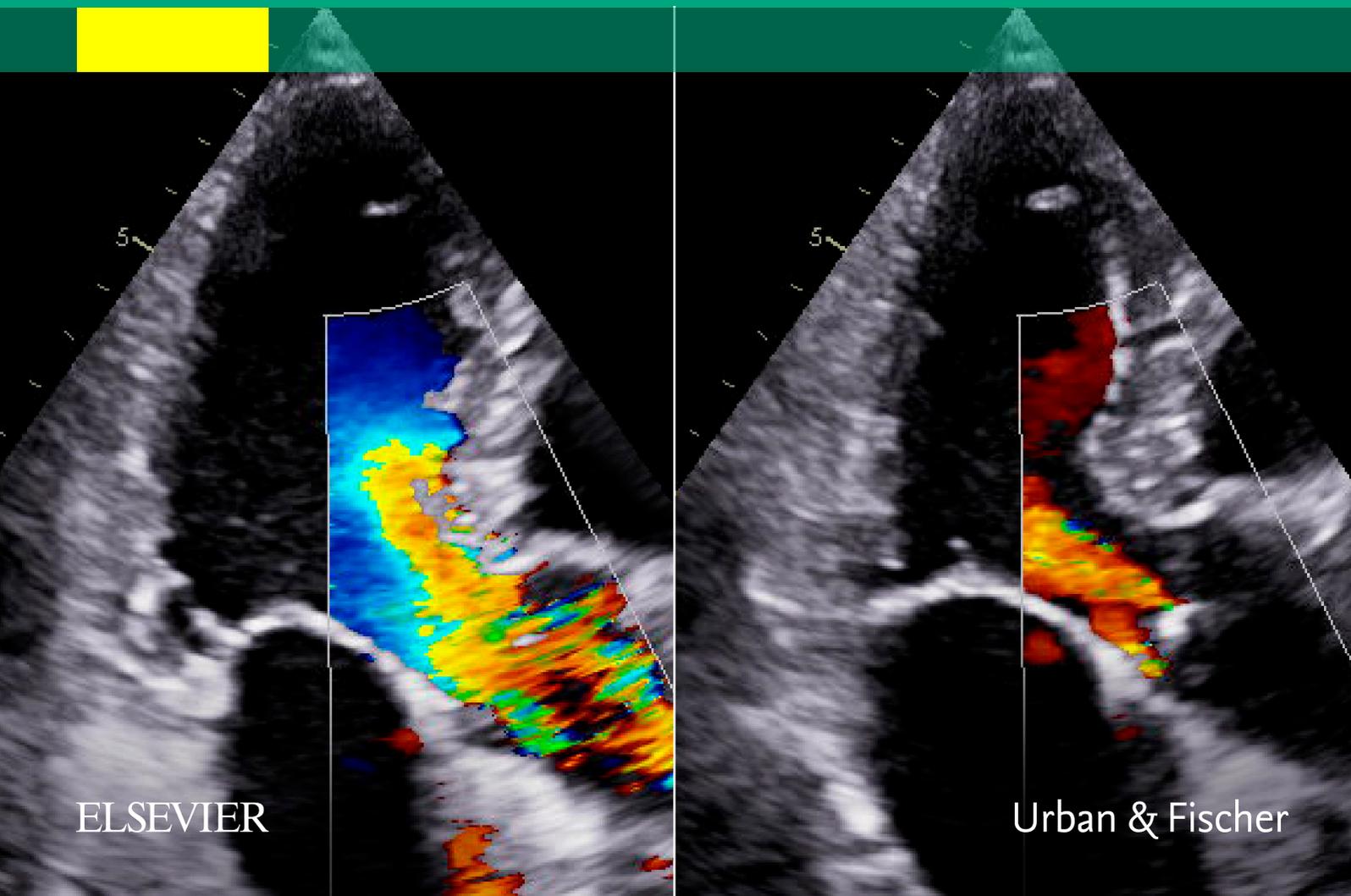


Andreas Hagendorff Stephan Stöbe

Leseprobe

# Basiswissen Echokardiografie

„Ars echocardiographica“ –  
Schritt für Schritt zur korrekten Diagnose



ELSEVIER

Urban & Fischer

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	<b>1</b>	<b>3.2</b>	<b>Darstellung und Ausmessung der einzelnen Herzhöhlen in der konventionellen Echokardiografie</b> .....	<b>134</b>
<b>2</b>	<b>Physikalische Grundlagen</b> .....	<b>5</b>	3.2.1	Parasternale Anlotungen des linken Ventrikels . . . .	134
2.1	<b>Bildgebung – 2D-Bild und M-Mode</b> .....	6	3.2.2	Der linke Ventrikel in den apikalen Anlotungen . . . .	145
2.1.1	Grundbegriffe des Ultraschalls .....	6	3.2.3	Der linke Ventrikel in den subkostalen Anlotungen .	149
2.1.2	Grundlagen des Bildaufbaus: vom Ultraschallimpuls zum Ultraschallbild .....	12	3.2.4	Das linke Atrium mit linksatrialem Cavum, linkem Vorhofohr und den Lungenvenen .....	151
2.1.3	Grundaspekte zur Einstellung des zweidimensionalen Ultraschallbilds .....	28	3.2.5	Der rechte Ventrikel mit seinem Einfluss- und Ausflusstrakt sowie der oberen und unteren Hohlvene .....	154
2.2	<b>Die Doppler-Echokardiografie</b> .....	37	3.2.6	Das rechte Atrium mit rechtsatrialem Cavum, rechtem Vorhofohr und den Hohlvenen .....	160
2.2.1	Darstellungsmodalitäten und physikalische Gesetze .....	37	<b>3.3</b>	<b>Dokumentation der Herzklappen in der konventionellen Echokardiografie</b> .....	<b>163</b>
2.2.2	Die Continuous-Wave-Spektral-Doppler-Echokardiografie: Welche Verwendung findet sie und was muss beachtet werden? .....	44	3.3.1	Darstellung der Aortenklappe in den Standardschnittebenen .....	163
2.2.3	Die gepulste Spektral-Doppler-Echokardiografie: Welche Verwendung findet sie und was muss beachtet werden? .....	47	3.3.2	Darstellung der einzelnen Strukturelemente der Mitralklappe in den Standardschnittebenen .....	181
2.2.4	Die farbkodierte Doppler-Echokardiografie: Welche Verwendung findet sie und was muss beachtet werden? .....	55	3.3.3	Darstellung der Pulmonalklappe in den Standardschnittebenen .....	197
2.3	<b>Rheologie des Blutes – die Lehre von den Blutströmungen im kardiovaskulären System</b> . . .	65	3.3.4	Darstellung der Trikuspidalklappe in den Standardschnittebenen .....	198
2.3.1	Parameter der Doppler-Echokardiografie zur funktionellen Beurteilung von Herz und Kreislauf . .	65	<b>4</b>	<b>Der standardisierte Untersuchungsgang in der transthorakalen Echokardiografie</b> . . . .	<b>211</b>
2.3.2	Die Bestimmung des Schlagvolumens mittels Doppler-Echokardiografie – Dokumentation und Fehlermöglichkeiten .....	68	4.1	<b>Voraussetzungen zur Strukturierung der echokardiografischen Dokumentation</b> .....	<b>212</b>
2.3.3	Die Bestimmung von Druckgradienten aus transvalvulären Geschwindigkeiten durch die Bernoulli-Gleichung .....	74	4.1.1	Allgemeine Anforderungen und Standard der echokardiografischen Ultraschallsysteme .....	212
2.3.4	Die Strömungsmorphologie an den Herzklappen: Stenosen und Regurgitationen .....	77	4.1.2	Notwendige Angaben zur Untersuchung und zur eindeutigen Patientenidentifikation .....	213
2.3.5	Strömungsdarstellungen in der farbkodierten Doppler-Echokardiografie: physikalische und physiologische Determinanten .....	91	<b>4.2</b>	<b>Standardisierung der echokardiografischen Dokumentation</b> .....	<b>214</b>
<b>3</b>	<b>Echokardiografische Darstellung der normalen kardialen Morphologie</b> .....	<b>97</b>	4.2.1	Notwendige Schnittebenen, Doppler-Spektren, Messungen und Kalkulationen .....	214
3.1	<b>Die Schnittebenen des Herzens</b> .....	98	4.2.2	Standardisierte parasternale Dokumentation sowie die zugehörigen Messungen .....	214
3.1.1	Grundprinzipien des Schallens in der transthorakalen Echokardiografie .....	98	4.2.3	Standardisierte apikale Dokumentation sowie die zugehörigen Messungen .....	228
3.1.2	Die standardisierten parasternalen Schnittebenen .....	113	4.2.4	Standardisierte subkostale Dokumentation sowie die zugehörigen Messungen .....	245
3.1.3	Die standardisierten apikalen Schnittebenen .....	118	4.2.5	Standardisierte suprasternale Dokumentation sowie die zugehörigen Messungen .....	248
3.1.4	Die standardisierten subkostalen und suprasternalen Schnittebenen .....	128	<b>4.3</b>	<b>Der standardisierte Befund – Struktur und Inhalt</b> .....	<b>250</b>

<b>5</b>	<b>Einführung in die standardisierte Echokardiografie bei bestimmten kardiovaskulären Erkrankungen</b> .....	251	6.3.3	Echokardiografische Analyse der Funktion der Mitralklappe und des linken Ventrikels bei Mitralklappeninsuffizienzen .....	310
5.1	Linksventrikuläre systolische Funktion und Befunde bei koronarer Herzerkrankung .....	252	6.4	<b>Konventionelle echokardiografische Beurteilung der isolierten Aortenklappeninsuffizienz</b> .....	329
5.1.1	Grundlagen zur Beurteilung der globalen und regionalen linksventrikulären systolischen Funktion .....	252	6.4.1	Definitionen und Verlauf .....	329
5.1.2	Bestimmung der linksventrikulären Ejektionsfraktion als Parameter der globalen linksventrikulären systolischen Funktion .....	258	6.4.2	Echokardiografische Analyse der Morphologie der Aortenklappe und der umgebenden Strukturen bei Aortenklappeninsuffizienzen .....	329
5.1.3	Beurteilung der regionalen systolischen linksventrikulären Funktion: Kinetik- und Wandbewegungsstörungen bei koronarer Herzerkrankung .....	262	6.4.3	Echokardiografische Analyse der Funktion der Aortenklappe und des linken Ventrikels bei Aortenklappeninsuffizienzen .....	330
5.2	Linksventrikuläre diastolische Funktion und Befunde bei hypertensiver Herzerkrankung bzw. diastolischer Herzinsuffizienz .....	272	6.5	<b>Konventionelle echokardiografische Beurteilung der isolierten Mitralklappenstenose</b> .....	343
5.2.1	Grundlagen zur Beurteilung der linksventrikulären diastolischen Funktion .....	272	6.5.1	Definitionen und Verlauf .....	343
5.2.2	Konventionelle echokardiografische Beurteilung der diastolischen Funktion: Methodik .....	273	6.5.2	Echokardiografische Analyse der Morphologie der Mitralklappe und der umgebenden Strukturen bei einer Mitralklappenstenose .....	343
5.2.3	Beurteilung der diastolischen Funktion bei Patienten mit isolierter diastolischer Herzinsuffizienz bei normaler oder erhaltener linksventrikulärer systolischer Funktion .....	286	6.5.3	Echokardiografische Analyse der Funktion der Mitralklappe und der benachbarten Herzhöhlen bei einer Mitralklappenstenose .....	344
<b>6</b>	<b>Einführung in die Beurteilung der Herzklappenerkrankungen</b> .....	293	6.6	<b>Konventionelle echokardiografische Beurteilung der Klappenerkrankungen des rechten Herzens</b> ..	350
6.1	Systematik der echokardiografischen Beurteilung von Herzklappenerkrankungen .....	294	6.6.1	Echokardiografische Analyse der Trikuspidalklappeninsuffizienz und der benachbarten Herzhöhlen .....	350
6.1.1	Standardisierte Dokumentation unter besonderer Berücksichtigung von Pathologie und Pathophysiologie .....	294	6.6.2	Echokardiografische Analyse der Trikuspidalklappenstenose und der benachbarten Herzhöhlen .....	350
6.1.2	Einstufung von sekundären Veränderungen des Herzens und von Herzklappenerkrankungen sowie notwendige Messungen und Zielgrößen .....	294	6.6.3	Echokardiografische Analyse der Pulmonalklappeninsuffizienz und der benachbarten Herzhöhlen .....	351
6.2	<b>Konventionelle echokardiografische Beurteilung der isolierten Aortenklappenstenose</b> .....	296	6.6.4	Echokardiografische Analyse der Pulmonalklappenstenose und der benachbarten Herzhöhlen .....	351
6.2.1	Definitionen und Verlauf .....	296	<b>7</b>	<b>Einführung in die Notfall-Echokardiografie</b> .....	357
6.2.2	Echokardiografische Analyse der Morphologie der Aortenklappe und der umgebenden Strukturen bei Aortenklappenstenosen .....	296	7.1	Prinzipielle Aspekte zur Echokardiografie in Notfallsituationen .....	358
6.2.3	Echokardiografische Analyse der Funktion der Aortenklappe und des linken Ventrikels bei Aortenklappenstenosen .....	296	7.2	Kardiale Struktur- und Funktionsanalyse mittels Notfall-Echokardiografie .....	360
6.3	<b>Konventionelle echokardiografische Beurteilung der isolierten Mitralklappeninsuffizienz</b> .....	308	<b>Literatur</b> .....	371	
6.3.1	Definitionen und Verlauf .....	308	<b>Register</b> .....	373	
6.3.2	Echokardiografische Analyse der Morphologie der Mitralklappe und der umgebenden Strukturen bei Mitralklappeninsuffizienzen .....	309			

# 3

## Echokardiografische Darstellung der normalen kardialen Morphologie

<b>3.1</b>	<b>Die Schnittebenen des Herzens</b> .....	98	<b>3.2.5</b>	Der rechte Ventrikel mit seinem Einfluss- und Ausflusstrakt sowie der oberen und unteren Hohlvene .....	154
3.1.1	Grundprinzipien des Schallens in der transthorakalen Echokardiografie .....	98	<b>3.2.6</b>	Das rechte Atrium mit rechtsatrialem Cavum, rechtem Vorhofohr und den Hohlvenen .....	160
3.1.2	Die standardisierten parasternalen Schnittebenen .....	113	<b>3.3</b>	<b>Dokumentation der Herzklappen in der konventionellen Echokardiografie</b> .....	163
3.1.3	Die standardisierten apikalen Schnittebenen .....	118	3.3.1	Darstellung der Aortenklappe in den Standardschnittebenen .....	163
3.1.4	Die standardisierten subkostalen und suprasternalen Schnittebenen .....	128	3.3.2	Darstellung der einzelnen Strukturelemente der Mitralklappe in den Standardschnittebenen .....	181
<b>3.2</b>	<b>Darstellung und Ausmessung der einzelnen Herzhöhlen in der konventionellen Echokardiografie</b> .....	134	3.3.3	Darstellung der Pulmonalklappe in den Standardschnittebenen .....	197
3.2.1	Parasternale Anlotungen des linken Ventrikels ....	134	3.3.4	Darstellung der Trikuspidalklappe in den Standardschnittebenen .....	198
3.2.2	Der linke Ventrikel in den apikalen Anlotungen ....	145			
3.2.3	Der linke Ventrikel in den subkostalen Anlotungen .....	149			
3.2.4	Das linke Atrium mit linksatrialem Cavum, linkem Vorhofohr und den Lungenvenen .....	151			



## 3.1 Die Schnittebenen des Herzens

### 3.1.1 Grundprinzipien des Schallens in der transthorakalen Echokardiografie

Warum ist die richtige Technik für die Einstellung der Schnittebenen und Doppler-Spektren wichtig? Was sind die Grundvoraussetzungen für eine koordinierte Durchführung der transthorakalen Echokardiografie?

