

**Bestimmung der Lage des Zentralen Venenkatheters
und Ausschluss eines Pneumothorax mittels
Sonographie bei herzchirurgisch behandelten Kindern
BLAZE Trial**

Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades (Dr. med.)
der Medizinischen Fakultät
der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität
Bonn

Amelie Clara Schild

aus Tübingen

2025

Angefertigt mit der Genehmigung
der Medizinischen Fakultät der Universität Bonn

1. Gutachter: Prof. Dr. Ehrenfried Schindler
2. Gutachter: Prof. Dr. Rainer Ganschow

Tag der Mündlichen Prüfung: 25.09.2025

Aus der Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin (KAI)

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

1. EINLEITUNG	6
1.1. Indikationen	7
1.2. Kontraindikationen	8
1.3. Zentraler Venenkatheter-Anlage.....	9
1.4. Lagekontrolle.....	13
1.5. Komplikationen.....	16
1.6. Problematik der Strahlenbelastung bei Kindern	18
1.7. Ziele der Arbeit.....	19
2. MATERIAL UND METHODEN	20
2.1. Patienten	20
2.2. Zentraler Venenkatheter-Anlage.....	23
2.3. Darstellung der Katheterspitze	24
2.4. Lungensonographie	30
2.5. Röntgenthorax.....	31
2.6. Weitere erfasste Daten	35
2.7. Statistische Analysen.....	35
3. ERGEBNISSE	36
3.1. Patientendaten	36
3.2. Zentraler Venenkatheter-Komplikationen	41
3.3. Zentraler Venenkatheter-Lagen.....	41
3.4. Statistische Auswertung.....	44
3.5. Bestimmung der Zentralen Venenkatheter-Lage mittels Sonographie.....	45
4. DISKUSSION.....	47
5. LIMITATIONEN	57

6. ZUSAMMENFASSUNG	58
7. ABBILDUNGSVERZEICHNIS	60
8. TABELLENVERZEICHNIS	62
9. LITERATURVERZEICHNIS	63
10. VERÖFFENTLICHUNGEN	71
11. ERKLÄRUNG ZUM EIGENANTEIL	72
12. DANKSAGUNG	74

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A	Arterie
ALL	Akute lymphatische Leukämie
ASA	Society of Anesthesiologists
BMI	Body Mass Index
CT	Computertomographie
EKG	Elektrokardiogramm
HLM	Herzlungenmaschine
INR	International Normalized Ratio
ICC	Klasseninterner Korrelationskoeffizient
J-Tip	ZVK-Spitze
MHz	Megahertz
OP	Operation
PTT	Partielle Thromboplastinzeit
SD	Standardabweichung
TEE	Transösophageale Echokardiographie
V	Vene
VBU	Vertebral body unit
ZVD	Zentraler Venendruck
ZVK	Zentraler Venenkatheter

1. Einleitung

Der zentrale Venenkatheter (ZVK) spielt heutzutage unter anderem bei der Behandlung von herzchirurgischen Patienten eine essenzielle Rolle. Auf 100.000 Einwohner kamen im Jahr 2020 111 solcher Eingriffe. Das heißt, deutschlandweit, wurden in dieser Zeit circa 93.000 Patienten am Herzen operiert. Davon entfielen circa 8000 auf Kinder unter 13 Jahre. Die Hälfte dieser Kinder, denen im Rahmen eines herzchirurgischen Eingriffs ein ZVK gelegt wurde, war jünger als ein Jahr (Beckmann et al. 2021).

Die, der Arbeit zugrundeliegende Studie, beschäftigte sich daher auf Grund der Häufigkeit der Anwendung mit der Überprüfung der Anlage eines ZVKs bei herzchirurgisch behandelten Kindern. Besonders bei sehr kleinen Kindern ist die Anlage dieses Katheters komplexer als bei Erwachsenen, da mögliche Fehlbildungen von Gefäßen noch nicht diagnostiziert und die Strukturen äußerst vulnerabel sind. Bei ihnen ist daher eine Lagekontrolle sowie ein genaues hämodynamisches Monitoring während der Operation von besonderer Bedeutung (Schindler, Mikus, and Velten 2021).

Unter einem ZVK versteht man einen dünnen Kunststoffschlauch, der in eine herznahe große Vene bis vor den rechten Vorhof geschoben wird. In den meisten Fällen wird hierfür bei Kindern die Vena (V.) jugularis interna, die V. subclavia oder V. brachiocephalica punktiert. Alternativ kann der Katheter auch über die V. femoralis eingeführt werden (Schindler, Mikus, and Velten 2021). Abbildung 1 gibt eine Übersicht der venösen Halsgefäße.

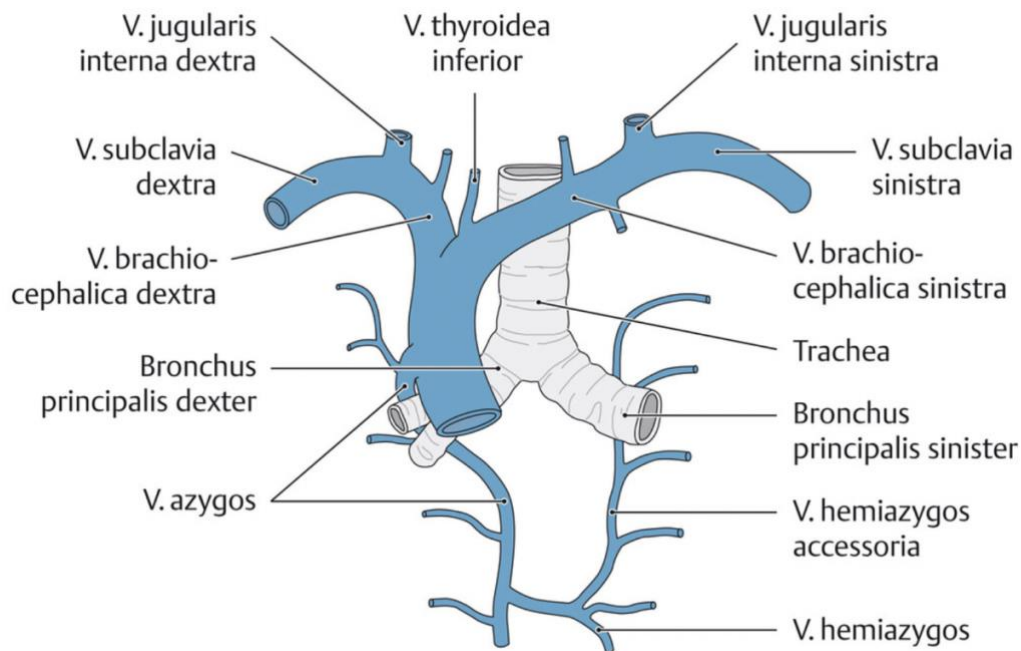


Abb. 1: Darstellung der venösen Gefäße im Halsbereich (Schünke et al. 2009)

Bei Kindern, die sich einer herzchirurgischen Operation unterziehen, wird in den meisten Fällen die rechte V. jugularis interna als Zugangsweg gewählt (Baehner et al. 2020).

1.1. Indikationen

Die Indikationen für einen ZVK sind vielfältig und meist situationsabhängig (Kolikof, Peterson, and Baker 2022). Über den ZVK können Medikamente, die stark venenreizend sind appliziert werden. Hierzu zählen hochdosiertes Natriumbicarbonat, Kaliumchlorid und Chemotherapeutika (Cavanna et al. 2013). Auch bei der parenteralen Ernährung spielt der ZVK eine wichtige Rolle, da hier energiereiche Glucose- oder Aminosäureinfusionen verabreicht werden, die schädlich für die peripheren Venen sind. Die Anlage von Shaldon Kathetern zählt zu den speziellen Indikationen und umfasst extrakorporale Therapien wie die Hämodialyse, Plasmapherese und die Nierenersatztherapie (Konner 2005; Ipe and Marques 2018).

Bei den eingangs erwähnten herzchirurgischen Eingriffen spielt der ZVK, besonders im Rahmen des hämodynamischen Monitorings, wie der Gabe von Vasopressoren oder Volumen, eine zentrale Rolle. Darüber hinaus ermöglicht er die Messung des zentralen Venendrucks (ZVD) (Suess and Pinsky 2015). Seine Anwendung unterscheidet sich dabei nicht zwischen Kindern und Erwachsenen.

Da ein ZVK großlumiger als eine herkömmliche Kanüle an der Hand oder Arm ist, können größere Volumina pro Zeit appliziert werden. Dies ist vor allem bei sehr kleinen Kindern von Bedeutung, da ihre kleinen, dünnwandigen, peripheren Venen, bei Applikation großer Volumina zu perforieren drohen (Schindler, Mikus, and Velten 2021). Zum Teil sind ihre Gefäße peripher schwieriger zu punktieren und für Operationen sind verlässliche Zugänge unumgänglich (Wiener et al. 1992).

Auch bei älteren Patienten, bei denen ein peripherer Zugang nicht möglich ist, kann ein ZVK gelegt werden. Gründe hierfür sind zum Beispiel ein Volumenmangelschock oder die vorangegangene Therapie mit venenreizenden Chemotherapeutika (Kolikof, Peterson, and Baker 2022). Neben Notfallsituationen sind venöse Eingriffe wie zum Beispiel das Einbringen eines Vena-cava-Filters, thrombolytische Therapien oder Herzschrittmacher-implantationen weitere Indikationen (Lau 2007),(Suess and Pinsky 2015).

Ein Vorteil, sowohl für Erwachsene als auch für Kinder, ist die Möglichkeit der Blutentnahme über den ZVK. Diese ist bei vor allem bei sehr kleinen Kindern häufig eine Herausforderung (Werner et al. 1996).

1.2. Kontraindikationen

Die Kontraindikationen für einen ZVK werden in absolut und relativ unterteilt. Zu den absoluten Kontraindikationen werden vor allem Infektionen im Bereich der Einstichstelle gezählt. Auch Verletzungen oder eine veränderte Anatomie der zu punktierenden Gefäße gehören dazu (Kolikof, Peterson, and Baker 2022). In diesen Fällen sollte die ZVK-Anlage nicht durchgeführt werden.

Bei Vorhandensein von relativen Kontraindikationen kann unter strenger Abwägung, der sich aus der ZVK-Anlage ergebenden Risiken, trotzdem ein Katheter gelegt werden. Ein Beispiel für eine hierfür stellen Gerinnungsstörungen dar. Die partielle Thromboplastinzeit (PTT) sollte 50 s nicht unterschreiten, der Quick größer als 50 % sein und es sollten mehr als 50.000/ μ l Thrombozyten vorhanden sein. Auch wenn der International Normalized Ratio (INR) größer als drei ist, sollte eine ZVK-Anlage gemäß Nutzen-Risiko abgewogen werden. Bei diesen Patienten ist die Blutungsneigung und somit die Entstehung eines Hämatoms erhöht. Weitere Kontraindikationen stellen adipöse oder unkooperative Patienten dar (Kolikof, Peterson, and Baker 2022).

Bei Punktion der V. subclavia sind spezielle relative Kontraindikationen ein frustraner Punktionsversuch der Gegenseite ohne sicheren Pneumothoraxausschluss, ein ausgeprägtes Lungenemphysem aufgrund der Pneumothoraxgefahr, ein ipsilateral liegender Port oder Herzschrittmacher (Kolikof, Peterson, and Baker 2022). Wenn man die V. jugularis interna punktieren möchte, zählen zu den relativen Kontraindikationen ein frustraner Punktionsversuch der Gegenseite mit Verletzung der Arteria (A.) carotis und der Bildung eines Hämatoms und ein ipsilateral liegender ventrikuloperitonealer Shunt (Kolikof, Peterson, and Baker 2022).

1.3. Zentraler Venenkatheter-Anlage

Die Anlage eines ZVKs gilt als minimalinvasiv. Es gibt verschiedene Methoden einen ZVK zu legen. Bei der konventionellen Methode erfolgt die Punktion anhand von Palpation und topographischen Merkmalen (Fathi et al. 2016). Dies erweist sich bei Säuglingen schwieriger als bei Erwachsenen, da bei ihnen die topographischen Merkmale kaum tastbar sind (Stocker and Berger 2006).

Bei der ultraschallgestützten Punktion, kann die Punktionsstelle mithilfe von Sonographie markiert werden (Ghatak, Singh, and Baronia 2016). Alternativ wird direkt unter sonographischer Sicht punktiert, welches sich mittlerweile im klinischen Alltag zu einem Standardverfahren entwickelt hat (Schindler et al. 2012). Studien zeigen, dass durch die sonographisch durchgeführte ZVK-Anlage, die Anzahl der Komplikationen verringert wird.

(Franco-Sadud et al. 2019; Randolph et al. 1996; Vasconcelos-Castro, Flor-de-Lima, and Soares-Oliveira 2022)

Wenn die ZVK-Anlage am narkotisierten Patienten durchgeführt wird, kann auf die Injektion eines Lokalanästhetikums verzichtet werden. Eine Punktion in Sedierung ist bei Kindern zu bevorzugen, da so die Identifizierung der Leitstrukturen leichter fällt und die Chance auf eine erfolgreiche Punktion erhöht wird (Wiener et al. 1992).

Der sedierte Patient wird in der Trendelenburg-Position gelagert, um eine bessere Füllung der Halsvenen zu ermöglichen. Hierbei wird ein Handtuch als Rolle geformt, unter die Schultern gelegt und der überstreckte Kopf von der Zugangsseite weggedreht (Breschan, Platzer, and Likar 2009). Bei Kindern sollte darauf geachtet werden, dass der Kopf nicht zu sehr überstreckt wird. Bei ihnen wird in der Literatur eine neutrale Kopfposition mit leichter Überstreckung empfohlen (Schindler, Mikus, and Velten 2021).

Nach Einstellung der entsprechenden Lage werden die Halsgefäße mithilfe eines Ultraschallgerätes identifiziert. Hierfür wird ein linearer Schallkopf verwendet, da mit ihm eine hohe Auflösung der schallkopfnahen Strukturen möglich ist. So können im Vorhinein Thromben oder Gefäßanomalien ausgeschlossen werden. Besonders bei kleinen herzchirurgischen Patienten mit angeborenen Herzfehlern ist dies von großer Bedeutung, da sich hier in bis zu 5 % der Fälle eine persistierende obere Hohlvene findet. Dies spielt bei der linksseitigen Punktion der V. jugularis interna eine Rolle (Schindler, Mikus, and Velten 2021). Sollte die Identifizierung nicht eindeutig gelingen, kann auch eine farbkodierte Doppler-Sonographie zum Einsatz kommen.

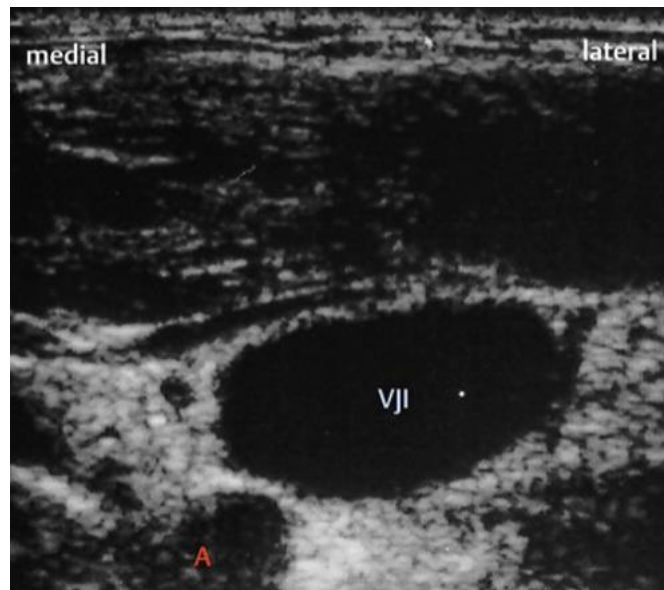


Abb. 2: Sonographische Darstellung der V. jugularis interna (VJI) und der A. carotis communis (A) (Kefalianakis, F. 2004)

Wurden Thromben und Gefäßanomalien erfolgreich ausgeschlossen, wird der Hals des Patienten desinfiziert und auf eine sterile Umgebung geachtet. Die Punktionsstelle wird mit einem Lochtuch abgedeckt, um möglichst sauberes Arbeiten zu ermöglichen.

Ultraschallgesteuert, wird die Vene unter Aspiration punktiert, bis sich dunkelrotes Blut in der Spritze ansammelt. Anschließend wird die Punktionskanüle fixiert und die blutgefüllte Spritze entfernt. Über die fixierte Kanüle wird der Seldinger-Draht eingeführt. Dieser sollte sich ohne Widerstand vorschieben lassen. Durch gewaltsames Einbringen des Führungsdrahtes können vor allem bei Neugeborenen Gefäße verletzt werden, weshalb ein hier sorgsames Vorgehen besonders indiziert ist (Nadroo et al. 2001). Sobald Ektopien oder Arrhythmien im Elektrokardiogramm (EKG) bemerkbar werden, sollte der Draht nicht weiter vorgeschoben werden. Unter guter Fixation des Drahtes wird die Punktionskanüle entfernt. Mit dem Ultraschallgerät wird anschließend geprüft, ob das richtige Gefäß punktiert wurde und der Draht sich nicht versehentlich in der Arterie befindet. Dieser stellt sich im Gefäß als kleiner weißer Punkt dar, wie in den Abbildungen 3 und 4 zu erkennen ist. Diese erste Lagekontrolle wird im transversal und longitudinal Schnitt durchgeführt.



Abb. 3: Darstellung des Seldinger-Drahtes in der V. jugularis interna im Transversalschnitt (Wilhelm, W. and Wietasch, J.K.G., 2017)



Abb. 4: Darstellung des Seldinger-Drahtes in der V. jugularis interna im Longitudinalschnitt (Wilhelm, W. and Wietasch, J.K.G., 2017)

Nachdem der Draht erfolgreich identifiziert wurde, wird mithilfe eines Dilatators die Einstichstelle für den ZVK dilatiert. Dafür wird er mittig angefasst und vorsichtig unter Druck mit leichter Drehbewegung nach vorne geschoben, bis er mit circa einem Drittel seiner Länge in der Haut steckt. Sollte er sich nicht gut nach vorne schieben lassen, kann

mit einem Skalpell ein kleiner Hautschnitt in der Einstichstelle gemacht werden. Der Dilatator wird entfernt und der vorher durchgespülte ZVK über den Führungsdraht eingeschoben (Kolikof, Peterson, and Baker 2022).

Vor allem bei sehr kleinen Kindern ist es wichtig die einzulegende Tiefe des Katheters vorher zu berechnen, da sie insgesamt eine kleinere Körperlänge haben und der ZVK so schnell zu tief liegt. Für den Zugang über die rechte V. jugularis interna und die linke V. brachiocephalica haben Schindler et al. aus der Literatur eine vereinfachte Formel erstellt. Bis zu einer Körpergröße von 100 cm wird zu 10 % der Körpergröße 1 cm addiert. Ist das Kind 80 cm groß, wird der ZVK 9 cm tief eingelegt. Ab einer Körpergröße von > 100 cm (bis 140 cm) wird zu 10 % der Körpergröße 1 cm subtrahiert. Wenn das Kind eine Größe von 120 cm hat, wird der ZVK 11 cm tief eingelegt (Schindler, Mikus, and Velten 2021). Nun kann der Draht entfernt werden und durch Aspiration die Durchgängigkeit des Katheters geprüft. Anschließend wird der ZVK mit einer 0,9 % NaCl-Lösung gefüllten Spritze gespült. Nach Fixation des Katheters an der Haut, ist die Anlage beendet.

1.4. Lagekontrolle

Da es bei der Anlage des Katheters zu diversen Komplikationen kommen kann, muss nach jedem Anlegen eines ZVKs eine Lagekontrolle durchgeführt werden. Außerdem muss ein Pneumothorax unbedingt ausgeschlossen werden (Roldan and Paniagua 2015). Die optimale Lage der Katheterspitze befindet sich am Übergang der V. cava superior zum rechten Vorhof des Herzens (Baehner et al. 2021).

