Herzhypertrophie, besonders in den zwei jüngeren Altersgruppen in  $V_1/V_2$  keinen Overlap und in den Altersgruppen 1 bis 5 Jahre sowie 6 bis 13 Jahre keinen Overlap in  $V_5/V_6$ .

Die minimalen Amplitudenwerte der Altersgruppen 0-12 Monate, 1-5 Jahre und 6-13 Jahre sind in allen Ableitungen bei den Kindern mit Herzhypertrophie höher und die maximalen Werte niedriger im Vergleich zu denen ohne Herzhypertrophie. Eine Ausnahme bildet die Gruppe der ältesten Patient\*innen (14-18 Jahre), bei der die Minimalsumme für Overlap in  $V_2/V_3$  bei den Kindern mit Herzhypertrophie niedriger ist. Dagegen sind bei Kindern ohne Herzhypertrophie in dieser Gruppe die Maximalwerte höher. Interessanterweise zeigen Säuglinge in  $V_3/V_4$  und Jugendliche (14-18 Jahre) in  $V_2/V_3$ , dass die Amplituden der Zacken bei Hypertrophie größer sind.

In den Ableitungen  $V_1/V_2$  liegen die Mittelwerte der  $V_1$ -S-Zacken und  $V_2$ -R-Zacken bei Kindern ohne Herzhypertrophie zwischen 2,38 und 2,83 cm. Bei Patient\*innen mit Herzhypertrophie wurden lediglich zwei Overlaps in  $V_1/V_2$  festgestellt: einer mit einer Gesamthöhe von 2,45 cm bei einem Kind im Alter von 6 bis 13 Jahren, was mit den Werten der Kinder ohne Herzhypertrophie übereinstimmt, und einer mit einer Höhe von 3,70 cm bei einem Jugendlichen im Alter von 14 bis 18 Jahren, was deutlich über den Vergleichswerten liegt. Die Annahme, dass bei älteren Kindern

mit einem Overlap in  $V_1/V_2$  und Herzhypertrophie die Zackenhöhen signifikant höher sind als in den anderen Gruppen, kann aufgrund der begrenzten Datenmenge nicht bestätigt werden.

In den Ableitungen  $V_2/V_3$  liegen die Mittelwerte bei Kindern und Jugendlichen ohne einen verdickten Herzmuskel zwischen 2,68 und 2,85 cm. Bei Kindern mit Herzhypertrophie sind die Mittelwerte, außer in der ältesten Gruppe, generell höher. Der Median zeigt bei den zwei jüngeren Gruppen mit Herzhypertrophie erhöhte Werte, während er bei den zwei älteren Gruppen nahezu identisch mit denen der Kinder ohne Herzhypertrophie ist.

Der Overlap kommt am häufigsten in  $V_3/V_4$  vor. Bei den Minimalwerten zeigt sich, dass diese bei Neugeborenen ohne Herzhypertrophie am höchsten (2,30 cm) sind und mit zunehmendem Alter stetig auf 1,05 cm abnehmen. Im Gegensatz dazu liegen die Minimalwerte bei Kindern mit Herzhypertrophie in allen Altersgruppen ungefähr bei 2,55 cm. Abgesehen von Säuglingen, haben Patient\*innen mit Herzhypertrophie generell niedrigere Maximalwerte. Die Mittelwerte und Mediane sind in allen Altersgruppen mit Herzhypertrophie höher, mit Ausnahme der Gruppe der 6- bis 13-Jährigen.

In den Ableitungen  $V_4/V_5$  sind die Minimalwerte, ähnlich wie in  $V_3/V_4$ , bei Kindern ohne Herzhypertrophie niedriger. Trotzdem sind die Maximalwerte und Mittelwerte, mit Ausnahme der Altersgruppe 0-12 Monate, bei Kindern mit normalen Ventrikeln höher. Hinsichtlich des Medians wird eine Aufteilung beobachtet: in der jüngsten und der ältesten Gruppe sind die Medianwerte bei Kindern mit Herzhypertrophie größer, während sie in den anderen Gruppen kleiner sind.