Der sonografische Zugang zum Herzen ist – wegen dessen Lage im Thorax zwischen Lunge und Rippen – nur über begrenzte „Schallfenster“ möglich. Die wesentlichen Anlotungszonen sind das

- links-parasternale,
- apikale,
- subkostale und
- suprasternale Schallfenster (➤ Abb. 3.1.1).

Bei Anlotung des links-parasternalen und des apikalen Schallfensters erfolgt die echokardiografische Untersuchung in der Regel in Linksseitenlage, bei Anlotung des subkostalen und des suprasternalen Schallfensters in Rückenlage des Patienten. Für bestimmte Fragestellungen kann auch ein rechts-parasternales Schallfenster in Rechtsseitenlage des Patienten geeignet sein.

Zur Durchführung der transthorakalen Echokardiografie ist es notwendig, die wesentlichen Schnittebenen des Herzens, jeweils individuell auf den Patienten bezogen, zu verstehen bzw. zu „begreifen“. Zu den Grundvoraussetzungen für eine koordinierte Durchführung der transthorakalen Echokardiografie gehört sowohl eine exakte und stabile Haltung des Schallkopfs (Transducer) auf der Haut des Patienten als auch die optimale manuelle Kontrolle des Transducers, um kardiale Strukturen in einem bestimmten Sektor der eingestellten Schnittebene fixieren zu können. Dies bedeutet zum einen, dass der Untersucher eine kardiale Struktur innerhalb des Scan-Sektors von links nach rechts und umgekehrt bewegen können muss, ohne die eingestellte Schnittebene zu verlieren. Zum anderen muss der Untersucher in der Lage sein, den Transducer isoliert zu drehen, ohne bei 60°- bzw. 90°-Drehungen des Schallkopfs die zuvor in der Mitte des Sektors eingestellte Struktur zu verlieren. Bei Übungen zur Darstellung kardialer Strukturen (z. B. der Mitralklappe oder Aortenklappe) in der parasternalen Anlotung – mit Bewegungen dieser eingestellten Strukturen im Sektor von links nach rechts – sollte darauf geachtet werden, dass sich bei der isolierten Kippbewegung über die **schmale Kante des Transducers** die Ebene nicht verändert (➤ Abb. 3.1.2). Generell bewirkt eine Kippbewegung über die schmale Kante des Transducers auch in allen anderen Schnittebenen, z. B. in der parasternalen kurzen Achse auf Höhe der Mitralklappe, eine Verlagerung der abgebildeten Strukturen im Sektor von links nach rechts, falls der Transducer nicht gleichzeitig geneigt oder gedreht wird (➤ Abb. 3.1.3). Zu einer Verlagerung von links nach rechts kann es zudem bei jeder anderen Struktur des Herzens in einem parasternalen Kurzachsenschnitt kommen, z. B. einem Querschnitt durch das linke Herz in Höhe der Papillarmuskeln (➤ Abb. 3.1.4). Eine Neigung über die **breite Kante des Transducers** führt dagegen zu Veränderungen der Schallebene und damit zur Darstellung anderer kardialer Strukturen. In der standar-

disierten links-parasternalen langen Achse wird durch isoliertes Neigen des Schallkopfs über die breite Kante *nach medial* zunächst der Bereich des *Sulcus interventricularis posterior* mit posterior-inferioren Myokardanteilen dargestellt. Oft ist der mittlere Abschnitt der längs getroffenen rechten Koronararterie in diesem Bereich gut erkennbar. Mit einer geringen weiteren Neigung nach medial lässt sich der *rechtsventrikuläre Einflusstrakt* mit mittig eingestellter Trikuspidalklappe und Einmündung des längs angeschnittenen Koronarsinus darstellen. Bei dieser Anlotung des rechten Herzens verlagert sich die Ausgangsschallebene also nach ventral zum Sternum hin. Bei isolierter Neigung des Schallkopfs aus der standardisierten parasternalen langen Achse *nach lateral* (auf den Patienten bezogen zur linken Schulter hin) wird zunächst der Bereich des *Sulcus interventricularis anterior* mit anteroseptalen und anterioren Myokardanteilen dargestellt. In diesem Bereich ist in der Regel der proximale *Sulcus interventricularis anterior* längs angeschnitten. Eine geringe weitere Neigung nach lateral macht den *rechtsventrikulären Ausflusstrakt* mit mittig eingestellter Pulmonalklappe und längs angeschnittenem Truncus pulmonalis sichtbar (➤ Abb. 3.1.5).

Diese Übungen verdeutlichen, dass die technischen Fertigkeiten des Untersuchers neben der Zentrierung kardialer Strukturen im Schallsektor eine stereotaktische Schallweise ermöglichen müssen. Innerhalb der räumlichen Koordinaten darf jeweils nur eine Ebene isoliert verändert werden, um die kardialen Zielstrukturen genau charakterisieren und dokumentieren zu können. Mit anderen Worten bedeutet dies, der Transducer darf nur isoliert

- gekippt werden, ohne ihn zu neigen und zu drehen,
- geneigt werden (90°-Bewegung zur Kippung), ohne ihn zu kippen und zu drehen, oder
- gedreht werden, ohne ihn zu neigen und zu kippen.

Dies klingt ausgesprochen einfach, erfordert jedoch eine stabile und koordinierte Schallkopfhaltung, um die jeweiligen stereotaktischen Manöver isoliert ausführen zu können.

#### INFO

Technisch sauber und gezielt ausgeführte isolierte Schallkopfbewegungen innerhalb jeweils einer Ebene des Koordinatensystems sind das eigentliche „Geheimnis“ des gezielten Schallens in der transthorakalen Echokardiografie. Eine isolierte Kippung über die kurze Kante führt zu einer Verlagerung der eingestellten Schnittebene. Eine isolierte Neigung des Schallkopfs über die breite Kante führt hingegen zu Einstellungen anderer Schnittebenen, mit denen der Untersucher vertraut sein sollte, um die Grundeinstellungen bewusst und gezielt korrigieren bzw. spezielle Strukturen gezielt aufsuchen und einstellen zu können.

### Das Auge-Gehirn-Hand-Prinzip in der transthorakalen Echokardiografie

In der transthorakalen Echokardiografie ist eine komplexe Interaktion zwischen Augen, Gehirn und Handmuskulatur notwendig. Wenn sich Inkongruenzen des aktuellen Monitorbilds zum korrekten und gewünschten Standardschnitt zeigen, müssen sie dem Gehirn gemeldet werden, um durch gezieltes Bewegen des Schallkopfs eine entsprechende Korrektur vornehmen und die definierten Standard-Schnittebenen einstellen zu können. Nach Erlernen der ma-

nuellen Technik ist es dann natürlich auch möglich, gezielt und bewusst nichtstandardisierte, charakteristische Schnittebenen zur Dokumentierung einer kardialen Pathologie einzustellen. Durch die Koordination von Auge, Gehirn und Hand wird der Schallkopf zu einem zusätzlichen „Auge in der Hand“ des Untersuchers, dessen Korrekturbewegungen durch die Handmuskulatur wie die Korrekturbewegungen der Augenmuskulatur beim Sehen automatisch erfolgen müssen. Im Hinblick auf diesen Aspekt ist es verwunderlich, dass in nahezu allen Echokardiografie-Lehrbüchern eine Beschreibung der Grundhaltung des Schallkopfs und der koordiniert durchzuführenden Bewegungen mit dem Transducer fehlt, während sich in jedem Lehrbuch für Musiker Illustrationen zur Hand- und Fingerhaltung sowie Griffstabellen zum Spielen der Instrumente finden.

Für eine standardisierte echokardiografische Untersuchung muss zunächst die Ausgangsposition des Schallkopfs angegeben werden, die dem Untersucher eine Orientierung für die weitere Untersuchung ermöglicht. Diese Ausgangsstellung impliziert eine bestimmte Haltung und Ausrichtung des Schallkopfs, die mit einer definierten Schallebene assoziiert ist. Praktisch bedeutet dies, dass mit einer korrekten Handhaltung die korrekte Ebene eingestellt wird. Man darf also zum Aufsuchen der definierten Schallebene nicht gleich die Ausgangshaltung des Schallkopfs – durch Drehen, Kippen oder Neigen des Transducers – verändern. Falls dies zur Einstellung der definierten Schallebene notwendig sein sollte, muss nach Auffinden der korrekten Ebene vor jeder weiteren Veränderung zunächst die Haltung des Schallkopfs in der Ausgangsstellung korrigiert werden. Wie die Schallkopfausrichtung die Schallebene beeinflusst, die man sich als kegelförmigen, flachen „Kaffeefilter“ vor dem Transducer vorstellen kann, lässt sich über die Schallkopfmarkierung „begreifen“ und variieren. Man kann die Markierung auch ohne hinzusehen ertasten. Bei rechtshändigem Schallen sollte z. B. in der Grund- bzw. Ausgangsstellung die Fingerbeere des rechten Daumens auf der Markierung des Schallkopfs liegen.

### INFO

Die Ausgangsstellung in der transthorakalen Echokardiografie ist bei Patienten im Erwachsenenalter prinzipiell mit der Schallebene assoziiert, die sich eindeutig durch charakteristische Punkte definieren lässt. Diese Ebene entspricht in der parasternalen und apikalen Anlotung grundsätzlich der langen Achse des linken Ventrikels.

## Die unterschiedlichen Schalltechniken im klinischen Alltag: Schallkopf- und Körperhaltung sowie Ausgangsposition

Vorab soll ausdrücklich betont werden, dass das transthorakale Schallen prinzipiell mit der rechten oder linken Hand bzw. von der linken oder rechten Seite des Patienten durchgeführt werden kann. Als Argument oder Beweis für eine korrekte Schalltechnik ist immer die Akquisition standardisierter Bilder mit hoher Bildqualität anzusehen. In der Regel erlernen Schüler die Echokardiografie so, wie der jeweilige Lehrer es ihnen beibringt. Da die Autoren dieses Lehrbuchs mit der rechten Hand schallen, sind die Schallkopfhaltungen und Schallkopfbewegungen hier exemplarisch für „Rechts-

schaller“ gezeigt. Oft werden in der Diskussion über Vor- und Nachteile der betreffenden Schalltechniken regelrechte „Lagerkämpfe“ geführt, bei denen mit Limitationen durch ungünstige Körperhaltungen argumentiert wird. Letztlich kann man sich aber in jeder Position bzw. Körperhaltung bei der Echokardiografie verkrampfen, wenn man nicht entspannt schallt – was gleichermaßen für Rechts- wie für Linksschaller gilt. Aus Sicht der Autoren hat das *Schallen mit der rechten Hand, in sitzender Position links vom Patienten*, folgende wesentlichen Vorteile:

- Eine strikte Trennung zwischen der Hand am Patienten (rechte Hand) und der Hand an der Tastatur des Geräts (linke Hand). „Linksschaller“ greifen häufig auch mit der rechten Hand an den Transducer, um ihn zu drehen. Damit schallen sie eigentlich beidhändig, sodass eine strikte hygienische Trennung der Hand am Gerät und der Hand am Patienten nicht mehr gegeben ist.
- Die Möglichkeit, den Patienten mit dem eigenen Körper und der Hand zu fixieren, sodass man ihn an sich herandrücken und die Schallpositionen leichter konstant beibehalten kann.
- Das Gefühl der besseren Orientierung, da man das Herz durch eine Kreisbewegung der Hand zwischen parasternal und apikal sowie in anderen Schallpositionen umfahren und sich selbst bzw. das zu schallende Herz dabei im Zentrum eines Kreises betrachten kann. Die Orientierung bei den einzelnen Schallpositionen ist schwieriger, wenn man sich außerhalb eines Kreises befindet und bewegt.
- Die Atemluft der Patienten strömt in Linksseitenlage nicht zum Untersucher hin, was offensichtlich hygienisch von Vorteil ist. Wegen des engeren Körperkontakts beim Umgreifen von Thorax bzw. Rumpf des Patienten empfiehlt es sich unter hygienischen Gesichtspunkten, bei kritischen Patienten Schutzkleidung zu tragen bzw. diese speziellen Patienten mit zusätzlichen Abdeckvorrichtungen zu untersuchen.

Die Ausgangsposition des Schallkopfs für das parasternale und das apikale Schallfenster sollte prinzipiell der langen Achse des linken Ventrikels entsprechen. Um ein Gefühl für die Schallkopfausrichtung zu bekommen, sollte der Daumen die Markierung des Schallkopfs berühren. So können mit einer definierten Handhaltung des Transducers alle Anlotungen einer langen Achse des linken Ventrikels zwischen der korrekten parasternalen und der korrekten apikalen Anlotung eingestellt werden (> Abb. 3.1.6). Falls die lange Achse ohne Berühren der Schallkopfmarkierung und damit ohne Gefühl für die Ausrichtung der Schallebene eingestellt wird, kann die Orientierung der Schallebene in der langen Achse nicht nachempfunden werden, da der Untersucher die individuellen Koordinaten des Herzens innerhalb des Thorax nicht „begriffen“ hat. Ohne dieses Gefühl für die Ebene der langen Achse kann es dazu kommen, dass der Untersucher während des Scannens umherirrt und eine Odyssee im menschlichen Thorax beginnt. Die klassische „Odyssee“ in Verbindung mit dem Trojanischen Krieg hat letztlich 20 Jahre gedauert – und die Echokardiografie sollte doch schneller und in einem deutlich kürzeren Zeitraum erlernt werden!

Es ist daher wichtig, die Einstellung der Standardebenen für den linken Ventrikel durch richtige Handhaltung des Transducers zu „begreifen“ und nachempfinden zu können. Auch die senkrecht zur

Ebene der langen Achse liegende Ebene der kurzen Achse kann durch eine entsprechende Schallkopfführung zwischen parasternalen und subkostalen Anlotung eingestellt werden (> Abb. 3.1.7). Die Ebene des Vierkammerblicks lässt sich in unterschiedlichen Atemsituationen (expiratorisch von apikal und inspiratorisch von subkostal) als dritte charakteristische Ebene im Koordinatensystem einstellen (> Abb. 3.1.8).

### **KERNAUSSAGEN**

Der Zugang zum Herzen ist nur durch einzelne Schallfenster möglich. Eine stereotaktische Schallweise ermöglicht isolierte Dreh-, Neigungs- und Kippbewegungen des Schallkopfs. Jede transthorakale echokardiografische Untersuchung beginnt bei der parasternalen und auch apikalen Anlotung in einer Ausgangsstellung, die der langen Achse des linken Ventrikels entspricht. Die Ausgangsebene für die Untersuchung der jeweiligen Anlotungspunkte muss mit der korrekten Handhaltung des Transducers eingestellt bzw. koordiniert werden.