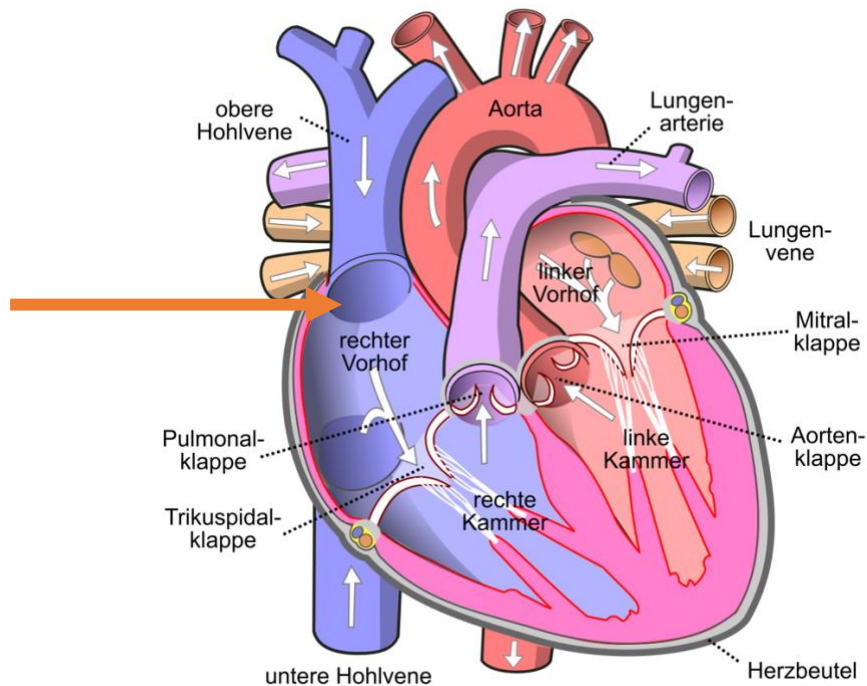


Abb. 5: Menschliches Herz, der orange Pfeil markiert die optimale Lage der Katheterspitze (Wikiwand, 2024)

Das erste Indiz für eine korrekte Lage des Katheters ist die Aspiration von dunkelrotem, nicht pulsatilem Blut (Polos and Sahn 1993). Wie die Autoren Klockgether-Radke et al. beschreiben, schließt die Aspiration von dunklem Blut aber keine extravasale Lage des Katheters aus (Klockgether-Radke and Gaus 2004). Weitere Indikationen für eine korrekte Lage können eine venöse Blutgasanalyse aus dem distalen Schenkel des Katheters sowie die Messung des zentralen Venendrucks liefern (Kolikof, Peterson, and Baker 2022). Bei sonographisch gesteuerter Anlage dient die Identifizierung des Drahtes in dem punktierten Gefäß als weitere Kontrolle (Kolikof, Peterson, and Baker 2022). Da durch diese Zeichen aber kein genauer Rückschluss auf die Tiefe der Katheterspitze gezogen werden kann, müssen weitere Methoden zum Einsatz kommen.

Eine weitere Möglichkeit zur Lagekontrolle stellt die EKG-Ableitung über einen markierten Führungsdraht oder eine in den Katheter gefüllten elektrolythaltige Flüssigkeit (z.B. Alpha Card) dar. Erreicht der Draht die gewünschte Tiefe, lässt sich im EKG eine hohe und spitze P-Welle erkennen (Zick et al. 2020; Michaelis and Biscopig 1998). Bei der

Verwendung des Führungsdrahtes als Leitmedium wird ein steriles EKG-Ableitungskabel benutzt und über eine Klemme mit dem Seldinger-Draht verbunden. So kann in der rechtsthorakalen Ableitung die Ableitung über den Draht erfolgen (Braun. B., 2024).

Voraussetzung hierfür ist eine detektierbare P-Welle im EKG. Diese Methode ist sowohl bei Erwachsenen als auch bei Kindern gängig (Weber, Buitenhuis, and Lequin 2013). In der Literatur sind allerdings auch Studien zu finden, die diese Methode als nicht geeignet beschreiben, da nicht bei allen Patienten ein Sinusrhythmus und/oder eine P-Welle zuverlässig detektierbar ist (Schummer et al. 2004; Pittiruti et al. 2012).

Eine sehr genaue Methode zur Detektion der Katheterspitze am Übergang der V. cava superior zum rechten Vorhof ist die transösophageale Echokardiographie (TEE). In der Literatur wird sie sogar als die präzise beschrieben (Andropoulos et al. 1999). Die Sonde wird bei dem intubierten Patienten nach Absaugen des Mageninhaltes über die Speiseröhre eingebracht. Hsu et al. und Reynolds et al. sind sich einig, dass das TEE dem Röntgenbild überlegen ist, da die Spitze besser in Verbindung zu benachbarten Strukturen gesetzt werden kann (Hsu et al. 2006; Reynolds et al. 2001). Diese Methode ist allerdings sehr kostspielig, invasiv und nicht bei allen Patienten durchführbar (Ender et al. 2009; Yoshimura et al. 2016).

Der Goldstand zur Identifikation der ZVK-Spitze ist daher nach wie vor die posterior-anterior (p.a.) Röntgenaufnahme des Thorax nach ZVK-Anlage. Bei dieser Methode lässt sich zusätzlich ein Pneumothorax ausschließen (Wang et al. 2015; Zick et al. 2020; Kim et al. 2015; Katheria, Fleming, and Kim 2013). Als radiologische Landmarke ist bislang bei diesem Verfahren die Carina trachea definiert (Schuster et al. 2000).

Eine neuere Entwicklung bzgl. der Lagekontrolle stellt die transthorakale Echokardiographie dar, die in einer Studie von Kim et al. bei Erwachsenen für die Darstellung des Führungsdrahtes im unteren Teil der V. cava superior am Übergang zum rechten Vorhof benutzt wird. Als Zugangsweg wurde bei allen Patienten die rechte V. jugularis interna gewählt. Als Schallfenster diente die rechte supraclaviculäre Darstellung. Über dieses Fenster war der Übergang der V. cava superior in den rechten Vorhof zu erkennen. Unter Sicht wurde bei der ultraschallgesteuerten Punktion der eingelegte Draht in Echtzeit verfolgt, bis das Ende des Drahtes (J-Tip) im rechten Vorhof zu sehen war.

Langsam wurde der Draht zurückgezogen, bis das J aus dem Schallfenster verschwand. Nach Verschwinden wurde die Länge des eingeschobenen Drahtes anhand von Markierungen ausgemessen und der Katheter entsprechend tief gelegt (Kim et al. 2015).

Eine weitere Studie aus dem Jahre 2020 beschäftigte sich ebenfalls mit der Darstellung des Führungsdrahtes und die darüber auszumessende Einlegetiefe des ZVKs. Die Schallfenster waren hier allerdings transhepatisch und subkostal. Auch hier stellt sich transthorakale Echokardiographie als erfolgversprechend dar (Zick et al. 2020).

Die Lagekontrolle mittels EKG und Ultraschall haben dem Röntgenbild voraus, dass bereits während des Legens des ZVKs eine Fehllage ausgeschlossen werden und der Katheter auch vor der Operation notfalls in seiner Lage korrigiert werden kann.

1.5. Komplikationen

Die Anlage eines ZVKs gilt zwar als minimalinvasiv, kann aber mit einer Vielzahl an Komplikationen einhergehen. Unterschieden werden Komplikationen, die während des Eingriffs auftreten und solche, die sich erst später bemerkbar machen. Prinzipiell können bei Kindern und Erwachsenen die gleichen Komplikationen auftreten.

Die Komplikationsrate ist in der Literatur mit bis zu 12 % beschrieben und deshalb nicht zu vernachlässigen (Urban, Wappler, and Sakka 2011).

Am häufigsten treten während einer ZVK-Anlage Herzrhythmusstörungen auf (Kolikof, Peterson, and Baker 2022). Vorhoffarrhythmien haben dabei eine Auftretenswahrscheinlichkeit von 41 % und Ventrikellarrythmien bis zu 25 %. Diese Angaben beziehen sich allerdings auf die Anlage eines ZVKs bei Erwachsenen (Stuart et al. 1990). Mit 5 % Auftretenswahrscheinlichkeit während der Anlage eines ZVKs gehört die versehentliche arterielle Punktion auch zu den häufigeren Komplikationen (Yilmazlar et al. 1997). Auch bei Kindern ist dies eine gängige Komplikation und tritt vor allem bei Nutzung der Landmarkentechnik auf. In 4 % der Fälle verläuft die V. jugularis interna neben oder auf der A. carotis communis, was dessen Punktion zur Folge hat (Turba et al. 2005; Yuan et al. 2017).

Mit bis zu 2 % ist die Entstehung eines Pneumothorax eine weitere häufige Komplikation (Klockgether-Radke and Gaus 2004). Außerdem kann es bei der ZVK-Anlage zu Fehllagen oder Umschlagen des Katheters kommen. Dies tritt laut Literatur in 5 - 12 % der Fälle auf (Schummer et al. 2007). Fehllagen können bei Verletzung des Gefäßes potenziell tödliche Folgen haben und sollten deshalb möglichst vermieden werden (Kumada et al. 2016; Schummer et al. 2007). Bei Perforation eines Gefäßes sind außerdem ein Chylo- oder Hämatothorax möglich (Schummer, Schummer, and Hoffmann 2003; Domino et al. 2004). Am häufigsten kommt es bei der Punktion der linken V. jugularis interna (12 %) zu falschen Lagen. Anschließend folgen die rechte und linke V. subclavia (9,3 % und 7,3 %). Mit 4,3 % weist die rechte V. jugularis interna die wenigsten Fehllagen auf (Roldan and Paniagua 2015).

In der Literatur findet man beschriebene Fehllagen in die V. pericardiacophrenica (Zaman et al. 1990), in eine atypische Pulmonalvene (Townley 2003), die V. azygos (Schummer and Schummer 2002), V. thyroidea inferior (Ng et al. 1996) oder die V. mammaria interna (Kumada et al. 2016).

Besonders bei Patienten mit angeborenen Anomalien der Halsgefäße ist das Risiko einer möglichen falschen Lage erhöht. Häufige Gründe für die Entstehung von Fehllagen, sind patienteneigene Faktoren wie Tumore, Zysten, Stenosen oder Thrombosen (Roldan and Paniagua 2015).

Während der ZVK-Anlage werden auch Verletzungen der Trachea (Kolikof, Peterson, and Baker 2022) und Luftembolien beschrieben (Kornbau et al. 2015).

Zu den Komplikationen, die sich erst später bemerkbar machen, zählen beispielsweise katheterassoziierte Infektionen und Thromben (Garcia et al. 2017). Diese Komplikationen treten vor allem bei zu hoher Lage des Katheters auf (Sharma et al. 2013). Ob die Infektionsrate mit der Liegedauer assoziiert ist, ist in der Literatur umstritten. Eine Studie von Sheridan et al. zeigt einen Anstieg der Infektionsrate ab einer Liegedauer von 10 Tagen (Sheridan and Weber 2006). Bei Neugeborenen wird in der Literatur eine Auftretenswahrscheinlichkeit von 20 % für Thromben angegeben (Beck et al. 1998).

Die Perforation des Myokards bei zu tiefer Einlage des ZVKs wird bei Kindern als weitere Komplikation beschrieben. Diese Komplikation führt möglicherweise zur Entstehung eines Perikardergusses und einer Herzbeuteltamponade (Nowlen et al. 2002). Eine besondere Komplikation bei der Punktion der V. brachiocephalica ist die Entstehung eines Chylothorax. Grund hierfür, ist die Einmündung des Ductus thoracicus in diese Vene und die potenzielle Gefahr der Verletzung dieser Struktur durch die Punktionsnadel (Muhm et al. 1997).

Bei Kindern finden sich in der Literatur folgende Komplikationen, aufgelistet in absteigender Reihenfolge:

Die versehentliche arterielle Punktion ist vor allem bei der Landmarkentechnik von Bedeutung, da in 4 % der Fälle die V. jugularis interna neben oder auf der A. carotis communis. Verläuft (Turba et al. 2005; Yuan et al. 2017), das Stechen von Pneumothoraces, die Bildung eines Hämato- oder Chylothoraxthorax, das Vena-cava-superior-Syndrom in Folge von Kompression der V. cava superior oder einer Thrombose, Kammerflimmern und Blutungen an der Punktionsstelle (Johnson et al. 1998).

1.6. Problematik der Strahlenbelastung bei Kindern

Im Gegensatz zu Erwachsenen erhalten Kinder bei der gleichen Röntgenuntersuchung eine höhere Strahlendosis und sind außerdem der Strahlung gegenüber sensibler. Sie haben noch eine längere Lebenserwartung und somit steigt das Auftreten von Tumorerkrankungen (Linnet, Kim, and Rajaraman 2009).

Bislang wird in Deutschland jeder pädiatrische Patient nach einer ZVK-Anlage zur Lagekontrolle der ZVK-Spitze geröntgt. Dies bedeutet nicht nur einen erhöhten Zeitaufwand, sondern auch eine zusätzliche Strahlenbelastung für das Kind.

Eine p.a. Röntgenaufnahme des Thorax ist mit einer Strahlendosis von 0,2 mSv verbunden (Nelles, Kamper, and Haage 2022). Für Kinder unter 18 Jahren gilt der Grenzwert von 1 mSv pro Kalenderjahr. (§ 78 (3) Strahlenschutzgesetz). Dieser Aspekt

ist besonders für Kinder, an denen herzchirurgische Eingriffe durchgeführt werden relevant, da sie sich auf Grund ihrer Krankheitsgeschichte vermutlich häufiger Röntgenuntersuchungen unterziehen mussten, bzw. noch müssen. Eine Arbeit aus dem American Journal of Roentgenology hat gezeigt, dass bereits eine einmalige Strahlenexposition das Risiko für ein späteres Malignom erhöht (Brenner et al. 2001).

Eine weitere Studie von Infante-Rivard et al. beschäftigte sich mit dem Zusammenhang der Entstehung von akuten lymphatischen Leukämien (ALL) und durchgeführten Röntgenuntersuchungen bei Kindern postnatal (Infante-Rivard, Mathonnet, and Sinnett 2000). Das Ergebnis dieser Arbeit zeigte, dass es ab zwei Röntgenuntersuchungen ein signifikant erhöhtes Risiko für die Entstehung einer ALL gab (Infante-Rivard, Mathonnet, and Sinnett 2000).

1.7. Ziele der Arbeit

Ziel der vorliegenden Studie war es, eine Methode zu etablieren, die eine Darstellung der ZVK-Spitze bei herzchirurgisch behandelten Kindern mittels Ultraschall ermöglicht. Somit sollte in Echtzeit eine Überprüfung der Lage des Katheters ohne anschließende Röntgenuntersuchungen möglich sein. Um die Genauigkeit dieser Methode zu bewerten, wurde die Anzahl der Katheterspitzen ermittelt, die mittels Ultraschall identifizierbar waren.

Die mit diesem Vorgehen verbundenen Vorteile sind zum einen die unmittelbare Erfassung eventueller Fehllagen und die Möglichkeit zur sofortigen Korrektur, zum anderen die Vermeidung von Strahlenbelastung durch das Röntgenkontrollbild.

Eine zusätzliche Fragestellung, die im Rahmen dieser Dissertation beantwortet werden sollte, befasst sich mit dem Vergleich der ZVK-Einlegetiefe, der anhand der auf Kindesgröße-basierenden Formel, berechnet wurde, versus der tatsächlich eingelegten ZVK-Tiefe. Dies ist besonders bei Kindern mit Herzfehlern, insbesondere Kardiomegalie, von Bedeutung.

2. Material und Methoden

2.1. Patienten

In diese monozentrische prospektive Beobachtungsstudie wurden insgesamt 90 Kinder im Alter von 0 - 14 Jahren eingeschlossen. Bei allen Kindern handelte es sich um herzchirurgische Patienten, die unabhängig der Studie einen ZVK und eine Röntgenuntersuchung erhielten. Abbildung 21 zeigt die Zusammensetzung der Patienten.

Von den 90 Kindern waren 50 männlich und 40 weiblich. Bei allen Patienten wurde der ZVK in die rechte V. jugularis interna gelegt. Die im Rahmen dieser Studie analysierten Katheter wurden von einem Facharzt für Anästhesiologie im Eltern-Kind-Zentrum in Bonn gelegt.

Kinder, die sich aufgrund ihrer Herzfehlbildung einer bidirektionalen Glenn- oder Fontan-Operation unterzogen, wurden von der Studie ausgeschlossen. Die bidirektionale Glenn-Operation wird vor allem bei Kindern mit einem hypoplastischen Linksherzsyndrom und Trikuspidalatresie durchgeführt. Hierbei soll das venöse Blut der oberen Körperhälfte am Herzen vorbei direkt in die Lunge geführt werden. Abbildung 6 verdeutlicht, weshalb diese Kinder ungeeignet für die vorliegende Studie waren. Der ZVK kann nicht über die rechte V. jugularis interna gelegt werden, da die V. cava superior im Verlauf der Operation ihre Verbindung zum rechten Vorhof verliert und mit der rechten Pulmonalarterie anastomosiert wird. Das Ziel dieser Studie, den ZVK am Übergang der V. cava superior zum rechten Vorhof darzustellen, kann hier nicht erfüllt werden (Universitätsklinikum Bonn, 2021).

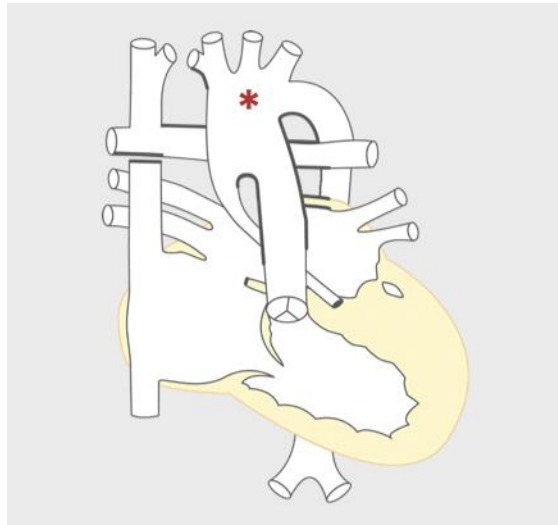


Abb. 6: Bidirektionale Glenn-Operation bei Hypoplastischem Linksherzsyndrom (Universitätsklinikum Bonn, 2021)

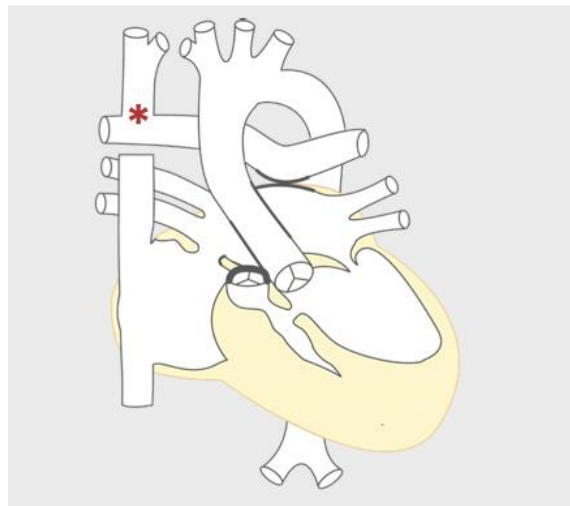


Abb. 7: Bidirektionale Glenn-Operation bei Trikuspidalatresie (Universitätsklinikum Bonn, 2021)

Die Fontan-Operation schließt sich einer vorherigen bidirektionalen Glenn-Operation an und soll das venöse Blut der unteren Körperhälfte, am Herzen vorbei, direkt in die Lunge befördern. Wie aus oben genannten Gründen, kann hier auch keine ultraschallgesteuerte Kontrolle des ZVKs am Übergang der V. cava superior zum rechten Vorhof erfolgen, da die rechte V. jugularis nicht als Zugangsweg gewählt werden kann (Universitätsklinikum Bonn, 2021).