In den Ableitungen  $V_5/V_6$  gibt es bei den 1- bis 5- und 6- bis 13-jährigen Kindern mit Herzhypertrophie keinen Overlap. In den anderen Altersgruppen tritt jeweils nur ein einzelner Overlap auf. Im Vergleich zu den Kindern ohne Herzhypertrophie sind die Minimal- und Mittelwerte bei den Kindern mit einem hypertrophierten Ventrikel niedriger. Die Person im Alter von 14 bis 18 Jahren hat in dieser Altersgruppe einen höheren Maximalwert als die Kinder ohne Herzhypertrophie. Auch der Median ist bei diesem Kind höher.

Allgemein lässt sich feststellen, dass die Mittelwerte in den Overlaps der Ableitung  $V_1/V_2$  bei Jugendlichen mit auffälligen Ventrikeln höher liegen, jedoch stützt sich diese Annahme auf nur einen einzigen Messwert. In den Ableitungen  $V_2/V_3$  und  $V_3/V_4$  sind sie dagegen niedriger, während sie in  $V_4/V_5$  und  $V_5/V_6$  wieder höher sind

im Vergleich zu den Kindern mit Herzhypertrophie. Daraus folgt, dass Kinder mit hypertrophierten Ventrikeln insbesondere in  $V_2/V_3$  und  $V_3/V_4$  höhere Gesamtsummen der R- und S-Zacken aufweisen.

#### **4.5 S-Zacken in den Ableitungen $V_5$ und $V_6$**

Die Studie von Jain et al. konzentrierte sich auf erwachsene Patient\*innen mit biventrikulärer Herzhypertrophie und deren EKG-Diagnostik. Es wurde festgestellt, dass eine S-Zackenhöhe in  $V_5$  und  $V_6 \geq 7$  mm (= 0,70 cm) ein häufiges Merkmal bei dieser Art von Herzhypertrophie darstellt (37). Im Vergleich dazu liegt der Mittelwert der S-Zackenhöhe im gesamten Patient\*innenkollektiv dieser Studie bei 0,35 cm für  $V_5$  und 0,18 cm für  $V_6$ , was deutlich unter dem Schwellenwert von 0,70 cm liegt.

Nach Aufteilung in Altersgruppen und unter Berücksichtigung der Herzhypertrophie liegt der Mittelwert der S-Zacken in  $V_5$  bei gesunden Kindern und Jugendlichen, die mindestens einen R/S Overlap in  $V_1$  bis  $V_6$  aufweisen, in den drei Gruppen (1-5 Jahre, 6-13 Jahre, 14-18 Jahre) unter 0,70 cm. Bei Kindern im Alter von 0-12 Monaten beträgt der Mittelwert jedoch 0,74 cm, was leicht über dem Grenzwert liegt, was möglicherweise durch die physiologische Herzanatomie bei Säuglingen erklärt werden kann. Auffällig sind zudem die Maximalwerte in jeder Altersgruppe ohne Herzhypertrophie, die deutlich über 0,70 cm liegen.

In der Gruppe der Kinder mit hypertrophierten Ventrikel befinden sich die S-Zacken in  $V_5$  ebenfalls in den drei älteren Altersgruppen (1-5 Jahre, 6-13 Jahre, 14-18 Jahre) unter 0,70 cm. Nur die Gruppe der Säuglinge (0-12 Monate) weist einen Mittelwert von 1,18 cm auf. Im Vergleich zu den Kindern ohne Herzhypertrophie haben Kinder mit Herzhypertrophie in den Altersgruppen 0-12 Monate, 1-5 Jahre und 14-18 Jahre, deutlich höhere Mittelwerte (0,74-1,18; 0,34-0,61; 0,23-0,41). Die Höchstwerte sind allerdings bei den Säuglingen und 6- bis 13-Jährigen mit Herzhypertrophie niedriger als bei den Kindern ohne Herzhypertrophie, liegen aber dennoch über 0,70 cm.