## Die Griffhaltung des Schallkopfs

Warum sind die Einstellung der Ausgangsebene, eine stabile Haltung und koordinierte Handhabung des Transducers wichtige Voraussetzungen für ein korrektes echokardiografisches Bild?

Um den Schallkopf stabil in seiner Position halten zu können, sollten alle Finger locker gebeugt sein. Die Fingerbeeren des 4. und 5. Fingers liegen normalerweise bequem nebeneinander unter der schmalen Kante des Schallkopfs. Zur Führung des Transducers wird der Daumen ohne jegliche Muskelanspannung auf die Markierung an der gegenüberliegenden kurzen Kante gelegt. Der Rumpf des Transducers befindet sich im Bereich des Zeigefingergrundgelenks. Mit dieser Handhaltung wird grundsätzlich zuerst die korrekte parasternale lange Achse des linken Ventrikels eingestellt (> Abb. 3.1.9). Für die Schnittebene der parasternalen langen Achse des linken Ventrikels zeigt die Markierung bei normalen Probanden üblicherweise zur rechten Schulter. Mit zunehmendem Linkstyp wandert die Markierung bei liegenden Patienten mehr senkrecht zur Körperachse, da in diesen Fällen die Ebene der langen Achse nahezu horizontal zum Zwerchfell liegt.

Die **parasternale lange Achse** des linken Ventrikels ist also die Ausgangsstellung in der transthorakalen Echokardiografie, die bei Verlust der Orientierung – vor jeglicher weiteren Bewegung des Transducers – wieder eingestellt werden sollte. Dies ist das gleiche Prinzip wie in einer Tanzstunde, in der man auch wieder die Ausgangsstellung einnimmt, wenn man aus dem Takt gekommen ist.

Ohne ein Gefühl für die Markierung und damit für die Ausrichtung der Schallebenen sowie mit verkrampften oder gestreckten Fingern in der Ausgangsposition verliert man leicht die Schallorientierung, was dann zu unüberbrückbaren Schwierigkeiten bei der Feineinstellung korrekter standardisierter Schnittebenen führt. Um den Schallkopf zu stabilisieren, müssen seine distale Oberfläche sowie der 4. und 5. Finger des Untersuchers drei Auflagepunkte auf der Haut des Patienten bilden. Nur so lässt sich die Schallebene ohne „Wackeln“ des Transducers sicher fixieren. Häufige Fehler bei der Schallkopfhaltung sind (> Abb. 3.1.10):

- Wegnehmen des Daumens von der Markierung des Transducers,
- das Abwinkeln des 4. und 5. Fingers unter den Transducer,
- fehlender Kontakt des 4. und 5. Fingers auf der Haut des Patienten,
- gestreckte und verkrampfte Fingerhaltung bzw. falsches Umgreifen des Transducers mit allen Fingern wie bei einer Reckstange.

Zum korrekten Halten des Schallkopfs müssen die Finger entspannt und locker sein. Allerdings ist für die Führung des Schallkopfs eine feinmotorische Steuerung der Hand notwendig: Um den Transducer fest zwischen den Fingern halten zu können, muss speziell der Daumen gegen den 4. und 5. Finger gedrückt werden, wobei sich die Beugemuskeln dieser Finger anspannen. Gleichzeitig muss der Transducer auch stabil gegen die Haut des Patienten gedrückt werden, damit er seine Position beibehält und nicht verrutscht. Dazu werden speziell der 4. und 5. Finger gegen den Thorax gedrückt,

wobei sich die Streckmuskeln dieser Finger anspannen. Das heißt, beim Schallen sind bisweilen die Beuger und die Strecker der Finger angespannt. Diese komplexe Bewegung sollte zudem so ausgeführt werden, dass nicht unnötig andere Muskelgruppen angespannt werden.

Die beschriebene Handhaltung ermöglicht eine  $90^\circ$ -Drehung des Transducers. Bei dieser Drehung verschiebt sich der Daumen von der Markierung nach vorn – bei gleichzeitiger Rückwärtsbewegung des 4. und 5. Fingers. Durch Betasten der Markierung in der Ausgangsposition kann man also, ohne auf den Transducer blicken zu müssen, eine exakte  $90^\circ$ -Drehung vornehmen, sodass von einer korrekt eingestellten parasternalen langen Achse aus korrekte *parasternale Kurzachsenschnitte* eingestellt werden können (> Abb. 3.1.11). Nach dieser  $90^\circ$ -Drehung liegt der Daumen auf der breiten Kante des Transducers, während nur noch der 4. Finger an der Ecke des Transducers liegt. Der 4. und 5. Finger haben aber nach diesem Manöver noch Kontakt zur Haut des Patienten. Von einer korrekten parasternalen kurzen Achse, z. B. in Höhe der Papillarmuskeln, kann durch Neigung des Transducers über die breite Kante das gesamte Herz senkrecht zur langen Achse von der Herzspitze bis zu den Taschenklappen in korrespondierenden Kurzachsenschnitten analysiert werden (> Abb. 3.1.12). Inkomplette  $90^\circ$ -Drehungen führen zu ovalen Schräganschnitten des linken Ventrikels, in denen die Ventrikelwände unterschiedlich dick erscheinen, und zu nicht repräsentativen Teilanschnitten der Herzklappen (> Abb. 3.1.13). Neigungsmanöver über die breite Kante des Transducers helfen zu erkennen, ob die Drehung zu gering oder zu stark war:

- Bei einer Drehung von  $70$ – $80^\circ$  wandert die Aortenklappe bei kranialer Anlotung rechts aus der zentralen Achse des Sektors heraus (> Abb. 3.1.14).
- Bei einer Drehung um  $100$ – $110^\circ$  wandert die Aortenklappe bei kranialer Neigung des Transducers links aus der zentralen Achse des Sektors heraus (> Abb. 3.1.15).

### INFO

Zusätzliche Bewegungen im Ellenbogen- oder Schultergelenk belegen eine falsche Schalltechnik. Bei korrekter Schalltechnik werden außer dem Handgelenk und den Fingergelenken keine weiteren Gelenke bewegt.

Nach erneuter Einstellung der standardisierten parasternalen langen Achse in der Ausgangshaltung des Transducers wird der apikale Anlotungspunkt aufgesucht: Unter Beibehaltung von Schallebene und Handposition der parasternalen langen Achse lässt man den Schallkopf bis zum korrekten apikalen Anlotungspunkt hinabgleiten. Bei dieser definierten Schallkopfhaltung und -bewegung befindet sich die eingestellte Schallebene der langen Herzachse immer in der Ebene eines „gedachten Bretts“ (> Abb. 3.1.16). Nach dem Herabgleiten werden am Ende bei korrekter apikaler Anlotung in der Regel die komplette ulnare Handkante und der 5. Finger auf dem Thorax des Patienten liegen (> Abb. 3.1.17). Sind die Finger zwischen Thoraxwand und Transducer gebeugt, verhindern sie eine korrekte apikale Anlotung, da der Schallkopf dadurch zu steil bzw. senkrecht auf die Haut des Patienten gerichtet wird. Dies führt zu „rechtslastigen“ Darstellungen des linken Ventrikels im Schallsektor

der apikalen langen Achse und oft auch zu sogenannten verkürzten Schnitten („foreshortening views“). Diese Übung dient zum Erlernen der Schalltechnik an geeigneten Probanden. So bekommt man ein „Gefühl“ für die Ebene der langen Achse und wird den Transducer später automatisch an den apikalen Anlotungspunkt heranführen können.

Die Dokumentation sollte aus methodischen Erwägungen grundsätzlich mit der **apikalen langen Achse** beginnen, da es zur Darstellung aller apikalen Schnittebenen zunächst notwendig ist, den korrekten apikalen Anlotungspunkt zu finden:

- Die kardialen Strukturen in der parasternalen langen Achse sind bekannt. In der apikalen langen Achse werden dieselben Strukturen des Herzens dargestellt. Daher ist ein direkter Vergleich der Darstellung dieser Strukturen in beiden Anlotungen in der gleichen Schnittebene möglich.
- Wenn die Schnittebene durch Schräganlotung verkürzt ist, lässt sich dies anhand der eindeutig definierten Strukturen der langen Achse leicht erkennen und korrigieren.
- Die Cavumspitze, die im Normalfall eine „gotische“, d. h. im Apex spitz zulaufende Konfiguration zeigt, kann besser als im Vierkammerblick beurteilt werden und im Zentrum des Sektors eingestellt werden.
- Die Position der Herzspitze erlaubt eine weitere Orientierung. Befindet sie sich z. B. links außerhalb des Schallsektors, ist der apikale Anlotungspunkt noch nicht erreicht und der Auflagepunkt noch zu medial und kranial.

Falls die apikale lange Achse primär nicht zentral im Sektor eingestellt ist, wird der linke Ventrikel durch eine Kippung des Transducers über die schmale Kante zentriert (> Abb. 3.1.18). Nach Einstellung der apikalen langen Achse erfolgt, unter Beibehaltung der Achse des linken Ventrikels in der Mitte des Sektors, eine *60°-Drehung im Uhrzeigersinn*, um den *apikalen Zweikammerblick* korrekt einzustellen (> Abb. 3.1.19). Nach Umgreifen der Fingerhaltung lässt sich, wieder unter Beibehaltung der Achse des linken Ventrikels in der Mitte des Sektors, durch eine weitere *60°-Drehung im Uhrzeigersinn* der *apikale Vierkammerblick* korrekt einstellen (> Abb. 3.1.20). Der Winkel zwischen den apikalen Standardebenen beträgt also jeweils 60°, wie das Kurzachsenschema es gut ver-

anschaulicht (> Abb. 3.1.21). In allen apikalen Schnittebenen sollten die Cavumspitze und die Mitralklappe zentral dargestellt sein.

Zusammenfassend beinhaltet eine gute Schalltechnik drei wesentliche Aspekte:

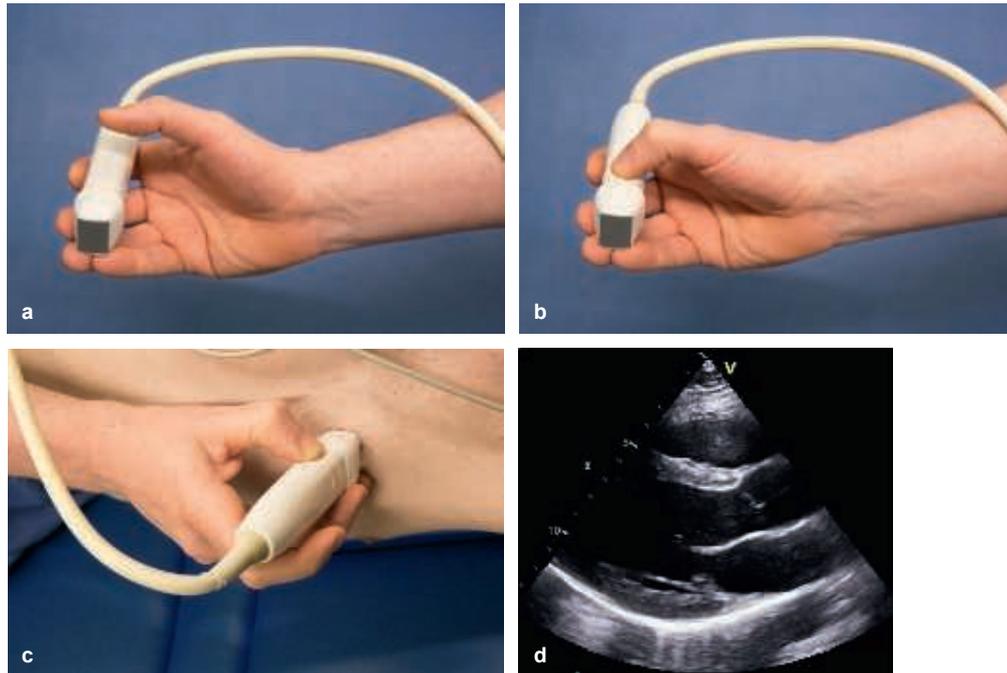
- Koordination zwischen Ausgangshaltung und Ausgangsschallenebene des Transducers,
- Beibehalten einer standardisierten Ebene sowie
- die praktische Fertigkeit, den Schallkopf isoliert neigen, kippen oder drehen zu können.

Nur auf diese Weise ist eine gezielte Darstellung der kardialen Strukturen mit optimaler Bildqualität möglich.

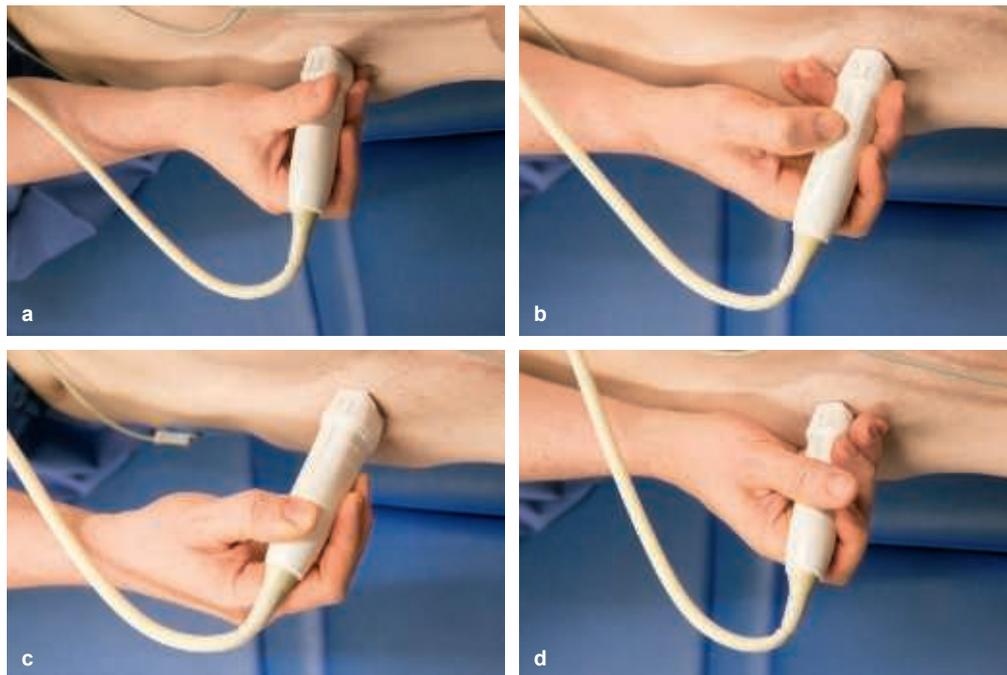
Das Ziel einer qualifizierten transthorakalen – und auch transösophagealen – echokardiografischen Untersuchung muss eine reproduzierbare, standardisierte Dokumentation sein, die eine genaue diagnostische Analyse zur klinischen Entscheidungsfindung erlaubt. Durch eine genaue Standardisierung sind zudem Vergleiche zwischen aktuellen und früheren Untersuchungen möglich. Nur dadurch lassen sich subtile Veränderungen des kardialen Status erfassen. Eine bessere Standardisierung kann dazu beitragen, die Intra- und Interobserver-Variabilität zu reduzieren. Bei qualifizierter Durchführung weist die echokardiografische Dokumentation somit eine ausgesprochen geringe Untersucherabhängigkeit auf. Das heißt, die Echokardiografie ist prinzipiell eine sehr objektive Methode, wenn sie korrekt und standardisiert angewandt wird. Neben den technischen und fachlichen Voraussetzungen für eine echokardiografische Untersuchung und Datendokumentation (u. a. Bildakquisition und Datenspeicherung) muss im anschließenden schriftlichen Bericht eine systematische Beschreibung, Interpretation und Auswertung der Befunde, der Messdaten und der kalkulierten Parameter erfolgen.