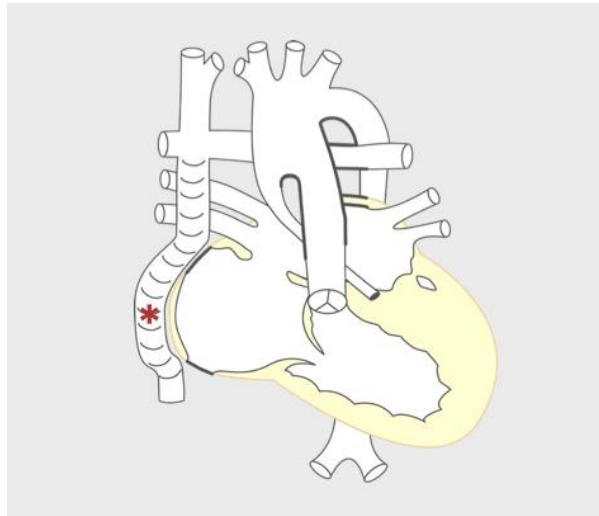


Abb. 8: Extrakardiale Fontan-Operation bei Hypoplastischem Linksherzsyndrom (Universitätsklinikum Bonn, 2021)

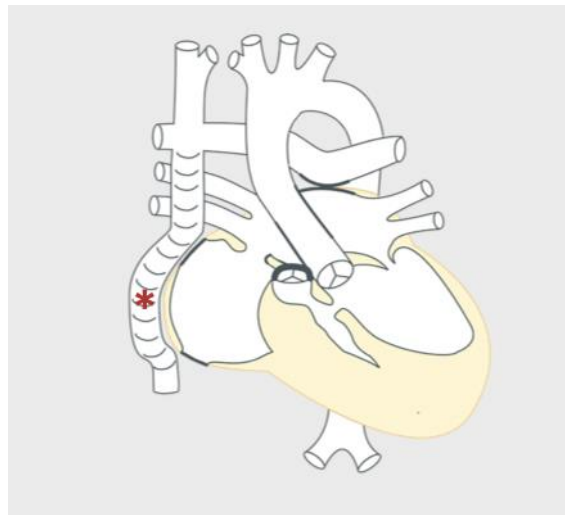


Abb. 9: Extrakardiale Fontan-Operation bei Trikuspidalatresie (Universitätsklinikum Bonn, 2021)

Weitere Ausschlusskriterien waren das bereits Vorhandensein eines ZVKs, die fehlende Einwilligung der Erziehungsberechtigten für diese Studie, eine Einstufung > 4 in die Risikoklassifikation von operativen Patienten nach der American Society of Anesthesiologists (ASA), sowie das Vorliegen eines Notfalls.

2.2. Zentraler Venenkatheter-Anlage

Nach unterschriebener Einverständniserklärung der Eltern, wurde das Kind am Operations (OP)-Tag zunächst in Allgemeinanästhesie gelegt und für die Herzoperation vorbereitet.

Der ZVK wurde den klinischen Standards entsprechend ultraschallgesteuert gelegt. Zunächst erfolgte eine sonographische Prüfung der Halsvenen, um mögliche Thromben oder Gefäßfehlbildungen auszuschließen. Dafür wurden die Venen (rechte und linke V. jugularis interna, linke und rechte V. subclavia) zunächst dargestellt und bis in ihren Verlauf in die V. brachiocephalica verfolgt. Dies geschah mit dem Ultraschallgerät Epiq 7 Philips Healthcare und einem linearen Schallkopf.

Die einzulegende Tiefe des ZVKs wurde bei den Kindern, wie bereits in der Einleitung beschriebenen, mit einer Formel errechnet (Schindler, Mikus, and Velten 2021). Je nach Gewicht des Kindes kamen unterschiedliche Katheter, die sich in Länge und Durchmesser unterscheiden, zum Einsatz (Yamamoto and Schindler 2019). Tabelle 1 zeigt die Wahl der verwendeten Katheter.

Tab. 1: Auswahl des ZVKs anhand der Körpergröße

Körpergewicht (kg)	Katheterdurchmesser (French)	Katheterlänge (cm)
3-5	4	13
5-20	5,5	13
< 20	7	30

Um die Katheterspitze entsprechend im rechten Vorhof sonografisch darzustellen, wurde zu der berechneten Länge 2 cm Eindringtiefe addiert. Die ZVK-Anlage erfolgte bei allen Patienten unter sterilen Bedingungen mittels Seldinger Technik lateral des Cricoids in die

rechte V. jugularis interna. Der ZVK wurde anschließend mit einem Pflaster fixiert, damit er bei der nachfolgenden Ultraschalluntersuchung nicht verrutscht.

2.3. Darstellung der Katheterspitze

Zur Überprüfung der Lage des ZVKs wurden mit dem Ultraschallgerät vier verschiedene Schallfenster angelotet und von dem schallenden Arzt mit den Noten 1-5 bewertet. Tabelle 2 zeigt die Bedeutung der einzelnen Ziffern.

Tab. 2: Bewertung der Schallfenster

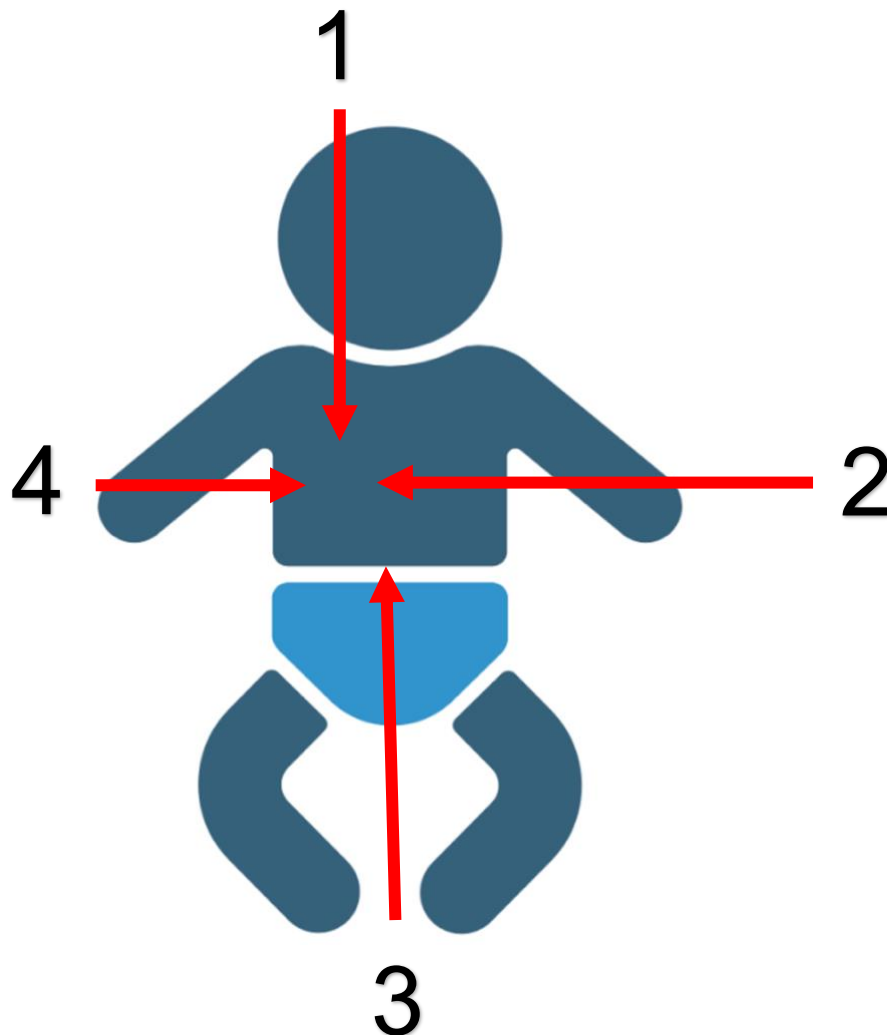
Note	Bedeutung
1	Strongly disagree
2	Disagree
3	Neutral
4	Agree
5	Strongly agree

Die vier Schallfenster wurden in einer vorherigen Arbeit von Baehner et al. ermittelt und gelten als Grundlage für diese Studie (Baehner et al. 2021). Zur vereinfachten Dokumentation wurde jedem Schallfenster eine Zahl zugeordnet, wie Tabelle 2 deutlich macht.

Tab. 3: Nummerierung der Schallfenster

Nummer des Schallfensters	Name des Schallfensters
1	Rechts supraklavikuläre Anlotung
2	Links parasternale Anlotung
3	Subxiphoidale Anlotung
4	Rechts parasternale Anlotung

Abbildung 10 zeigt skizzenhaft die verschiedenen Anlotungspunkte zur Darstellung der gewollten Strukturen.

**Abb. 10:** Darstellung der verschiedenen Anlotungspunkte

Für die rechts supraclaviculäre Anlotung wurde ein linearer- oder ein Sektorschallkopf verwendet. Als Sektorschallkopf diente bei dem Ultraschallgerät Epiq 7 Philips Healthcare der Schallkopf S8-3 mit dem Frequenzbereich 8-3 Megahertz (MHz) oder der Schallkopf X5-1 mit dem Frequenzbereich 5-1 MHz. Aus dieser Perspektive kann die V. cava superior in ihrem gesamten Verlauf bis zu dem Übergang in den rechten Vorhof verfolgt werden. Dieses Schallfenster wird zudem in der Neonatologie zur hämodynamischen Evaluation verwendet (Harabor and Fruitman 2012). Auch bei Erwachsenen konnte in einer früheren Studie von Kim et al. die Seldinger-Drahtspitze über die supraclaviculäre Anlotung erfolgreich dargestellt werden (Kim et al. 2015).

Sowohl über die rechte als auch die linke parasternale Anlotung lässt sich die V. cava superior mit Übergang in den rechten Vorhof darstellen (Abbildung 11). Auch die rechte Pulmonalarterie ist identifizierbar. Je nach benötigter Eindringtiefe, wird entweder ein linearer- oder Sektorschallkopf verwendet.

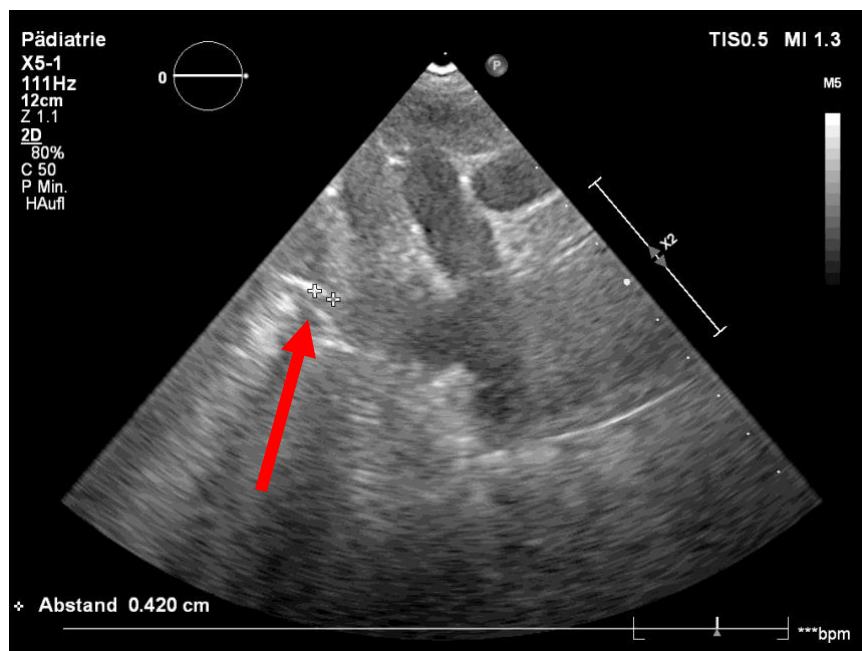


Abb. 11: Rechts parasternale Anlotung

Die subxiphoidale Anlotung wurde mit einem Sektorschallkopf durchgeführt, vorzugsweise mit dem Schallkopf S8. Aus dieser Perspektive ist der Übergang der V. cava superior in den rechten Vorhof gut zu erkennen, weswegen dieses Fenster häufig zur Ausmessung der Katheterspitze genutzt wurde (Baehner et al. 2021). Die zwei roten Pfeile deuten jeweils auf die ZVK-Spitze im rechten Vorhof des Herzens.

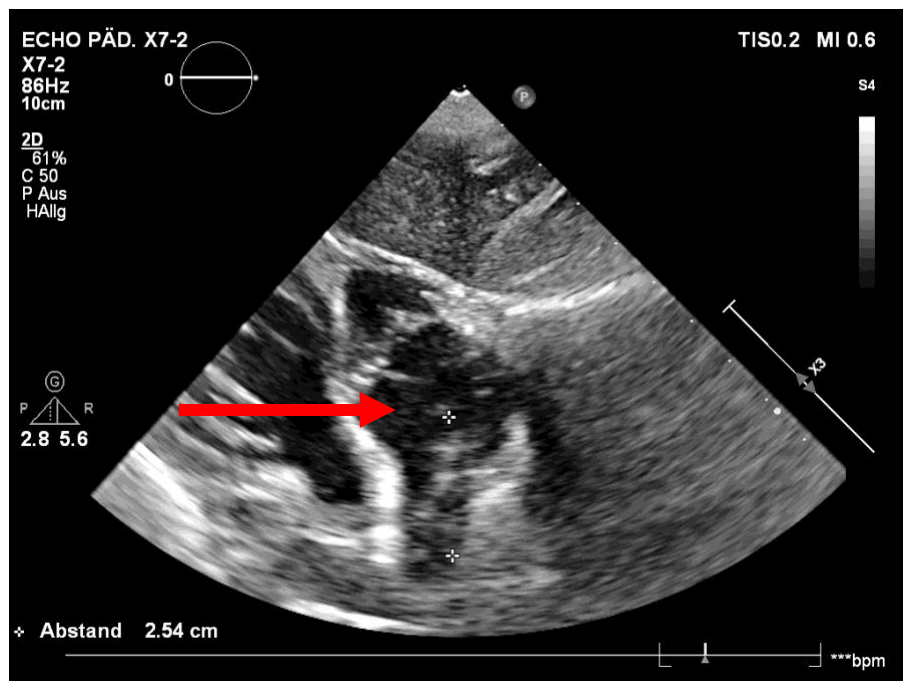


Abb. 12: Subxiphoidale Anlotung, der rote Pfeil weist auf die ZVK - Spitze im rechten Vorhof hin

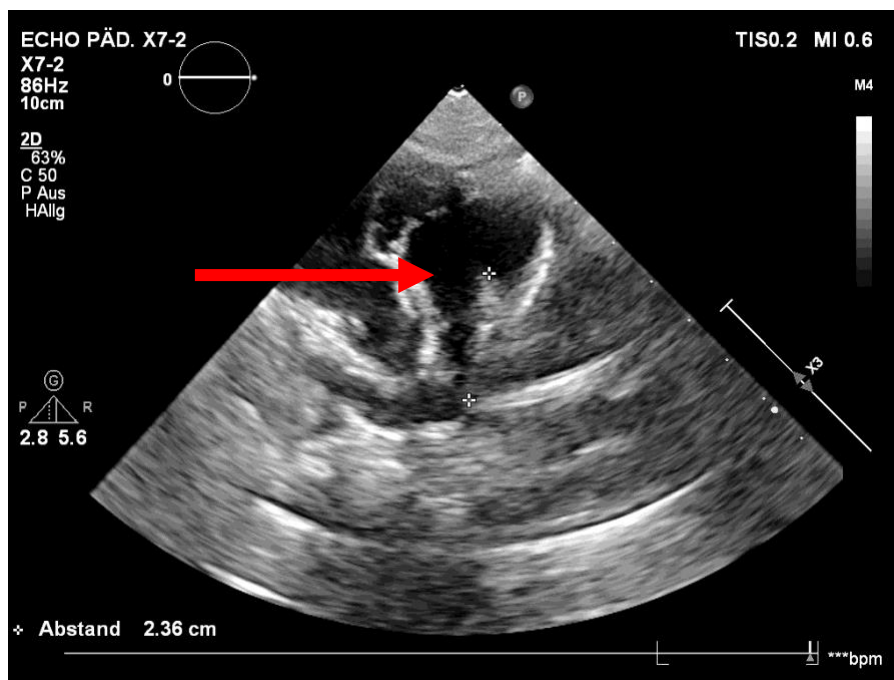


Abb. 13: Subxiphoidale Anlotung

Da der ZVK zur besseren Darstellung im rechten Vorhof absichtlich 2 cm tiefer, als über die Formel ermittelt, eingelegt wurde, musste er im Anschluss noch zurückgezogen werden. Dazu wurde die Strecke zwischen der ZVK-Spitze und dem Übergang vom rechten Vorhof zur V. cava superior mit dem Ultraschallgerät ausgemessen. Die Messung erfolgte in der Freeze-Funktion des Ultraschallgeräts im Schallfenster, welches die beste Sicht auf die Katheterspitze erlaubte. Abbildungen 11-15 zeigen die gemessene Strecke. Das Ultraschallgerät gab diese Strecke links unten in Zentimeter an. Dieses Fenster wurde auch auf dem Ultraschallgerät gespeichert. Um diese ermittelte Strecke wurde der Katheter zurückgezogen, damit er an der optimalen Stelle zum Liegen kommt. Die optimale Lage ist definiert, als der Übergang von rechtem Vorhof zur V. cava superior.

Eine weitere Hilfe zur Identifikation des Katheters ist seine Darstellung als Doppelkontur im Ultraschallbild. Dies ist in Abbildung 14 gezeigt. Der rote Pfeil markiert den Katheter.

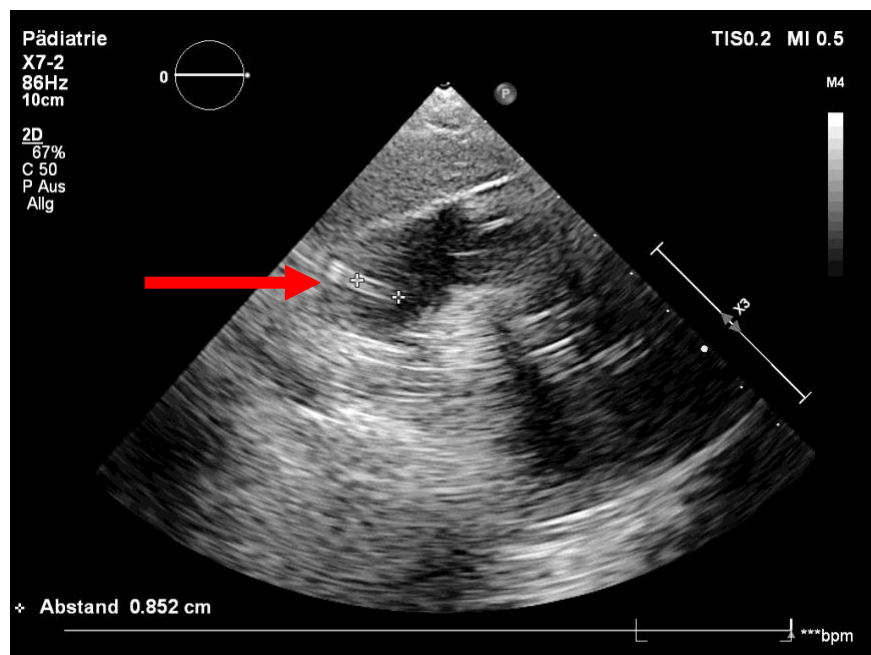


Abb. 14: Identifikation ZVK - Spitze als Doppelkontur

Wenn der ZVK nicht direkt sichtbar war, wurde über den distalen Schenkel des Katheters eine Kochsalzlösung appliziert, um seine Spitze besser aufzufinden, auch bekannt als „Bubble-Test“. Kurz nach dem Applizieren der Lösung, wurde das Ultraschallbild mittels der „Freeze-Funktion“ des Geräts angehalten. Die Spitze wurde anhand eines Jets, durch die Kochsalzlösung sichtbar. In Abbildung 15 ist der Jet mit einem roten Pfeil markiert.