Die S-Zacken in  $V_6$  haben bei den Kindern ohne Herzhypertrophie einen Mittelwert unter der Grenze von 0,70 cm. Mit Ausnahme der ältesten Kinder, deren Maximalwert bei 0,65 cm liegt, befinden sich die Maximalwerte der S-Zacken in allen anderen Altersgruppen deutlich über 0,70 cm. Zudem nehmen die Mittelwerte der

S-Zacken mit zunehmendem Alter stetig ab, was einen physiologischen Vorgang darstellt (46).

Bei den Kindern und Jugendlichen mit Herzhypertrophie liegen die Mittelwerte der S-Zacken, mit Ausnahme der Säuglinge, die einen Mittelwert von 0,71 cm aufweisen, alle unter der Schwelle von 0,70 cm. Dennoch sind alle Mittelwerte höher als in der Gruppe ohne Herzhypertrophie.

Die Maximalwerte übersteigen 0,70 cm, außer in der Altersgruppe 6 bis 13 Jahre. Auffällig ist, dass trotz höherer Mittelwerte im Vergleich zu Kindern ohne Herzhypertrophie, die Maximalwerte in der Gruppe mit Herzhypertrophie, ausgenommen Gruppe 14 bis 18 Jahre, deutlich niedriger sind.

Im Vergleich zur Studie von Lue et al., die Normalwerte für die Mittelwerte festlegte, befinden sich die Mittelwerte aller Altersgruppen innerhalb des Normalbereichs. Die Werte der Jugendlichen im Alter von 14 bis 18 Jahren liegen eher im Bereich des 25. Perzentils (47). Laut der Untersuchung von Rijnbeek et al., in der die Normalwerte anhand des Medians bestimmt wurden, befinden sich die Werte aller Gruppen, unabhängig von der Herzhypertrophie, innerhalb der Normgrenzen, allerdings im unteren Bereich (48).

Es hat sich gezeigt, dass die S-Zacken in  $V_6$  bei Kindern und Jugendlichen mit Herzhypertrophie höhere Mittelwerte aufweisen als die Gruppen ohne verdicktem Herzmuskel. Dennoch liegen die Mittelwerte innerhalb der für die verschiedenen Altersgruppen festgelegten Normalbereiche. Daher erweist sich die S-Zacke als einzelner Messwert für die Diagnostik der Herzhypertrophie als wenig geeignet.

#### **4.6 Limitationen der Studie**

In den 1960er Jahren wurden die Vektorkardiogramme vermehrt in Studien und im Alltag für die Ermittlung der elektrischen Herzaktivität sowie der Herzhypertrophie bei Kindern und Jugendlichen verwendet (49–51). Es wurde der Vorteil genannt, dass vor allem die Linksherzhypertrophie im Vektorkardiogramm bereits ersichtlich ist, während im EKG noch keine pathologischen Veränderungen vorhanden sind (52). Die Nachteile sind jedoch, dass keine Abfolge von Herzaktionen aufgenommen werden kann und die Diagnostik in der Umsetzung sehr aufwändig ist (1). Heutzutage wird die Vektorkardiografie meist nur bei speziellen Fragestellungen, wie Ischämiediagnostik, verwendet und zeichnet die elektrische Aktivität in Form von Vektorschleifen in drei Dimensionen auf (53). Das

Elektrokardiogramm hingegen gehört zur klinischen Routine. Es konnte sich durch die Schnelligkeit, Preiswertigkeit, Erfahrung des Personals und die Standardisierung der Diagnostik durch jahrelange Studien und erstellte Normwerte durchsetzen (3).

Es ist ebenfalls zu beachten, dass es früher analoge EKG-Schreiber gab, welche andere Messergebnisse geliefert haben als die digitalen Geräte heutzutage (4,35). Mittlerweile existieren mehrere EKG-Filter, wie die Hoch- und Tiefpassfilter, die die Elektrokardiogramme stärker beeinflussen können, beispielsweise durch Verkleinerung der QRS-Amplituden (5). Somit sind die EKGs von früher und heute nicht direkt vergleichbar, da die Messergebnisse dieser Studie sich deutlich von denen aus den 1960er Jahren unterscheiden können. Es ist möglich, dass heutzutage bereits niedrigere oder höhere Messwerte gelten, um beispielsweise eine Herzhypertrophie bei Kindern im EKG zu diagnostizieren.