### KERNAUSSAGEN

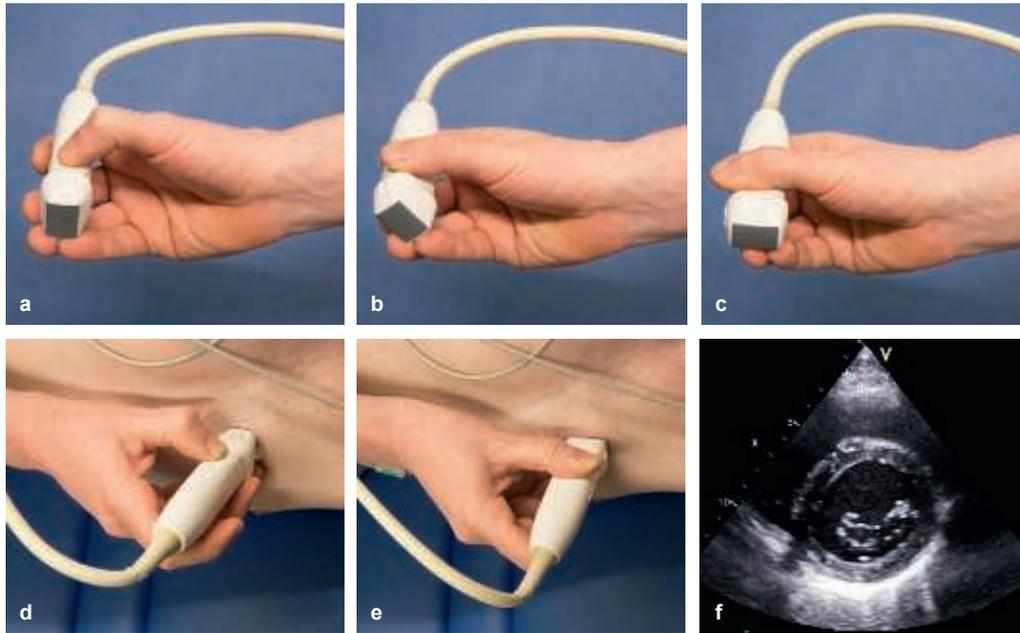
Voraussetzungen zur korrekten Durchführung einer echokardiografischen Untersuchung sind eine stabile Schallkopfhaltung und eine differenzierte Handhabung des Transducers. Je besser die Technik, d. h. die Fähigkeit, Bewegungskomponenten isoliert durchzuführen bzw. „stereotaktisch“ schallen zu können, desto größer sind die Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit der echokardiografischen Dokumentationen.



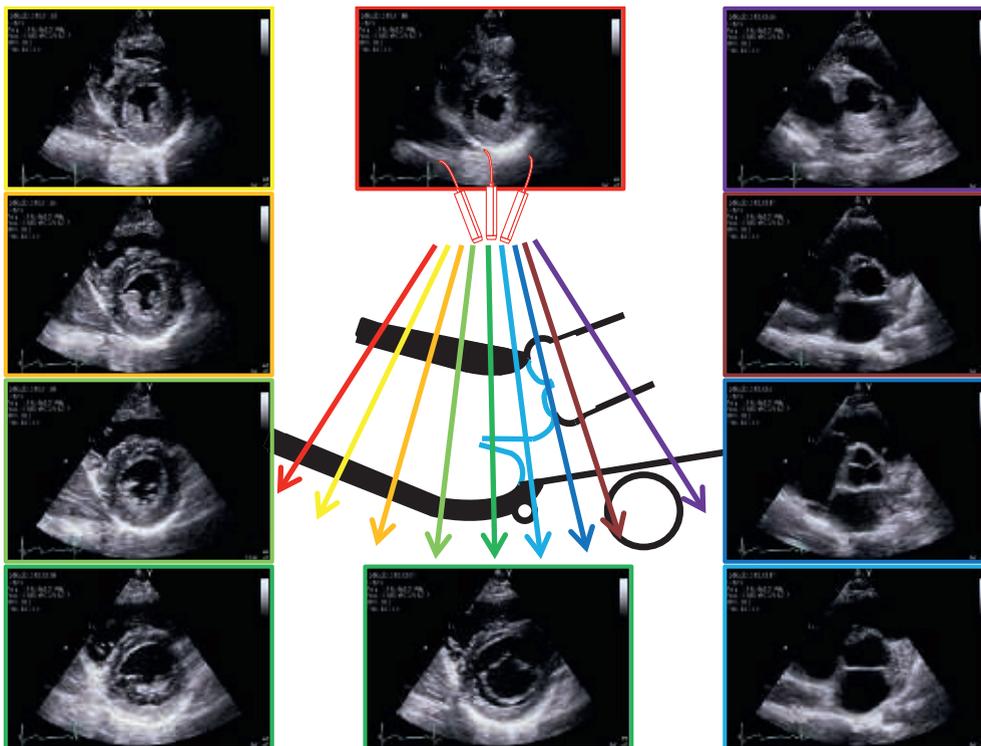
**Abb. 3.1.9 Die Grundhaltung des Transducers bei der transthorakalen Echokardiografie.** Wesentlich ist eine entspannte und lockere Handhaltung, in der alle Finger leicht gebeugt sind. Durchgedrückte und gestreckte Finger sind grundsätzlich falsch. Der Transducer liegt mit der kurzen Kante auf den Endgliedern des 4. und 5. Fingers und wird im Bereich des zuleitenden Kabels mit dem Zeigefingergrundgelenk abgestützt (a). Der gebeugte Daumen liegt locker auf der Markierung des Transducers (b). So bilden die Transducer-Oberfläche und die Fingerbeeren des 4. und 5. Fingers, die auf die Haut des Patienten aufgesetzt werden, eine Ebene mit festen Auflagepunkten (c). Mit dieser Handhaltung wird nun die lange Achse des LV eingestellt, die als Ausgangsposition für die Orientierung des Schallvorgangs definiert ist (d).



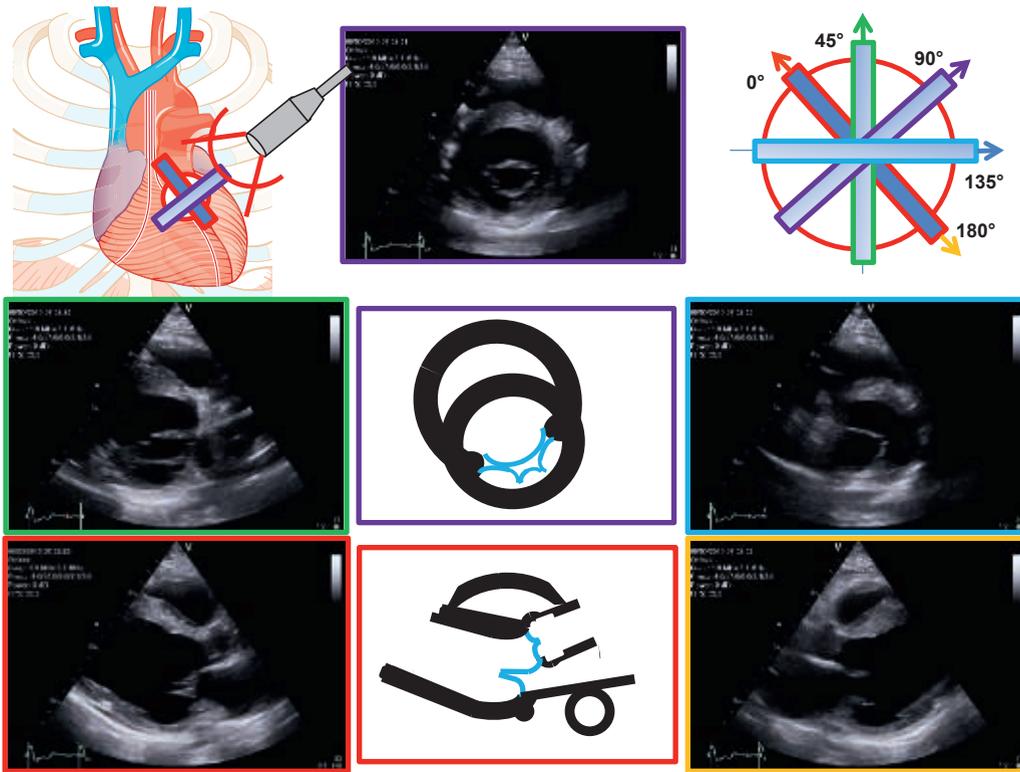
**Abb. 3.1.10 Fehler bei der Handhaltung des Transducers in der transthorakalen Echokardiografie.** Der häufigste Fehler ist ein Berühren der Markierung mit gestrecktem, durchgedrücktem Daumen, weil dadurch das Gefühl für die Schallebene verlorengeht (a) und man ohne Sicht auf den Schallkopf nicht weiß, wie man ihn hält. Zudem ist so keine Drehung des Schallkopfs um  $60^\circ$  bzw.  $90^\circ$  ohne Umgreifen möglich. Liegt der Transducer wie ein Füllfederhalter auf dem 4. und 5. Finger (b), stören die angelegten Finger, wenn man den Schallkopf nach apikal führen will, um eine nach kranial gerichtete Position zu erreichen. Die freie Positionierung des Schallkopfs ohne jegliche Abstützung durch den 4. und 5. Finger kann wiederum ein stereotaktisches, stabiles Schallen verhindern (c), sodass das Bild im Sektor „wackelt“. Wird der Schallkopf mit allen Fingern wie eine Reckstange umfasst (d), kann er nur unter Beteiligung des Ellenbogen- und Schultergelenks gedreht werden, was zwangsläufig zu einer Verkrampfung unnötig angespannter Muskelgruppen führen muss.



**Abb. 3.1.11 Drehen des Transducers zur Einstellung der korrekten parasternalen kurzen Achse.** Ausgehend von der korrekten Handhaltung für die standardisierte parasternale lange Achse (a), wobei die Daumenspitze die Markierung des Transducers berührt, wird der Schallkopf um  $90^\circ$  gedreht. Bei dieser Drehung verschiebt sich der Daumen nach vorne, weg von der Markierung des Transducers, während der 4. und 5. Finger in die entgegengesetzte Richtung nach hinten wandern (b). Am Ende der  $90^\circ$ -Drehung liegt der Daumen flach auf der breiten Kante des Transducers. Der 4. Finger berührt gerade noch die Ecke des Transducers und befindet sich wie der 5. Finger, der kaum noch Kontakt zum Transducer hat, auf der Haut des Patienten (c). Unten links (d) ist die korrekte Handhaltung für die parasternale lange Achse dargestellt, unten in der Mitte (e) die korrekte Haltung nach einer exakten  $90^\circ$ -Drehung. Unten rechts (f) ist die korrespondierende parasternale kurze Achse in Höhe der MV gezeigt.

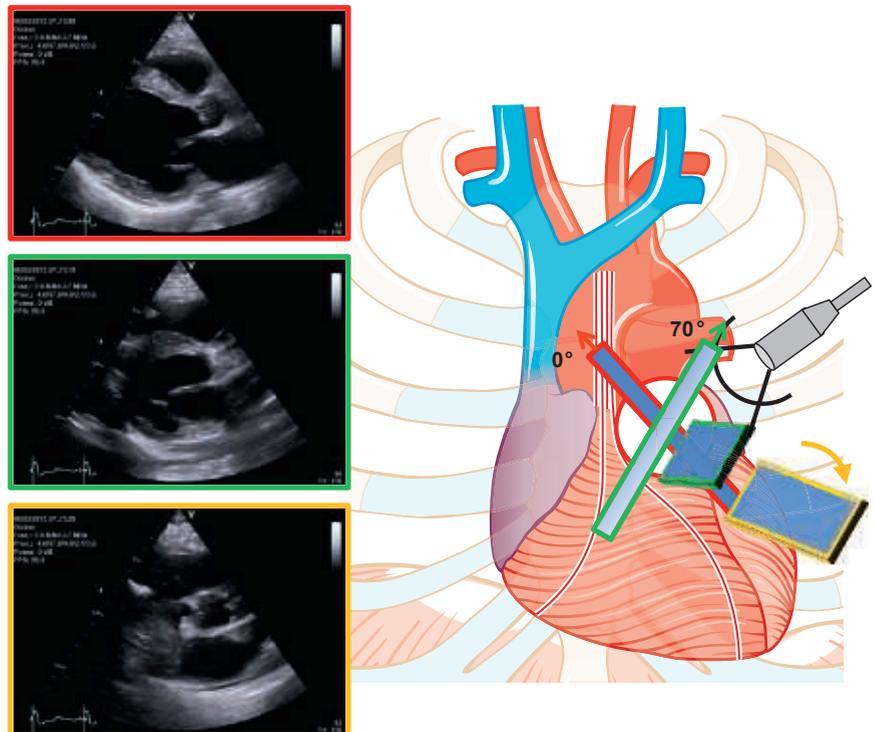


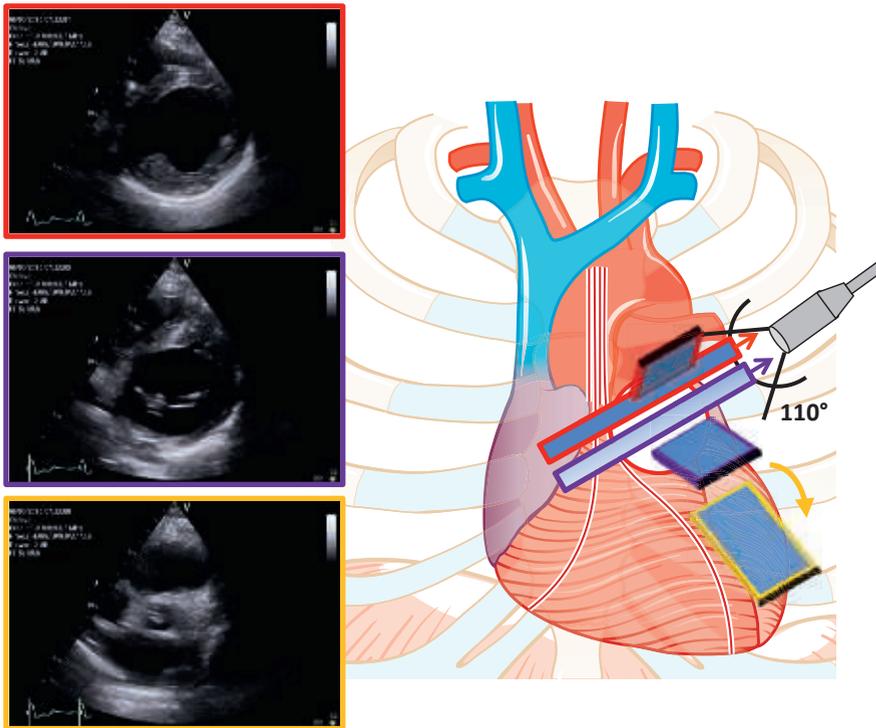
**Abb. 3.1.12 Schema der parasternalen langen Achse des linken Ventrikels (Mitte) zur Erklärung der korrespondierenden Kurzschnitts.** Die farbigen Pfeile markieren die senkrecht zu dieser Ebene liegenden Ebenen der Kurzschnitts. Die Schnittebenen sind mit den entsprechenden farbigen Umrandungen markiert. Oben mittig beginnend sind im Gegenuhrzeigersinn die Kurzschnitts im Apexbereich des LV (rot), in Höhe der Papillarmuskelsätze (gelb), in Höhe der Aufzweigung der Papillarmuskeln (orange), in Höhe des Übergangs der Papillarmuskeln zu den Chordaefäden (hellgrün), in Höhe der MV (dunkelgrün), in Höhe des LVOT und des Mitralklappenannulus (hellblau), in Höhe der AV (dunkelblau), in Höhe der Aortenwurzel (braun) sowie in Höhe der proximalen Ao asc. (violett) dargestellt.