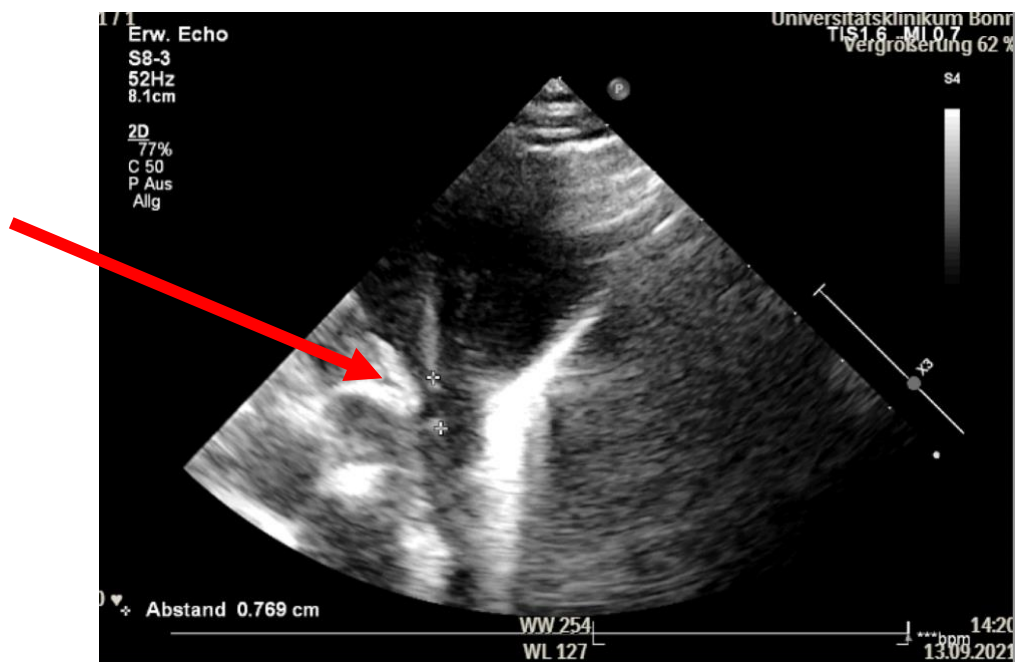


Abb. 15: Identifikation der ZVK - Spitze über Jet

Zum Ende der Untersuchungen, wurde der Draht, der bei der Seldinger Technik zum Einsatz kommt, bis zur Ultraschalluntersuchung im ZVK gelassen. Dadurch lies sich die Spitze auch sehr gut identifizieren, da das Ende des Drahtes die Form eines „J“ hat und dies gut im rechten Vorhof sichtbar war.

2.4. Lungenultraschall

Nach erfolgreicher Kontrolle der Lage des ZVKs wurde zusätzlich ein systematisch transthorakaler Ultraschall zum Ausschluss eines Pneumothoraxes durchgeführt. Hierzu wurde mit einem linearen Schallkopf die Bewegung der Pleura visceralis gegen die Pleura parietalis der Lunge dargestellt (Abbildung 16).



Abb. 16: Lungenultraschall

2.5. Röntgenthorax

Jedes Kind erhielt unabhängig der Studie im Rahmen seines herzchirurgischen Eingriffs eine Röntgenuntersuchung. Diese diente der endgültigen Verifizierung der ZVK-Lage, dem Ausschluss eines Pneumothoraxes und als Vergleichsmethode. Zur Einordnung der ZVK-Lagen wurde ein auf dieser Untersuchung basierender Bifurkationsbereich definiert. Dieser befindet sich 5 mm kranial bis 5 mm kaudal der Carina trachea, das heißt im Bereich der Bifurcatio tracheae. Als zu kranial wurden Katheter gekennzeichnet, die sich auf Höhe der 1. bis 4. Rippe überhalb dieses Bereiches befanden. Zu kaudal waren alle Katheter, die sich unterhalb des Bifurkationsbereich befanden. Die folgende Abbildung 17 zeigt die Einteilung der ZVK-Lage in einen Bifurkationsbereich (a), eine zu kraniale Lage (b) und eine zu kaudale Lage (c). Der gelbe Punkt liegt auf dem Unterrand der Carina, der bei unseren Messungen 0 mm Abweichung bedeutete.

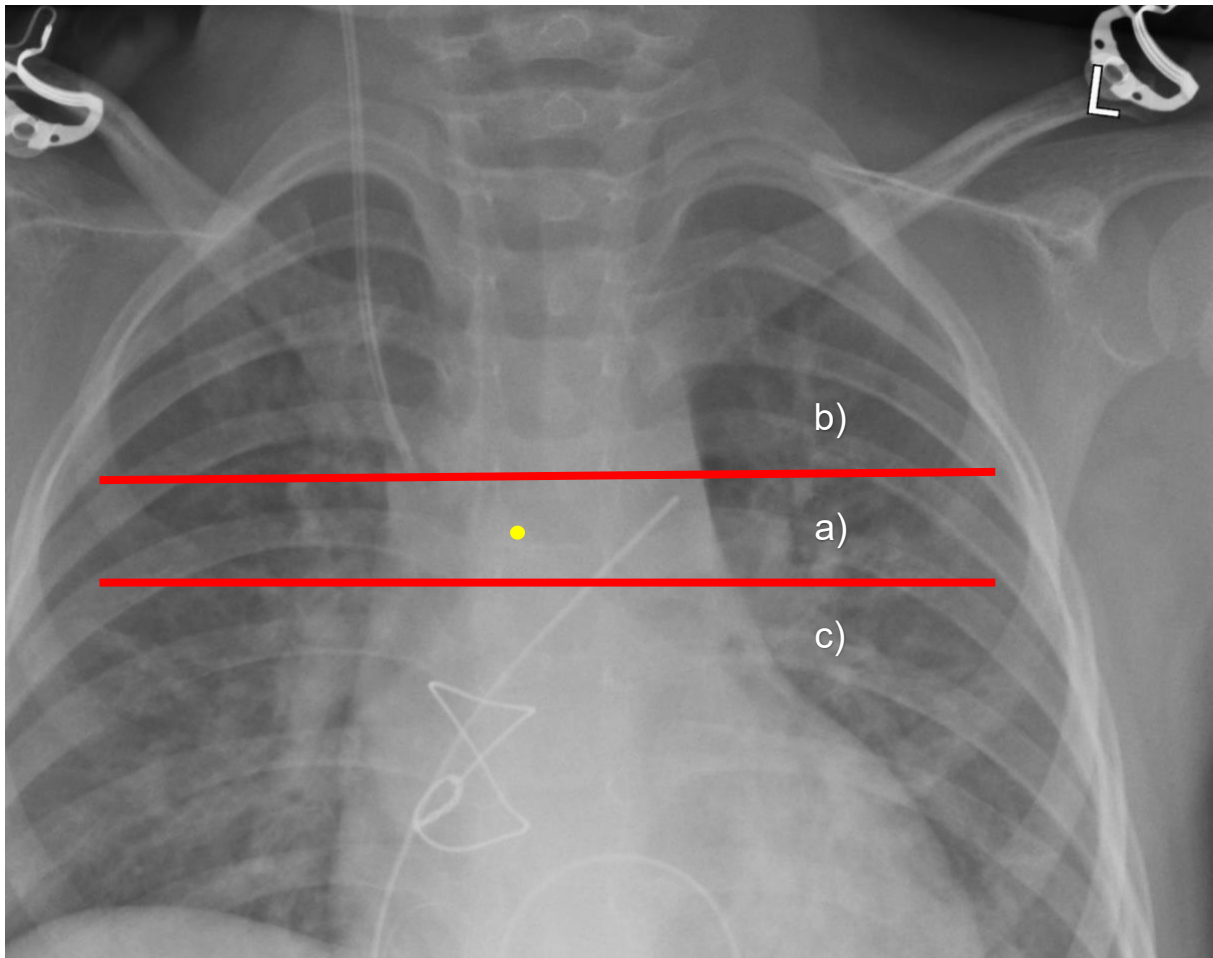


Abb. 17: Schematische Darstellung des definierten Bifurkationsbereiches

Katheter, die entweder über oder unter diesem Bereich zum Liegen kamen, wurden als zu kranial, beziehungsweise als zu kaudal markiert. Jeder ZVK wurde im Röntgenbild mit dem Programm picture archiving and communicating system (PACS) ausgemessen. Hierzu wurde der Unterrand der Carina trachea als Start und die Katheterspitze als Ziel definiert. Die Längenangabe erfolgte in mm. Mithilfe von Einstellung von Helligkeit und Kontrast, lies sich bei jedem Patienten die Carina trachea und die ZVK-Spitze darstellen. Um die Fehler bei der Messung zu minimieren, wurden alle Röntgenbilder nach abgeschlossener Datenerhebung nochmals in zwei voneinander getrennten Messzyklen betrachtet.

Die folgenden drei Bilder (Abbildungen 18-20) zeigen jeweils einen ZVK mit einer optimalen Lage laut Bifurkationsbereich (a), einer zu kranialen (b) und einer zu kaudalen Lage (c). Der grüne Pfeil zeigt jeweils auf die Katheterspitze.

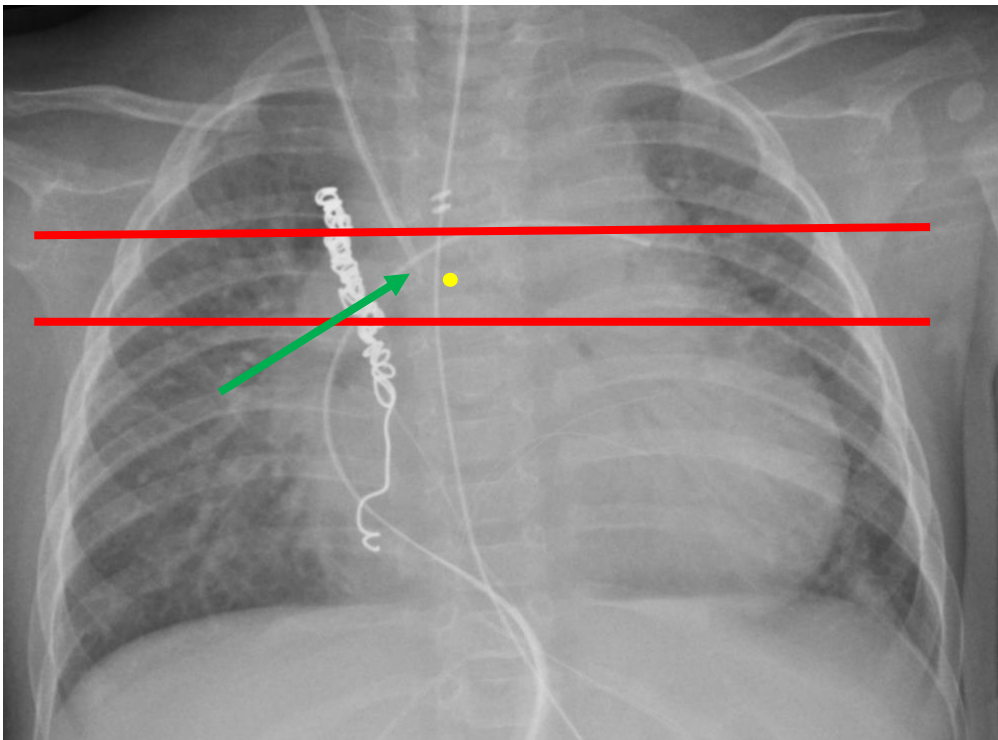


Abb. 18: a) optimale Lage des ZVKs

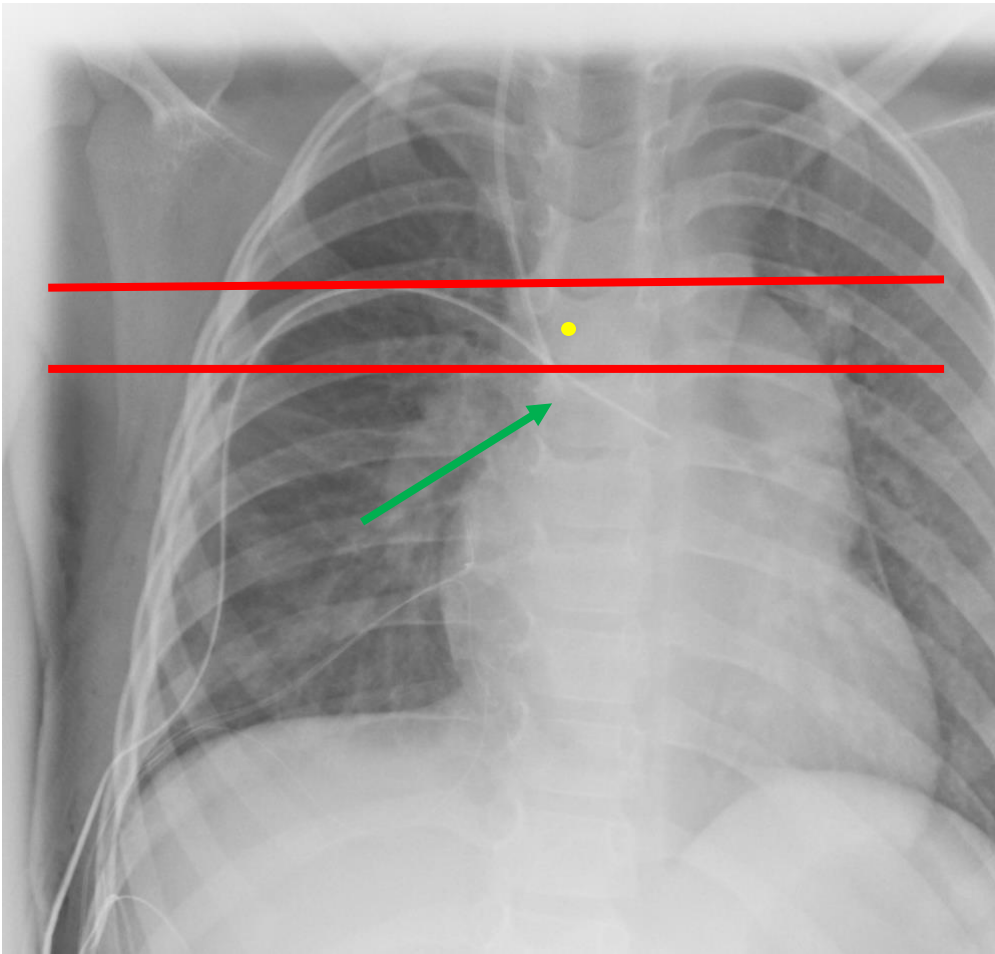


Abb. 19: b) zu kaudale eines ZVKs

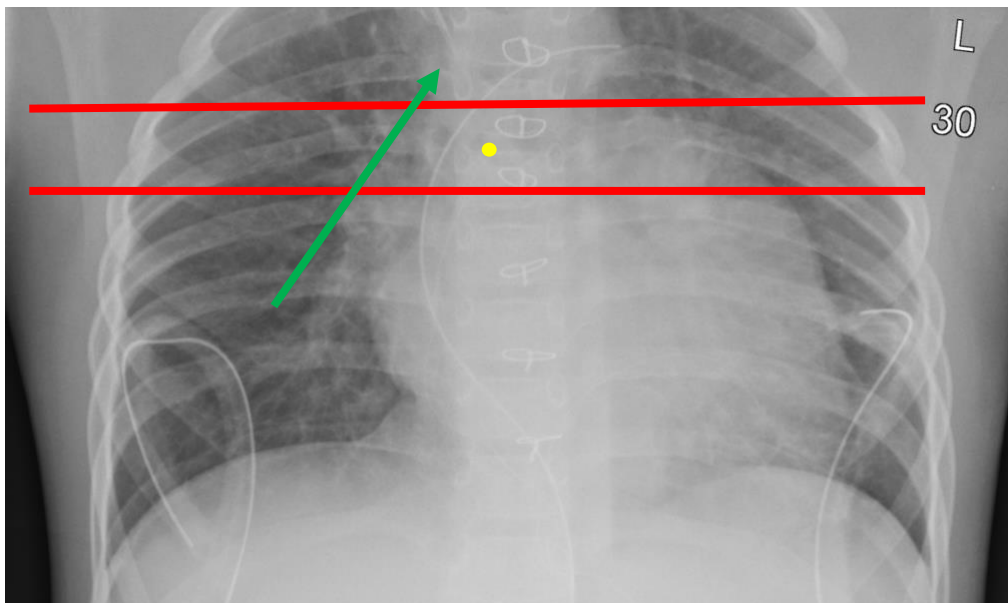


Abb. 20: c) zu kraniale Lage eines ZVKs

Nach der Lagekontrolle durch das Röntgenbild wurden die Katheter, falls notwendig, bezüglich ihrer Einlegetiefe korrigiert.

2.6. Weitere erfasste Daten

Von jedem Patienten wurde das Geschlecht, das Alter und die ASA-Einstufung protokolliert. Aus Größe und Gewicht wurde der Body Mass Index (BMI) ermittelt. Außerdem wurde notiert, ob der Patient sich bereits in der Vergangenheit einer Operation unterzogen hat, um den möglichen Einfluss von Narben auf die Darstellung der Katheterspitze zu untersuchen. Auch Vorerkrankungen des Patienten, Name und Dauer der folgenden Operation und der Anschluss an eine Herz-Lungen-Maschine (HLM) wurden erfasst. Die Liegezeit des zentralen Katheters, sowie damit zusammenhängende Komplikationen wurden zusätzlich festgehalten. Während der ZVK-Anlage wurden die Anzahl der Punktionsversuche, die Dauer der Anlage und die benötigte Zeit für die der Studie zugehörige Ultraschalluntersuchung notiert.

2.7. Statistische Analysen

Die statistische Auswertung der Daten erfolgte nach Beratung durch das Institut für Medizinische Biometrie, Informatik und Epidemiologie. Die erhobenen Daten wurden zunächst mittels Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung geprüft. Die anhand der Formel ermittelten Einlegetiefen wurden ebenfalls auf Normalverteilung geprüft, um später, zum Vergleich der Methoden, einen Bland Altman Plot durchzuführen. Die Graphen wurden mithilfe des Programms PRISM erstellt.

3. Ergebnisse

3.1. Patientendaten

In diese monozentrische prospektive Studie, zur Verifizierung der ZVK-Spitze in Echtzeit durch Ultraschall, wurden insgesamt 90 Kinder im Alter von 0 bis 14 Jahren eingeschlossen (Neumann et al. 2024).

Der Zeitraum der Datenerhebung erstreckte sich vom 31.08.2021 bis zum 27.04.2022. Zwischen dem 1.09. bis 12.09.2021, dem 1.11.2021, vom 21.12.2021 bis 3.01.2022, vom 10.01. bis 13.02.2022 und vom 14.04. bis 26.04.2022 fand keine Datenerhebung statt (Neumann et al. 2024).

Die nachfolgende Darstellung (Abbildung 21) gibt einen Überblick über die Zusammensetzung der in die Studie eingeschlossenen Patienten. Insgesamt wurden drei Patienten, aufgrund mehrerer Eingriffe in dem Zeitraum der Datenerhebung, doppelt eingeschlossen.

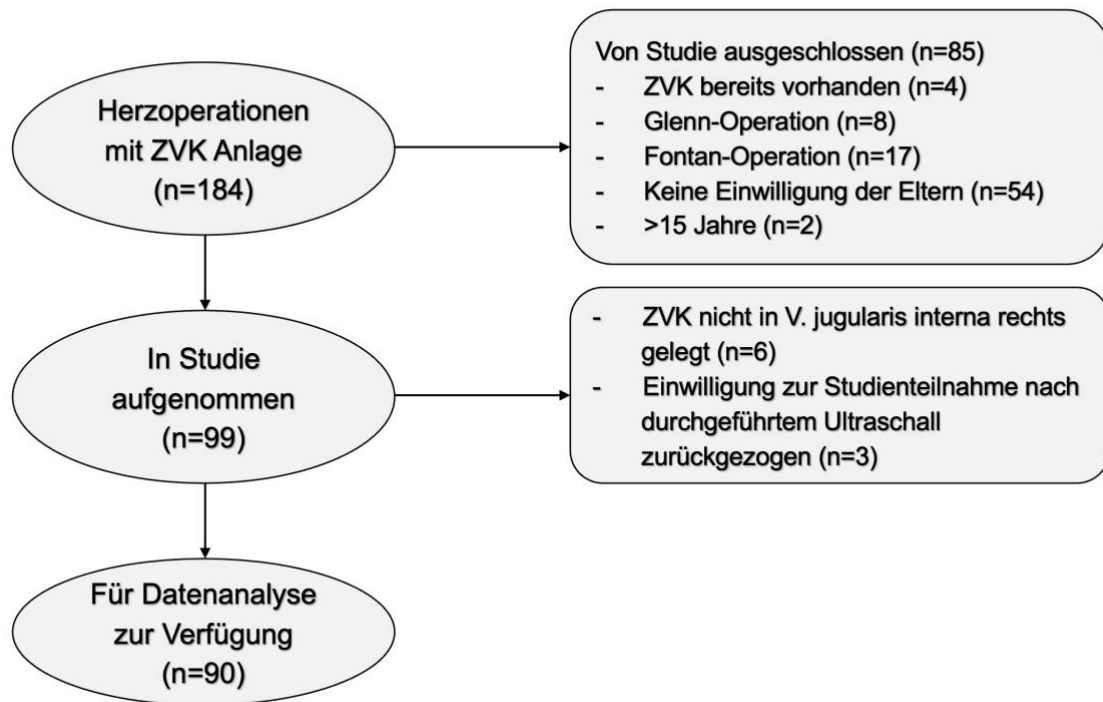


Abb. 21: Consort Flow Chart zum Studiendesign

Bei allen Kindern handelte es sich um herzchirurgische Patienten, die unabhängig der Studie einen ZVK und eine Röntgenuntersuchung erhielten. Davon waren 50 männlich und 40 weiblich. Bei allen Patienten wurde der ZVK in die rechte V. jugularis interna gelegt (Neumann et al. 2024).

