

## 2 Einleitung

Drei Hauptdeterminanten beschreiben die mechanische Herzfunktion: die Herzfrequenz, der Frank-Starling Mechanismus und die Kontraktilität. Das Produkt der Herzfunktion ist das Herzzeitvolumen:  $HZV = \text{Herzfrequenz} \times \text{Schlagvolumen}$ . Das Schlagvolumen wird einerseits durch die Kontraktilität des Ventrikels bestimmt, andererseits durch Vorlast und Nachlast. Die Vorlast wird definiert durch das Füllungsvolumen und die Füllungsbedingungen eines Ventrikels, ist also ein hauptsächlich in der Diastole erfassbares Phänomen. Die Nachlast wird durch den Gefäßwiderstand und geometrisch-morphologische Eigenschaften des Ventrikels repräsentiert und ist ein überwiegend die Systole betreffender Faktor. Die Wandspannung, auch Wall Stress genannt, kann als Relation von Druck, Durchmesser und Wanddicke der Pumpkammer nach dem Laplaceschen Gesetz beschrieben werden. Sie ist ein Maß für die Nachlast und wird berechnet als

$$\text{Wall stress} = (\text{Druck} \times \text{Radius}) / (2 \times \text{Wanddicke})$$

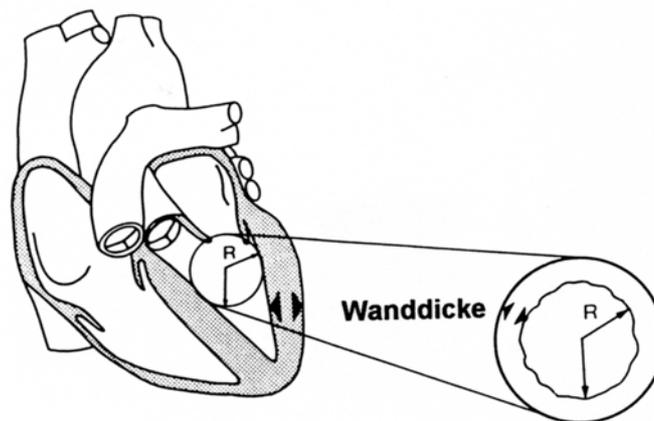


Abbildung 2-1: Schematische Darstellung von Wanddicke (◄►) und Ventrikelradius (R). Diese Parameter sind der echokardiographischen Untersuchung leicht zugänglich.

Das Verhältnis von Kontraktilität und Wandspannung liefert einen sensitiven Parameter zur Differenzierung physiologischer von pathologischer systolischer Ventrikelfunktion (Grossman 1975).

Die gesonderte Betrachtung der Ventrikelfunktion in Systole und in Diastole ist aus verschiedenen Gründen praktisch und wird auch heute noch im klinischen Alltag bevorzugt. Vom physiologischen und pathophysiologischen Standpunkt aus ist sie aber nicht gerechtfertigt, weil systolische und diastolische Funktion selten unabhängig voneinander sind.

Starling hat 1918 diese Abhängigkeit erstmals beschrieben. Das sog. Frank-Starling Diagramm ist in den folgenden beiden Abbildungen beispielhaft dargestellt.