Weitere Limitierungen der Studie bestehen vor allem in der zu geringen Anzahl an Studienteilnehmer\*innen mit biventrikulärer Herzhypertrophie, was eine detaillierte Analyse des Katz-Wachtel-Phänomens erschwert. Zur Ermittlung spezifischer Diagnostikwerte für Herzhypertrophie wäre ein Patient\*innenkollektiv mit einer größeren Anzahl an unterschiedlichen Herzhypertrophiearten (BVH/LVH/RVH) notwendig. Da der rechte Ventrikel bei Neugeborenen physiologisch größer ist und sich erst im Laufe der Entwicklung der linke Ventrikel vergrößert, könnte es sinnvoll sein, Neugeborene bis zum siebten Lebensstag von der Studie auszuschließen. Dies würde dazu beitragen, falsch-positive Befunde von Hypertrophie zu vermeiden und verfälschte hohe Werte in der Gesamtwertung zu reduzieren (8,15). Des Weiteren gibt es ab dem sechsten Lebensjahr deutliche Unterschiede bei den EKG-Normwerten zwischen männlichen und weiblichen Kindern. Die größten Auswirkungen zeigen sich zwischen neun und 18 Jahren aufgrund der anatomischen und physiologischen Veränderungen während der Pubertät (54). Daher könnten genauere Ergebnisse aus den verschiedenen EKG-Messungen erzielt werden, indem die Daten auch nach dem Geschlecht differenziert werden.

Nicht zuletzt ist zu erwähnen, dass sich die Echokardiografie als Goldstandard für die Diagnostik der Herzhypertrophie etabliert hat. In der Studie von Tague et al. wurde gezeigt, dass das EKG die Linksherzhypertrophie nur in wenigen Fällen zuverlässig erkennen kann und selbst bei positiven EKG-Merkmalen eine

Linksherzhypertrophie in der Echokardiografie nur zu 17% bestätigt werden konnte (55).

#### **4.7 Schlussfolgerung**

Es konnte gezeigt werden, dass ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen den R/S Overlaps in den Brustwandableitungen  $V_1$  bis  $V_6$  und Herzhypertrophie besteht. Die Prävalenz einer Herzhypertrophie beträgt 4% bei Vorhandensein eines Overlaps und 1% ohne Überlappung. In der Diagnostik erweist sich der R/S Overlap mit einer akzeptablen Sensitivität (87%) und einer niedrigen Spezifität (38%) als sehr ungenau. Zur genaueren Diagnostik könnte die Kombination der hohen Spezifität in Ableitung  $V_1/V_2$  mit 89,38% und in Ableitung  $V_5/V_6$  mit 92,92%, sowie der hohen Sensitivität in der Ableitung  $V_2/V_3$  mit 80% erwogen werden.

Während bei einer Herzhypertrophie allgemein häufiger Overlaps in  $V_2/V_3$  und  $V_4/V_5$  auftreten, kommen bei Kindern im Alter von 0 bis 5 Jahren in  $V_1/V_2$  und bei Kindern im Alter von 1 bis 13 Jahren in  $V_5/V_6$  keine R/S Overlaps vor.

Insgesamt erfüllten fünf Patienten, im Alter von 1 bis 14 Jahren, die Katz-Wachtel-Kriterien, wiesen dabei jedoch keine Herzhypertrophie auf. Innerhalb der gesamten Studienpopulation gab es lediglich zwei Patientinnen, im Alter von 3 Monaten und einem Jahr, mit biventrikulärer Herzhypertrophie, die die Kriterien nicht erfüllten. Da Elliott et al. nur Säuglinge im Alter zwischen 7 Tagen und 17 Monaten untersuchte, konnte somit gezeigt werden, dass auch Patient\*innen ohne Herzhypertrophie, die Kriterien erfüllen können und Säuglinge mit einer biventrikulären Herzhypertrophie Werte unter den festgelegten Mindestwerten haben (35).