Eine detaillierte Übersicht über die Patientendaten ist in Tabelle 4 dargestellt.

Tab. 4: Patientendaten 1

	Mittelwert	Standardabweichung	Spannweite
Alter (Monate)	39,2	48,3	0-179
Größe (Meter)	0,87	0,34	0,48-1,76
Gewicht (Kilogramm)	14,5	14,30	2,8-71

Die Klassifikation zur Abschätzung des perioperativen Risikos wurde nach den Klassifikationen der ASA vorgenommen und ist in Tabelle 5 beschrieben (Neumann et al. 2024).

Tab. 5: Patientendaten 2

ASA 1 (gesunder Patient)	ASA 2 (Patient mit geringfügiger Erkrankung ohne Einschränkungen)	ASA 3 (Patient mit Erkrankung mit deutlicher Beeinträchtigung)	ASA 4 (Patient mit lebensbedrohlicher Erkrankung)
1	6	59	24

Insgesamt wurden 67 Patienten zum ersten Mal operiert, 23 hatten sich bereits einer Operation unterzogen (Neumann et al. 2024). Dieser Parameter wurde erhoben, um den Einfluss von eventuellen Vernarbungen auf die Schallbarkeit des Kindes zu prüfen. In der folgenden Tabelle sind die zehn häufigsten Eingriffe aufgezählt.

Tab. 6: Herzchirurgische Eingriffe

Operation	Häufigkeit
VSD Verschluss	13
ASD 2 Verschluss	12
Korrektur Fallot	7
AVSD Korrektur	6
Aortenklappenrekonstruktion	5
Norwood Blalock Taussig Shunt	4
Pulmonalarterienbanding	4
ASD 1 Verschluss	3

Aortenrekonstruktion	3
RV PA Conduitaustausch	3

Fünf der 90 Patienten erhielten eine ZVK-Anlage ohne nachfolgende OP (Neumann et al. 2024). Im Gegensatz zu den anderen Patienten waren sie nicht intubiert und atmeten noch selbstständig.

Bei den durchgeführten Operationen ergaben sich folgende zeitliche Parameter. Die OP-Dauer betrug im Durchschnitt 250,3 min mit einer Standardabweichung von 95,7 min (Neumann et al. 2024). Die fünf reinen ZVK-Anlagen wurden nicht bei der Operationszeit miteingerechnet. 75 Patienten wurden während der Operation an eine Herzlungenmaschine angeschlossen (Neumann et al. 2024). Die Zeit an der HLM betrug 119 Minuten mit Standardabweichung von 57 Minuten (Neumann et al. 2024). Die ZVK-Anlage erfolgte durch Fachärzte für Anästhesie der Universitätsklinik Bonn. Die Punktionsversuche sind in der nachfolgenden Tabelle dargestellt (Neumann et al. 2024).

Tab. 7: Punktionen

Punktionen	Häufigkeit
1	74
2	11
3	4
4	1

In 82,2 % der Punktionen gelang die erfolgreiche ZVK-Anlage im ersten Versuch, bei einer durchschnittlichen Dauer von 6,82 min mit einer Standardabweichung von 2,97 min (Neumann et al. 2024). Hier wurde die Zeit nach steriler Abdeckung bis zum Vorschub des Katheters auf die vorgesehene Tiefe für den Ultraschall gemessen. Die Dauer des Ultraschalls, zur Darstellung der Katheterspitze, betrug im Durchschnitt 6,32 min mit einer Standardabweichung von 3,53 min (Neumann et al. 2024). Daraus folgte eine

Gesamtdauer von durchschnittlich 13,10 min (SD = 5,10 min) (Neumann et al. 2024). Zusätzlich wurde bei drei Patienten der zeitliche Aufwand der Röntgenuntersuchung festgehalten. Bei den drei Patienten erfolgte nur eine ZVK-Anlage. Die notierte Zeit setzt sich wie folgt zusammen: Das Warten auf eine Pflegekraft von der jeweiligen Station, die Transportzeit zur Radiologischen Abteilung, die Wartezeit vor der Röntgenuntersuchung, die Röntgenuntersuchung selbst und der anschließende Transport zurück auf die Station.

Tab. 8: Gegenüberstellung der Ultraschalldauer und Röntgenuntersuchung

	Mittelwert	Standabweichung
Dauer Ultraschall (min)	6,32	3,53
Gesamtdauer (min)	13,10	5,10
Dauer Röntgenuntersuchung (min)	36,67	6,03

Je nach Größe des Kindes, wurden insgesamt drei verschiedene Katheterfabrikate verwendet (Neumann et al. 2024).

Tab. 9: Katheterfabrikate und Größe

Katheterfabrikat	Größe (cm)	Häufigkeit
Arrow 4	13	21
Arrow 5,5	13	56
Arrow 7	30	13

Nach der Operation verbrachten die Patienten durchschnittlich 3,58 Tage (Standardabweichung (SD) = 4,46 Tage) auf der Kinderintensivstation des Eltern-Kind-Zentrums der Universitätsklinik in Bonn. Die Liegedauer der Katheter betrug im Mittel 6,6 Tage (SD = 6,2 Tage) (Neumann et al. 2024).

3.2. Zentraler Venenkatheter-Komplikationen

Bei 72 Patienten wurden keine Komplikationen nach ZVK-Anlage in der jeweiligen Pflegekurve notiert. Vier Mal entstand eine Rötung der Einstichstelle, einmal wurde ein Thrombus festgestellt und drei Mal kam es zu Nachblutungen. Neun Mal wurde die Einstichstelle als altblutig beschrieben (Neumann et al. 2024).

Tab. 10: ZVK-Komplikationen nach Anlage

Komplikation	Häufigkeit
keine	73
Rötung der Einstichstelle	4
Thrombus	1
Nachblutung	3
Altblutige Einstichstelle	9

Während der ZVK-Anlage kam es einmal zu einem Verknicken des Drahtes und vier Mal zum Verrutschen der Nadel (Neumann et al. 2024).

3.3. Zentraler Venenkatheter-Lagen

Bei allen 90 ZVKs war keine Korrektur nach Röntgenkontrolle notwendig. Vier Katheterspitzen konnten nicht mittels Ultraschall detektiert werden (4,4 %).

Die möglichen Gründe, weshalb die Katheterspitzen nicht dargestellt werden konnten, sind in Tabelle 11 aufgeführt. Bei Patient 51 war die Darstellung der ZVK-Spitze durch eine links persistierende obere Hohlvene erschwert. Bei Patient 52 war ein Morbus Ebstein bekannt. Hierbei handelt es sich um eine angeborene Fehlbildung des Herzens, wobei es zu einer Verlagerung der Trikuspidalklappe in den rechten Ventrikel kommt. Dies

hat eine Dilatation des rechten Vorhofs zur Folge und erschwert dort somit auch die Darstellung der ZVK-Spitze mittels Ultraschall (Neumann et al. 2024).

Tab. 11: Patienten ohne ZVK-Darstellung aufgrund von Besonderheit

Patient	Besonderheit des Patienten
4	Kleinwuchs
51	Herzfehler: links persistierende obere Hohlvene, Aortenisthmusstenose, persistierender Ductus Botalli, persistierendes Foramen Ovale
52	Morbus Ebstein
73	Großer Patient mit 1,64 m und 52 kg

Abbildung 22 zeigt die Verteilung der Lage der Katheter, wobei der Nullwert die Lage der Carina tracheae repräsentiert. Negative Werte entsprechen einer höheren Lage, positive einer tieferen.

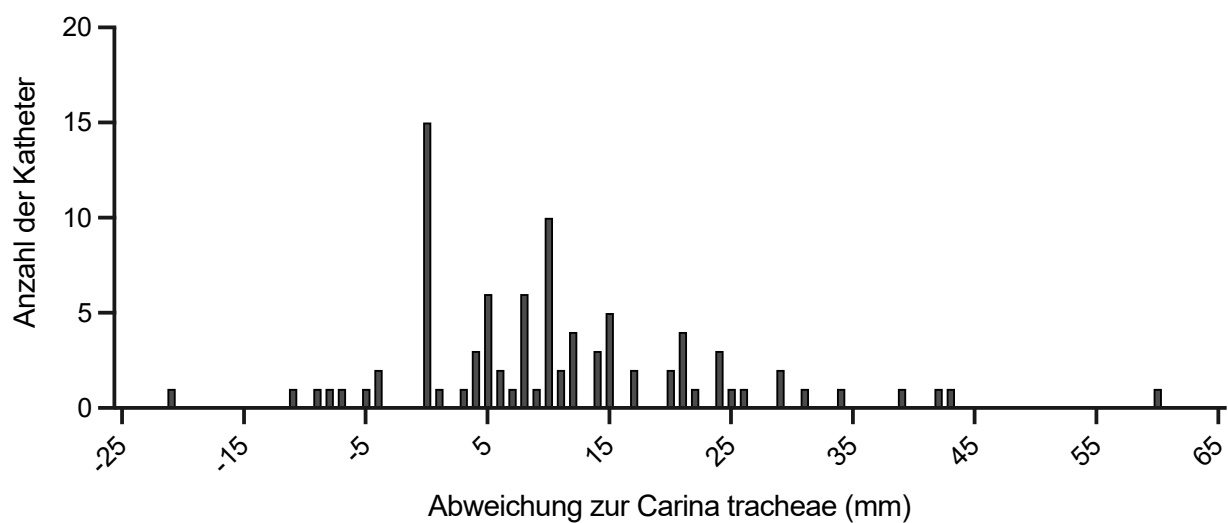


Abb. 22: Lageverteilung um die Carina tracheae

Wie in der Studie vorgesehen, wurde die Lage aller durch Ultraschall verifizierten ZVKs durch die anschließende Röntgenuntersuchung kontrolliert. Zur Einordnung der ZVK-Lagen wurde ein auf dieser Untersuchung basierender Bifurkationsbereich definiert. Dieser befindet sich 5 mm kranial bis 5 mm kaudal der Carina tracheae. 29 Katheter lagen in diesem Bereich, 5 zu kranial und 56 zu kaudal davon (Neumann et al. 2024).

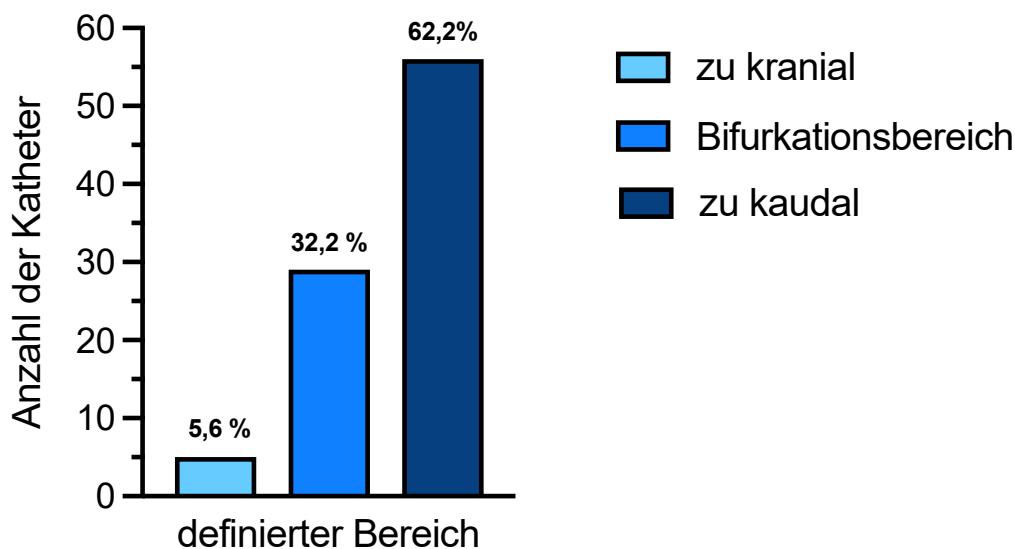


Abb. 23: Anzahl der Katheter pro definierten Bereich

Im Mittel lagen die Katheter 12,38 mm unter unserem definierten Bereich (SD 10,79 mm), das heißt, im Schnitt 17,38 mm unterhalb der Carina. Der Mittelwert für die Abweichung nach kranial betrug 6,20 mm (SD 5,67 mm) (Neumann et al. 2024).

Es wurden keine weiteren Fehllagen, wie das Umschlagen nach oben oder das Abbiegen des ZVKs nach rechts dokumentiert. Zusätzlich wurde bei allen Patienten ein Pneumothorax mittels Ultraschall ausgeschlossen. Dies bestätigte sich auch auf den im Anschluss erhobenen Thoraxröntgenbildern (Neumann et al. 2024).

3.4. Statistische Auswertung

Eine zusätzliche Fragestellung, die im Rahmen der Promotionsarbeit adressiert werden sollte, beschäftigt sich mit dem Vergleich der durch die Formel vorgegeben Einlegetiefe des ZVKs mit dem mittels Ultraschall bestimmten Wertes.

Zunächst wurden daher die Werte der berechneten Tiefe, wie in Material und Methoden dargestellt, und die der tatsächlich eingelegten Tiefe mittels Ultraschall auf Normalverteilung geprüft. Hierzu wurde der Kolmogorov-Smirnov-Test durchgeführt. Bei beiden Messreihen kann von einer Normalverteilung ausgegangen werden.

Im Anschluss wurde die errechnete Tiefe mit der tatsächlichen Liegetiefe des Katheters verglichen.

Die Durchschnittliche errechnete Einlegetiefe betrug 8,99 cm mit einer Standardabweichung von 2,58 cm. Die tatsächliche Einlegetiefe betrug im Mittel 9,11 cm mit einer Standardabweichung von 2,72 cm (Neumann et al. 2024).

Abbildung 24 zeigt die Analyse der erhobenen Daten mittels Bland-Altman-Plot. Dies ist eine in der Statistik genutzte Darstellungsform, die zwei Messmethoden miteinander vergleicht und eine Aussage über eine mögliche Gleichwertigkeit der beiden Methoden bietet.

Jeder blaue Punkt in der Abbildung stellt den Mittelwert der berechneten und der tatsächlich eingeführten ZVK-Tiefe für alle 90 Patienten dar. Die grünen Linien zeigen die Grenzen der Übereinstimmung dar (Mittelwert $\pm$ 1,96 Standardabweichungen der 90 Differenzen). In der Abbildung ist außerdem zu erkennen, dass die blauen Punkte einen zufälligen, aber keinen systematischen Unterschied zwischen der berechneten und der tatsächlichen Einlegetiefe des ZVKs, zeigen. Darüber hinaus befinden sich bis auf vier Ausreißer, alle Datenpunkte in dem 95 % - Konfidenzintervall, dass durch die beiden grünen Linien vorgegeben ist. Der klasseninterne Korrelationskoeffizient (ICC) betrug 0,95 (95 % CI: 0,92 0,96), welches eine ausgezeichnete Übereinstimmung zwischen der berechneten und der tatsächlichen Einführtiefe des ZVK darstellt (Neumann et al. 2024).

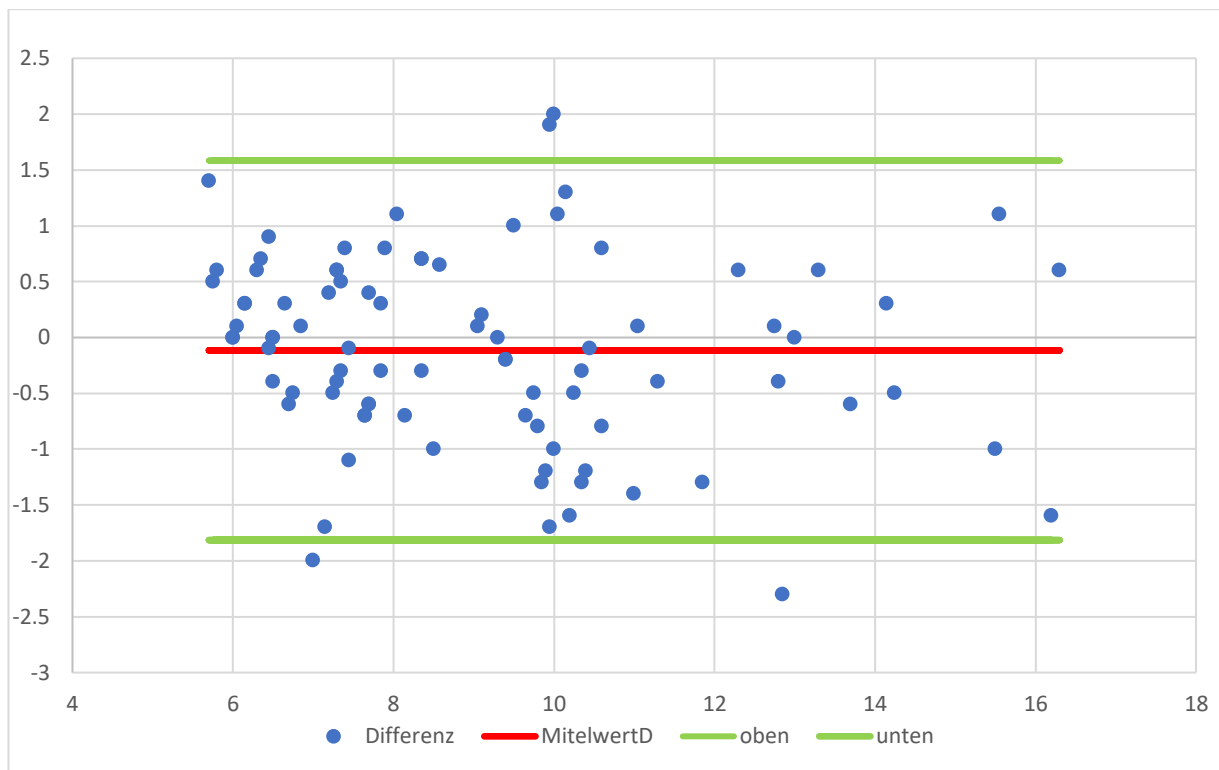


Abb. 24: Bland-Altman-Plot, die x-Achse = Mittelwert der beiden Messungen, y-Achse = Differenz der beiden Messungen

3.5. Bestimmung der Zentralen Venenkather-Lage mittels Ultraschall

Um die Katheterspitze im rechten Vorhof des Herzens darzustellen, wurden nun nacheinander, wie bereits in Material und Methoden beschrieben, die vier verschiedenen Vorschallfenster angewendet. Das Schallfenster mit der besten Darstellung der Katheterspitze wurde als Messfenster festgelegt. In diesem Fenster wurde der Abstand der Katheterspitze bis zur Einmündung der Vena cava superior in den rechten Vorhof gemessen. Um diese Strecke wurde der ZVK im Anschluss zurückgezogen.

Vorschall 3 wurde mit 77 Malen am häufigsten als Messfenster ausgewählt. Bei zwei Patienten konnte aufgrund von schlechter Sicht kein Schallfenster ausgewählt werden.

Vorschall 1 wurde zwei Mal ausgewählt, Vorschall 2 drei Mal und Vorschall 4 sechs Mal (Neumann et al. 2024). Abbildung 25 zeigt die Häufigkeit der ausgewählten Messfenster an.

