

Aus der Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie  
der Universität Würzburg

Direktor: Univ.-Prof. Dr. Norbert Roewer

***Anlage von zentralvenösen Kathetern im Kindesalter:***

***Überprüfung der Lage mittels intrakardialer EKG-Ableitung und Thoraxröntgenbild***

**Inaugural-Dissertation**

Zur Erlangung der Doktorwürde der

Medizinischen Fakultät

der

Julius-Maximilians-Universität Würzburg

vorgelegt von

Michael Hafeneder

aus Weisendorf

Würzburg, Juli 2013



**Referent:** Professor Dr. med Franz Kehl

**Koreferent:** Professor Dr. med Meinrad Beer

**Dekan:** Professor Dr. med Matthias Frosch

**Tag der mündlichen Prüfung:** 15.07.2013

**Der Promovend ist Arzt**

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
<b>1. Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Historische Entwicklung	1
1.2 Indikationen	2
1.3 Zugangswege	2
1.4 Punktion	3
1.5 Definition korrekter Lage	5
1.6 Lagekontrolle	5
1.7 Elektrophysiologie des Herzens	8
1.8 Komplikationen	10
<b>2. Ziele der Arbeit</b>	<b>16</b>
<b>3. Material und Methoden</b>	<b>17</b>
3.1 Patienten	17
3.2 Demographie	17
3.3 Methodik	18
<b>4. Ergebnisse</b>	<b>25</b>
4.1 korrekte Lage	25
4.2 Fehllagen	26
4.3 Statistische Auswertung	28

<b>5. Diskussion</b>	<b>31</b>
<b>6. Zusammenfassung</b>	<b>43</b>
<b>7. Anhang</b>	<b>44</b>
7.1 Literaturverzeichnis	44
7.2 Abbildungsnachweis	54
7.3 Liste der verwendeten Abkürzungen	56
7.4 Meßdaten	57

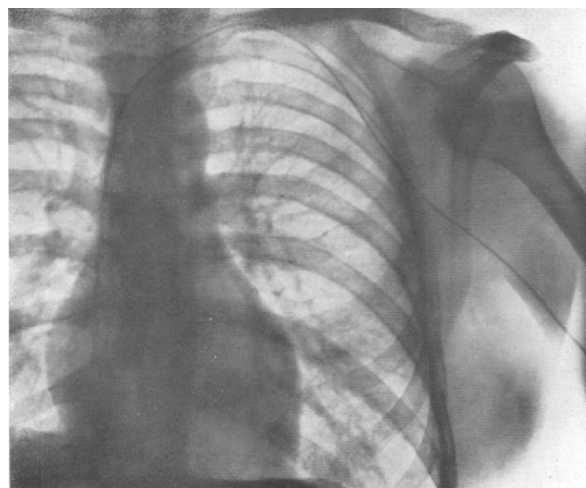
## 1. Einleitung:

Der zentralvenöse Katheter (ZVK) ist ein unverzichtbarer [1] Bestandteil der Anästhesie und Intensivmedizin zur Versorgung Schwerkranker, um über den Zugang zu einer großlumigen Zentralvene zum Beispiel den zentralen Venendruck zu messen, die Volumengabe zu steuern oder zur Applikation von hochwirksamen oder hyperosmolaren Medikamenten.

Auch bei pädiatrischen Patienten muss aus den oben genannten Gründen ein ZVK gelegt werden [3-6]. Publierte Zahlenangaben zur Häufigkeit eingebrachter ZVKs liegen nicht vor. Es lässt sich aber über den Anteil von verkauften ZVKs abschätzen, dass in Deutschland jährlich etwa 1,3 Millionen ZVKs beim Erwachsenen [2,133] und 24000 beim pädiatrischen Patienten [133] zur Anwendung kommen. Von den etwa 70,8 Millionen [145] Einwohnern in Deutschland über dem 15. Lebensjahr erhalten somit ca. 1,8% einen ZVK, wohingegen es bei den 11 Millionen [145] Kindern (0-15 Jahre) mit 24000 ca. 0,2% sind.

### 1.1 Historische Entwicklung

Die Wegbereitung der Anwendung des ZVKs zur Katheterisierung zentraler Venen ist durch zwei historische Ereignisse klar zu benennen. 1929 gelang es W. Forssmann sich im Selbstversuch einen 65cm langen Ureterenkatheter von der linken Ellenbeuge bis zum rechten Herzen einzuführen und dies mittels Röntgendurchleuchtung zu dokumentieren [7].



**Abb. 1:** Forssmann W. Die Sondierung des rechten Herzens.  
Klin Wochenschr 1929; 8: 2085-2087.

Seine Arbeit wurde zur Grundlage für zahlreiche Studien der folgenden Jahrzehnte, die sich mit der Rechtsherzkatheterisierung, der Lagedokumentation mittels Röntgen sowie dem Zusammenhang von Katheterspitzenlage und elektrokardiographischer Ableitung beschäftigen [8-13].

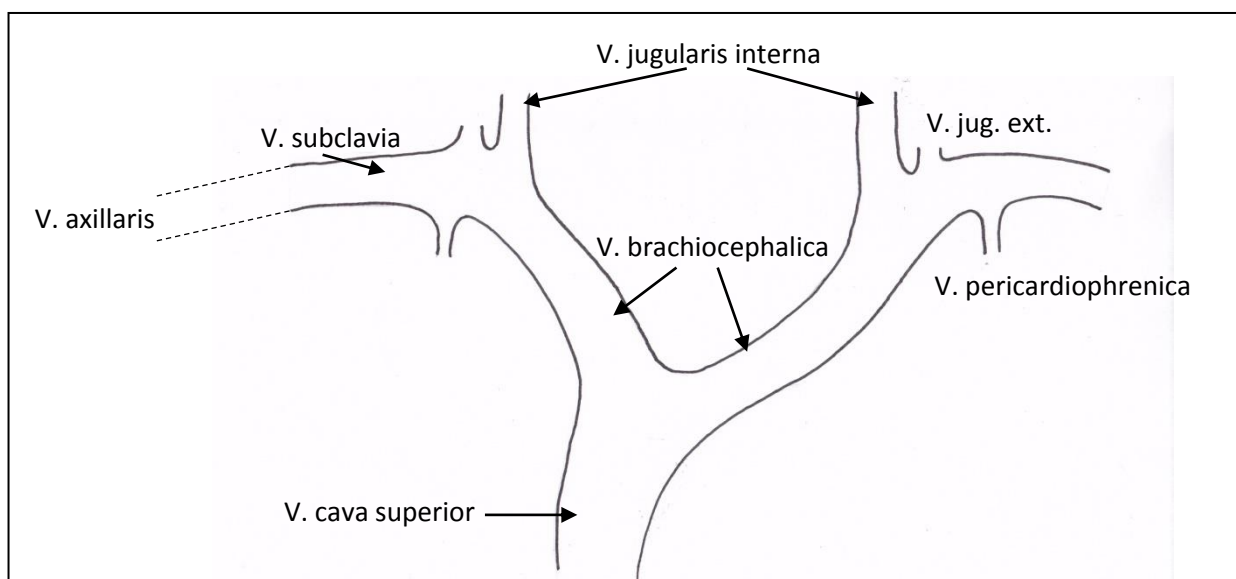
Als Erstbeschreiber der zentralvenösen Katheterisierung wird in der Literatur der französische Anatom Aubaniac (1952) genannt. In seiner Arbeit beschreibt er die Katheterisierung der Vena subclavia zur Versorgung verwundeter Soldaten auf dem Schlachtfeld [14]. In den folgenden Jahren wurden daraufhin weitere Anwendungsbereiche für ZVKs erschlossen, wie zum Beispiel die Messung des zentralen Venendrucks durch Wilson und Mitarbeiter [15].