Das R/S Ratio der Ableitung  $V_1$  übersteigt bei Säuglingen in beiden Gruppen, also bei Kindern mit und ohne Herzhypertrophie, den Wert von 2, der auf pathologische Veränderungen hindeuten kann (46). Alle R/S Ratio-Werte der übrigen Studienteilnehmer\*innen liegen im Referenzbereich. Bei jungen Patient\*innen mit Herzhypertrophie neigen die Werte dazu, im höheren Bereich der Perzentilen zu liegen, während sie bei den ältesten im unteren Bereich anzutreffen sind. In der Ableitung  $V_6$  liegen die R/S Ratio-Werte bei diagnostizierter Herzhypertrophie eher im unteren Normalbereich.

Die Amplitudenhöhen der sich überschneidenden R- und S-Zacken sind in  $V_1/V_2$  bei Jugendlichen (14-18 Jahre) mit Hypertrophie höher. Diese Aussage bedarf dennoch weiterer Untersuchungen, da sie sich nur auf einen einzigen Messwert stützt. Während die Messwerte in den Ableitungen  $V_2/V_3$  und  $V_3/V_4$  bei Kindern mit Herzhypertrophie niedriger sind, übersteigen diese in  $V_4/V_5$  und  $V_5/V_6$  die Mittelwerte der Kinder ohne Herzhypertrophie.

Eine S-Zackenhöhe in  $V_5$  und  $V_6 \geq 0,70$  cm soll sich bei Erwachsenen als ein guter Parameter für die Diagnose der biventrikulären Herzhypertrophie im EKG erwiesen haben (37). Die meisten Patient\*innen mit mindestens einem Overlap in  $V_1$  bis  $V_6$  im Alter von 1 bis 18 Jahren wiesen Zackenhöhen in  $V_5$  unter 0,70 cm auf. Nur bei den Säuglingen wurden unabhängig von der Herzhypertrophie erhöhte Mittelwerte festgestellt. Auch in der Ableitung  $V_6$  zeigte sich ein ähnliches Muster. Die Mittelwerte aller Altersgruppen, mit und ohne Herzhypertrophie, lagen unter der Grenze, mit Ausnahme der Säuglinge mit Herzhypertrophie. Generell zeigen Kinder mit Herzhypertrophie in  $V_5$  und  $V_6$  höhere Mittelwerte innerhalb des Normbereiches als Kinder mit normalen Herzventrikeln.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass ein R/S Overlap in den Brustwandableitungen ein statistisch signifikantes EKG-Merkmal für Herzhypertrophie darstellt. Dennoch sollte dieser aufgrund der schwachen Korrelation mit anderen bereits bekannten EKG-Zeichen verwendet werden. Die Echokardiographie bleibt zurecht der Goldstandard für die Diagnosestellung. Weiterhin sind zusätzliche Studien zur Ermittlung möglicher Unterschiede zwischen verschiedenen Hypertrophiearten von Nutzen.