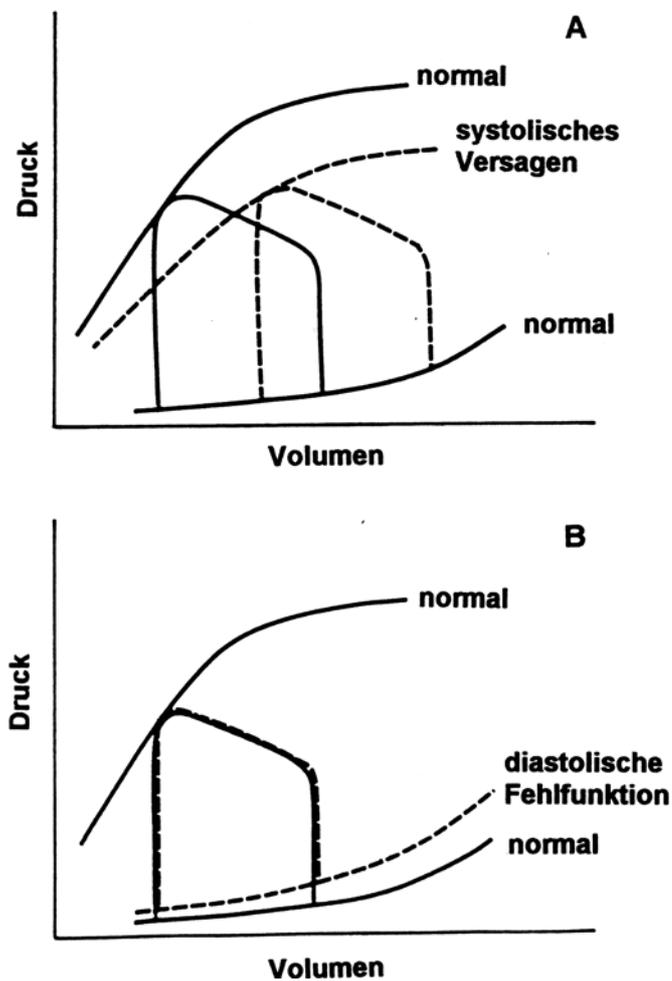


Abbildung 2-2: Sowohl rein systolisches Versagen (**A**) als auch rein diastolisches Versagen (**B**) führt zu einer Veränderung der Druck/Volumenschleife und hat so direkte Auswirkungen auf die Arbeitsbedingungen des Myokards oder das Auswurfvolumen des Ventrikels.

Wenn Inotropie und/oder Lusitropie abnehmen, arbeitet das Myokard in einem ungünstigen Bereich, das Herzzeitvolumen nimmt ab. In dieser Situation vermindert sich bei gesteigertem Sauerstoffbedarf die Koronarperfusion. Das verringerte Schlagvolumen bei gleichzeitig erhöhtem diastolischem Ventrikeldruck schafft Bedingungen, die zu einer hypoxischen Myokardschädigung führen und einen Circulus vitiosus auslösen, der letztlich in die dekompenzierte Herzinsuffizienz mündet.

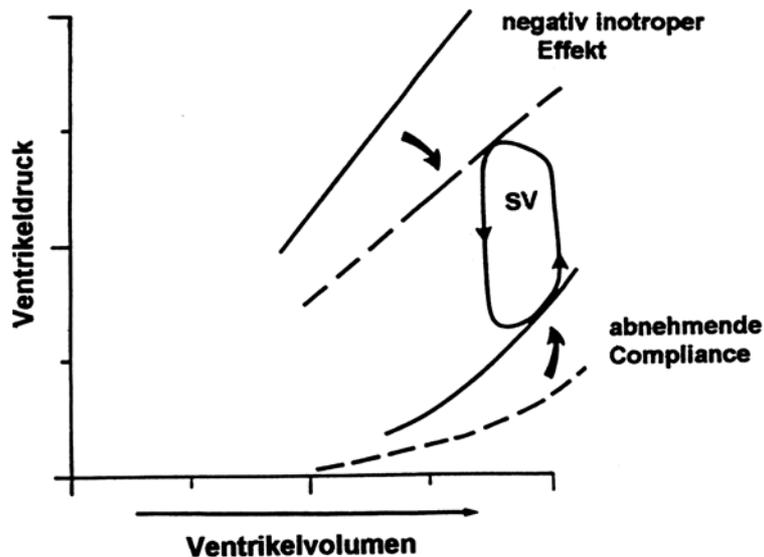


Abbildung 2-3: Kombiniertes systolisches und diastolisches Versagen führen zur Abnahme des Schlagvolumens (SV) und Verschiebung des Arbeitsdiagramms in einen unökonomischen Bereich.

Obwohl es also sinnvoll erscheint, systolische und diastolische Ventrikelfunktion gemeinsam zu betrachten, wird die Herzfunktion aus methodischen Gründen meist in Einzelschritten analysiert und anschließend zu einem Gesamtbild zusammengefügt.