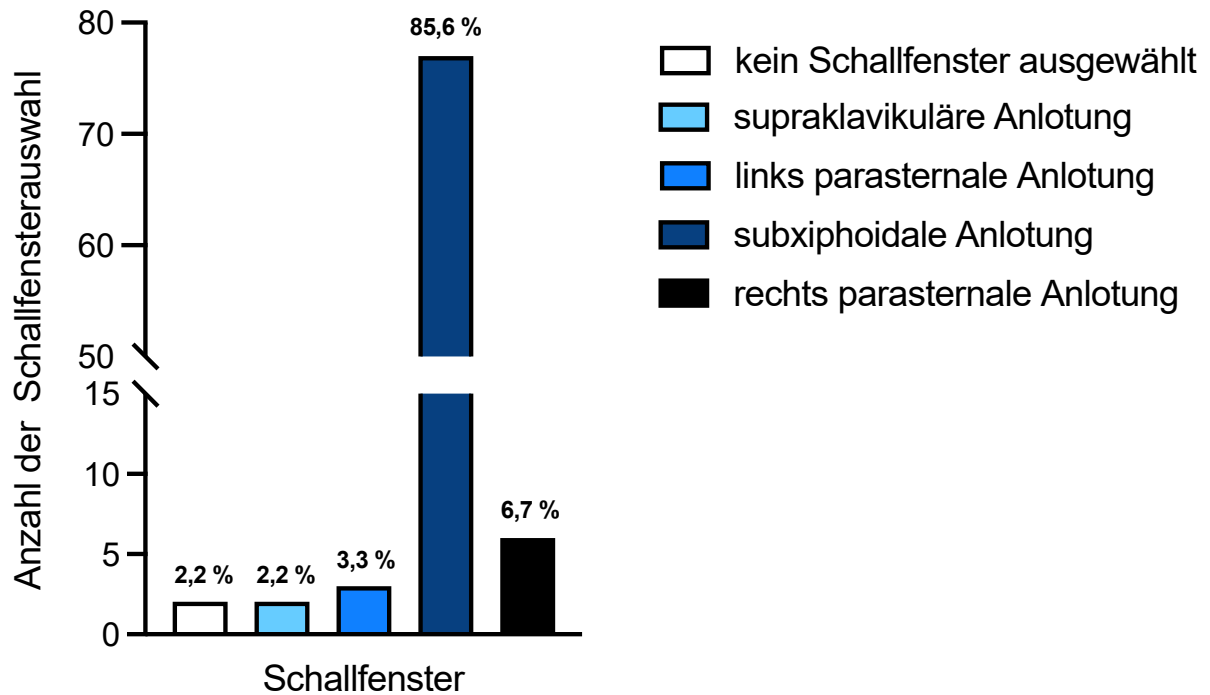


Abb. 25: Auswahl der Schallfenster

Die nachstehende Grafik (Abbildung 26) macht die Bewertung der einzelnen Vorschallfenster deutlich.

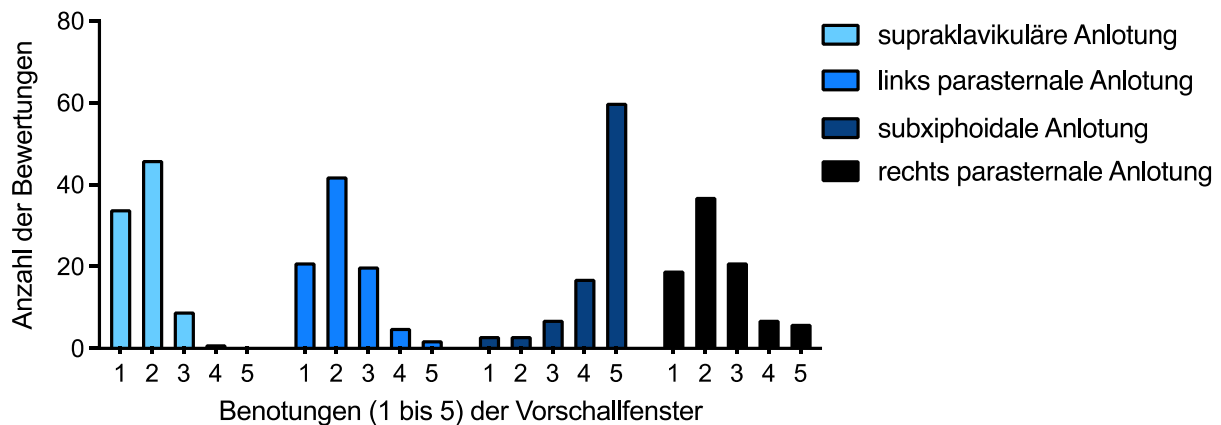


Abb. 26: Benotung der Vorschallfenster

Es ist zu erkennen, dass die subxiphoidale Anlotung (Vorschallfenster 3) am häufigsten die Benotung 5 erhalten hat (Neumann et al. 2024).

4. Diskussion

Die vorliegende Arbeit zeigt, dass von insgesamt 90 gelegten ZVKs nach Ultraschallkontrolle keine Lagekorrektur notwendig war (Neumann et al. 2024). Dieses Ergebnis belegt die Genauigkeit und Praktikabilität dieser Untersuchung und legt nahe, in Zukunft die ZVK-Lagekontrolle mittels Röntgenuntersuchung durch die Ultraschallbasierte Kontrolle ersetzen zu können.

Der ZVK spielt bei herzchirurgisch behandelten Kindern eine wichtige Rolle. Wie bereits in der Einleitung erwähnt, ist bei Ihnen ein genaues hämodynamisches Monitoring von wichtiger Bedeutung (Suess and Pinsky 2015; Domino et al. 2004). Aufgrund der besonderen Größenverhältnisse und der Vulnerabilität der Gefäße stellt die ZVK-Anlage bei sehr kleinen Kindern eine besondere Herausforderung dar (Breschan, Platzer, and Likar 2009; Schindler, Mikus, and Velten 2021). Die ultraschallgesteuerte Anlage des ZVKs hat sich in den vergangenen Jahren der Landmarkentechnik als überlegen gezeigt und wird seit 2002 auch von dem National Institute of Clinical Excellence (NICE) Großbritanniens empfohlen (NICE, 2023).

Da die Anlage eines solchen Katheters auch mit vielen Komplikationen, wie beispielsweise das Stechen eines Pneumothoraxes (Klockgether-Radke and Gaus 2004) oder der Myokardperforation bei zu tiefer Lage (Nowlen et al. 2002) einhergehen kann, kommt der Lagekontrolle eine besondere Bedeutung zu. Da Kinder ihrer Größe bedingt auch eine in ihrer Länge kürzere V. cava superior besitzen, ist bei ihnen eine exakte Lagekontrolle von besonderer Bedeutung. Eine zu kraniale Lage führt zu einer ungenauen Messung des zentralen Venendrucks, sowie zu uneffektiven Gabe von Medikamenten und Transfusionen von Blutprodukten (Liu et al. 2022). Eine zu kaudale Lage geht mit der Gefahr von Arrhythmien und der Myokardperforation einher (Nowlen et al. 2002).

In der Literatur sind neben der ultraschallgesteuerten Darstellung des ZVKs weitere Methoden zur Lagekontrolle genannt. Das erste Indiz, die Aspiration von dunkelrotem Blut bei Punktion der Vene, wird von den Autoren Klockgether-Radke et al. als nicht zuverlässig beschrieben, da eine extravasale Lage des Katheters so nicht ausgeschlossen werden kann (Klockgether-Radke and Gaus 2004). Bei sonographisch gesteuerter Anlage, kann zwar durch Identifikation des Führungsdrahtes eine Fehllage größtenteils ausgeschlossen werden, zu der endgültigen Tiefe des ZVKs kann mit dieser Methode aber keine verlässliche Aussage getroffen werden (Kolikof, Peterson, and Baker 2022). Alternativ wird die Ableitung eines intrakardialen EKGs über den Führungsdraht von vielen Autoren als zuverlässig beschrieben. Sie sehen das nachfolgende Röntgenbild, wie es heutzutage Goldstandard ist (Zick et al. 2020; Wang et al. 2015; Kim et al. 2015; Katheria, Fleming, and Kim 2013), sogar als überflüssig an (Pittiruti et al. 2012). Allerdings bezieht sich die Studie von Pittiruti et al. auf Erwachsene. Eine Arbeit von Schummer et al. zeigt jedoch die Problematik dieser Lagekontrolle besonders bei linksseitig eingelegten ZVKs. 9 von 57 gelegten Kathetern wiesen eine unbemerkte Fehllage auf. Mehr als die Hälfte dieser Katheter musste tiefer geschoben werden. So kamen die Autoren zu dem Schluss, dass eine spitze P-Welle bereits vor dem Erreichen des rechten Vorhofs angezeigt werden kann (Schummer et al. 2003).

In der hier durchgeführten Studie wurden 90 ZVKs mittels Ultraschall bezüglich ihrer Lage verifiziert. Da an der Universitätsklinik in Bonn alle herzchirurgisch behandelten Kinder,

unabhängig von der Studie, routinemäßig ein p.a. Thoraxröntgenbild nach der Operation erhalten, konnte mit Einverständnis der Eltern dieses Bild für die Studie genutzt werden. Die Patienten unterzogen sich daher im Rahmen der Studienteilnahme keiner zusätzlichen Strahlenbelastung. Keiner der sonographisch lagekontrollierten Katheter musste nach anschließender Röntgenkontrolle in seiner Lage korrigiert werden. 95,6 % der Katheter konnten erfolgreich in der Ultraschalluntersuchung identifiziert werden. Nur vier ZVK-Spitzen (4,4 %) konnten nicht detektiert werden (Neumann et al. 2024).



Abb. 27: Identifizierte ZVK-Spitzen

Wie im Ergebnisteil bereits beschrieben, hatten diese vier Patienten besondere Erkrankungen, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

Patient Nummer 4 ist kleinwüchsig. Obwohl bei diesen Patienten die Proportionen der Organe zur Körpergröße stimmen, kann es im Rahmen dieser Erkrankung zu Herzfehlern kommen, welche die Darstellbarkeit des rechten Vorhofs mit seinem Übergang in die V. cava superior erschweren (Orpha.net, 2024).

Patient 51 hatte eine links persistierende obere Hohlvene. Bei dieser Gefäßfehlbildung ist die V. cava superior doppelt angelegt. Die V. cava superior sinistra bleibt bestehen und mündet über den linken Sinus coronarius schließlich im linken Vorhof (Orphan.net, 2024). Wie es bei dem hier vorliegenden Patienten auch der Fall ist, geht diese angeborene Fehlbildung häufig mit weiteren kardialen Strukturanomalien einher. Dazu gehören das persistierende Foramen ovale, eine Aortenisthmusstenose, sowie ein persistierender Ductus botalli. All diese Herzfehlbildungen führen in Summe zu einer erschwerten Darstellung der anatomischen Strukturen inklusive der ZVK Spitze mittels Ultraschall.

Patient 52 ist an Morbus Ebstein erkrankt. Bei dieser Erkrankung ist der rechte Vorhof aufgrund einer Trikuspidalinsuffizienz dilatiert. Als Konsequenz ist die Darstellung des Übergangs der V. cava superior in den rechten Vorhof erschwert (Doig et al. 2024).

Patient Nummer 73 hatte mit 52 kg und einer Größe von 1,64 m ähnliche Proportionen eines Erwachsenen und entsprach so nicht mehr den von uns gewählten Schallfenstern und Schallköpfen, die speziell für kleinere Kinder ausgewählt waren. Bei diesen Proportionen wäre, wie in der Studie aus dem Jahre 2015 von Kim et al. beschrieben, die rechte supraclaviculäre Anlotung angebracht gewesen (Kim et al. 2015). Alternativ hätte die Visualisierung des Führungsdrahtes mittels transhepatischem Ultraschall oder der subkostalen Anlotung durchgeführt werden können (Zick et al. 2020).

Bei der Auswertung der Röntgenbilder lagen 29 Katheter (32,2 %) in dem bereits in Material und Methoden beschriebenen Optimalbereich. 5 Katheter (5,6 %) lagen zu kranial und 56 (62,2 %) zu kaudal davon (Neumann et al. 2024).

Dem Goldstandard entsprechend wird heutzutage nach jeder ZVK-Anlage eine Röntgenkontrolle anhand eines p.a. Thoraxröntgenbild durchgeführt (Zick et al. 2020). Nach wie vor gilt dabei die Carina trachea als Landmarke (Schuster et al. 2000). Allerdings gibt es in der Literatur bereits zahlreiche Hinweise, die darauf hindeuten, dass die Carina als Landmarke weniger geeignet ist. Ein Beispiel hierfür ist die Studie von Liu et al. aus dem Jahre 2022. Hier wurde der vierte Thoraxwirbelkörper als Referenz für eine optimale Lage der ZVK-Spitze gewählt. Die Autoren argumentierten, dass im Gegensatz zur Carina trachea, die Wirbelkörper auf dem Röntgenbild immer gut zu identifizieren sind. So waren bei einer Studiengröße von insgesamt 95 Kindern im Alter von ein bis zwölf Monaten, bei 64 % der Teilnehmer die Carina trachea im Röntgenbild nicht sichtbar. Wie auch in der hier vorliegenden Studie wurden nur ZVK-Anlagen über die rechte V. jugularis interna betrachtet (Liu et al. 2022). Im Gegensatz zu Erwachsenen, bei denen die Carina auf Höhe des fünften Thoraxwirbelkörpers zu finden ist (Bryce Mieczkowski Anatomie, Head an Neck, Trachea), liegt sie, wie in der Studie bei Kindern im Alter von ein bis zwölf Monaten beschrieben, auf Höhe des vierten Thoraxwirbelkörpers (Liu et al. 2022). Die anatomische Messung des Abstandes der Carina trachea bis zum Übergang der V. cava superior ergab an Kinderleichen, dass die Carina trachea 22 mm überhalb dieses Übergangs liegt (Albrecht et al. 2006). Die Autoren gehen daher ab einer Lage von 22 mm unterhalb des vierten Thoraxwirbelkörpers von einer zu tiefen Lage des ZVKs aus. Wird dieser Abstand überschritten, liegt die Spitze im rechten Vorhof, was zu Komplikationen wie die Myokardperforation oder Herzbeutel tamponade führen kann. Deshalb empfehlen die Autoren eine Lage von 10 mm unterhalb der vierten Wirbelkörpers (Liu et al. 2022).

Mit Hilfe des vierten Thoraxwirbelkörpers lässt sich offenbar eine bessere Landmarke im p.a. Thoraxröntgenbild definieren, die Strahlenbelastung bleibt den Kindern aber nach wie vor noch erhalten.

Zusätzlich deuten weitere Studien auf Probleme bei der Verwendung der Carina als Landmarke zur Beurteilung der ZVK-Position im Röntgenbild hin. In einer Arbeit aus dem Jahre 2015 von Song et al. beschäftigen sich die Autoren ebenfalls mit der Verwendung von Wirbelkörpern als Referenz für eine optimale Lage des Katheters, allerdings bei

Erwachsenen. Sie verwenden den Ausdruck vertebral body unit (VBU), der zwei benachbarte Wirbelkörper inklusive der Zwischenwirbelscheibe beschreibt. Die Lage der Katheterspitze wurde sowohl im Röntgenbild, als auch auf einer Computertomographieaufnahme (CT) in VBUs angegeben. Ein VBU hat die Größe von etwa 22 mm. So kamen auch diese Autoren zu dem Schluss, dass der Übergang von V. cava superior in den rechten Vorhof tiefer als die Carina trachea liegt. Ihren Messungen zufolge liegt die Carina trachea circa 54,3 mm höher als der für die ZVK-Spitze definierte optimale Punkt, nämlich kurz vor dem Übergang in den rechten Vorhof des Herzens. In VBUs angegeben beträgt dieser Abstand 2,5 auf der CT-Aufnahme und 2,4 auf der Röntgenaufnahme (Song et al. 2015). Auch eine Studie aus dem Jahre 2007 von Mahlon et al. untersuchte bereits den Höhenunterschied zwischen der Carina trachea und dem Übergang der V. cava superior in den rechten Vorhof. Zunächst wurde die V. cava superior in ihrer Länge gemessen und anschließend der Abstand vom Übergang in den rechten Vorhof bis zur Carina trachea untersucht. Mit einer 40,3 mm höheren Lage der Carina trachea kamen sie zu ähnlichen Ergebnissen, wie Song et al. Die Autoren gehen ab einer Position der ZVK-Spitze von 40 mm unterhalb der Carina davon aus, dass sie sich am Übergang zum rechten Vorhof befindet (Mahlon and Yoon 2007). Interessant für die in dieser Studie untersuchten Patienten, wäre der Abstand zwischen Carina trachea und Übergang der V. cava superior in den rechten Vorhof bei Kindern. Yoon et al., sowie Ahn and Chung ermittelten hierfür eine Strecke von ungefähr 3 cm (Yoon et al. 2005; Ahn and Chung 2015).

An diesen Publikationen wird deutlich, dass die eigentliche Optimalposition, nämlich am Übergang der V. cava superior in den rechten Vorhof, deutlich tiefer als die Carina trachea liegt. Dies deckt sich auch mit den Ergebnissen der hier vorgelegten Studie. So lässt sich erklären, dass 56 Katheterspitzen mit einem Mittelwert von 12,38 mm unterhalb des definierten Optimalbereich liegen, das heißt 17,38 mm tiefer als die Carina trachea (Neumann et al. 2024). Bei einer Strecke von 3 cm zwischen Carina trachea und Übergang der Vene in den rechten Vorhof, bedeutet dies eigentlich eine optimale Lage. Die 5 Katheter mit einer zu kranialen Lage, befanden sich im Mittel 6,2 mm überhalb des definierten Optimalbereiches (Neumann et al. 2024).

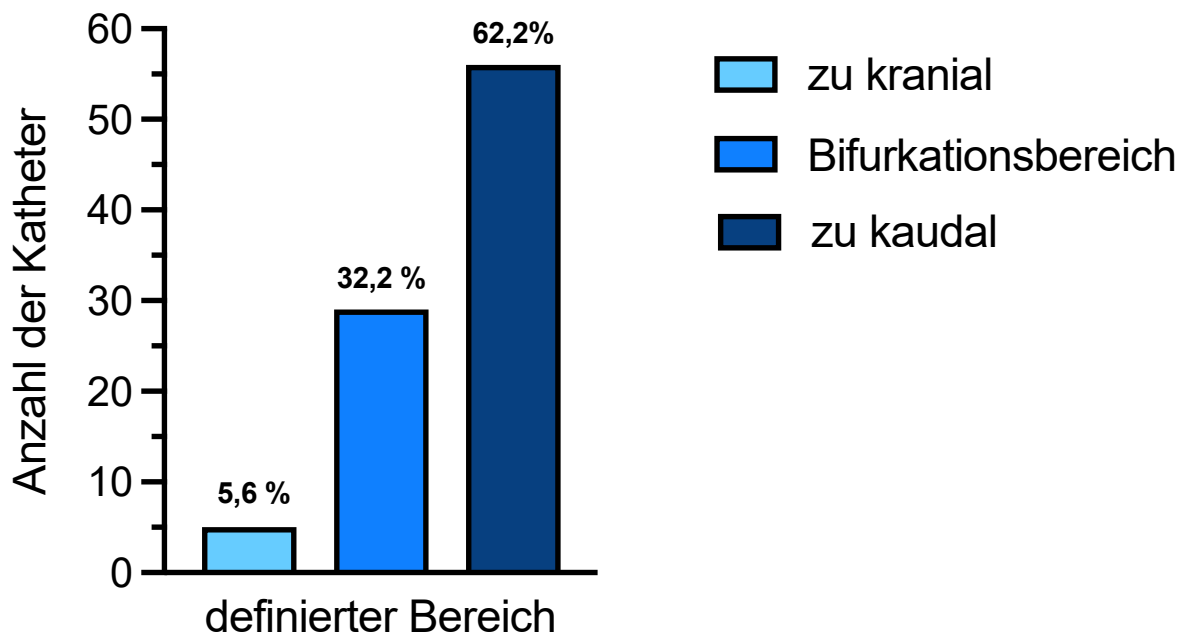


Abb. 28: Relative Häufigkeit der Lagen des ZVKs

Bei der Ultraschalluntersuchung konnte in Echtzeit der Übergang der V. cava superior dargestellt werden und unter Sicht die ZVK-Spitze dort platziert werden. Da sich der Übergang tiefer als die Carina befindet, ist es erklärbar, dass die Spitzen auch im Röntgenbild tiefer liegen. Ein weiterer wichtiger Vorteil der Lagekontrolle mittels Ultraschall ist, dass die Variabilität der Länge der V. cava superior berücksichtigt werden kann. Eine Studie aus dem Jahre 2016 von Tarr et al. fand heraus, dass die V. cava superior sich in ihrer Länge bei Kindern der gleichen Größe deutlich unterscheidet (Tarr et al. 2016). Zu dem selben Ergebnis kamen auch Yoon et al. Hier wurde sogar ein Höhenunterschied von 5 cm bei gleichgroßen Kindern vom Übergang der Vene in den rechten Vorhof ermittelt (Yoon et al. 2006). Diese Variabilität der Venenlänge lässt sich weder bei der Bestimmung der Einlegetiefe mittels Formel berücksichtigen noch über eine Lagekontrolle mittels Carina. Bei der Lagekontrolle mit dem Ultraschallgerät hingegen kann der Übergang der V. cava superior in den rechten Vorhof dargestellt werden und die Katheterspitze unter Sicht dort platziert werden.