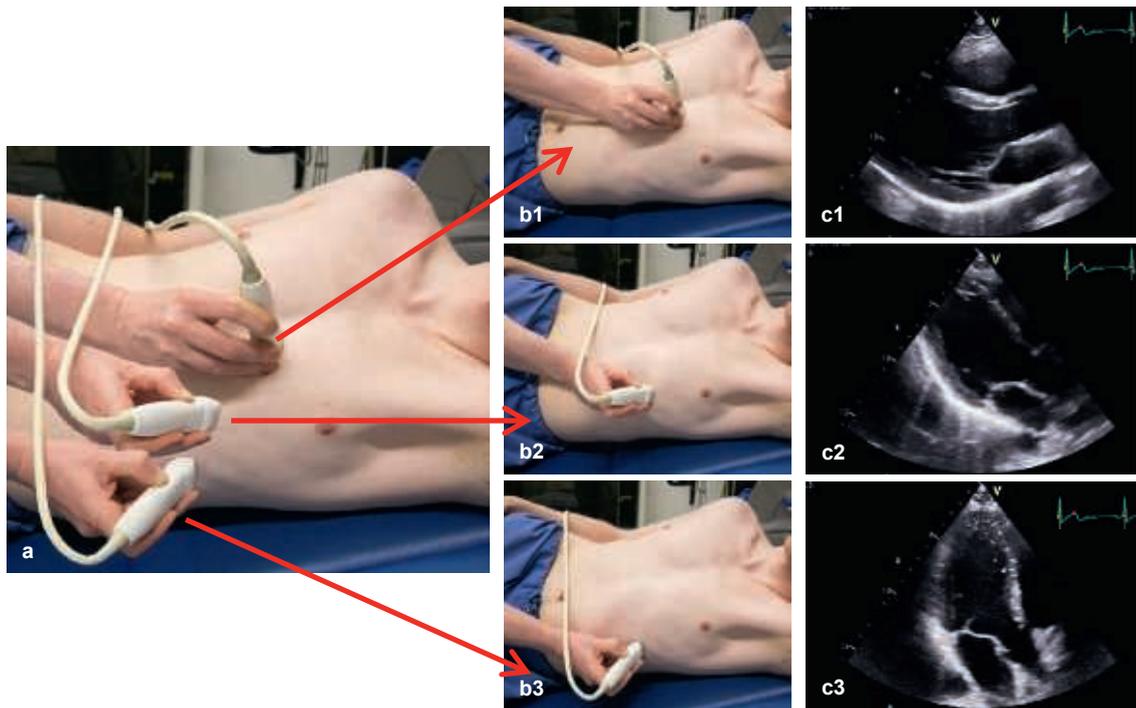
**Abb. 3.1.13 Veränderung der Schnittebenen bei Drehung des Transducers.** Oben links sind die senkrecht zueinander stehenden Schallkopfschichten für eine korrekte parasternale lange (rot) und kurze (violett) Achse des LV skizziert. Die zugehörigen echokardiografischen Bilder sind unten links (rot – lange Achse) und oben mittig (violett – kurze Achse in Höhe der MV) zu sehen, die zugehörigen Schemazeichnungen unten mittig (rot – lange Achse) und zentral in der Mitte (violett – kurze Achse). Oben rechts sind die Positionen bei parasternaler Anlotung mit jeweils 45°-Drehung des Transducers schematisch dargestellt. Ausgehend von der Grundeinstellung führt eine 45°-Drehung zu einem Schrägschnitt des Herzens (grün), links mittig ist die zugehörige Schnittebene gezeigt. Eine 135°-Drehung führt ebenfalls zu einem Schrägschnitt des Herzens (blau), rechts mittig ist die zugehörige Schnittebene dargestellt. Durch eine 180°-Drehung ausgehend von einer standardisierten parasternalen langen Achse entsteht sozusagen ein spiegelverkehrter Langachsenschnitt (orange). In der Mitte der Schnittebenen sind jeweils Anteile der MV erkennbar, da diese bei einer isolierten Drehung in der Mitte des Sektors verbleibt.

**Abb. 3.1.14 Erklärende Darstellung zur Kontrolle einer zu geringen Drehbewegung des Transducers in der parasternalen Anlotung.** Oben links (rote Umrandung) ist eine standardisierte parasternale lange Achse gezeigt. Die zugehörige Position des Transducers ist im Schema rechts ebenfalls rot umrandet. Eine inkomplette Drehung, z. B. nur um 70°, führt zu einem Schrägschnitt (grüne Umrandung, Mitte links); die zugehörige schräge Position des Transducers ist ebenfalls grün umrandet. Ausgehend von diesem Schrägschnitt führt eine Neigung der Schallebene nach kranial über die breite Kante des Transducers (orange Umrandung im Schema und der zugehörigen Schnittebene unten links) dazu, dass sich die AV im Sektor nach rechts verlagert. Mit einer Neigungsbewegung über die breite Kante des Transducers lässt sich also bei nicht mittiger Darstellung der AV eine inkomplette Drehbewegung des Schallkopfs um weniger als 90° dokumentieren.





**Abb. 3.1.15 Erklärende Darstellung zur Kontrolle einer zu starken Drehbewegung des Transducers in der parasternalen Anlotung.** Oben links (rote Umrandung) ist eine schräge parasternale kurze Achse des LV in Höhe der Papillarmuskeln gezeigt. Die zugehörige Position des Transducers ist im Schema rechts ebenfalls rot umrandet. Durch eine Neigung über die breite Kante des Transducers nach kranial kommt es zu einer schrägen kurzen Achse des LV in Höhe der MV (violette Umrandung im Schema und der zugehörigen Schnittebene Mitte links). Eine weitere Neigung der Schallebene nach kranial (orange Umrandung im Schema und der zugehörigen Schnittebene unten links) führt demnach dazu, dass sich bei dieser 110°-Drehung, ausgehend von der Ausgangsstellung der parasternalen langen Achse, die AV im Sektor nach links verlagert. Mit einer Neigungsbewegung über die breite Kante des Transducers lässt sich also bei nicht mittlerer Darstellung der AV eine nicht korrekte Drehbewegung des Schallkopfs um mehr als 90° dokumentieren. Der skizzierte Fehler tritt oft auf, wenn die 90°-Drehung des Transducers nicht aus einer Drehbewegung der Hand heraus, sondern mit Umgreifen erfolgt, da das Gefühl für die Ausrichtung des Schallkopfs durch dieses Manöver verloren geht.



**Abb. 3.1.16 Fotomontage zum Auffinden des korrekten apikalen Anlotungspunkts (a).** Die Fotos rechts daneben zeigen die Transducerhaltung in der korrekten parasternalen langen Achse (b1), bei einer Zwischenanlotung auf dem Weg zum apikalen Anlotungspunkt (b2) und in der korrekten apikalen langen Achse (b3). Unter Beibehaltung dieser Handhaltung und der Schallebene kann der Transducer unter Sicht bis zum korrekten apikalen Anlotungspunkt die Thoraxwand hinuntergleiten. Rechts (c1, c2, c3) sind die zugehörigen Schnittebenen der jeweiligen Schallkopfpositionen dargestellt. Alle Einstellungen zeigen eine lange Achse. Eine korrekte Anordnung der kardialen Strukturen im Schallsektor ist jedoch nur oben und unten rechts (c1, c3) abgebildet, sodass es sich dort um eine standardisierte parasternale bzw. apikale lange Achse handelt.

# 6

## Einführung in die Beurteilung der Herzklappenerkrankungen

<b>6.1</b>	<b>Systematik der echokardiografischen Beurteilung von Herzklappenerkrankungen</b> ...	294	<b>6.4</b>	<b>Konventionelle echokardiografische Beurteilung der isolierten Aortenklappeninsuffizienz</b> .....	329
6.1.1	Standardisierte Dokumentation unter besonderer Berücksichtigung von Pathologie und Pathophysiologie .....	294	6.4.1	Definitionen und Verlauf .....	329
6.1.2	Einstufung von sekundären Veränderungen des Herzens und von Herzklappenerkrankungen sowie notwendige Messungen und Zielgrößen .....	294	6.4.2	Echokardiografische Analyse der Morphologie der Aortenklappe und der umgebenden Strukturen bei Aortenklappeninsuffizienzen .....	329
<b>6.2</b>	<b>Konventionelle echokardiografische Beurteilung der isolierten Aortenklappenstenose</b> .....	296	6.4.3	Echokardiografische Analyse der Funktion der Aortenklappe und des linken Ventrikels bei Aortenklappeninsuffizienzen .....	330
6.2.1	Definitionen und Verlauf .....	296	<b>6.5</b>	<b>Konventionelle echokardiografische Beurteilung der isolierten Mitralklappenstenose</b> .....	343
6.2.2	Echokardiografische Analyse der Morphologie der Aortenklappe und der umgebenden Strukturen bei Aortenklappenstenosen .....	296	6.5.1	Definitionen und Verlauf .....	343
6.2.3	Echokardiografische Analyse der Funktion der Aortenklappe und des linken Ventrikels bei Aortenklappenstenosen .....	296	6.5.2	Echokardiografische Analyse der Morphologie der Mitralklappe und der umgebenden Strukturen bei einer Mitralklappenstenose .....	343
<b>6.3</b>	<b>Konventionelle echokardiografische Beurteilung der isolierten Mitralklappeninsuffizienz</b> .....	308	6.5.3	Echokardiografische Analyse der Funktion der Mitralklappe und der benachbarten Herzhöhlen bei einer Mitralklappenstenose .....	344
6.3.1	Definitionen und Verlauf .....	308	<b>6.6</b>	<b>Konventionelle echokardiografische Beurteilung der Klappenerkrankungen des rechten Herzens</b> .....	350
6.3.2	Echokardiografische Analyse der Morphologie der Mitralklappe und der umgebenden Strukturen bei Mitralklappeninsuffizienzen .....	309	6.6.1	Echokardiografische Analyse der Trikuspidalklappeninsuffizienz und der benachbarten Herzhöhlen .....	350
6.3.3	Echokardiografische Analyse der Funktion der Mitralklappe und des linken Ventrikels bei Mitralklappeninsuffizienzen .....	310	6.6.2	Echokardiografische Analyse der Trikuspidalklappenstenose und der benachbarten Herzhöhlen .....	350
			6.6.3	Echokardiografische Analyse der Pulmonalklappeninsuffizienz und der benachbarten Herzhöhlen .....	351
			6.6.4	Echokardiografische Analyse der Pulmonalklappenstenose und der benachbarten Herzhöhlen .....	351

## 6.1 Systematik der echokardiografischen Beurteilung von Herzklappenerkrankungen

### 6.1.1 Standardisierte Dokumentation unter besonderer Berücksichtigung von Pathologie und Pathophysiologie

Ein wesentlicher Aspekt bei der echokardiografischen Beurteilung von Herzklappenerkrankungen ist eine konsequente Standardisierung der Untersuchung, um möglichst genaue „Abschätzungen“ bzw. Messungen vornehmen zu können. Dies umfasst

- die Einstellung korrekter Schnittebenen zur Beurteilung der Morphologie des Herzens sowie zur Planimetrie des linken Ventrikels,
- die korrekte Positionierung der Messzelle bei der gepulsten Doppler-Echokardiografie
- die korrekte Anlotung von Turbulenzen bei der farbkodierten Doppler-Echokardiografie und
- die korrekte Anlotung von Turbulenzen bei der cw-Doppler-Echokardiografie.

Grundsätzlich besteht die Möglichkeit, dass die Ventildefekte nicht immer in den standardisierten Schnittebenen liegen. Daher müssen bei der Dokumentation noch zusätzliche Ebenen zur Charakterisierung der jeweiligen Pathologie aufgenommen werden. Besondere Berücksichtigung erfordert darüber hinaus die Darstellung der benachbarten Herzhöhlen, um die Auswirkungen des jeweiligen Ventildefekts auf das Herz zu erfassen. So sind bei Aortenklappenerkrankungen z. B. der linke Ventrikel und die Aortenwurzel bzw. die Aorta ascendens genau zu dokumentieren. Bei der Dokumentation von Doppler-Spektren ist es aufgrund der physikalischen Gesetzmäßigkeiten wichtig, den Anlotungswinkel optimal einzustellen. Fehlpositionierungen, Fehlanlotungen oder auch inkomplette Anlotungen von Strömungsphänomenen führen zu einer Fehleinschätzung von Herzklappenerkrankungen. Folgende wesentliche Aspekte sind daher bei der Dokumentation von Doppler-Spektren zu berücksichtigen:

- stabile Positionierung des Transducers bei der Doppler-Echokardiografie, um möglichst vergleichbare Signale zu erfassen,
- korrekte, visuell in der Schnittebene zu kontrollierende Positionierung der Messzelle bei der gepulsten Doppler-Echokardiografie,
- Ausrichtung des Ultraschallstrahls in oder entgegen der Flussrichtung des Kernstrahls einer in der farbkodierten Doppler-Echokardiografie dargestellten Turbulenz bei der cw-Doppler-Echokardiografie,
- kontinuierliche Erfassung eines Turbulenzphänomens im Anlotungsstrahl über den Analysezeitraum (z. B. ein Regurgitations-signal bei Aortenklappeninsuffizienz während der gesamten Diastole).

#### INFO

Die kardialen Strukturen müssen aus dem bestmöglichen Schallfenster bei bestmöglicher räumlicher Auflösung untersucht werden. Neben den

Sequenzen des standardisierten Untersuchungsgangs sind somit zur optimalen Darstellung der kardialen Morphologie in der Regel zusätzliche Dokumentationen von Bildsequenzen und Doppler-Spektren nicht nur erlaubt, sondern auch gefordert.

#### KERNAUSSAGEN

- Nur korrekte Schnittebenen erlauben korrekte Messungen der linksventrikulären Volumina und Ejektionsfraktion.
- Nur stabile und gut abgeleitete Doppler-Spektren ermöglichen eine korrekte Interpretation.