Tabelle 2-1: Systolische und diastolische Phasen nach Wiggers.  
Etablierte und in der vorliegenden Arbeit angewandte Methoden

Phasen des Herzzyklus	Messmethoden	Algorithmen
Isovolumische Kontraktion	HK, Echo	$dp/dt_{max}$ , PEP
Maximale Ejektion	HK, RNV, <u>Echo</u>	EF, <u>FS</u> , <u>WS</u> , <u>LVET</u>
Reduzierte Ejektion	HK, RNV, <u>Echo</u>	EF, <u>WS</u> , <u>LVET</u>
Protodiastole	HK, RNV, <u>Echo</u>	EF, <u>WS</u> , <u>LVET</u>
Isovolumische Relaxation	HK, Echo, <u>Doppler</u>	$-dp/dt_{max}$ , <u>IVRT</u>
Frühe Füllungsphase	HK, RNV, Echo, <u>Doppler</u>	PFR, <u>E-Indices</u> , <u>DTI</u>
Diastase	HK, RNV, Echo, <u>Doppler</u>	<u>DTI</u>
Atriale Füllungsphase	HK, RNV, Echo, <u>Doppler</u>	<u>A-Indices</u>

HK = Herzkatheterisierung, RNV = Radionuklidventrikulographie, Echo = Echokardiographie (2D, M-mode, Color M-mode), EF = Ejektionsfraktion, FS = Verkürzungsfraktion, WS = Wall Stress, DTI = diastolische Zeitintervalle, IVRT = isovolumische Relaxationszeit, PFR = Peak Filling Rate, PEP = Präejektionsperiode, LVET = linksventrikuläre Ejektionszeit.