Ein Nachteil der Carina als Landmarke für den optimalen Sitz der Katheterspitze ist nicht nur die schlechte oder schwierige Identifikation im Röntgenbild, sondern auch die zu kraniale Lage. Dadurch kann der zentrale Venendruck nicht korrekt bestimmt werden und die Gefahr des Rausrutschens erhöht sich (Liu et al. 2022).

Die beobachtete Fehlerquote von 5,6% (5 von 90 gelegten Kathetern waren zu kranial) ist sehr gering, zeigt aber auch, dass die Methode nicht völlig fehlerfrei ist (Neumann et al. 2024). Allerdings konnten typische Fehllagen, wie das Umschlagen oder das Abbiegen des ZVKs nach rechts bei allen analysierten Kathetern ausgeschlossen werden. Gründe für Fehllagen sind vor allem Tumore, Stenosen, Gefäßanomalien, Zysten und Thrombosen (Roldan and Paniagua 2015). Diese patienteneigenen Faktoren können mittels Ultraschall dargestellt werden und es kann vor Eintreten einer Fehllage darauf reagiert werden. Besonders bei Kindern mit Herzerkrankungen gibt es eine größere Variabilität der anatomischen Strukturen, die nicht mit der Formel berücksichtigt werden, aber mittels Sonographie dargestellt werden können.

Ein weiterer Aspekt dieser Arbeit war es, zu ermitteln, ob es einen signifikanten Unterschied bezüglich der errechneten, sowie der tatsächlichen Einlegetiefe des ZVKs gibt. Wie bereits im Ergebnisteil erwähnt, betrug die durchschnittlich errechnete Einlegetiefe 8,99 cm. Die tatsächliche Einlegetiefe war mit 9,11 cm etwas tiefer (Neumann et al. 2024). Die beiden Messmethoden wurden mit einem Bland-Altman-Plot verglichen. Der ICC betrug 0,95, was auf eine ausgezeichnete Übereinstimmung der beiden Messmethoden hinweist (Neumann et al. 2024). Daraus kann man schließen, dass die Formel ein geeignetes Mittel zur Abschätzung der Einlegetiefe ist (Neumann et al. 2024).

Ein weiterer Vorteil der Lagekontrolle mittels Ultraschall ist der Zeitaspekt. In der Studie wurde bei drei Patienten, die nur eine ZVK-Anlage, ohne nachfolgende Operation, erhielten, der Zeitaufwand der Röntgenkontrolluntersuchung festgehalten. Hierzu zählte das Warten auf eine Pflegekraft der jeweiligen Station, die Transportzeit zur radiologischen Abteilung, die Wartezeit vor der Röntgenuntersuchung, die Röntgenuntersuchung selbst und der anschließende Transport zurück auf die Station. Die Dauer dieses Prozesses betrug im Mittel 36,7 min. Mit der alleinigen, Ultraschall-basierten

Lagekontrolle, könnte den Pflegekräften diese Zeit erspart werden. Zur Zeitersparnis trägt außerdem bei, dass in den meisten Kliniken die ZVK-Anlage ultraschallgesteuert erfolgt und das Ultraschallgerät, mit dem eine Lagekontrolle durchgeführt werden kann, sich schon am Patienten befindet. Den 36,7 min, die es für die nachfolgende Röntgenkontrolluntersuchung benötigt, stehen so im Mittel 6,3 min für die Ultraschalluntersuchung gegenüber (Neumann et al. 2024). Smit et al. untersuchten in einer Metaanalyse ebenfalls die Dauer der Ultraschalluntersuchung und die Dauer der Röntgenaufnahme und kamen zu sehr ähnlichen Ergebnissen. Im Schnitt vergingen 34,7 min bis zum Erhalt des Röntgenbildes und 2,83 min bis zum Ausschluss von Komplikationen, wie zum Beispiel ein Pneumothorax mittels Ultraschall (Smit et al. 2018). Dass in der hier vorliegenden Studie 6,3 min für die Ultraschalluntersuchung benötigt wurden (Neumann et al. 2024), lässt sich dadurch erklären, dass bei jedem Kind alle vier Schallfenster angelotet und bewertet wurden.

Wenn sich das Kind nach erfolgter ZVK-Anlage einer Operation unterzieht, hat man bereits vor dem Eingriff, durch die ultraschallgesteuerte Lagekontrolle, die Gewissheit einer korrekten Lage.

Der Faktor Zeit spielt auch in Notfallsituationen eine entscheidende Rolle. Hier ist meist keine Zeit ein nachfolgendes p.a. Thoraxröntgenbild nur für die Lagebestimmung des ZVKs durchzuführen. Mit dem Ultraschallgerät kann daher in Notfallsituationen, wie auch nach erfolgter ZVK-Anlage ein Pneumothorax ausgeschlossen werden. In der Literatur wird der Pneumothoraxausschluss mittels Ultraschall sogar als dem Röntgenbild überlegen angesehen (Lichtenstein and Menu 1995).

Bei den in der Studie bewerteten Schallfenstern konnte sich eindeutig die subxiphoidale Anlotung als am erfolgversprechensten erweisen. Sie wurde 77 mal (85,6 %) als Messfenster ausgewählt. 6 mal folgte die rechts parasternale Anlotung (6,7 %) und 3 mal die links parasternale Lage (3,3 %). Die supraclaviculäre Anlotung wurde nur zwei Mal ausgewählt, was 2,2 % der Ultraschalluntersuchungen entspricht (Neumann et al. 2024). Weder das Alter, noch der BMI oder die durchgeführte Herzoperation und die Anzahl der Punktionsversuche hatten Einfluss auf die Lage des ZVKs (Neumann et al. 2024). Ein

weiterer wichtiger Aspekt, Alternativen zu dem Röntgenkontrollbild nach erfolgter ZVK-Anlage zu finden, ist die dabei entstehende Strahlenbelastung. Jede p.a Röntgenaufnahme des Thorax ist mit einer Strahlendosis von 0,2 mSv verbunden (Nelles, Kamper, and Haage 2022). Wenn man bedenkt, dass Kinder, die sich einer herzchirurgischen Operation unterziehen, meist mehrere Wochen im Krankenhaus verbleiben und dabei viele strahlenreiche Untersuchungen erhalten, dann ist dies ein relevanter Gesichtspunkt, da sich die Strahlenbelastung addiert. So kann auch der Grenzwert von 1mSv pro Kalenderjahr (§ 78 (3) Strahlenschutzgesetz) leicht überschritten werden. Die Beobachtung, dass das Malignomrisiko bereits durch eine einmalige Strahlenbelastung erhöht wird, wie es in einer Arbeit aus dem American Journal of Roentgenology beschreibt, belegt die Wichtigkeit der Vermeidung von Röntgenuntersuchungen (Brenner et al. 2001). Dies bestätigt auch eine von Infante-Rivard et al. durchgeführte Studie, die sich dem Zusammenhang von der Anzahl durchgeführter Röntgenuntersuchungen bei Kindern postnatal und der Entstehung von ALL beschäftigt. Die Autoren kamen zu dem Ergebnis, dass es bereits ab zwei Röntgenuntersuchungen ein signifikant erhöhtes Risiko für die Entstehung dieser Erkrankung gab (Infante-Rivard, Mathonnet, and Sinnett 2000).

Die Patienten, die in diese Studie eingeschlossen wurden, verbrachten im Schnitt 3,38 Tage auf der Kinderintensivstation und ihr Krankenhausaufenthalt erstreckte sich über circa eine Woche, welches auch mit der durchschnittlichen Liegedauer von 6,6 Tagen des ZVK übereinstimmt (Neumann et al. 2024). Bei längerem Aufenthalt muss der ZVK wegen der Infektionsgefahr getauscht werden, was eine zusätzliche Strahlenbelastung durch ein weiteres Röntgenkontrollbild mit den oben beschriebenen Risiken bedeutet.

5. Limitationen

Zu den Limitationen der Studie gehört vor allem die Untersucherabhängigkeit der Ultraschalluntersuchungen. Es erfordert eine gewisse Berufserfahrung und Übung mit dem Ultraschallgerät. Besonders der Herzultraschall muss geübt sein. Auch die Ausmessung der Röntgenbilder ist subjektiv, da es teilweise schwierig war, die Carina tracheae darzustellen. Eine weitere Limitation der Arbeit ist die kleine Stichprobe mit 90 untersuchten ZVK-Anlagen. Aus diesem Grund soll in einem nachfolgenden Projekt (BLAZE 2) im Rahmen einer multizentrischen Studie das vorliegende Ergebnis mit einer größeren Probandenzahl bestätigt werden.

6. Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde untersucht, wie viele ZVKs, die mittels Ultraschall in ihrer Lage kontrolliert wurden, nach dem Röntgenkontrollbild korrigiert werden mussten. So sollte die Möglichkeit einer Lagekontrolle in Echtzeit ohne anschließende Röntgenuntersuchung überprüft werden. Zudem sollte die auf Kindesgröße-basierte Formel zur Berechnung der ZVK-Einlegetiefe mit der tatsächlichen, mittels Ultraschall ermittelten Tiefe verglichen werden.

Hierzu wurden 90 ZVK-Anlagen am Eltern-Kind-Zentrum am Universitätsklinikum in Bonn analysiert. Alle in die Studie einbezogenen Kinder unterzogen sich einer herzchirurgischen Operation, sodass sie unabhängig der Studie ein postoperatives Röntgenbild erhielten und sie sich so im Rahmen der Studie keiner zusätzlichen Strahlenbelastung unterzogen.

Alle betrachteten ZVKs wurden über die rechte V. cava superior eingebracht. Die Spitze des absichtlich um 2 cm tiefer, als mit der Formel berechnet, eingelegten Katheters wurde über vier verschiedene Anlotungspunkte im rechten Vorhof dargestellt. Um den mit Ultraschall ausgemessenen Abstand von der ZVK-Spitze bis zum Übergang der V. cava superior zum rechten Vorhof, wurde der ZVK zurückgezogen. Am häufigsten gelang die Darstellung dieses Übergangs über die subxiphoidale Anlotung. Nach erfolgter Operation wurde die Lage des ZVKs im Röntgenbild kontrolliert. Hier wurde der Abstand der Katheterspitze zur Carina in mm notiert und jeder Katheter anhand des definierten Bifurkationsbereiches in zu kranial, ideal oder zu kaudal eingeteilt. Keiner der betrachteten ZVKs musste nach dem Röntgenkontrollbild in seiner Lage korrigiert werden (Neumann et al. 2024). Fünf Katheter lagen im Mittel 6,2 mm zu kranial, 29 konnten als ideal eingestuft werden und 56 hatten eine im Mittel um 12,3 mm zu kaudaler Lage (Neumann et al. 2024). Die insgesamt eher zu kaudale Lagetendenz der ZVK-Spitzen, lässt sich durch die bessere Darstellung des Übergangs der V. cava superior in den rechten Vorhof erklären. Wie aus vielen vorangegangenen Studien deutlich wird, liegt dieser bei Kindern circa 3 cm unterhalb der Carina trachea (Ahn and Chung 2015; Yoon et al. 2005).

Zum Vergleich der vorgegebenen Einlegetiefe durch die Formel und der mittels Ultraschalluntersuchung ermittelten Einlegetiefe wurde ein Bland-Altman-Plot erstellt. Bis auf vier Ausreißer befinden sich alle Datenpunkte im 95 %-Konfidenzintervall, was die eine ausgezeichnete Übereinstimmung der beiden Messmethoden bedeutet.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass sich mittels Ultraschall eine zuverlässige Kontrolle der ZVK-Lage bei Kindern durchführen lässt und sich somit die Notwendigkeit einer zusätzlichen Röntgenkontrolluntersuchung erübrigt.

7. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Darstellung der venösen Gefäße im Halsbereich (Schünke et al. 2009)	7
Abb. 2: Sonographische Darstellung der V. jugularis interna (VJI) und der A. carotis communis (A) (Kefalianakis, F. 2004).....	11
Abb. 3: Darstellung des Seldinger-Drahtes in der V. jugularis interna im Transversalschnitt (Wilhelm, W. and Wietasch, J.K.G., 2017)	12
Abb. 4: Darstellung des Seldinger-Drahtes in der V. jugularis interna im Longitudinalschnitt (Wilhelm, W. and Wietasch, J.K.G., 2017).....	12
Abb. 5: Menschliches Herz, der orange Pfeil markiert die optimale Lage der Katheterspitze (Wikiwand, 2024)	14
Abb. 6: Bidirektionale Glenn-Operation bei Hypoplastischem Linksherzsyndrom (Universitätsklinikum Bonn, 2021)	21
Abb. 7: Bidirektionale Glenn-Operation bei Trikuspidalatresie (Universitätsklinikum Bonn, 2021)	21
Abb. 8: Extrakardiale Fontan-Operation bei Hypoplastischem Linksherzsyndrom (Universitätsklinikum Bonn, 2021)	22
Abb. 9: Extrakardiale Fontan-Operation bei Trikuspidalatresie (Universitätsklinikum Bonn, 2021)	22
Abb. 10: Darstellung der verschiedenen Anlotungspunkte	25
Abb. 11: Rechts parasternale Anlotung	26
Abb. 12: Subxiphoidale Anlotung, der rote Pfeil weist auf die ZVK - Spitze im rechten Vorhof hin.....	27
Abb. 13: Subxiphoidale Anlotung	28
Abb. 14: Identifikation ZVK - Spitze als Doppelkontur.....	29
Abb. 15: Identifikation der ZVK - Spitze über Jet.....	30
Abb. 16: Lungenultraschall.....	31
Abb. 17: Schematische Darstellung des definierten Bifurkationsbereiches	32
Abb. 18: a) optimale Lage des ZVKs	33
Abb. 19: b) zu kaudale eines ZVKs.....	34
Abb. 20: c) zu kraniale Lage eines ZVKs.....	34

Abb. 21: Consort Flow Chart zum Studiendesign	37
Abb. 22: Lageverteilung um die Carina tracheae	42
Abb. 23: Anzahl der Katheter pro definierten Bereich	43
Abb. 24: Bland-Altman-Plot, die x-Achse = Mittelwert der beiden Messungen, y-Achse = Differenz der beiden Messungen	45
Abb. 25: Auswahl der Schallfenster	46
Abb. 26: Benotung der Vorschallfenster	47
Abb. 27: Identifizierte ZVK-Spitzen	49
Abb. 28: Relative Häufigkeit der Lagen des ZVKS	53

8. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Auswahl des ZVKs anhand der Körpergröße	23
Tab. 2: Bewertung der Schallfenster	24
Tab. 3: Nummerierung der Schallfenster	25
Tab. 4: Patientendaten 1	37
Tab. 5: Patientendaten 2.....	38
Tab. 6: Herzchirurgische Eingriffe	38
Tab. 7: Punktionen	39
Tab. 8: Gegenüberstellung der Ultraschalldauer und Röntgenuntersuchung.....	40
Tab. 9: Katheterfabrikate und Größe.....	40
Tab. 10: ZVK-Komplikationen nach Anlage	41
Tab. 11: Patienten ohne ZVK-Darstellung aufgrund von Besonderheit.....	42

9. Literaturverzeichnis

- Ahn, S., and J. H. Chung. 2015. 'Proper tip position of central venous catheter in pediatric patients', *J Vasc Access*, 16: 399-402
- Albrecht, K., D. Breitmeier, B. Panning, H. D. Troger, and H. Nave. 2006. 'The carina as a landmark for central venous catheter placement in small children', *Eur J Pediatr*, 165: 264-266
- Andropoulos, D. B., S. A. Stayer, S. T. Bent, C. J. Campos, L. I. Bezold, M. Alvarez, and C. D. Fraser. 1999. 'A controlled study of transesophageal echocardiography to guide central venous catheter placement in congenital heart surgery patients', *Anesth Analg*, 89: 65-70
- Baehner, T., N. Kiefer, S. Ghamari, I. Graeff, C. Huett, S. Pflugradt, B. Sendzik, I. Heinze, M. Mueller, E. Schindler, G. D. Duerr, R. Ellerkmann, and M. Velten. 2020. 'A National Survey: Current Clinical Practice in Pediatric Anesthesia for Congenital Heart Surgery', *World J Pediatr Congenit Heart Surg*, 11: 257-264
- Baehner, T., M. Rohner, I. Heinze, E. Schindler, M. Wittmann, N. Strassberger Nerschbach, S. C. Kim, and M. Velten. 2021. 'Point-of-Care Ultrasound-Guided Protocol to Confirm Central Venous Catheter Placement in Pediatric Patients Undergoing Cardiothoracic Surgery: A Prospective Feasibility Study', *J Clin Med*, 10
- Beck, C., J. Dubois, A. Grignon, J. Lacroix, and M. David. 1998. 'Incidence and risk factors of catheter-related deep vein thrombosis in a pediatric intensive care unit: a prospective study', *J Pediatr*, 133: 237-241
- Beckmann, A., R. Meyer, J. Lewandowski, A. Markewitz, and J. Gummert. 2021. 'German Heart Surgery Report 2020: The Annual Updated Registry of the German Society for Thoracic and Cardiovascular Surgery', *Thorac Cardiovasc Surg*, 69: 294-307
- Braun, B., 2024: Für die Ableitung eines EKGs zur Positionierung von zentralvenösen Kathetern.
file:///Users/amelieschild/Downloads/flyer-certodyn-universaladapter%20(3).pdf
(17.02.2024)
- Brenner, D., C. Elliston, E. Hall, and W. Berdon. 2001. 'Estimated risks of radiation induced fatal cancer from pediatric CT', *AJR Am J Roentgenol*, 176: 289-296
- Breschan, C., M. Platzer, and R. Likar. 2009. '[Central venous catheter for newborns, infants and children]', *Anaesthetist*, 58: 897-900, 02-04
- Cavanna, L., G. Civardi, P. Mordenti, D. Vallisa, R. Berte, and C. Di Nunzio. 2013. 'Central venous catheter care for the patients with cancer: ultrasound-guided insertion should be strongly recommended for internal jugular vein catheterization', *Ann Oncol*, 24: 2928-2929

Doig, F., K. Finucane, P. Skillington, S. Jones, V. Sharma, M. Daley, D. Wall, J. Suna, N. Alphonso, D. Bandara, R. Chard, F. Calderoni, and C. Brizard. 2024. 'Surgical Management of Ebstein Anomaly: The Australia and New Zealand Experience', *World J Pediatr Congenit Heart Surg*: 21501351231189279

Domino, K. B., T. A. Bowdle, K. L. Posner, P. H. Spitellie, L. A. Lee, and F. W. Cheney. 2004. 'Injuries and liability related to central vascular catheters: a closed claims analysis', *Anesthesiology*, 100: 1411-1418

Ender, J., G. Erdoes, E. Krohmer, D. Olthoff, and C. Mukherjee. 2009. 'Transesophageal echocardiography for verification of the position of the electrocardiographically-placed central venous catheter', *J Cardiothorac Vasc Anesth*, 23: 457-461

Fathi, M., A. Izanloo, S. Jahanbakhsh, M. Taghavi Gilani, A. Majidzadeh, A. Sabri Benhangi, and N. Paravi. 2016. 'Central Venous Cannulation of the Internal Jugular Vein Using Ultrasound-Guided and Anatomical Landmark Techniques', *Anesth Pain Med*, 6: e35803