## 1.2 Indikationen für ZVKs

Heute reichen die Indikationen zur Anlage eines zentralen venösen Katheters von einem sehr schlechten peripheren Venenstatus über Langzeit-Antibiotikatherapie, Hochdosis-Katecholamintherapie und parenterale Ernährung bis hin zum Bedarf eines erweiterten hämodynamischen Monitorings (Messung des zentralvenösen Druckes, Kontrolle der zentralvenösen Sauerstoffsättigung durch Entnahme von Blutproben) [16,17]. Schon lange ist der Nutzen in den genannten Anwendungsbereichen –nicht nur aufgrund der oftmals schwierigen Gefäßsituation- gerade für den pädiatrischen Patienten gesichert [18,19]. In der Literatur findet man keine absoluten Kontraindikationen für das Einbringen von ZVKs [20], sondern höchstens relative Kontraindikation wie Koagulopathie, offene Brustwunden und Tracheostomie [16].

## 1.3 Zugangswege

Der Ausdruck „zentrale Venen“ ist in der Literatur nicht eindeutig definiert. Anatomisch



**Abb. 2: Skizzenhafte Darstellung des zentralen Venensystems** anhand Schünke M. Prometheus: Lernatlas der Anatomie – Hals und innere Organe, 2. Auflage, Thieme Verlag 2009

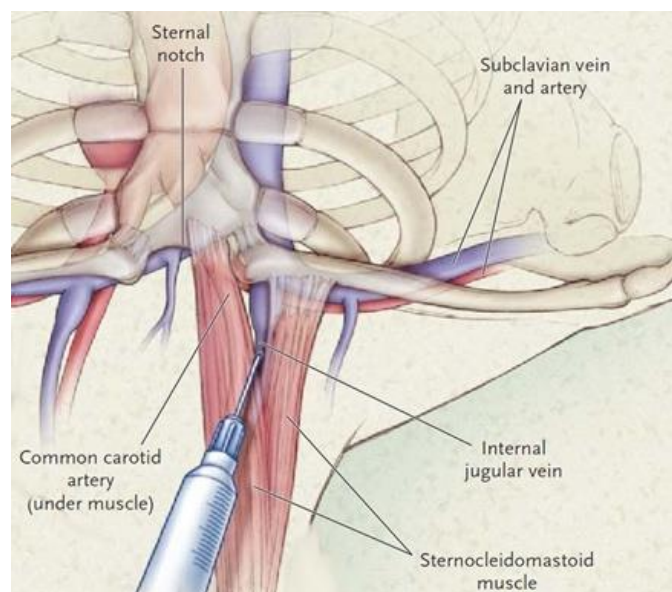
münden die Vena cava superior und Vena cava inferior direkt (zentral) in den rechten Vorhof. Für das Einbringen eines ZVKs ist neben der Zielvene vor allem das größtenteils intrathorakal liegende, herznahe und klappenlose Venensystem von Bedeutung. Prinzipiell ist auch das Einbringen von femoral aus möglich, wird in der Praxis jedoch nur bei besonderen Situationen durchgeführt.

Die Venae (Vv.) subclaviae, die wie ein Teil der zuführenden Venae axillares von der Fascia clavipectoralis offen gehalten werden setzen sich fort in die Vv. brachiocephalicae – auch Vv. anonymae genannt –, die sich zur Vena cava superior vereinigen. Diese mündet schließlich in den rechten Vorhof [21].

Als Zugangswege zur Anlage eines zentralen Venenkatheters werden bevorzugt die V. jugularis interna und die V. subclavia verwendet [22]. Im Seitenvergleich erfolgt der Zugang meist über die rechte Vena jugularis interna, da hier eine gerade Achse vorhanden ist und damit Fehllagen seltener vorkommen [95% korrekte Lage: 23,24] .

## 1.4 Punktion

Vor der Punktion müssen die Zugangswege über spezifische sichtbare oder tastbare anatomische Landmarken aufgesucht werden. Im Falle der Punktion der Vena jugularis interna dient der M. sternocleidomastoideus als Leitstruktur. Ziel ist die Spitze eines Dreiecks, das von den zwei Köpfen des M. sternocleidomastoideus und der Clavicula gebildet wird (siehe Abbildung 3). Die Vena jugularis interna läuft unter dem Muskel und durch das



**Abb. 3: Anatomische Orientierung zur Punktion der Vena jugularis interna**

McGee DC, Gould MK. Preventing complications of central venous catheterization. N Engl J Med. 2003 Mar 20; 348 (12): 1123-33. Bildausschnitt.

Dreieck bevor sie sich mit der Vena subclavia zur Vena brachiocephalica vereint. Nach sicherer Identifizierung der Leitstrukturen und entsprechend sterilen Bedingungen erfolgt bei Eingriffen am wachen Patienten die Injektion eines Lokalanästhetikums. Besonders am pädiatrischen Patienten wird jedoch eine tiefe Sedierung vor der ZVK-Anlage empfohlen, weil die Identifizierung anatomischer Strukturen am schlafenden Patienten leichter fällt, man dadurch ein plötzliches Versetzen der Nadel beim Einstich verhindern kann und somit die Chance auf eine erfolgreiche Punktion erhöht wird [18,25].

Sznajder et al. empfiehlt vor allem unerfahrenen Ärzten die Anwendung am sedierten Patienten, weil die Komplikationsrate in seiner Studie mit 714 ZVK-Anlagen am schlafenden Patient deutlich niedriger war als am wachen Patient [26].

Zur bestmöglichen Füllung der Halsvenen wird der Patient in die Trendelenburg-Lagerung gebracht. Mit einer Rolle unter der Schulter und extendiertem Nacken wird der Kopf des Patienten in Kopftieflage um 15-45% von der Zugangsseite weggedreht [27].

Je jünger der Patient ist, desto schwieriger kann sich die Punktion tiefer Körpervenen wie der Vena jugularis interna oder Vena subclavia aufgrund der kleineren Körpergröße darstellen. Beim kleinen Säugling fehlen knöcherne Orientierungspunkte und die muskulären Leitstrukturen sind kaum tastbar [28]. Die Ultraschallsonographie hat sich in den letzten Jahren als besonders zuverlässiges Hilfsmittel bei der Venenpunktion am neonatologischen und pädiatrischen Patienten bewährt, weil sie es dem Arzt ermöglicht die Vene unter sonographischer Sicht zu punktieren. Dies hat zudem den Vorteil auch eventuell thrombosierte Venen zu erkennen und darüber hinaus arterielle Fehlpunktionen zu vermeiden [5, 27, 29].

Die für den Zugang gewählte Vene wird mittels linearem Ultraschallkopf aufgesucht. Während die eine Hand des Arztes die Nadel führt, visualisiert der Ultraschallkopf in der anderen Hand die Punktionsnadel. Nachdem bei Säuglingen und Kindern die Strukturen sehr klein und oberflächlich gelegen sind, empfiehlt sich ein kleiner, linearer Schallkopf mit einer hohen Schallfrequenz von 10-13MHz [27], d.h. mit hoher Auflösung und niedriger Eindringtiefe. Blutgefäße stellen sich im Ultraschall echoarm dar, d.h. schwarz. Die Unterscheidung von venösen und arteriellen Gefäßen ist einfach: Venen sind im Gegensatz zu Arterien leicht kompressibel, Arterien pulsieren, und die Größe von Venen ändert sich atemsynchron. Außerdem lassen sich Venen und Arterien durch das Farbdopplerverfahren leicht unterscheiden [27].