## Literaturverzeichnis

1. Brenner B, Burckhardt G, Draguhn A, Ehmke H, Eysel U, Fandrey J, u. a. Physiologie. 9., vollständig überarbeitete Auflage. Pape HC, Kurtz A, Silbernagl S, Klinke R, Gay R, Rothenburger A, Herausgeber. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2019.
2. Bundesministerium für Soziales, Gesundheit, Pflege und Konsumentenschutz. Angeborene Herzfehler [Internet]. 2023 [zitiert 18. September 2023]. Verfügbar unter: <https://www.gesundheit.gv.at/krankheiten/herz-kreislauf/herzfehler.html>
3. Liu CW, Wu FH, Hu YL, Pan RH, Lin CH, Chen YF, u. a. Left ventricular hypertrophy detection using electrocardiographic signal. Sci Rep. 13. Februar 2023;13(1):2556.
4. Katz LN, Wachtel H. The diphasic QRS type of electrocardiogram in congenital heart disease. Am Heart J. Februar 1937;13(2):202–6.
5. Surawicz B, Knilans TK, Chou TC. Chou's electrocardiography in clinical practice: adult and pediatric. 6th ed. Philadelphia, PA: Saunders/Elsevier; 2008.
6. Park MK, Salamat M. Park's pediatric cardiology for practitioners: enhanced digital version included. Seventh edition. Philadelphia, PA: Elsevier; 2021. 532 S.
7. Behrends JC, Bischofberger J, Deutzmann R, Ehmke H, Frings S, Grissmer S, u. a. Duale Reihe Physiologie [Internet]. 4. Aufl. Stuttgart: Georg Thieme Verlag KG; 2021 [zitiert 15. August 2023]. Verfügbar unter: <https://eref.thieme.de/10.1055/b000000462>
8. Lindinger A, Paul T, Gass M, Hager A, Hessling G, Kriebel TA, u. a. EKG im Kindes- und Jugendalter: EKG-Basisinformationen - Herzrhythmusstörungen - angeborene Herzfehler im Kindes-, Jugend und Erwachsenenalter. 7., vollständig überarbeitete Auflage. Stuttgart: Georg Thieme Verlag; 2017.
9. Khairy P, Marelli AJ. Clinical use of electrocardiography in adults with congenital heart disease. Circulation. 4. Dezember 2007;116(23):2734–46.
10. Brandes R, Lang F, Schmidt RF, Herausgeber. Physiologie des Menschen: mit Pathophysiologie. 32. Auflage. Berlin: Springer; 2020. (Lehrbuch).
11. AMBOSS GmbH. Kapitel: Herzerregung - Entstehung eines Arbeitsmyokard-Aktionspotenzials; Name der Illustration: Aktionspotenzial und Ionenfluss beim Arbeitsmyokard, [Internet]. 2024 [zitiert 25. März 2024]. Verfügbar unter: <https://next.amboss.com/de/article/yp0dHS?m=ENY81p>
12. Trappe HJ, Schuster HP. EKG-Kurs für Isabel. 7., überarbeitete und erweiterte

Auflage. Stuttgart, New York: Georg Thieme Verlag; 2017.

13. Thaler MS. The only EKG book you'll ever need. Ninth edition. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2019.
14. Paraskevi Mikrou, Pushpa Shivaram, Constantinos Kanaris. How to interpret the paediatric 12-lead ECG. Arch Dis Child - Educ Pract Ed. 1. August 2022;107(4):279–87.
15. Haas NA, Kleideiter U. Kinderkardiologie: Klinik und Praxis der Herzerkrankungen bei Kindern, Jugendlichen und jungen Erwachsenen. 2., unveränderte Auflage. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2018.
16. Agaimy A, Amann K, Baba H, Baretton GB, Glatzel M, Sauter G. Pathologie: das Lehrbuch. 6., vollständig überarbeitete Auflage. Höfler G, Kreipe HH, Moch H, Herausgeber. München: Elsevier; 2019.
17. Penny DJ, Vick GW. Ventricular septal defect. The Lancet. März 2011;377(9771):1103–12.
18. Sieverding L. Kardiomyopathien. In: Hoffmann GF, Lentze MJ, Spranger J, Zepp F, Berner R, Herausgeber. Pädiatrie. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2020. S. 2053–64.
19. Baba HA, Kirkpatrick CJ, Wohlschläger J. Herz - Pathologie. In: Pathologie: das Lehrbuch. 6., vollständig überarbeitete Auflage. München: Elsevier; 2019.
20. Mukhtar G, Sasidharan B, Krishnamoorthy KM, Kurup HKN, Gopalakrishnan A, SasiKumar D, u. a. Clinical profile and outcomes of pediatric hypertrophic cardiomyopathy in a South Indian tertiary care cardiac center: a three decade experience. BMC Pediatr. 7. September 2023;23(1):446.
21. Lipshultz SE, Sleeper LA, Towbin JA, Lowe AM, Orav EJ, Cox GF, u. a. The Incidence of Pediatric Cardiomyopathy in Two Regions of the United States. N Engl J Med. 24. April 2003;348(17):1647–55.
22. Keramida K, Lazaros G, Nihoyannopoulos P. Right ventricular involvement in hypertrophic cardiomyopathy: Patterns and implications. Hellenic J Cardiol. Januar 2020;61(1):3–8.
23. Maron MS, Hauser TH, Dubrow E, Horst TA, Kissinger KV, Udelson JE, u. a. Right Ventricular Involvement in Hypertrophic Cardiomyopathy. Am J Cardiol. Oktober 2007;100(8):1293–8.
24. Sethna CB, Leisman DE. Left Ventricular Hypertrophy in Children with Hypertension: in Search of a Definition. Curr Hypertens Rep. August 2016;18(8):65.