### 6.1.2 Einstufung von sekundären Veränderungen des Herzens und von Herzklappenerkrankungen sowie notwendige Messungen und Zielgrößen

Ventildefekte des Herzens müssen grundsätzlich in akute und chronische Formen unterteilt werden. **Akute Herzklappenfehler** führen in der Regel zu schweren klinischen Symptomen, da Herz und Kreislauf keine Zeit haben, Kompensationsmechanismen zu aktivieren. **Chronische Herzklappenfehler** bleiben dagegen oft über einen längeren Zeitraum symptomarm, da Kompensationsmechanismen ausgeschöpft werden können. Dies hat zur Folge, dass Symptome erst in späten Erkrankungsstadien auftreten bzw. nur in Belastungssituationen provozierbar sind. Die große Gefahr für Patienten mit chronischen Herzklappenerkrankungen liegt darin, dass sie im Fall einer kardialen Dekompensation durch den Ventildefekt im Endstadium oft nur noch schwer stabilisiert werden können und dass in späten Stadien oft bereits irreversible Herzmuskelschäden eingetreten sind. Eine Therapie sollte daher früher erfolgen. Somit muss eine differenzierte echokardiografische Diagnostik insbesondere bei chronischen Herzklappenerkrankungen die verschiedenen Stadien genauer definieren können. Bei der Darstellung der kardialen Morphologie sollte daher möglichst auch die Pathogenese bzw. die Ursache des Klappenfehlers herausgearbeitet werden. Zur Beurteilung der kardialen Funktion und damit zur Schweregradeinteilung chronischer Herzklappenerkrankungen gehören in der Regel folgende Parameter:

- die linksventrikulären Volumina, speziell das linksventrikuläre enddiastolische Volumen,
- die linksventrikuläre Ejektionsfraktion bzw. das gesamte linksventrikuläre Schlagvolumen,
- das effektive Schlagvolumen bzw. das Herzzeitvolumen,
- der Füllungszustand des linken Herzens, speziell der linksventrikuläre enddiastolische Druck,
- die pulmonalarteriellen Drücke, speziell der systolische pulmonalarterielle Druck.

#### INFO

Die Schweregradeinteilung von Herzklappenerkrankungen muss durch mehrere echokardiografische Messverfahren begründet werden. Ihre Einstufung aufgrund eines einzelnen echokardiografischen Parameters ist grundsätzlich unzureichend.

Die primäre Zielgröße bei **stenosierten Herzklappen** ist die Klappenöffnungsfläche, als sekundäre Zielgrößen können transvalvuläre Geschwindigkeiten und Gradienten bestimmt werden. Bei der Interpretation muss immer unterschieden werden zwischen

- der anatomischen bzw. geometrischen (und damit planimetrisch zu bestimmenden) Klappenöffnungsfläche und
- der effektiven bzw. funktionellen und damit dopplerechokardiografisch zu ermittelnden Klappenöffnungsfläche.

Die primäre Zielgröße bei **undichten Herzklappen** ist immer die Regurgitationsfraktion, die maßgeblich an die linksventrikuläre Ejektionsfraktion gebunden ist. Sie lässt sich echokardiografisch nicht direkt bestimmen. Wegen dieser Schwierigkeit spielen sekundäre Zielgrößen bei Regurgitationen eine wesentliche Rolle, mit denen oft nur eine semiquantitative Einschätzung möglich ist. Zu diesen sekundären Zielgrößen zählen

- die Vena contracta,
- die planimetrisch zu bestimmende Regurgitationsöffnung und
- weitere dopplerechokardiografische Zusatzparameter.

### INFO

Die Größe einer Jetwolke bzw. das Verhältnis einer Jetwolke zur jeweiligen Herzhöhle kann und darf bei Regurgitationen nicht zur Quantifizierung des Schweregrads herangezogen werden. Dieser Ansatz ist gerade in entscheidenden Situationen fehleranfällig und könnte schwerwiegende Fehleinschätzungen zur Folge haben.

Bei jedem relevanten chronischen Vitium treten charakteristische sekundäre Veränderungen auf: bei einer Aortenklappenstenose z. B. eine linksventrikuläre konzentrische Hypertrophie infolge der

Druckbelastung sowie ein Anstieg des linksventrikulären enddiastolischen Drucks und des Drucks im Lungenkreislauf.

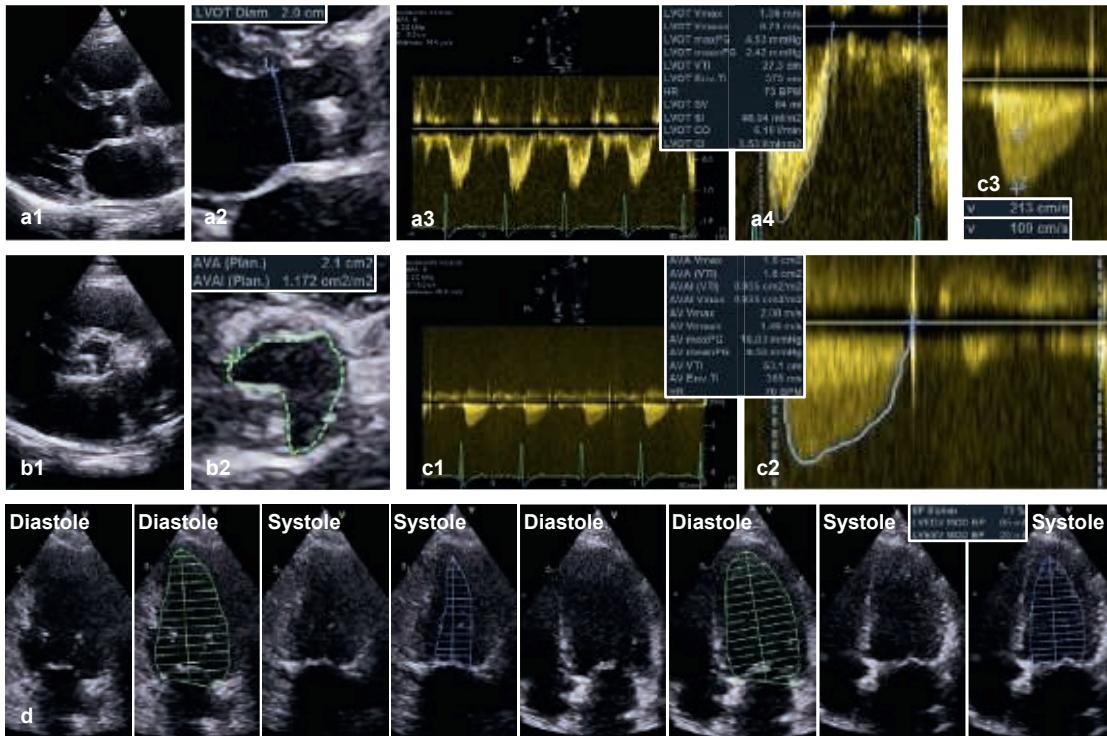
### PRAXISTIPP

Sind die charakteristischen sekundären Veränderungen einer Herzklappenerkrankung nicht zu detektieren, ist diese Verdachtsdiagnose infrage zu stellen.

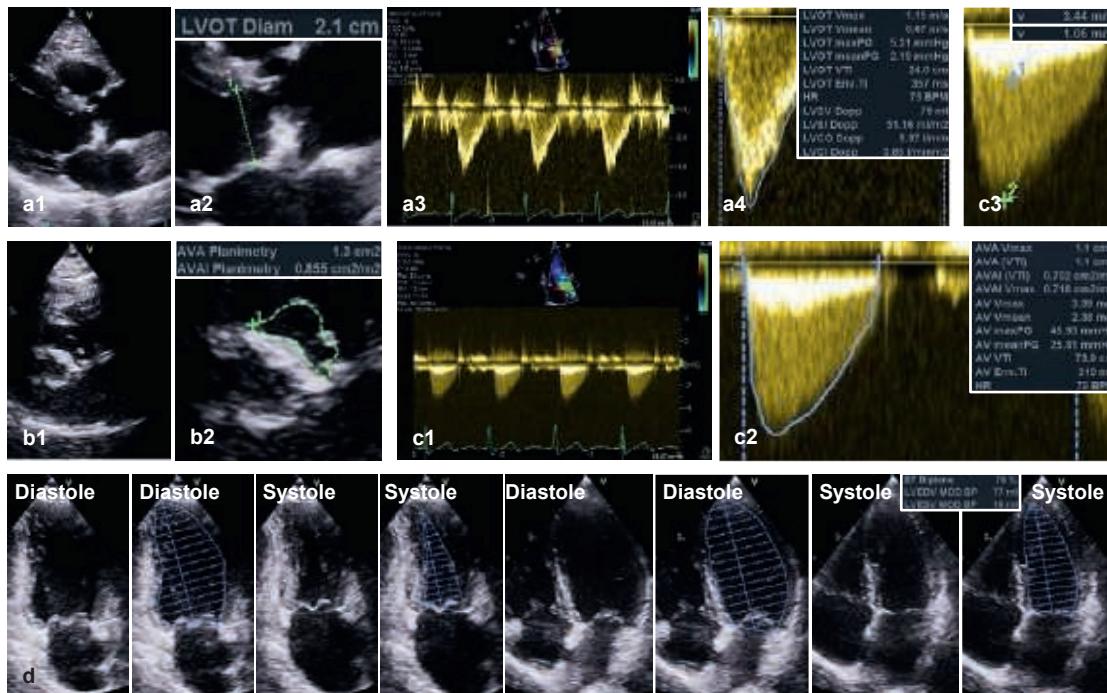
Aortenklappenstenose und Mitralklappeninsuffizienz gehören in den Industrienationen zu den häufigsten Herzklappenerkrankungen. Aus diesem Grund werden sie in den folgenden Ausführungen bewusst etwas ausführlicher abgehandelt als die Aortenklappeninsuffizienz, die Mitralklappenstenose und die Klappenerkrankungen des rechten Herzens.

### KERNAUSSAGEN

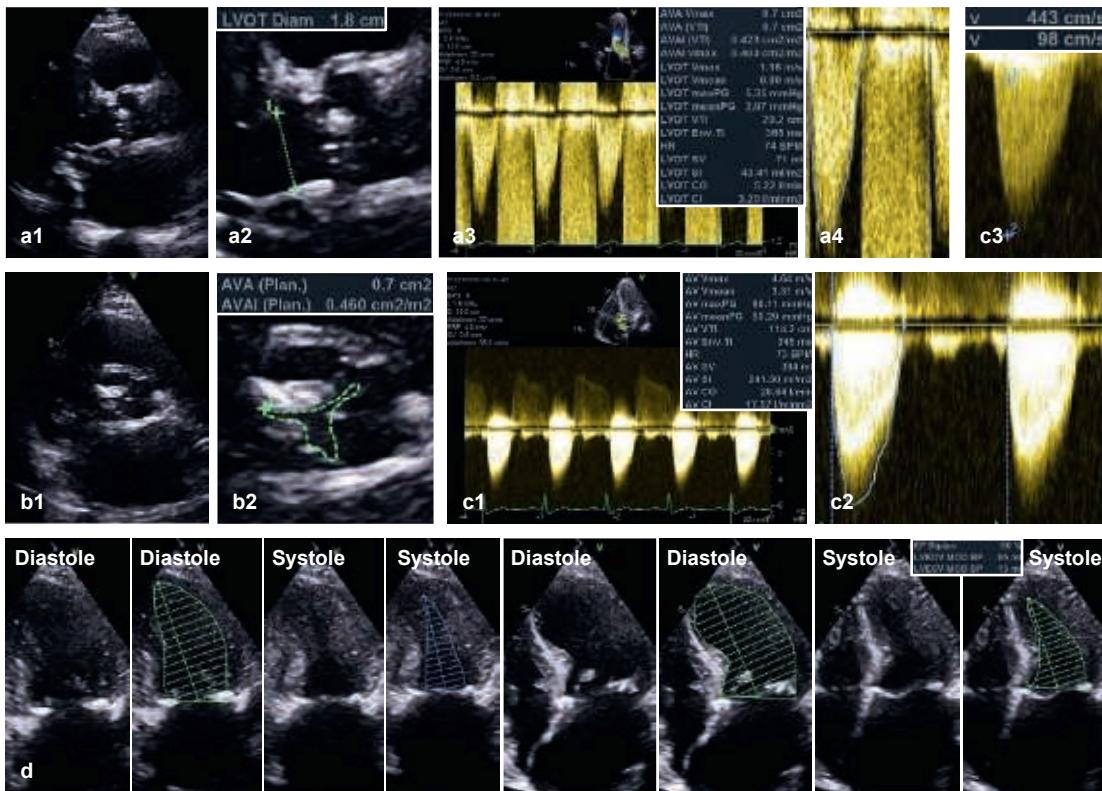
- Bei der Darstellung der kardialen Morphologie sollten Ursache und Pathogenese des Herzklappenfehlers dokumentiert werden.
- Für die Beurteilung des Schweregrads von Herzklappenfehlern sind korrekte Schnittebenen notwendig, da nur sie korrekte Messungen erlauben. Eine biplane Planimetrie zur Bestimmung der linksventrikulären Ejektionsfraktion gehört zwingend zur Analyse eines Vitiums.
- Nur stabile und gut abgeleitete Doppler-Spektren ermöglichen eine korrekte Interpretation.
- Die Zielgrößen bei Herzklappenfehlern sind die Klappenöffnungsfläche (bei Stenosen) und die Regurgitationsfraktion (bei Insuffizienzen).
- Sekundäre kardiale Veränderungen charakterisieren jeden relevanten spezifischen Herzklappenfehler und sollten durch die echokardiografische Dokumentation belegt werden.



**Abb. 6.2.3 Messungen bei nicht signifikanter bzw. leichtgradiger Aortenklappenstenose.** Zur Bestimmung der effektiven KÖF (1,6 cm<sup>2</sup>) nach der Kontinuitätsgleichung werden der LVOT-Durchmesser, das gepulste Doppler-Spektrum im LVOT in der apikalen langen Achse (a1–a4) und das transkatheterale cw-Doppler-Spektrum (c1, c2) dokumentiert. In der parasternalen kurzen Achse wird die KÖF (2,1 cm<sup>2</sup>) systolisch planimetrisch bestimmt (b1, b2). Die maximale transkatheterale Geschwindigkeit beträgt 2 m/s, der mittlere Gradient liegt bei 10 mmHg. Die Ratio der maximalen Geschwindigkeiten vor und in der Stenose beträgt 0,51 (c3). Grundsätzlich erfolgt bei jedem Patienten mit AS eine biplane Planimetrie des LV zur Bestimmung des LVSV (ca. 70 ml – untere Reihe; d).