Der Nadelpunktion folgt die Einbringung eines Führungsdrahtes, dem sogenannten Seldingerdraht, und die komplette Entfernung der Nadel. Nach dem Setzen einer kleinen Hautinzision, wird ein Venendilatator und schließlich der Katheter über den Führungsdraht in die Vene vorgeschoben [16].

### **1.5 Definition korrekte Lage**

Bevor ein ZVK an der Haut fixiert werden darf, muss die Spitze des Katheters erst korrekt liegen. Auf die Frage wie nun genau diese „korrekte Lage“ der Spitze aussieht, gibt uns die Literatur eine Vielzahl an Hinweisen. Im a.p.-Röntgenbild des Thorax sollte die Spitze außerhalb der Herzsilhouette [30], auf Höhe der Trachealbifurkation [31], maximal 2cm distal vom Clavicula-Unterrand [32] und kranial der perikardialen Umschlagfalte [33] zum Liegen kommen. Nachdem das Perikard auf einer gewöhnlichen Röntgenaufnahme des Thorax nicht zu sehen ist, empfehlen Schuster et al. [31] und Stonelake et al. [34] die Carina als verlässlichen Bezugspunkt zu nutzen, da sie selbst in mobilen Röntgengeräten mit niedriger Leistung gut zu lokalisieren sei. Ihren Studien zufolge sichere eine oberhalb der Carina gelegene Spitze auch die Lage außerhalb des Herzens.

Als korrekte Lage für die Spitze des ZVKs bezeichnen die meisten Autoren die untere Vena cava superior –noch außerhalb des Herzens [30, 35-39].

Idealerweise sollte der ZVK parallel zur Gefäßwand verlaufen, da ein Impingementwinkel zwischen ZVK-Spitze und lateraler Gefäßwand größer 40° ein deutlich erhöhtes Perforationsrisiko mit sich bringt und daher nicht belassen werden sollte [40-41].

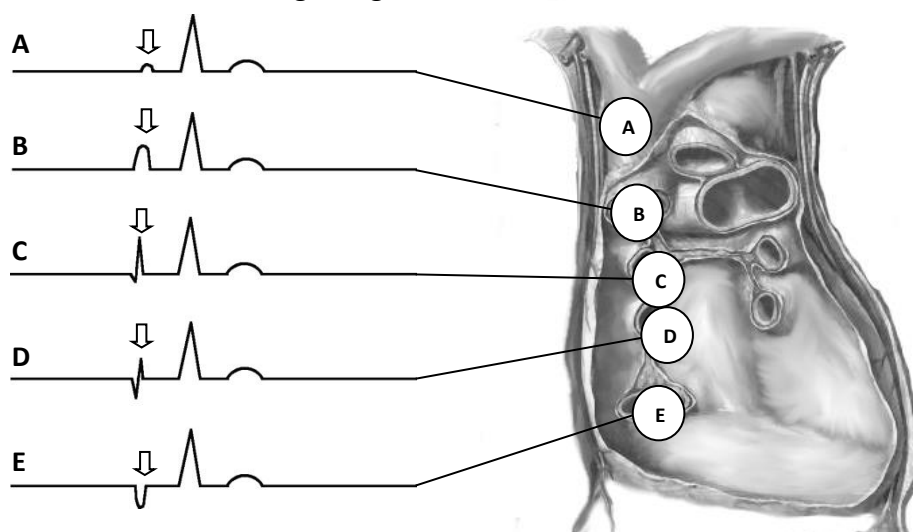
### **1.6 Lagekontrolle**

Während Technik und Einsatzgebiete der ZVKs im Laufe der Zeit immer weiterentwickelt wurden, etablierten sich gleichzeitig auch Verfahren zur Kontrolle der Lage der Katheterspitze. Die möglichst genaue Lokalisation der Spitze wird aufgrund der mit Fehllagen assoziierten Komplikationsrisiken in der Literatur allgemein als unverzichtbar eingestuft [41-43]. Die freie Aspiration von dunkelroten nicht pulsatilem Blut wird oft als wichtiges Indiz für die Lage des Katheters im Lumen einer zentralen Vene genannt [41-44]. Desweiteren können atem- und pulssynchrone Schwankungen der Flüssigkeitssäule ein Hinweis für eine venöse Lage sein. Diese klinischen Verfahren allein sind jedoch für eine korrekte ZVK-Lagekontrolle nicht ausreichend [43, 45].

Neben der intravasalen Lage muss auch die exakte Spitzenposition eines Venenkatheters überprüft werden. Die a.p.-Röntgenaufnahme des Thorax nach ZVK-Anlage ist hierfür der Goldstandard [43] und kann zusätzlich zum Nachweis oder Ausschluss eines Pneumothorax dienen. Auf das Röntgenbild wird bei Anlagen eines Venenkatheters direkt vor einer Operation oder in Notfallsituation häufig verzichtet und die intravasale Lage oft nur mittels Aspiration von venösem Blut bestätigt. Allerdings kann ein extravasal liegender Katheter im a.p. Röntgenbild von Gefäßen wie der Vena cava superior überlagert sein, und damit dem Betrachter das Erkennen einer Fehllage unmöglich machen [43].

Diese Unsicherheit in der Beurteilung mancher Röntgenbilder und die Tatsache, dass zwischen ZVK-Anlage und Röntgenbild oft Stunden vergehen (insbesondere damit ein Pneumothorax ausgeschlossen werden kann, der sich oft erst nach Stunden entwickelt), haben dazu geführt, dass die elektrokardiographische Lagekontrolle, die Ergebnisse bereits während der ZVK-Einbringung liefert, in den letzten Jahrzehnten immer mehr Anhänger gefunden hat [45-52]. Das Ableiten des intravasalen oder intraatrialen EKGs (Ableitung II nach Einthoven) erfolgt hierbei entweder über einen Katheter, der mit elektrisch leitfähiger Flüssigkeit gefüllt ist, oder über einen Seldinger-Führungsdraht im Katheter [53].

Schiebt man nun diese intravasale Elektrode (Spitze des ZVK) in Richtung des rechten Vorhofs durchläuft die P-Welle, die der elektrischen Erregung des rechten Vorhofs entspricht, ein typisches Muster. Die Amplitude ist laut McGee et al. im rechten Vorhof am größten und unterscheidet sich deutlich von der externen Hautableitung. Folglich wurde die ZVK-Lage mit Ableitung der größten P-Wellenamplitude von vielen Autoren mit der Lage des ZVKs im rechten Vorhof gleichgesetzt [45, 54, 55].



**Abb. 4:** EKG Kurven und der jeweilige Ableitungsort, P-Welle durch Pfeil gekennzeichnet  
Veranschaulichung anhand Herz-Anatomie aus Frank H. Netter: Atlas der Anatomie des Menschen, 3. Überarbeitete und erweiterte Auflage.

Jeon et al bewerteten in ihrer Studie mit EKG eingebrachte ZVKs im TEE und empfehlen Pmax (B in Abbildung 4) für eine sichere Lage der Spitze am Übergang zum Vorhof, während ein biphasisches P den Vorhof (C) selbst und ein normales P die mittlere bis obere Vena cava superior (A) darstelle [37]. Passiert der ZVK den Sinusknoten wird die P-Welle zunächst kleiner (D) und ist negativ (E) in der Vena cava inferior [144].

In der klinischen Praxis wird zunächst die größte P-Wellen-Amplitude aufgesucht und der Katheter von dort aus bis zur Normalisierung der P-Welle oder noch etwas weiter zurückgezogen - in der Vorstellung die ZVK-Spitze nun in der tiefen Vena cava superior kurz vor dem Eintritt in den Vorhof positioniert zu haben [56].