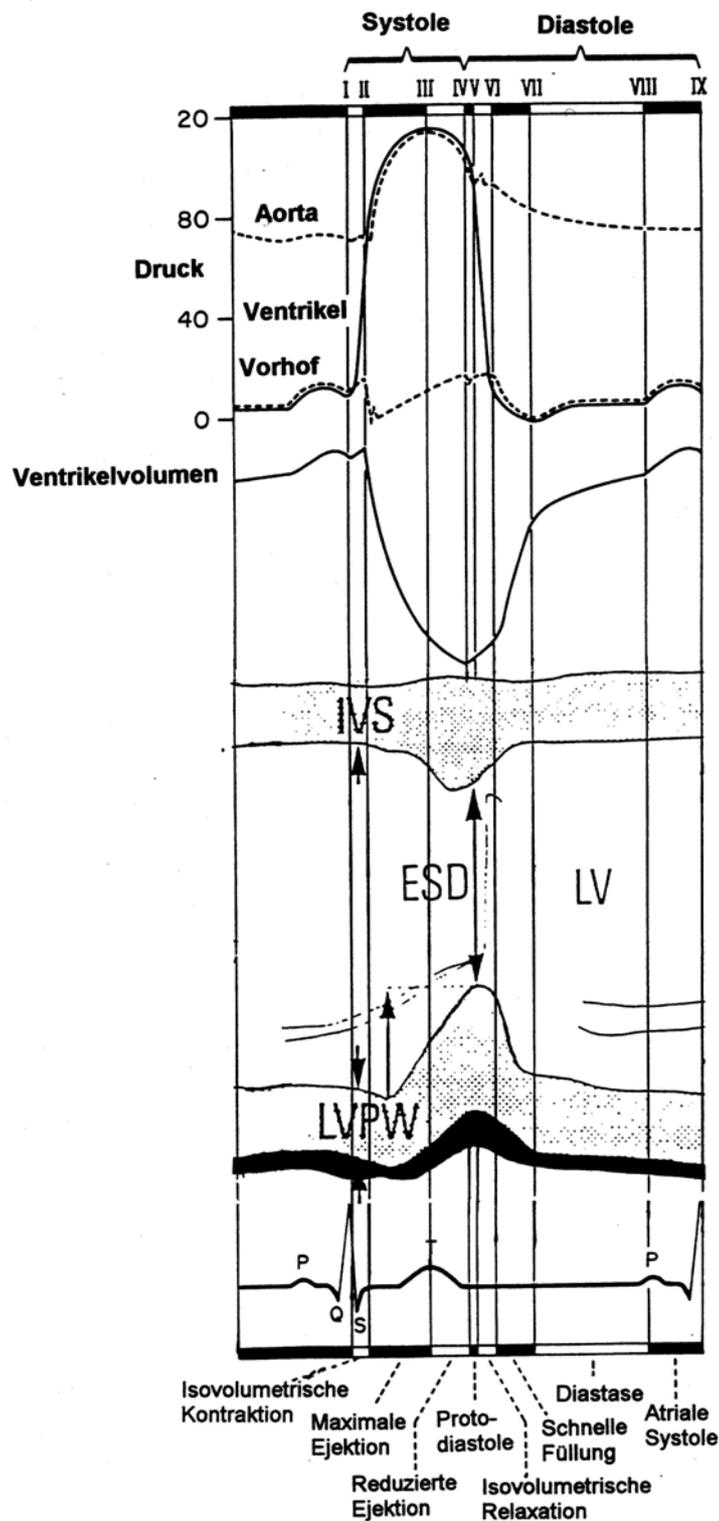


Abbildung 2-4: Einteilung der Funktionsphasen des linken Ventrikels nach Wiggers. Im unteren Teil ist eine echokardiographische M-mode Aufzeichnung implementiert. IVS = interventrikuläres Septum, ESD = endsystolischer Durchmesser des linken Ventrikels (LV), LVPW = Hinterwand des linken Ventrikels.

M-mode und 2-dimensionale Echokardiographie ermöglichen eine Beurteilung von Kontraktilität, Nachlast und Ventrikelvolumen. Mit Hilfe der Doppler-Echokardiographie kann man die diastolischen Phasen des Herzzyklus differenzierter betrachten.

Jede systolische Funktionsstörung geht auch mit einer Beeinträchtigung der diastolischen Funktion einher. Der Wert des Nachweises diastolischer Funktionseinschränkungen liegt einerseits darin, dass einer systolischen Funktionsstörung oft ein diastolische vorangeht, und dass mit dem Nachweis der diastolischen Fehlfunktion eine marginale oder beginnende Schädigung des Myokards nachweisbar wird (Bu'Lock, 1995b). Andererseits sind bei Erwachsenen bedeutende diastolische Funktionsstörungen auch ohne Beeinträchtigung der systolischen Funktion im Rahmen hypertropher Kardiomyopathien, bei arterieller Hypertension, bei Aorten- und Mitralvitien und bei ischämischer Herzerkrankungen beschrieben (Grossman, 1991). Der Frage, ob es über diese Erkrankungen hinaus klinisch relevante diastolische Funktionsstörungen bei Kindern gibt, wurde in den vorgelegten Publikationen (3, 6) nachgegangen.

Bei Kindern ist die Interpretation Doppler-echokardiographisch ermittelter diastolischer Parameter durch folgende Faktoren erschwert und eingeschränkt:

1. Die Doppler-echokardiographischen Parameter unterliegen sowohl rein wachstumsbedingten Veränderungen, als auch Veränderungen, die mit der Ausreifung der diastolischen Ventrikelfunktion zusammenhängen.
2. Die Reifungsperiode der diastolischen Funktion des linken Ventrikels bei reif geborenen Säuglingen ist nicht ausreichend untersucht.
3. Es ist unbekannt, wie diese Reifungsperiode bei Frühgeborenen verläuft.

Die Akzeptanz transmitraler Doppler Untersuchungen zur Evaluierung der diastolischen Ventrikelfunktion ist in der Pädiatrie aus den genannten Gründen bisher gering. Ziel unserer Arbeit war es deshalb, Normwerte für alle in der Pädiatrie relevanten Altersgruppen zu erstellen und die physiologischen Ursachen der beobachteten Parameterverläufe zu untersuchen. Es sollte gezeigt werden, ob ein auf dem bisherigen Wissensstand basierendes physiologisches Modell die beobachteten Veränderungen in den Parameterverläufen erklären kann.