25. Litwin M. Why should we screen for arterial hypertension in children and adolescents? *Pediatr Nephrol.* Januar 2018;33(1):83–92.
26. Kavey REW. Left Ventricular Hypertrophy in Hypertensive Children and Adolescents: Predictors and Prevalence. *Curr Hypertens Rep.* Oktober 2013;15(5):453–7.
27. Fifer MA, Borow KM, Colan SD, Lorell BH. Early diastolic left ventricular function in children and adults with aortic stenosis. *J Am Coll Cardiol.* Mai 1985;5(5):1147–54.
28. Al Dahouk S, Karges W. Kardiologie. In: *Innere Medizin. in 5 Tagen* [Internet]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2014 [zitiert 29. Januar 2024]. (Springer-Lehrbuch). Verfügbar unter: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-41618-7\\_1](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-41618-7_1)
29. Stegeman R, Paauw ND, De Graaf R, Van Loon RLE, Termote JUM, Breur JMPJ. The etiology of cardiac hypertrophy in infants. *Sci Rep.* 19. Mai 2021;11(1):10626.
30. Arbelo E, Protonotarios A, Gimeno JR, Arbustini E, Barriales-Villa R, Basso C, u. a. 2023 ESC Guidelines for the management of cardiomyopathies. *Eur Heart J.* 1. Oktober 2023;44(37):3503–626.
31. Ulmer HE. Hypertrophe Kardiomyopathie bei Kindern und Jugendlichen. *herzblatt - Leben mit angeborenem Herzfehler Deutsche herzstiftung eV.* November 2017;24.
32. Gertsch M, Steinbeck G, Fässler B, Gertsch M. *Das EKG: auf einen Blick und im Detail ; mit 54 Tabellen.* 2. Aufl. Heidelberg: Springer Medizin Verl; 2008.
33. Cadogan M, Buttner R. Katz-Wachtel phenomenon [Internet]. *Life in the Fastlane.* 2022 [zitiert 28. Februar 2024]. Verfügbar unter: <https://litfl.com/katz-wachtel-phenomenon/>
34. Katz LN, Langendorf R, Pick A. *Introduction to the Interpretation of the Electrocardiogram.* Chicago: University of Chicago Press; 1952. (University of Chicago Committee on Publications in Biology and Medicine).
35. Elliott LP, Taylor WJ, Schiebler GL. Combined ventricular hypertrophy in infancy: Vectorcardiographic observations with special reference to the Katz-Wachtel phenomenon. *Am J Cardiol.* Februar 1963;11(2):164–72.
36. Murphy ML, Thenabadu PN, De Soyza N, Doherty JE, Meade J, Baker BJ, u. a. Reevaluation of electrocardiographic criteria for left, right and combined cardiac ventricular hypertrophy. *Am J Cardiol.* April 1984;53(8):1140–7.
37. Jain A, Chandna H, Silber EN, Clark WA, Denes P. Electrocardiographic patterns of patients with echocardiographically determined biventricular hypertrophy. *J Electrocardiol.* Juli 1999;32(3):269–73.