Einige Studien [36, 53, 57, 58] haben allerdings beim Erwachsenen zeigen können, dass die größte Amplitude der P-Welle bereits außerhalb des Herzens (d.h. außerhalb des rechten Vorhofs) detektiert werden kann und in Höhe der perikardialen Umschlagfalte auftritt. Schummer et al. evaluierte daraufhin mittels TEE, dass die Positionierung der ZVK-Spitze unter EKG-Steuerung auf die maximale P-Wellen-Amplitude (Pmax) zu einer korrekten Lage führte: die 200, in dieser Studie gelegten, ZVKs lagen alle in der Vena cava superior noch außerhalb des rechten Vorhofs [56]. Auch andere Autoren empfehlen inzwischen für eine optimale Spitzenposition den Katheter auf Höhe der maximalen P-Wellen-Amplitude zu fixieren [37, 59].

Im Gegensatz zum Röntgenbild vermag das EKG somit bereits bei der Einbringung des ZVKs eine intraatriale Fehllage auszuschließen [60]. Eine fehlende P-Wellenänderung im EKG kann ein Hinweis für einen Umschlag des Katheters beispielsweise von der V. jugularis interna in die ipsilaterale V. subclavia sein [45, 55, 61].

Aus der zentralen Rolle der P-Welle für die elektrokardiographische Lagekontrolle eignet sich diese Methode nur für Patienten mit Sinusrhythmus [35, 62, 63].

Durch die EKG gesteuerte Anlage wurde die Fehllagenanzahl im letzten Jahrzehnt genauso reduziert wie die Anzahl nötiger Röntgenaufnahmen zur Lagebestimmung der Katheterspitze [64, 65, 68]. Es erwies sich als einfache und verlässliche Methode zur Verbesserung der Erfolgsrate für die ZVK-Anlage [35]. Strahlenexposition für Patient und Personal, sowie die Kosten können durch die Anwendung der EKG-Steuerung gesenkt werden [52, 62-66], genauso wie die Dauer des Eingriffs [62]. So können laut Walters et al. durchschnittlich 279,10 \$, drei Minuten im Op-Saal und 20 Sekunden Röntgen Durchleuchtungszeit pro Fall

eingespart werden [62]. Wenn man bedenkt, dass eine a.p. Röntgenaufnahme des Thorax in unter 20 Millisekunden eine effektive Strahlendosis von 0,02 mSv verursacht und in Deutschland der Grenzwert der jährlichen Strahlendosis für Personen unter 18 Jahren bei 1 mSv liegt [146, 147], wird deutlich wie groß der Vorteil von 20 Sekunden gesparter Strahlenbelastung ist.

Vor diesem Hintergrund ist der, in der Literatur der letzten Jahre, spürbare Trend verständlich, das Röntgenbild nach EKG-gesteuerter ZVK-Anlage nicht mehr zwingend vorzuschreiben [63, 65, 67, 68]. Während dies für den häufig gewählten Zugang über die rechte Jugularvene zutreffen mag, geben einige Autoren zu bedenken, dass von links eingebrachte ZVKs aus klinischer Erfahrung mit einer deutlich höheren Komplikationsrate behaftet sind [36, 54, 69, 70]. Der rechtwinklige Weg des Katheters über die linke Patientenseite kann für Seldingerdraht-Methode und Alphacard-Verfahren unterschiedliche Kathetertiefen durch EKG-Steuerung ergeben, abhängig von der Steife des Materials [137]. Folglich kann bei linksseitig eingebrachten ZVKs eine Röntgenaufnahme des Thorax zur Kontrolle weiterhin sinnvoll sein [36].

Abschließend sei noch die transösophageale Echokardiographie (TEE) als Lagekontrollverfahren aus dem Bereich der Therapie kongenitaler Herzerkrankungen genannt. Nach Narkoseeinleitung, endotrachealer Intubation und Absaugen des Mageninhalts, wird die TEE-Sonde über die Speiseröhre eingebracht und auf den Vierkammerblick justiert. Der Vorteil dieser Methode ist, dass für den Untersucher auf dem Monitor sowohl der Vorhof wie auch die ZVK-Spitze sichtbar sind. Obwohl solche TEE-Untersuchungen nur begrenzt verfügbar sind oder zum Bewerten anderer Lagekontrollverfahren herangezogen werden, bezeichnet Andropoulos [71] das TEE als beste Methode zur Bestätigung der ZVK-Spitzenlage am liegenden Patienten. Einigkeit besteht darüber, dass das TEE zumindest im direkten Vergleich dem Röntgenbild überlegen ist, sowohl im puncto Lokalisation der Katheterspitze als auch im Abschätzen der Lage zu benachbarten Strukturen [72, 73].

## **1.7 Elektrophysiologie des Herzens**

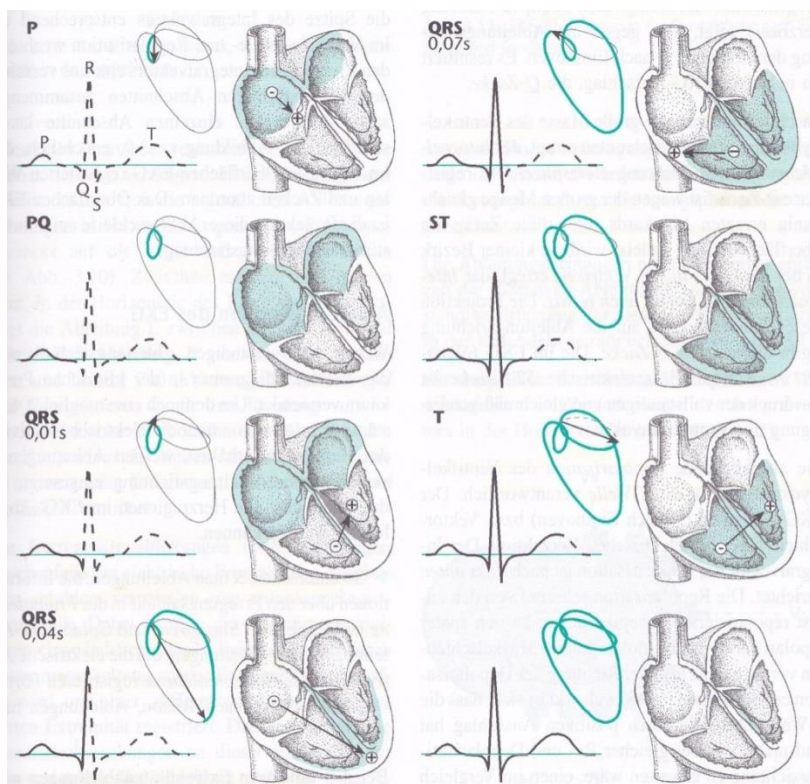
Während Verfahren wie das TEE nur sehr begrenzt verfügbar sind, hat sich das EKG zur Lagekontrolle als schnell verfügbares und kosteneffektives Mittel erwiesen [52, 62-66].

Um die Signaländerungen des EKGs während des Kathetervorschubes besser zu verstehen, ist es notwendig, sich zunächst die Elektrophysiologie des Herzens zu vergegenwärtigen. Die Herzmuskelzelle wird elektrophysiologisch als Dipol gesehen mit einem Vektor, der vom erregten zum unerregten Bereich zeigt, d.h. von „minus“ nach „plus“. Läuft die Erregung (Depolarisationsvektor) in Richtung einer Elektrode, wird diese einen positiven Ausschlag verzeichnen, während die Erregungsrückbildung (Repolarisation) in entgegengesetzte Richtung zeigen und bei der gleichen Elektrode einen negativen Ausschlag verursachen würde.