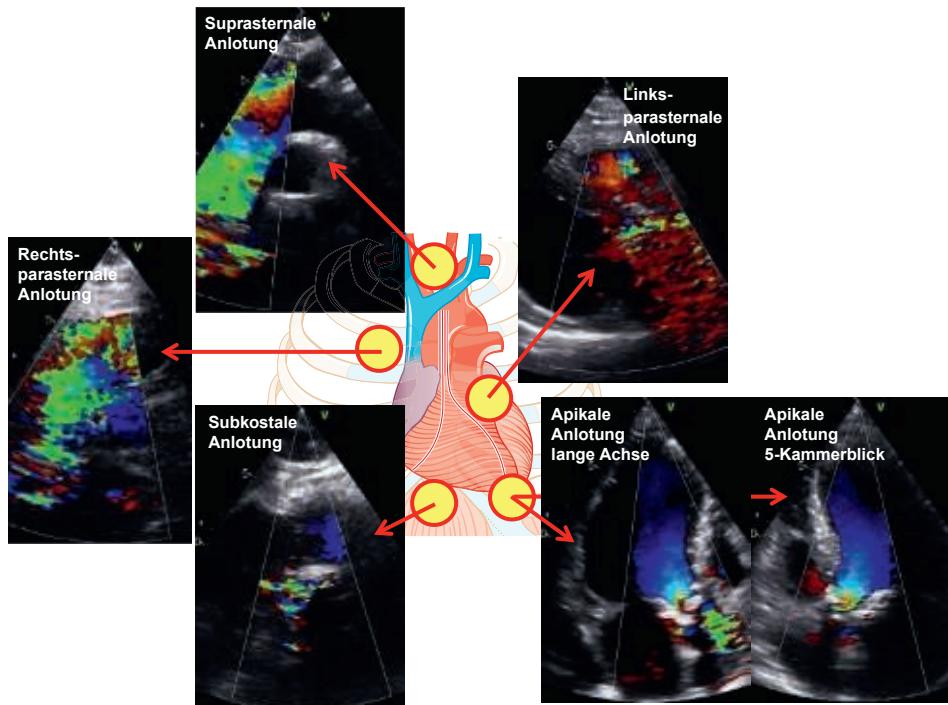


**Abb. 6.2.4 Messungen bei mittelgradiger Aortenklappenstenose.** Zur Bestimmung der effektiven KÖF (1,1 cm<sup>2</sup>) nach der Kontinuitätsgleichung werden der LVOT-Durchmesser, das gepulste Doppler-Spektrum im LVOT in der apikalen langen Achse (a1–a4) und das transkatheterale cw-Doppler-Spektrum (c1, c2) dokumentiert. In der parasternalen kurzen Achse wird die KÖF (1,3 cm<sup>2</sup>) systolisch planimetrisch bestimmt (b1, b2). Die maximale transkatheterale Geschwindigkeit beträgt 3,4 m/s, der mittlere Gradient 26 mmHg. Die Ratio der maximalen Geschwindigkeiten vor und in der Stenose beträgt 0,31 (c3). Grundsätzlich erfolgt bei jedem Patienten mit AS eine biplane Planimetrie des LV zur Bestimmung des LVSV (ca. 60 ml – untere Reihe; d).

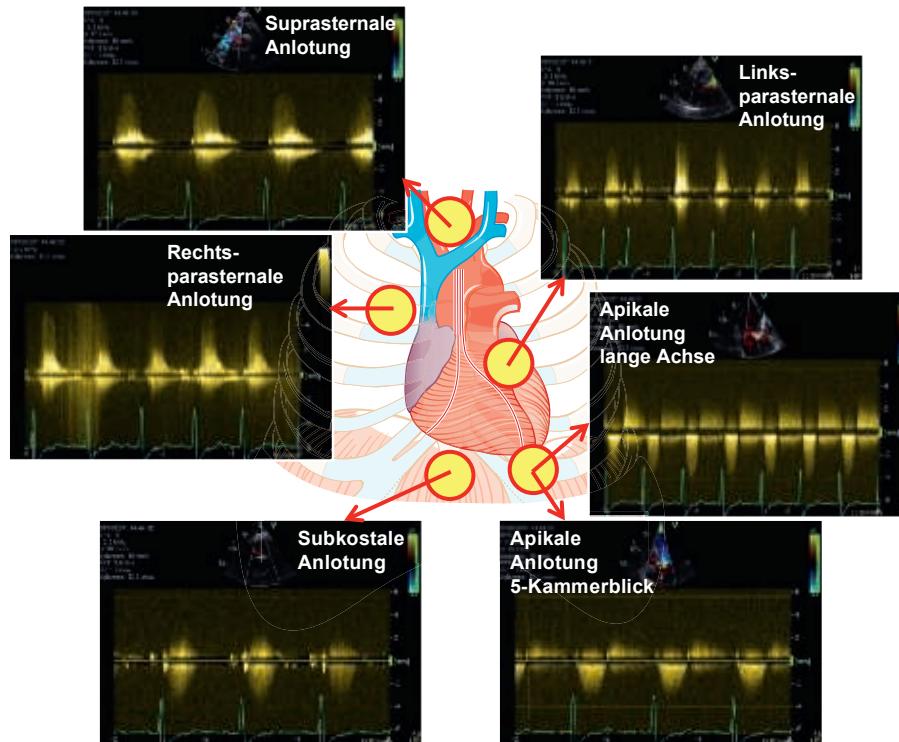


6

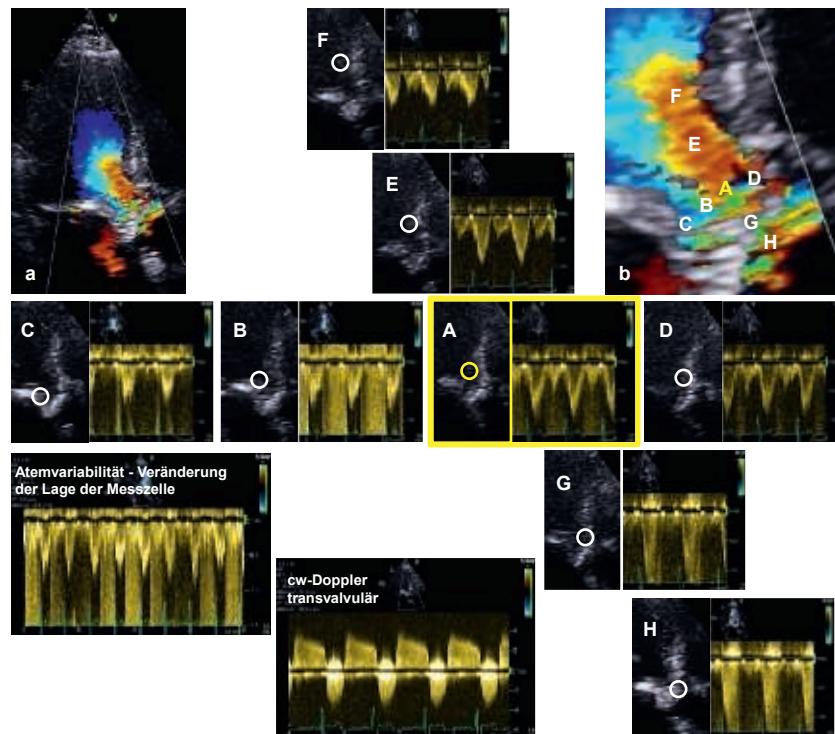
**Abb. 6.2.5 Messungen bei hochgradiger Aortenklappenstenose.** Zur Bestimmung der effektiven KÖF ( $0,7 \text{ cm}^2$ ) nach der Kontinuitätsgleichung werden der LVOT-Durchmesser, das gepulste Doppler-Spektrum im LVOT in der apikalen langen Achse (a1–a4) und das transvalvuläre cw-Doppler-Spektrum (c1, c2) dokumentiert. In der parasternalen kurzen Achse wird die KÖF ( $0,7 \text{ cm}^2$ ) systolisch planimetrisch bestimmt. Die maximale transvalvuläre Geschwindigkeit beträgt  $4,6 \text{ m/s}$ , der mittlere Gradient  $50 \text{ mmHg}$ . Die Ratio der maximalen Geschwindigkeiten vor und in der Stenose beträgt  $0,22$  (c3). Grundsätzlich erfolgt bei jedem Patienten mit AS eine biplane Planimetrie des LV zur Bestimmung des LVSV (ca.  $50 \text{ ml}$  – untere Reihe; d).



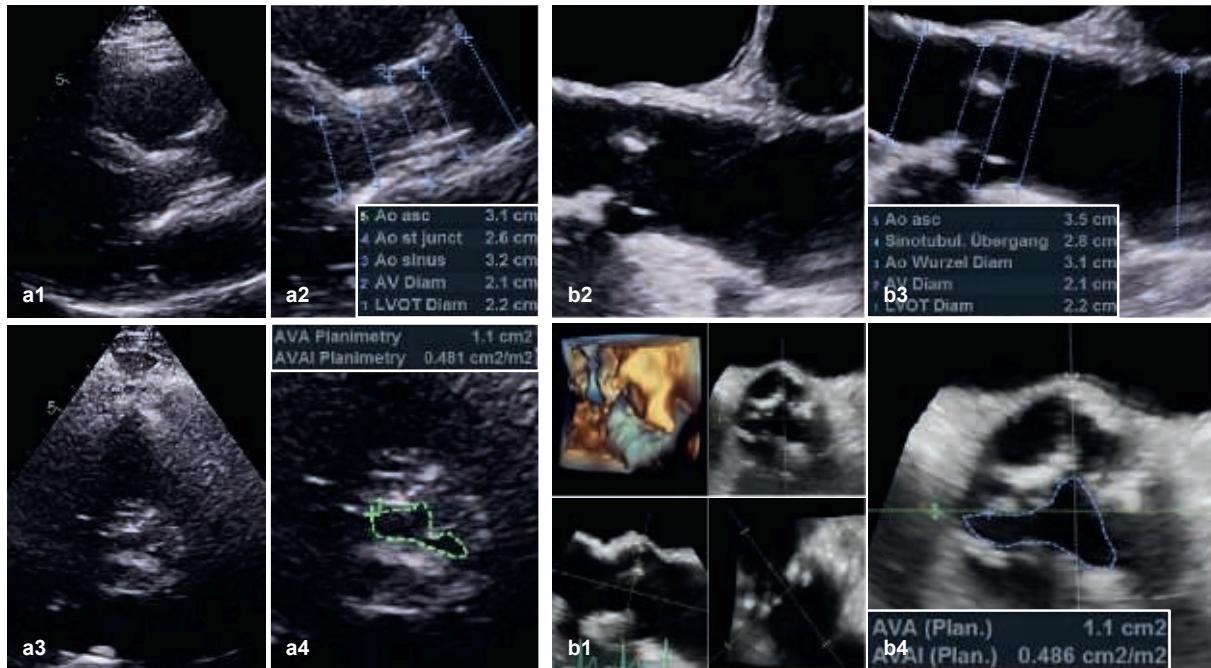
**Abb. 6.2.6 Anlotungsmöglichkeiten der Aortenklappe bei einem Patienten mit Aortenklappenstenose.** Grundsätzlich sollten bei Anlotungsschwierigkeiten der transvalvulären Blutflussgeschwindigkeiten alle Anlotungspunkte genutzt werden. Hier sind die farbkodierten Sequenzen des transvalvulären Flusses der entsprechenden Dokumentationen gezeigt.



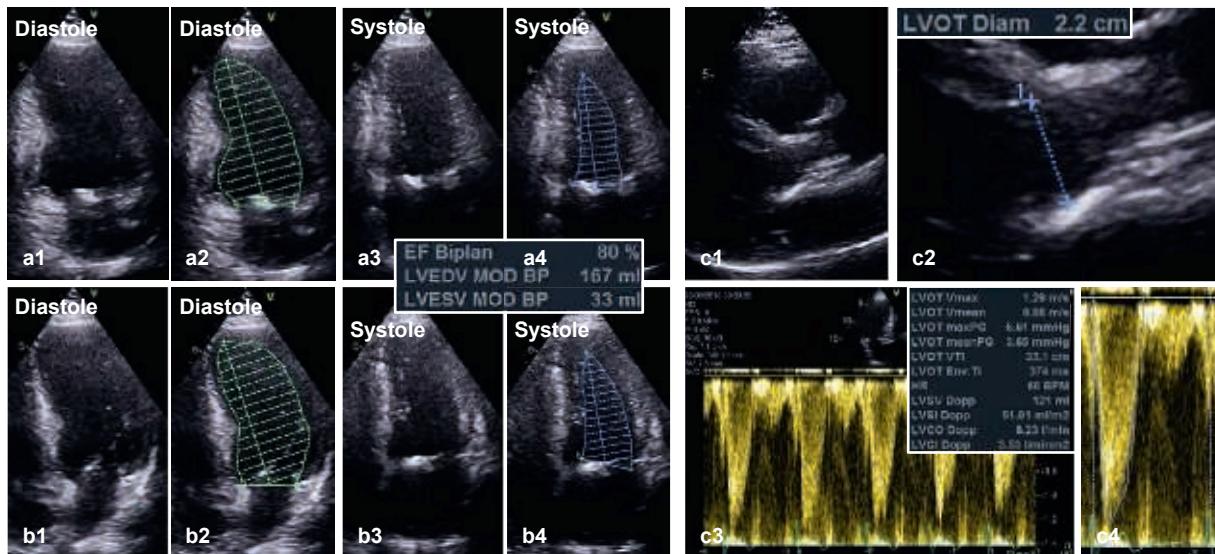
**Abb. 6.2.7 Anlotungsmöglichkeiten der Aortenklappe bei einem Patienten mit Aortenklappenstenose.** Grundsätzlich sollten bei Anlotungsschwierigkeiten der transvalvulären Blutflussgeschwindigkeiten alle Anlotungspunkte genutzt werden. Hier sind die cw-Doppler-Spektren der entsprechenden Dokumentationen gezeigt.



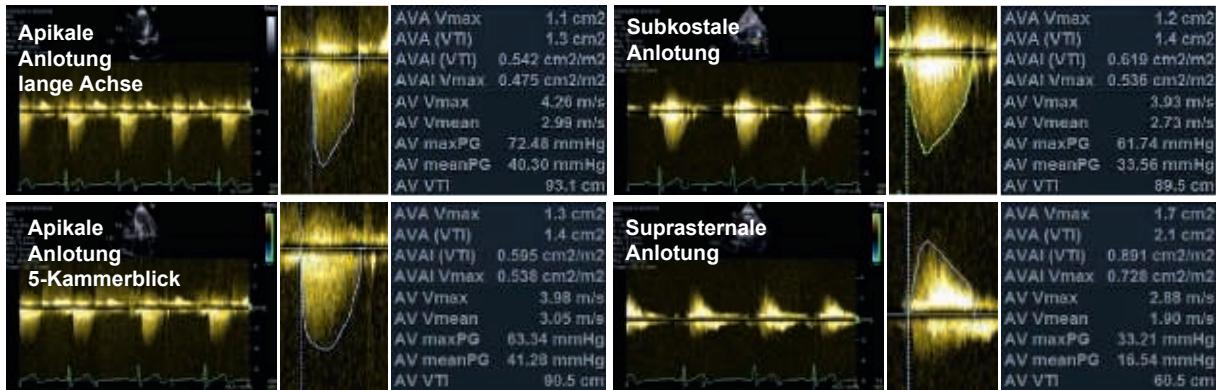
**Abb. 6.2.8 Die Bedeutung der Messzellenpositionierung im LVOT in der gepulsten Doppler-Echokardiografie.** Links (a) sind eine farbkodierte systolische Sequenz im LVOT in der apikalen langen Achse und rechts in der Vergrößerung (b) die möglichen Positionen der Messzelle (gekennzeichnet mit Buchstaben) gezeigt. Die zugehörigen Doppler-Spektren sind jeweils direkt neben den 2D-Bildausschnitten mit den jeweiligen Positionen der Messzellen (weiße Ringe) dargestellt. Die korrekte Position der Messzelle (A) ist mit einem gelben Ring markiert. Links unten ist ein gepulstes Doppler-Spektrum mit unterschiedlichen Signalen bei Positionsänderungen der Messzelle durch die Atmung des Patienten zu sehen. Unten mittig ist das zugehörige transvalvuläre cw-Doppler-Spektrum abgebildet.