38. Flachskampf FA. Kursbuch Echokardiografie: unter Berücksichtigung nationaler und internationaler Leitlinien. 6., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2017.
39. Binder-Rodriguez C. Echokardiografische Beurteilung der Linksventrikelhypertrophie [Internet]. Universimed - Medizin im Fokus. 2022 [zitiert 31. Januar 2024]. Verfügbar unter: <https://www.universimed.com/ch/article/kardiologie-gefaessmedizin/echokardiografische-beurteilung-linksventrikelhypertrophie-178222#:~:text=Als%20konzentrische%20Hypertrophie%20bezeichnet%20man,linksventrikuläre%20Volumen%20nicht%20bedeutsam%20reduziert>.
40. Wilkenshoff U, Kruck I. Handbuch der Echokardiografie. 6., aktualisierte und erweiterte Auflage. Stuttgart New York: Georg Thieme Verlag; 2017.
41. Chubb H, Simpson J. The use of Z-scores in paediatric cardiology. *Ann Pediatr Cardiol.* 2012;5(2):179.
42. Kampmann C. Normal values of M mode echocardiographic measurements of more than 2000 healthy infants and children in central Europe. *Heart.* 1. Juni 2000;83(6):667–72.
43. Diagnose und Behandlung der hypertrophen Kardiomyopathie. Grünwald: Börm Bruckmeier Verlag GmbH; 2016.
44. Kühl C, Frey N. Die hypertrophe Kardiomyopathie. *Med Genet.* 30. November 2017;29(3):316–22.
45. Dobson CP, Eide M, Nylund CM. Hypertension Prevalence, Cardiac Complications, and Antihypertensive Medication Use in Children. *J Pediatr.* Juli 2015;167(1):92–97.e1.
46. Davignon A, Rautaharju P, Boisselle E, Soumis F, Mégélas M, Choquette A. Normal ECG standards for infants and children. *Pediatr Cardiol.* Februar 1980;1(2):123–31.
47. Lue HC, Wu MH, Wang JK, Lin MT, Lu CW, Chiu SN, u. a. Normal ECG standards and percentile charts for infants, children and adolescents. *Pediatr Neonatol.* Mai 2023;64(3):256–73.
48. Rijnbeek P. New normal limits for the paediatric electrocardiogram. *Eur Heart J.* 15. April 2001;22(8):702–11.
49. Namin EP, Arcilla RenéA, D’cruz IA, Gasul BM. Evolution of the frank vectorcardiogram in normal infants. *Am J Cardiol.* Juni 1964;13(6):757–66.
50. Wachtel FW, Rothfeld EL, Karlen WS, Bernstein A. The evolution of the

vectorcardiogram and electrocardiogram of the normal infant. *Am J Cardiol.* April 1960;5(4):450–6.

51. Namin EP, D'Cruz IA. THE VECTORCARDIOGRAM IN NORMAL CHILDREN. *Heart.* 1. September 1964;26(5):689–96.
52. Wenger R. Die Vektorkardiographie in der klinischen Diagnostik. *DMW - Dtsch Med Wochenschr.* Dezember 1962;87(50):2574–9.
53. Antwerpes F, Van Krimpen J. Vektorkardiografie [Internet]. DocCheck Flexikon. 2018 [zitiert 16. März 2024]. Verfügbar unter: <https://flexikon.doccheck.com/de/Vektorkardiografie>
54. Lue HC, Wu MH, Wang JK, Lin MT, Lu CW, Chiu SN, u. a. Study on ECG in the Adolescent. *Pediatr Cardiol.* Juni 2018;39(5):911–23.
55. Tague L, Wiggs J, Li Q, McCarter R, Sherwin E, Weinberg J, u. a. Comparison of Left Ventricular Hypertrophy by Electrocardiography and Echocardiography in Children Using Analytics Tool. *Pediatr Cardiol.* Oktober 2018;39(7):1378–88.