Bei der folgenden Erläuterung der EKG-Morphologie wird von der Standardableitung II nach Einthoven ausgegangen, d.h. vom rechten Arm (minus) zum linken Fuß (plus) gerichtet. Abbildung 5 veranschaulicht den Zusammenhang von kardialer Erregungsausbreitung und ihrem Abbild im EKG.

Die nach caudal gerichtete Vorhoferregung erzeugt einen Vektor Richtung Herzspitze, welcher der Ableitungsrichtung der II. Standardableitung nach Einthoven entspricht. Der entstandene positive Ausschlag aufgrund der Vorhoferregung wird P-Welle genannt.

Die folgende isoelektrische PQ-Strecke ist Abbild der Erregungsverzögerung durch den AV-Knoten nach abgeschlossener Erregung beider Vorhöfe.



**Abb. 5: Erregungsausbreitung und ihre Korrelate im EKG**

Hick C, Hick A. Physiologie, 4. Überarbeitete und aktualisierte Auflage (2002), Kapitel 3 (Herz), Seite 55, „Abb. 3.9: Richtung und Stärke des Integralvektors und die korrespondierende EKG-Ableitung (II nach Einthoven) bzw. Vektorschleifen bei der elektrischen Herzaktion.“

An der linken Septumwand beginnt die Ventrikelerregung als kurzfristig nach cranial und damit von der Herzspitze weg zeigender Vektor, der im EKG negativ gerichteten Q-Zacke. Die vielen Herzmuskelzellen des Kammermyokards werden anschließend von cranial Richtung Herzspitze erregt, was zum größten positiven Ausschlag führt, der sogenannten R-Zacke.

Im Anschluss erfolgt die Erregung eines kleinen Areals basal im linken Ventrikel, wodurch ein nach dorsal rechts zeigender Vektor, die negative S-Zacke, entsteht.

Die normalerweise isoelektrische ST-Strecke ist Abbild der vollständigen und homogenen Ventrikelerregung.

Abschließend folgt die positive T-Welle als Ausdruck der Ventrikelrepolarisation. Die Repolarisation erfolgt von Herzoberfläche Richtung Endokard und ist langsamer als die Depolarisation, weshalb die T-Welle deutlich breiter ist als die R-Zacke. Der Vektor ist bei der Repolarisation nach links unten gerichtet. [154]

## **1.8 Komplikationen**

Genau wie Technik und Patientenüberwachung während des Vorgangs verbessert wurden, sanken auch die ZVK-assoziierten Risiken für das Auftreten von Komplikationen [74].

Es werden Frühkomplikationen, Fehllage-assoziierte Komplikationen und Spätkomplikationen unterschieden. Zu den meisten Frühkomplikationen gehören die versehentlichen arteriellen Punktionen in etwa 5% der Fälle [79], der Pneumothorax in etwa 2% der Fälle [18, 74, 80] und die Fehllage des Katheters [4]. Laut Literatur kommt es in 1-6% der ZVKs zu Fehllagen [81, 82] beispielsweise in die Vena mammaria interna [83, 84], die Vena pericardiophrenica [85], eine atypische Pulmonalvene [86, 87], die Vena azygos [88] oder die Vena thyroidea inferior [89]. In den genannten Fällen waren die Folgen für den Patienten vergleichsweise gering, weil der Katheter intravasal blieb.

Wenn das Gefäß jedoch verletzt wird, kann es zu Fehllage-bedingten Komplikationen kommen, wie beispielsweise Extravasation [90-92], Hydromediastinum [32, 93], Haemothorax [41, 94] oder Chylothorax [95-98]. Als unerwünschte Injektion oder Leckage von Substanzen ins Gewebe kann ein Extravasat im Rahmen der Medikamentenapplikation je nach Substanz und ausgetretener Menge zu unbeabsichtigten Schäden führen, die von der Venenentzündung bis zur großflächigen Weichteilnekrose reichen können [90-92]. Durch ihre, in unterschiedlicher Entfernung zur Katheterspitze mündende, Lumina bergen vor allem

Mehrlumenkatheter das Risiko einer Extravasation [99].

Bei einer Perforation des Vorhofs hingegen, sind die Folgen mit einer möglichen Perikardtamponade [30, 32, 100-104] äußerst kritisch und unter Umständen sogar tödlich [4, 101, 102, 105].

Die Perikardtamponade kann innerhalb von Minuten nach der Einbringung des zentralen Venenkatheters, aber in seltenen Fällen auch mehrere Monate danach auftreten, zum Beispiel wenn der ZVK so lange im Patient gelegen hat. Cherng et al. [106] empfehlen daher bei plötzlicher Zustandsverschlechterung von Patienten mit ZVK an die Herztamponade als mögliche Ursache zu denken und sie schnellstmöglich abzuklären.

Zu den Spätkomplikationen einer ZVK-Anlage zählen die Katheter-assoziierte Infektion, die Thrombose und die Migration des Katheters [4].

ZVK-assoziierte Infektionen bei Kindern traten in der Studie von Casado-Flores et al. in 5,8% der Fälle auf und waren unabhängig von Punktionsort und Liegedauer des ZVK [107].

Die Thrombose tritt gehäuft bei Fehllagen, jedoch auch nach korrekter ZVK-Anlage auf.

In der Literatur herrscht keine Einigkeit bezüglich der Häufigkeit ZVK-assoziiertes Thrombosen aufgrund unterschiedlicher diagnostischer Methoden, Kriterien, Patientenkollektive und ZVK-Eigenschaften [134].

Rooden et al bieten mit Ihrer Arbeit von 2005 den aktuellsten Überblick über Studien, die sich mit der ZVK-assoziierten Thromboserate befassen. Bei den 25 untersuchten Arbeiten lag die Rate manifester Thrombosen zwischen 0% (bei 12 Studien) und maximal 12% (bei einer Studie) – siehe Tabelle 1.

Auffallend in Tabelle 1 ist der vergleichsweise hohe Anteil manifester ZVK-assoziiertes Thrombosen (8-11%) in den Arbeiten von Nowak-Göttl et al. [138] sowie Beck et al. [139] gegenüber dem vollständigen Ausbleiben manifester Thrombosen (0%) bei Timsit et al. [140] und Wu et al. [141].

Die erstgenannten Arbeiten untersuchen ausschließlich Kinder (0-18 Jahre) und sprechen bereits beim Auftreten eines einzelnen Symptomes wie Schwellung, Schmerz oder Katheterfunktionsstörung von einer manifester Thrombose. Darüber hinaus leiden die Kinder in diesen Studien zu 11% an erblicher Thrombophilie (Faktor V Leiden, Mangel an Protein C und S) [138] oder zu 8% an Krebs [139].

In der Literatur wird neben den erwähnten Gründen ein beim pädiatrischen Patienten

vorliegendes Missverhältnis zwischen Katheter- zu Gefäßdurchmesser als möglicher Risikofaktor für die Entwicklung einer Thrombose genannt [139, 142].