Franco-Sadud, R., D. Schnobrich, B. K. Mathews, C. Candotti, S. Abdel-Ghani, M. G. Perez, S. C. Rodgers, M. J. Mader, E. K. Haro, R. Dancel, J. Cho, L. Grikis, B. P. Lucas, S. H. M. Point-of-care Ultrasound Task Force, and N. J. Soni. 2019. 'Recommendations on the Use of Ultrasound Guidance for Central and Peripheral Vascular Access in Adults: A Position Statement of the Society of Hospital Medicine', *J Hosp Med*, 14: E1-E22

Garcia, X., S. Pye, X. Tang, J. Gossett, P. Proddhan, and A. Bhutta. 2017. 'Catheter Associated Blood Stream Infections in Intracardiac Lines', *J Pediatr Intensive Care*, 6: 159-164

Ghatak, T., R. K. Singh, and A. K. Baronnia. 2016. 'Comparison between marked versus unmarked introducer needle in real-time ultrasound-guided central vein cannulation: A prospective randomized study', *Ann Card Anaesth*, 19: 621-625

Harabor, A., and D. Fruitman. 2012. 'Comparison between a suprasternal or high parasternal approach and an abdominal approach for measuring superior vena cava Doppler velocity in neonates', *J Ultrasound Med*, 31: 1901-1907

Hsu, J. H., C. K. Wang, K. S. Chu, K. I. Cheng, H. Y. Chuang, T. S. Jaw, and J. R. Wu. 2006. 'Comparison of radiographic landmarks and the echocardiographic SVC/RA junction in the positioning of long-term central venous catheters', *Acta Anaesthesiol Scand*, 50: 731-735

Infante-Rivard, C., G. Mathonnet, and D. Sinnett. 2000. 'Risk of childhood leukemia associated with diagnostic irradiation and polymorphisms in DNA repair genes', *Environ Health Perspect*, 108: 495-498

Ipe, T. S., and M. B. Marques. 2018. 'Vascular access for therapeutic plasma exchange', *Transfusion*, 58 Suppl 1: 580-589

- Johnson, E. M., D. A. Saltzman, G. Suh, R. A. Dahms, and A. S. Leonard. 1998. 'Complications and risks of central venous catheter placement in children', *Surgery*, 124: 911-916
- Katheria, A. C., S. E. Fleming, and J. H. Kim. 2013. 'A randomized controlled trial of ultrasound-guided peripherally inserted central catheters compared with standard radiograph in neonates', *J Perinatol*, 33: 791-794
- Kefalianakis, F., 'Sonografie in der Anästhesiologie'. In: Kefalianakis, F., Hrsg., Thieme E – Book Library Klinik & Praxis. Stuttgart: Thieme, 2004: doi: 10.1055/b-002-25582
- Kim, S. C., I. Heinze, A. Schmiedel, G. Baumgarten, P. Knuefermann, A. Hoeft, and S. Weber. 2015. 'Ultrasound confirmation of central venous catheter position via a right supraclavicular fossa view using a microconvex probe: an observational pilot study', *Eur J Anaesthesiol*, 32: 29-36
- Klockgether-Radke, A. P., and P. Gaus. 2004. '[Malposition of a central venous catheter in a patient with severe chest trauma]', *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*, 39: 292-296
- Kolikof, J., K. Peterson, and A. M. Baker. 2022. 'Central Venous Catheter.' in, *StatPearls* (Treasure Island (FL))
- Konner, K. 2005. 'History of vascular access for haemodialysis', *Nephrol Dial Transplant*, 20: 2629-2635
- Kornbau, C., K. C. Lee, G. D. Hughes, and M. S. Firstenberg. 2015. 'Central line complications', *Int J Crit Illn Inj Sci*, 5: 170-178
- Kumada, K., N. Murakami, H. Okada, I. Toyoda, S. Ogura, H. Kondo, and A. Fukuda. 2016. 'Rare central venous catheter malposition - an ultrasound-guided approach would be helpful: a case report', *J Med Case Rep*, 10: 248
- Lau, E. W. 2007. 'Upper body venous access for transvenous lead placement--review of existent techniques', *Pacing Clin Electrophysiol*, 30: 901-909
- Lichtenstein, D. A., and Y. Menu. 1995. 'A bedside ultrasound sign ruling out pneumothorax in the critically ill. Lung sliding', *Chest*, 108: 1345-1348
- Linnet, M. S., K. P. Kim, and P. Rajaraman. 2009. 'Children's exposure to diagnostic medical radiation and cancer risk: epidemiologic and dosimetric considerations', *Pediatr Radiol*, 39 Suppl 1: S4-26
- Liu, G., J. Zhang, F. Wang, and H. Liu. 2022. 'Fourth thoracic vertebra as landmark for depth of right internal jugular vein catheterization in infants', *Sci Rep*, 12: 14569
- Mahlon, M. A., and H. C. Yoon. 2007. 'CT angiography of the superior vena cava: normative values and implications for central venous catheter position', *J Vasc Interv*

Radiol, 18: 1106-1110

Michaelis, G., and J. Biscopig. 1998. '[Development and current status of electrocardiographic position control of the central venous catheter]', *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*, 33: 106-110

Muhm, M., G. Sunder-Plassmann, R. Apsner, M. Kritzinger, M. Hiesmayr, and W. Druml. 1997. 'Supraclavicular approach to the subclavian/innominate vein for large-bore central venous catheters', *Am J Kidney Dis*, 30: 802-808

Nadroo, A. M., J. Lin, R. S. Green, M. S. Magid, and I. R. Holzman. 2001. 'Death as a complication of peripherally inserted central catheters in neonates', *J Pediatr*, 138: 599-601

Nelles, E., L. Kamper, and P. Haage. 2022. '[Chest x-ray: from black and white imaging to diagnosis]', *MMW Fortschr Med*, 164: 58-63

Neumann, C., M. Breil, A. Schild, A. Schenk, P. Jakobs, M. Mikus, and E. Schindler. 2024. 'Central venous catheter tip positioning using ultrasound in pediatric patients-A prospective observational study', *Paediatr Anaesth*

NICE (National Institute for Health and Care Excellence), 2023: Guidance on the use of ultrasound locating devices for placing central venous catheters.
<https://www.nice.org.uk/guidance/ta49/resources/guidance-on-the-use-of-ultrasoundlocating-devices-for-placing-central-venous-catheters-pdf-2294585518021>
 (17.02.2024)

Ng, K. S., B. T. Teh, E. P. Siew, and H. K. Leong. 1996. 'Malposition of a long central venous catheter in the right inferior thyroid vein--a case report', *Singapore Med J*, 37: 556-558

Nowlen, T. T., G. L. Rosenthal, G. L. Johnson, D. J. Tom, and T. A. Vargo. 2002. 'Pericardial effusion and tamponade in infants with central catheters', *Pediatrics*, 110: 137-142

Orpha.net, 2024: Mulibrey – Kleinwuchs.
https://www.orpha.net/consor/cgi-bin/OC_Exp.php?Expert=2576&lng=DE (17.02.2024)

Orpha.net, 2024: Persistierende LVCS mit Mündung in den linken Vorhof über den Koronarsinus. Persistierende linke obere Hohlvene mit Mündung in den linken Vorhof über den Koronarsinus.
https://www.orpha.net/consor/cgi-bin/OC_Exp.php?lng=DE&Expert=99109 (17.02.2024)

Pittiruti, M., D. Bertollo, E. Briglia, M. Buononato, G. Capozzoli, L. De Simone, A. La Greca, C. Pelagatti, and P. Sette. 2012. 'The intracavitary ECG method for positioning the tip of central venous catheters: results of an Italian multicenter study', *J Vasc Access*, 13: 357-365

Polos, P. G., and S. A. Sahn. 1993. 'Tips for monitoring the position of a central venous catheter. How placement can go awry--even when the anatomy is normal', *J Crit Illn*, 8: 660-674

Randolph, A. G., D. J. Cook, C. A. Gonzales, and C. G. Pribble. 1996. 'Ultrasound guidance for placement of central venous catheters: a meta-analysis of the literature', *Crit Care Med*, 24: 2053-2058

Reynolds, N., A. S. McCulloch, C. R. Pennington, and R. J. MacFadyen. 2001. 'Assessment of distal tip position of long-term central venous feeding catheters using transesophageal echocardiology', *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 25: 39-41

Roldan, C. J., and L. Paniagua. 2015. 'Central Venous Catheter Intravascular Malpositioning: Causes, Prevention, Diagnosis, and Correction', *West J Emerg Med*, 16: 658-664

Schindler, E., M. Mikus, and M. Velten. 2021. '[Central Venous Access in Children: Technique and Complications]', *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*, 56: 60-68

Schindler, E., G. J. Schears, S. R. Hall, and T. Yamamoto. 2012. 'Ultrasound for vascular access in pediatric patients', *Paediatr Anaesth*, 22: 1002-1007

Schummer, W., S. Herrmann, C. Schummer, F. Funke, J. Steenbeck, J. Fuchs, T. Uhlig, and K. Reinhart. 2003. 'Intra-atrial ECG is not a reliable method for positioning left internal jugular vein catheters', *Br J Anaesth*, 91: 481-486

Schummer, W., and C. Schummer. 2002. 'Central venous catheter malposition in the azygos arch', *Eur J Anaesthesiol*, 19: 832-834

Schummer, W., C. Schummer, and E. Hoffmann. 2003. '[Chylothorax after central venous catheterization. Considerations to anatomy, differential diagnosis and therapy]', *Anaesthesist*, 52: 919-924

Schummer, W., C. Schummer, N. Rose, W. D. Niesen, and S. G. Sakka. 2007. 'Mechanical complications and malpositions of central venous cannulations by experienced operators. A prospective study of 1794 catheterizations in critically ill patients', *Intensive Care Med*, 33: 1055-1059

Schummer, W., C. Schummer, C. Schelenz, H. Brandes, U. Stock, T. Muller, U. Leder, and E. Huttemann. 2004. 'Central venous catheters--the inability of 'intra-atrial ECG' to prove adequate positioning', *Br J Anaesth*, 93: 193-198

Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Voll, M. and Wesker, K.H. 'Vena cava und Azygos System'. In: Schünke, M., Schulte, E., Schumacher, U., Voll, M. Wesker, K., Hrsg., Prometheus Lern - Atlas Innere Organe 2., überarbeitete und erweiterte Auflage. Stuttgart: Thieme, 2009: doi:10.1055/b-004-134446

Schuster, M., H. Nave, S. Piepenbrock, R. Pabst, and B. Panning. 2000. 'The carina as a landmark in central venous catheter placement', *Br J Anaesth*, 85: 192-194

Sharma, D., V. P. Singh, M. K. Malhotra, and K. Gupta. 2013. 'Optimum depth of central venous catheter - Comparison by pere's, landmark and endocavitary (atrial) ECG technique: A prospective study', *Anesth Essays Res*, 7: 216-220

Sheridan, R. L., and J. M. Weber. 2006. 'Mechanical and infectious complications of central venous cannulation in children: lessons learned from a 10-year experience placing more than 1000 catheters', *J Burn Care Res*, 27: 713-718

Smit, J. M., R. Raadsen, M. J. Blans, M. Petjak, P. M. Van de Ven, and P. R. Tuinman. 2018. 'Bedside ultrasound to detect central venous catheter misplacement and associated iatrogenic complications: a systematic review and meta-analysis', *Crit Care*, 22: 65

Song, Y. G., J. H. Byun, S. Y. Hwang, C. W. Kim, and S. G. Shim. 2015. 'Use of vertebral body units to locate the cavoatrial junction for optimum central venous catheter tip positioning', *Br J Anaesth*, 115: 252-257

Stocker, M., and T. M. Berger. 2006. '[Arterial and central venous catheters in neonates and infants]', *Anaesthesist*, 55: 873-882

Stuart, R. K., S. A. Shikora, P. Akerman, J. A. Lowell, J. K. Baxter, C. Apovian, C. Champagne, A. Jennings, M. Keane-Ellison, and B. R. Bistran. 1990. 'Incidence of arrhythmia with central venous catheter insertion and exchange', *JPEN J Parenter Enteral Nutr*, 14: 152-155

Suess, E. M., and M. R. Pinsky. 2015. 'Hemodynamic Monitoring for the Evaluation and Treatment of Shock: What Is the Current State of the Art?', *Semin Respir Crit Care Med*, 36: 890-898

Tarr, G. P., N. Pak, K. Taghavi, T. Iwan, C. Dumble, D. Davies-Payne, and S. A. Mirjalili. 2016. 'Defining the surface anatomy of the central venous system in children', *Clin Anat*, 29: 157-164

Townley, S. A. 2003. 'Central venous catheter malposition in an anomalous pulmonary vein', *Eur J Anaesthesiol*, 20: 985-986

Turba, U. C., R. Uflacker, C. Hannegan, and J. B. Selby. 2005. 'Anatomic relationship of the internal jugular vein and the common carotid artery applied to percutaneous transjugular procedures', *Cardiovasc Intervent Radiol*, 28: 303-306

Universitätsklinikum Bonn, 2021: Herzfehler und Herzoperationen.
https://www.ukbonn.de/site/assets/files/14487/herzfehler_und_herzoperationen.pdf
 (17.02.2024)

Urban, T., F. Wappler, and S. G. Sakka. 2011. '[Intra-arterial ECG leads of a positive P

wave potential during central venous catheterization]', *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*, 46: 94-97

Vasconcelos-Castro, S., B. Flor-de-Lima, and M. Soares-Oliveira. 2022. 'Ultrasound Guided Central Line Insertion in Children: How Much Imaging Is Really Needed?', *Port J Card Thorac Vasc Surg*, 28: 37-41

Wang, G., L. Guo, B. Jiang, M. Huang, J. Zhang, and Y. Qin. 2015. 'Factors Influencing Intracavitary Electrocardiographic P-Wave Changes during Central Venous Catheter Placement', *PLoS One*, 10: e0124846

Weber, F., M. Buitenhuis, and M. H. Lequin. 2013. 'Determination of the optimal length of insertion of central venous catheters in pediatric patients by endovascular ECG', *Minerva Anesthesiol*, 79: 379-384

Werner, W., K. Krohn, L. Hummel, and R. Volland. 1996. '[Blood collection from central venous catheter--valid also for blood coagulation analysis?]', *Zentralbl Chir*, 121: 58-60

Wiener, E. S., P. McGuire, C. J. Stolar, R. H. Rich, V. C. Albo, A. R. Ablin, D. L. Betcher, A. L. Sitarz, J. D. Buckley, M. D. Krailo, and et al. 1992. 'The CCSG prospective study of venous access devices: an analysis of insertions and causes for removal', *J Pediatr Surg*, 27: 155-63; discussion 63-64

Wikiwand, 2024: Schema des menschlichen Herzen.
[https://www.wikiwand.com/de/Herz#Media/Datei:Diagram_of_the_human_heart_\(cropped\)_de.svg](https://www.wikiwand.com/de/Herz#Media/Datei:Diagram_of_the_human_heart_(cropped)_de.svg) (17.02.2024)

Wilhelm, W. and Wietasch, J.K.G. ‚Monitoring und Gefäßzugänge‘. In: Wilhelm, W., eds., *Praxis der Anästhesiologie*. Berlin, Heidelberg: Springer, 2017: doi:10.1007/978-3-662-54568-3_12

Yamamoto, T., and E. Schindler. 2019. 'A new way to determine correct depth of central venous catheter insertion using a real-time ultrasound-guided insertion technique in pediatric patients', *Paediatr Anaesth*, 29: 368-376

Yilmazlar, A., H. Bilgin, G. Korfali, A. Eren, and U. Ozkan. 1997. 'Complications of 1303 central venous cannulations', *J R Soc Med*, 90: 319-321

Yoon, S. Z., J. H. Shin, S. Hahn, A. Y. Oh, H. S. Kim, S. D. Kim, and C. S. Kim. 2005. 'Usefulness of the carina as a radiographic landmark for central venous catheter placement in paediatric patients', *Br J Anaesth*, 95: 514-517

Yoon, S. Z., T. J. Shin, H. S. Kim, J. Lee, C. S. Kim, S. D. Kim, and C. D. Park. 2006. 'Depth of a central venous catheter tip: length of insertion guideline for pediatric patients', *Acta Anaesthesiol Scand*, 50: 355-357

Yoshimura, M., T. Nakanishi, S. Sakamoto, and T. Toriumi. 2016. 'Confirmation of optimal guidewire length for central venous catheter placement using transesophageal

echocardiography', *J Clin Anesth*, 35: 58-61

Yuan, K. M., E. C. Liu, P. Li, W. N. Shangguan, J. Li, and Q. Q. Lian. 2017. 'Anatomic variations of neck vessels and the course of pediatric internal jugular veins', *Paediatr Anaesth*, 27: 1003-1009

Zaman, M. H., P. Mitra, E. Bondi, J. Gintautas, and A. R. Abadir. 1990. 'A rare malposition of the central venous catheter', *Chest*, 98: 768-770

Zick, G., C. Eimer, J. Renner, T. Becher, M. Kott, D. Schadler, N. Weiler, and G. Elke. 2020. '[Ultrasound visualization of the guidewire and positioning of the central venous catheter : A prospective observational study]', *Anaesthetist*, 69: 489-496

10. Veröffentlichungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Dissertationsschrift wurden bereits in der folgenden Publikation veröffentlicht:

Neumann C, Breil M, Schild A, Schenk A, Jakobs P, Mikus M, Schindler E. Central venous catheter tip positioning using ultrasound in pediatric patients – A prospective observational study. *Pediatric Anesthesia* 2024;00:1-8. Doi:10.1111/pan.14864

<https://doi.org/10.1111/pan.14864>

11. Erklärung zum Eigenanteil

Die Arbeit wurde in der Klinik für Anästhesiologie und operative Intensivmedizin (KAI) unter der Betreuung von Prof. Dr. med. Ehrenfried Schindler durchgeführt.

Die Konzeption der Studie, sowie die Durchführung der Ultraschalluntersuchungen erfolgte in Zusammenarbeit mit Prof. Dr. med Ehrenfried Schindler (Leiter der Sektion Kinderanästhesie sowie Doktorvater), Prof. Dr. med. Maria Wittmann (Oberärztin, klinisches Studienteam), Dr. med. Claudia Neumann (Oberärztin, klinisches Studienteam), Nadine Strassberger-Nerschbach (Wissenschaftliche Mitarbeiterin im klinischen Studienteam), Dr. med. Patrick Jakobs (Oberarzt), Dr. med. Marian Mikus (Oberarzt), Dr. med. Martin Breil (Oberarzt), Dr. med Andreas Otte (Oberarzt), Dr. med. Ricarda Breil (Fachärztin für Anästhesiologie), Dr. med Ben Thewes (Facharzt für Anästhesiologie) und Dr. med. Christiane Maas (Fachärztin für Anästhesiologie).

Die Analysen der Röntgenbilder erfolgte von mir durch Unterstützung von Prof. Dr. med Ehrenfried Schindler, Dr. med. Patrick Jakobs, Dr. med. Andreas Otte, Dr. med. Marian Mikus und Dr. med. Ben Thewes.

Das zur Auswertung verwendete Datenmaterial wurde eigenständig von mir zusammengestellt.

Die statistische Auswertung erfolgte mit Hilfe des Instituts für Medizinische Biometrie, Informatik und Epidemiologie (IMBIE), speziell durch Alina Schenk. Es erfolgten ebenfalls Beratungen durch Christian Staerk, Jan Speller und Tobias Fleckenstein.

Außerdem erfolgte eine telefonische Beratung mit Prof. Dr. med. Dipl.-Phys. Eberhard Kochs.

Die Graphiken in dieser Arbeit habe ich eigenständig mit dem Programm PRISM erstellt.

Die Abbildung zur Position der vier Schallfenster wurde in Anlehnung an die Abbildung von Beahner et al 2021 erstellt, da die dort ermittelten Schallfenster als Grundlage für diese Arbeit gelten.

Ich versichere, die Dissertationsschrift selbstständig verfasst zu haben und keine weiteren als die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet zu haben.

12. Danksagung

Ich danke Herrn Prof. Schindler für die hervorragende Betreuung meiner Doktorarbeit und die Möglichkeit, die Ergebnisse der Studie auf dem GNPI Kongress 2024 in München vorstellen zu dürfen.

Außerdem danke ich Herrn Prof Kochs aus München für die statistische Beratung zur Darstellung der Ergebnisse, sowie natürlich auch allen beteiligten Anästhesisten, sowie den Pflegekräften der Kinderanästhesie am Universitätsklinikum Bonn.