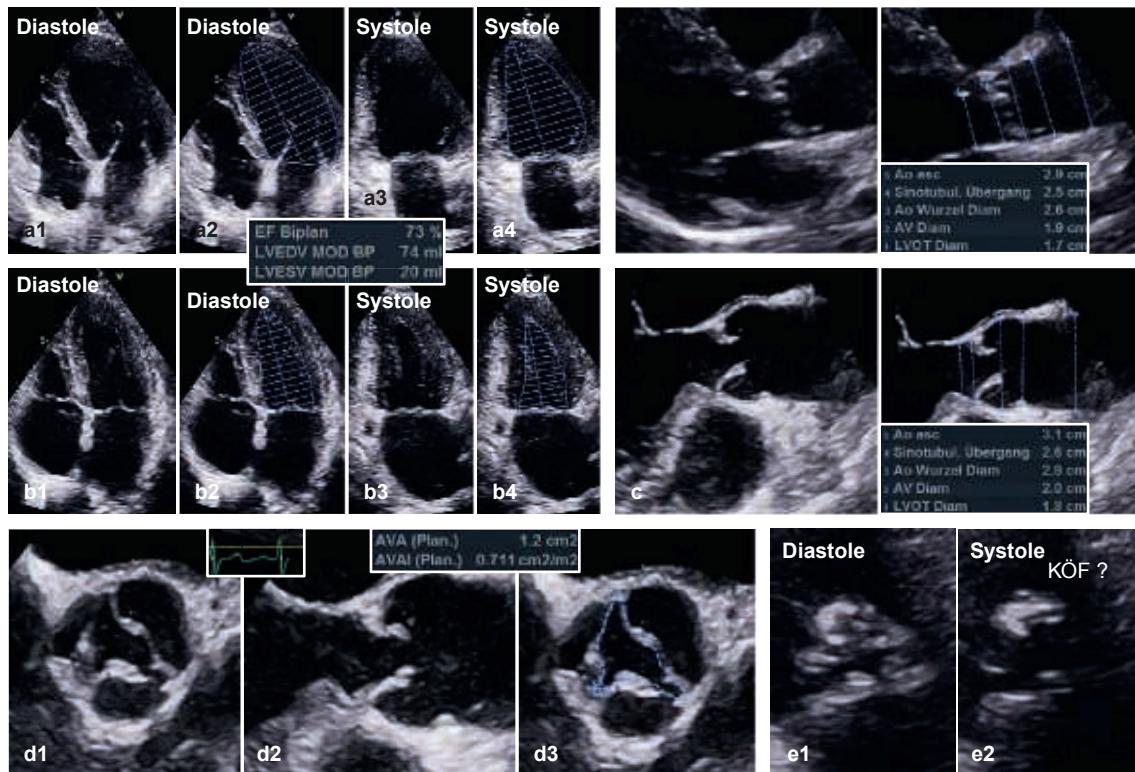
**Abb. 6.2.9** Vergleichende Darstellung von Distanz- und Flächenmessungen mit transthorakaler und transösophagealer Echokardiografie. Relevante Befunde, d. h. eine mittel- bis hochgradige AS, in der transthorakalen Echokardiografie (a1–a4) sollten generell durch eine transösophageale Echokardiografie (b1–b4), am besten multidimensional, überprüft werden. Speziell der LVOT-Durchmesser und die Planimetrien der KÖF und des LVOT lassen sich aufgrund der besseren Auflösung in der TEE genauer bestimmen.



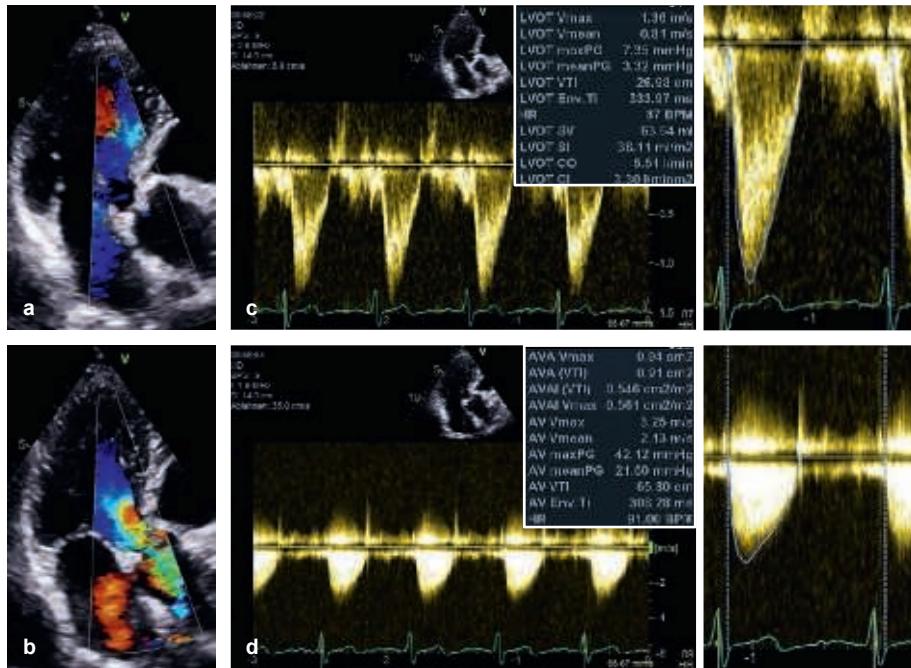
**Abb. 6.2.10** Messung des LVSV bei einem Patienten mit Aortenklappenstenose. Die planimetrische (a1–a4, b1–b4) und die doppler-echokardiografische (c1–c4) Bestimmung des LVSV sind notwendig, um zwischen normalen („normal“) und erniedrigten Flussbedingungen („low flow conditions“ < 35 ml/m<sup>2</sup>) unterscheiden zu können. Die Werte des LVSV sollten um weniger als 10 % zwischen beiden Methoden differieren.



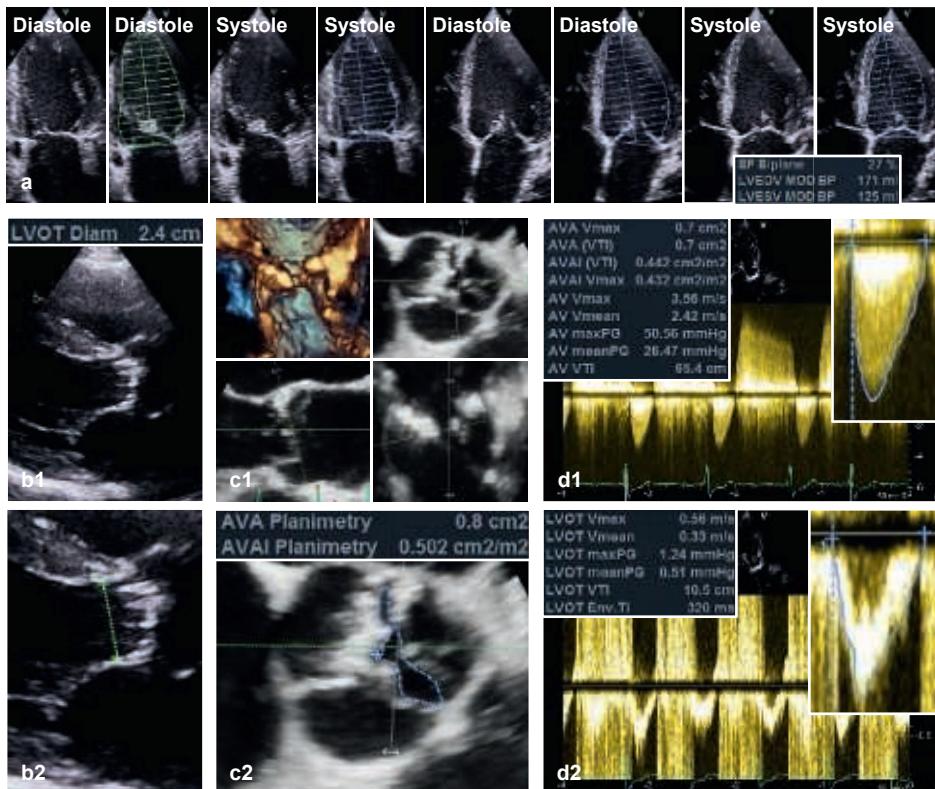
**Abb. 6.2.11 Fehlermöglichkeit bei Anwendung der Kontinuitätsgleichung.** Die höchste transversuläre Blutflussgeschwindigkeit wurde in der apikalen langen Achse (oben links) abgeleitet. Bei inkorrekt er Anlotung können sich durch zu niedrig bestimmte  $V_{max}$  bei der Berechnung der effektiven KÖF nach der Kontinuitätsgleichung anstelle des korrekten Werts von  $1,1 \text{ cm}^2$  höhere Werte zwischen  $1,3$  und  $1,7 \text{ cm}^2$  ergeben. Schräganlotungen des transversulären Flusses mit ungünstigem Doppler-Winkel führen daher zur Unterschätzung des Schweregrads einer AS.



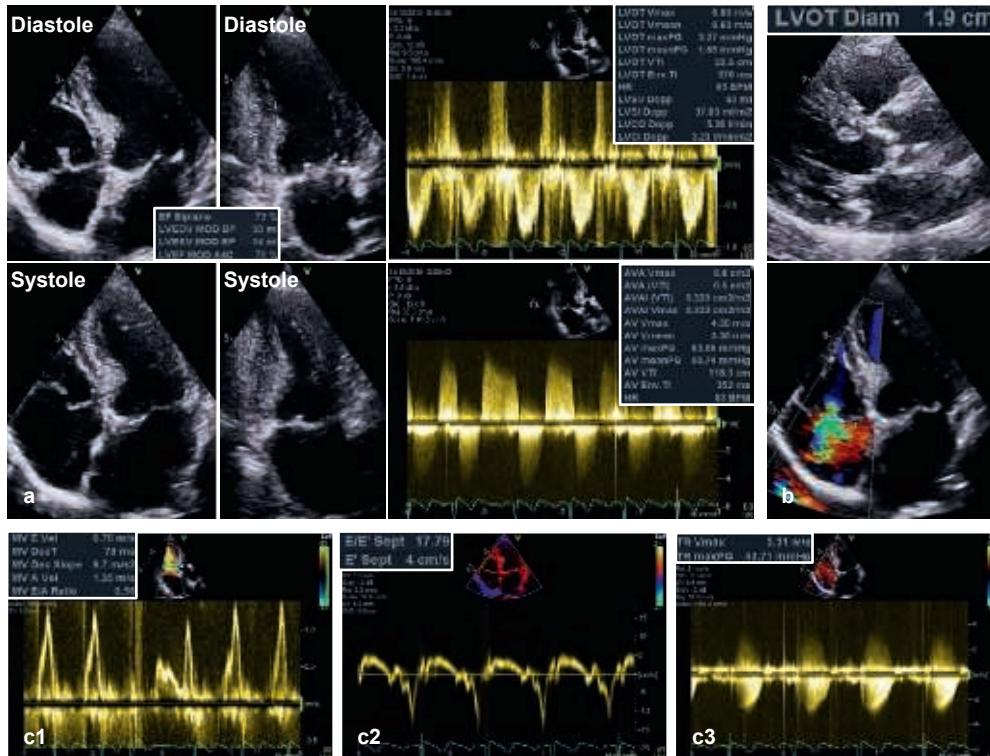
**Abb. 6.2.12 Beispiel für die Dokumentation einer Aortenklappenstenose bei kleinen Aortendurchmessern.** Planimetrisch wurde ein LVSU um  $55 \text{ ml}$  bestimmt (a1–a4, b1–b4). Die schmalen Dimensionen von LVOT, Aortenklappenring und AoW sind in der TTE (b) und TEE zu sehen (c). Die Ausmessung der KÖF in der TEE ( $1,2 \text{ cm}^2$ ) entspricht einer mittelgradigen AS (d3). Die planimetrische Bestimmung der KÖF ist aufgrund der eingeschränkten Bildqualität in der TTE nicht valide durchführbar (e1, e2).



**Abb. 6.2.13** Doppler-Echokardiografie zur Bestimmung der effektiven KÖF nach der Kontinuitätsgleichung. Das Beispiel bezieht sich auf denselben Patienten wie > Abb. 6.2.12. Links sind die farbkodierten Sequenzen des LVOT während der Diastole (a) und der Systole (b) gezeigt. Daneben sind, mit den zugehörigen Messwerten, das gepulste Doppler-Spektrum (c) und das cw-Doppler-Spektrum (d) dokumentiert. Aus diesen Messungen würde aufgrund des „Pressure-Recovery“-Phänomens ein zu niedriger Wert von 0,9 cm<sup>2</sup> für die KÖF ermittelt werden. Bei kleinen Aortendimensionen muss der Befund einer hochgradigen AS daher immer durch eine Planimetrie der KÖF in der TEE kontrolliert werden.



**Abb. 6.2.14** Beispiel einer hochgradigen Aortenklappenstenose bei reduzierter systolischer LV-Funktion (LVEF < 30% und LVSV um 45 ml). Die Bestimmung des LVSV nach der biplanen Simpson Methode ist in der oberen Reihe (a) dargestellt. Links (b1, b2) ist die Messung des LVOT-Durchmessers gezeigt. Daneben ist die multidimensionale Planimetrie der KÖF in der TEE zu sehen (c1, c2). Rechts (d1, d2) sind die zugehörigen dopplerechokardiografischen Dokumentationen und Messungen wiedergegeben. Bei reduzierter systolischer LV Funktion sind die transvalvulären Gradienten in Relation zum Schweregrad der AS erniedrigt.



**Abb. 6.2.15** Dokumentation der sekundären kardialen Veränderungen bei signifikanter Aortenklappenstenose. In den oberen Reihen (a) ist ein hochgradiges, kombiniertes Aortenklappenvitium mit führender Stenose dokumentiert (biplane Planimetrie des LVSV und dopplerechokardiografische Messung der effektiven KÖF). Rechts (b) ist das Regurgitationssignal der TR zu sehen. Unten (c) ist die Bestimmung von unbedingt notwendigen Parametern gezeigt:  $E/E'$  (c1, c2) (als Surrogatparameter für den LVEDP – pathologisch  $> 15$ ) und sPAP (c3) (pathologisch  $> 30$  mmHg).

# Erhältlich in Ihrer Buchhandlung



Basiswissen Echokardiografie – die ideale Ergänzung zum Echo-Grundkurs der DEGUM. Neben den technischen Aspekten inkl. der korrekten Handhabung, lernen Sie bei den Bildern nichts zu übersehen, Pathologien schnell zu erkennen und richtig zu interpretieren.

Dafür sorgen mehr als 600 Abbildungen, die Ihnen Schritt für Schritt die korrekte Untersuchung vorstellen. Ein renommiertes Autorenteam mit Erfahrung in der Weiterbildung hat die Inhalte didaktisch so gut aufbereitet, dass der eine oder andere Weiterbildungsassistent vielleicht sogar auf einen Echo-Kurs verzichten kann.

## Aus dem Inhalt:

Physikalisch-technische Grundlagen | Echokardiografische Darstellung der normalen kardialen Morphologie | Der standardisierte Untersuchungsangang in der transthorakalen Echokardiografie | Einführung in die standardisierte Echokardiografie bei bestimmten kardiovaskulären Erkrankungen | Einführung in die Beurteilung der Herzklappenerkrankungen | Einführung in die Notfall-Echokardiografie

## Basiswissen Echokardiografie

2017. 392 S., 400 farb. Abb., 300 s/w

Abb., geb.

ISBN: 978-3-437-23622-8

€ [D] 119,99 / € [A] 123,40

Empowering Knowledge