Studie	Population	Technik	Thrombose% (manifest%)	ZVK Punktionsort
Chastre et al. (1982)	ITS	V	67(0)	Vena jugularis
Durbec et al. (1997)	ITS	V	36(0)	Vena femoralis
Timsit et al. (1998)	ITS	D	33(0)	Vena subclavia & jugularis
Wu et al. (1999)	ITS	D	56(0)	Vena jugularis
Joynt et al. (2000)	ITS	D	10(2)	Vena femoralis
Martin et al. (1999)	ITS	D	58(2)	Vena axillaris
Stoney et al. (1976)	Kardiologie	V	34(3)	Vena jugularis & cephalica
Goto et al. (1998)	Kardiologie	V	23(0)	Vena subclavia & cephalica
Lin et al. (1998)	Kardiologie	D	6(0)	Vena subclavia & cephalica
Antonelli et al. (1989)	Kardiologie	V	28(5)	Vena subclavia & cephalica
Van Rooden et al. (2004)	Kardiologie	D	23(2)	Vena subclavia & cephalica
Velerio et al. (1981)	Onkologie	V	33(6)	Vena subclavia
Brismar et al. (1982)	Onkologie	V	36	Vena subclavia
Bozetti et al. (1983)	Onkologie	V	28(0)	Vena subclavia
Haire et al. (1991)	Hämatologie	V	63(9)	Vena subclavia
Balesteri et al. (1995)	Onkologie	V	56(0)	Vena subclavia
De Cicco et al. (1997)	Onkologie	V	66(6)	Vena subclavia
Biffi et al. (2001)	Onkologie	D	4(2)	Vena subclavia & cephalica
Luciani et al. (2001)	Onkologie	D	12(3)	Vena subclavia
Harter et al. (2002)	Onkologie	D	2(0)	Vena jugularis
Lordick et al. (2003)	Hämatologie	D	30(0)	Vena jugularis
Van Rooden et al. (2003)	Hämatologie	D	28(12)	Vena jugularis & subclavia
Nowak-Gottl et al. (1997)	Pediatric	D	11(11)	Vena subclavia
Beck et al. (1998)	Pediatric	D	18(8)	Vena jugularis, subclavia, femoralis
Van Rooden et al. (2004)	Mischung	D	30(7)	Vena jugularis & Subclavia

**Tab. 1: Überblick der ZVK assoziierten Thromboserate in 25 Studien** (V = Venographie, D = Doppler)

Rooden CJ, Tesselaar ME, Osanto S, Rosendaal FR, Huisman MV. Deep vein thrombosis associated with central venous catheters - a review. J Thromb Haemost. 2005 Nov;3(11):2409-19. Epub 2005 Jun 24.

Demgegenüber untersuchen Timsit und Wu nur Erwachsene (64 +/- 15 Jahre und 61 +/- 11 Jahre). Im Ultraschall zeigen sich Thromben bei Timsit in 33% [140] und bei Wu in 56% [141] der Fälle. Nachdem sich der venöse Fluss durch keine der erkannten Thromben gestört zeigt, liegt nach Definition beider Autoren kein Fall einer manifesten Thrombose (0%) vor. In den letztgenannten Arbeiten wird der ZVK im Rahmen einer chirurgischen Intervention gelegt ohne Fokus auf hämatologische oder onkologische Vorerkrankungen. Die genannten Gründe machen die niedrige Rate manifester Thrombosen bei Timsit und Wu verständlich [140, 141]. Bei den vier genannten Untersuchungen aus Tabelle 1 liegt der Anteil entdeckter Thromben beim Erwachsenen (33%, 56%) zwar höher als bei Kindern (11%, 18%), aber manifeste Thrombosen werden ausschließlich bei pädiatrischen Kollektiven gefunden (11%, 8%). Insgesamt kommt es bei 5/100.000 Neugeborenen zu einer Thrombose mit dem ZVK als Hauptrisikofaktor [142, 143]. Bezüglich der exakten Höhe des Risikos für ZVK-assoziierte Thrombosen bei schwer erkrankten Kindern besteht keine Einigkeit in der Literatur [139].



Pierce et al. [144] untersuchten 200 beatmungspflichtige Kinder einer Intensivstation auf eine mögliche Reduktion des Thrombose- und Infektionsrisikos durch Heparin beschichtete ZVKs (HB-Gruppe, n=97) gegenüber unbeschichteten ZVKs (NHB-Gruppe, n=103). Thrombosen traten in 0% der HB-Gruppe und 8% der NHB-Gruppe auf, während Infektionen in 4% (HB) und 33% (NHB) auftraten. Bei den zwei randomisierten Gruppen (HB/NHB) zeigte sich kein signifikanter Zusammenhang von Auftreten einer Thrombose und Patientenalter (1Tag bis 16 Jahre), Gewicht, ZVK-lage, Infusat oder Punktionsort. Auch wenn eine hohe Odds ratio (6,7; P=0,11) für das Auftreten einer Thrombose bei Kindern mit Gewicht <5kg und Zugang über ein Halsgefäß beschrieben wird, erreicht die Interaktion aufgrund der ungleichen Verteilung der Punktionsorte (femoral > zervikal) keine statistische Relevanz [144].

Thrombosen können während der ZVK liegt sowie nach dessen Entfernung auftreten, wobei interessanterweise das Risiko laut einigen Autoren [139, 141] 4 Tage nach Punktion am größten ist, unabhängig davon ob der ZVK noch in situ liegt oder bereits entfernt ist. Zu bedenken gibt Timsit [109], dass das Risiko einer Katheter-assoziierten Sepsis laut seiner Studie 2,6-fach häufiger bei Patienten mit Thrombose auftrat. Ryan et al berichten eine Inzidenz von 7% für Kathetersepsis in einer prospektiven Studie über ZVKs im Rahmen der parenteralen Ernährung bei 200 Patienten [110].

Das Senken möglicher Risiken bei der ZVK-Einbringung ist weiterhin das Ziel zahlreicher Studien, da Komplikationen trotz technischen Fortschrittes noch nicht ganz zu verhindern sind.

Bailey et al. konstatieren eine Komplikationsrate von 9%, wovon 81% eine inkorrekte Lage darstellten. In Tabelle 2 werden 8 Arbeiten hinsichtlich Komplikationen bei der ZVK-Anlage verglichen: durchschnittliches Risiko für Pneumothorax 1,4%, arterielle Punktion 2,9% und inkorrekte Katheterlage 6,9%. [77]

Autor	Jahr	Anzahl	Zugang	Pneumothorax(%)	art. Punktion (%)	Fehllage (%)
Padberg	1981	175	SC/IJ	3	NR	11,5
Eisenhauer	1982	554	SC/IJ	0,5	1,1	3,6
Sitzman	1985	263	SC	2,3	3,8	3,8
Fares	1986	225	SC	1,8	0,9	4,4
Mansfield	1994	821	SC	1,5	3,7	6
Nevarre	1997	178	SC/SC	0,5	NR	0,5
Yilmazer	1997	1303	SC/IJ/EJ	0,5	5,2	11,2
Gladwin	1999	107	IJ	1	NR	14
<b>Gesamt</b>		<b>3626</b>		<b>1,4 (Mittelwert)</b>	<b>2,9 (Mittelwert)</b>	<b>6,9 (Mittelwert)</b>

SC=V. subclavia, IJ=V. jug. Interna, EJ=V. jug. Externa, SC/SC= supraclaviculär in V. subclavia

**Tab. 2: Verteilung ZVK-assoziiierter Komplikationen aus Arbeiten von 1981 -1999**

Bailey SH, Shapiro SB, Mone MC, Saffle JR, Morris SE, Barton RG. Is immediate chest radiograph necessary after central venous catheter placement in a surgical intensive care unit? Am J Surg. 2000 Dec;180(6):517-21; discussion 521-2.

Oben aufgeführte Arbeiten schlossen meist Erwachsene in ihre Patientenkollektive ein. Housseinpour et al. untersuchten hingegen 100 Neugeborene bezüglich der Komplikationsrate von EKG-gesteuerten ZVK-Anlagen über die rechte Vena Jugularis interna via Seldingerdraht-Technik: 5% arterielle Punktion, 8% Migration, 8% Tunnelleckage, kein Pneu- oder Hämatothorax, keine Arrhythmien. Die Nachuntersuchung nach 6 Monaten ergab eine unveränderte vollständige Durchgängigkeit der punktierten Venen in 84% der Fälle [135].

In den letzten Jahren gelang es einigen Autoren gewisse Faktoren herauszufiltern, die ein erhöhtes Risiko für Komplikationen bei der Anlage eines ZVK mit sich bringen sollen. Extreme Patienten-BMI-Werte (dünn/dick) [81], geringe berufliche Erfahrung des Arztes sowie die Anzahl der Punktionsversuche ( $\geq 3$ ) [77] sind laut Abood et al. [74] mit einem erhöhten Risiko für das Eintreten einer Fehllage des ZVKs (3%) oder für Komplikationen wie einem Pneumothorax (2%) assoziiert. Ein Winkel zwischen ZVK-Spitze und Cavawand größer  $40^\circ$  stellt ein weiteres entscheidendes Komplikationsrisiko dar. Sowohl invitro Studien [40] wie auch klinische Berichte [69, 111] zeigen ein steigendes Perforationsrisiko mit der Größenzunahme des Winkels, die der ZVK mit der Venenwand bildet.

Linksseitige ZVKs stellen dabei ein besonderes Risiko dar, weil die linke Brachiocephalvene einen beinahe rechten Winkel mit der Vena cava superior eingeht [39]. Daher neigen ZVKs von links dazu die laterale Gefäßwand der Vena cava superior zu berühren. Das damit verbundene höhere Perforationsrisiko ist laut Vesely [129] gut dokumentiert. Er bezieht sich hier auf folgende drei Untersuchungen: Tocino et al. [41] berichten von insgesamt 9 aufgetretenen Perforationen der Vena cava superior, 8 von 9 ZVKs waren über die linke Patientenseite eingebracht. Bei Duntley et al. [148] waren 7 von 8 Gefäßperforationen durch linksseitig eingebrachte ZVKs aufgetreten. Mukau et al. [69] untersuchten 1058 Katheteranlagen auf einen Zusammenhang von Perforationsrisiko und Punktionsseite sowie Katheterdurchmesser (14 oder 16 Gauge). Perforationen der Vena cava superior traten in 0,4% aller Fälle auf und waren ausschließlich über die linke Patientenseite ( $p=0,05$ ) mit großem Katheterdurchmesser (14 Gauge,  $p<0,01$ ) anzutreffen. Als Zugangswege war die Vena subclavia rechts in 53% der Fälle und die Vena subclavia links in 47% der Fälle gewählt worden. [69]

In der Literatur finden sich keine aktuellen Arbeiten, die den Zusammenhang zwischen ZVKs

und Perforationsrisiko über die linke Patientenseite untersuchen. Vielmehr handelt es sich um Einzelfallberichte, wie beispielsweise den von Jost et al. [149] beschriebenen Fall einer Perforation der Vena cava superior durch einen linksseitig eingebrachten ZVK aus dem Jahre 2008. Hier wird als Beleg für das erhöhte Risiko einer Gefäßperforation bei ZVKs von links auf die Arbeiten von Mukau et al. [69] und Duntley et al. [148] verwiesen.

Nachdem die Komplikationsraten trotz fallender Tendenz in den letzten Jahren noch immer nicht gänzlich aus der Diskussion um die sichere ZVK-Einbringung verschwunden sind, ist man um jedes hilfreiche Verfahren zur Komplikationsreduktion dankbar [35]. Die in den meisten Häusern verfügbaren und sehr beliebten Lagekontrollverfahren, sind aktuell die intravasale Elektrokardiographie und das Röntgen. Beide Verfahren werden routinemäßig bei operativen Eingriffen der Abteilung für Pädiatrische Neurochirurgie des Universitätsklinikums Würzburg angewendet.

## 2. Ziele der Arbeit

Vor dem Hintergrund der aktuellen Diskussion um den tatsächlichen Ort, den das EKG beim Vorschieben des Katheters durch den P-Wellenanstieg detektiert, sollen hierzu retrospektiv die Daten eines reinen pädiatrischen Patientenkollektivs (Patienten zur Operation in der pädiatrischen Neurochirurgie) des Universitätsklinikums Würzburg ausgewertet werden.

In der Klinik für Anästhesiologie der Universität Würzburg wurden bei pädiatrischen Patienten zur mikrochirurgischen Operation alle ZVKs nach einem einheitlichen Verfahren gelegt. Unter sonographischer Punktionskontrolle wurde der ZVK soweit vorgeschoben, dass Pmax erkennbar war und dann bis zur Normalisierung der P-Welle zurückgezogen, um eine Lage des ZVKs außerhalb des Herzens sicherzustellen.

Alle ZVKs wurden postoperativ mittels a.p. Röntgenbild des Thorax kontrolliert.

Die Ziele dieser Arbeit sind:

1. Ermittlung der exakten Lage des ZVK im a.p. Röntgenbild
2. Vergleich der Fehllagerate der Zugangswege (Vena jugularis interna/Vena subclavia)
3. Vergleich der Fehllagerate links/rechts
4. Einfluss von Alter, Geschlecht und BMI

Folgende Hypothesen werden untersucht:

1. Der Rückzug des Katheters von Pmax führt zu vermehrt hohen Katheterlagen.
2. Die Punktion von links führt zu einer größeren TC-Distanz als von rechts.
3. Je jünger der Patient ist, desto höher ist die Fehllagerate.
4. ZVKs von links führen zu einer höheren Fehllagerate im Sinne eines Impingementwinkels  $>40^\circ$ .

## **3. Material und Methoden**

### **3.1 Patienten**

Das Studienprotokoll über die retrospektive Auswertung wurde bei der Ethikkommission der Universität Würzburg eingereicht und befunden, dass kein Ethikkommissionsantrag gestellt werden muss [153].

Die dieser Arbeit zugrunde liegenden zentralvenösen Katheter wurden von einem Arzt der Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie vor Operationen von Patienten in der Abteilung für Pädiatrische Neurochirurgie des Universitätsklinikums Würzburg gelegt. Es wurden 155 Anlagen zentralvenöser Katheter in die Studie eingeschlossen, die pädiatrische Patienten in der Neurochirurgie als Routinemaßnahme erhalten hatten. Die Einbringung erfolgte mit Hilfe intravasaler EKG-Steuerung. Sämtliche Punktionen wurden von dem gleichen, erfahrenen Anästhesisten mittels Ultraschall durchgeführt. Postoperativ wurden alle Patienten auf die Kinderintensivstation verlegt und dort wurde eine bettseitige ap-Thorax-Röntgenaufnahme angefertigt (n=155). Diese routinemäßig angefertigten Röntgenbilder wurden im Rahmen dieser Studie genauer vermessen und auf die Katheterlage hin analysiert. Diese retrospektive Auswertung wurde in der Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie des Zentrums für Operative Medizin (ZOM) der Universität Würzburg durchgeführt. Desweiteren wurden Alter, Geschlecht, gewählter Zugangsweg, Patientengröße und Gewicht erfasst. Aus Größe und Gewicht wurde der entsprechende BMI-Wert errechnet. Kein Patient war durch die Untersuchung einer zusätzlichen Belastung ausgesetzt.

### **3.2 Demographie**

Im Zeitraum von Dezember 2007 bis Juni 2009 wurden 155 Kinder in die Untersuchung eingeschlossen. Davon erhielten 137 Patienten den Katheter über die rechte Vena jugularis interna, 9 Patienten über die linke Vena jugularis interna, 2 Patienten über die rechte Vena subclavia und 7 Patienten über die linke Vena subclavia. In die Studie wurden 87 Jungen und 68 Mädchen im Alter von 0 bis 14 Jahren eingeschlossen. Es wurden keine Patienten von der Untersuchung ausgeschlossen.

### 3.3 Methodik

Zugangswege für die ZVK-Anlage waren die Vena jugularis interna und die Vena subclavia auf der rechten oder linken Patientenseite. Bei jedem Patienten wurden je zwei Verfahren zur Überprüfung der intravasalen Lage des Katheters und schließlich je zwei Methoden zur Bestimmung der Katheterspitze angewendet.

Um die intravasale Lage sicherzustellen wurde der Punktionsprozess mit Hilfe des Ultraschalls visualisiert und nach Punktion der Vene Blut aspiriert. Zur Lagekontrolle der Katheterspitze wurde ein intravasales EKG über einen Seldinger-Führungsdraht während des Kathetervorschubs abgeleitet. Schließlich erfolgte auf der Kinderintensivstation eine postoperative ap-Röntgenaufnahme des Thorax. Das Röntgenbild wurde dann im Picture Archiving & Communication System (PACS) bezüglich der Katheterspitzenlage analysiert. Als korrekt wurde eine Position der Katheterspitze in der Vena cava superior oder an ihrem Übergang zum rechten Atrium gewertet, ein paralleler Verlauf ( $<40^\circ$ ) innerhalb der Vena cava superior vorausgesetzt. Eine Malposition oder Fehllage des Katheters wurde definiert als Mündung der Katheterspitze in einem aberranten Gefäß, zu hoch ( $>2\text{cm}$  oberhalb der Carina), zu tief im Vorhof ( $>1\text{cm}$  unterhalb der Carina und zusätzlich  $>1\text{cm}$  unterhalb des Überganges der Vena Cava superior in den rechten Vorhof) oder mit einem Impingementwinkel  $>40^\circ$  zur lateralen Wand der Vena cava superior.

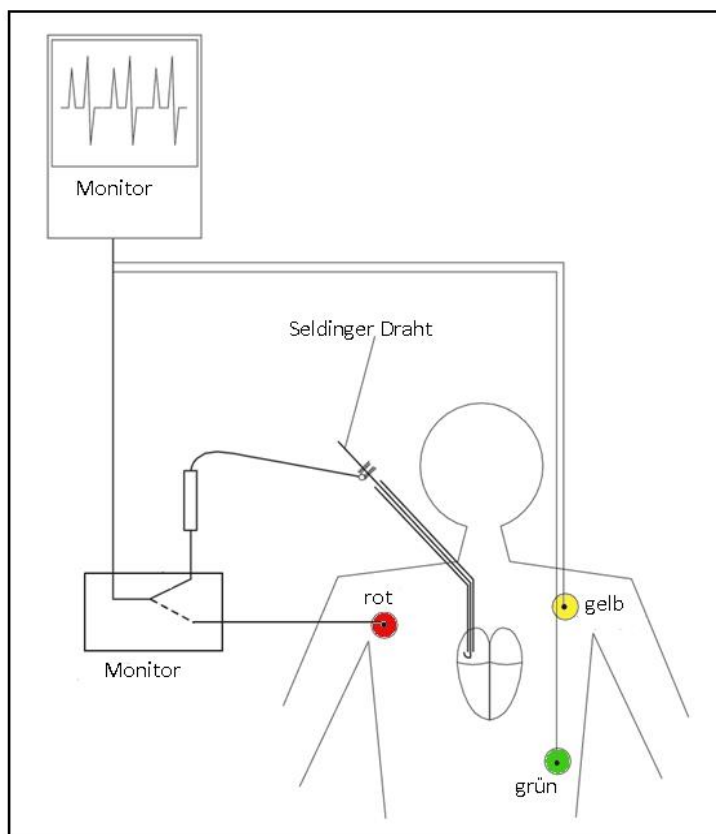
Aufgrund des weiten Weges von der Kinderklinik zur Neurochirurgie erhielten die Kinder generell keine Prämedikation. Nach Narkoseeinleitung und endotrachealer Intubation erfolgte die Lagerung der Patienten zur Anlage des zentralvenösen Katheters.

Zur bestmöglichen Füllung der Halsvenen wurden die Kinder in eine Trendelenburg-Position von maximal  $20^\circ$  gebracht. Mit einer Rolle unter der Schulter und extendiertem Nacken wurde der Kopf in Kopftieflage um  $15\text{-}45^\circ$  von der Zugangsseite weggedreht.

Zur Visualisierung des Punktionsprozesses diente bei allen Kindern ein Ultraschallgerät (Philips Sonos 5500) mit einem kleinen, linearen Schallkopf (10-13 MHz), um eine möglichst hohe Auflösung bei niedriger Eindringtiefe zu gewährleisten. Zur Darstellung der Jugularvene wurde mit quer zur Gefäßverlaufsrichtung aufgesetztem Schallkopf das vom Musculus sternocleidomastoideus gebildete Dreieck aufgesucht. Für Zugänge über die Vena subclavia wurde der Verlauf der Jugularvene zunächst bis zum Konfluenz mit der Subclavia weiterverfolgt, dann der Schallkopf supraclavikulär aufgesetzt und von infraclavikulär punktiert. Die Punktion erfolgte unter sterilen Bedingungen in Seldinger-Technik bei allen

Kindern durch den gleichen Anästhesisten (Facharzt mit langjähriger Erfahrung in der Kinderanästhesie) über die Vena jugularis interna oder die Vena subclavia.

Der Nadelpunktion und Blutaspiration folgten dann die Einbringung eines Führungsdrahtes, dem sogenannten Seldingerdraht, und die komplette Entfernung der Nadel. Nach dem Setzen einer kleinen Hautinzision wurden ein Venendilatator und schließlich der Katheter über den Führungsdraht in die Vene vorgeschoben. Zum Einsatz kamen ausschließlich latexfreie Polyurethan-ZVKs (Arrow® 2-Lumen-ZVK (Pädiatrie) mit BlueFlex®-Tip, Länge 13cm, 4 oder 5 French) mit 4 French bis zum Erreichen des ersten Lebensjahres und 5 French bei Patienten nach dem ersten Lebensjahr. Der im Katheterset enthaltene Seldingerdraht (.018 inch x 45 cm) wurde mittels Krokodilklemme über ein Verbindungskabel mit einem Certodyn® Universaladapter (B. Braun Melsungen AG, Melsungen, Deutschland) verbunden. So konnte zwischen intravaskulärem EKG über Seldingerdraht und EKG von der



**Abb. 6: schematische Präsentation der intraatrialen elektrographischen Ableitung via Seldingerdraht**

Simon L, Teboul A, Gwinner N, Boulay G, Cerceau-Delaporte S, Hamza J. Central venous catheter placement in children: evaluation of electrocardiography using J-wire. Paediatr Anaesth. 1999;9(6):501-4.

Hautoberfläche (siehe Abbildung 6) gewechselt werden.

Zunächst wurde der Seldingerdraht als unipolare Elektrode im Katheter genutzt. Das sterile Verbindungskabel wurde an diesem Punkt an den Draht geklemmt und über den Adapter ein intravaskuläres EKG abgeleitet. Als nächstes wurde der Katheter gemeinsam mit dem

Seldingerdraht vorgeschoben, bis eine Erhöhung der P-Welle (siehe Abbildung 7) festgestellt wurde.



**Abb. 7: wachsende P-Welle (Pfeil nach oben) während des Kathetervorschubs und Ort der Katheterfixierung (Pfeil nach unten).** Simon L, Teboul A, Gwinner N, Boulay G, Cerceau-Delaporte S, Hamza J. Central venous catheter placement in children: evaluation of electrocardiography using J-wire. Paediatr Anaesth. 1999;9(6):501-4.

Dann wurden Katheter und Führungsdraht schrittweise fast bis zur Normalisierung der p-Welle zurückgezogen. Am Beginn des P-Wellenzuwachses wurden die ZVKs nach Prüfung auf freie Aspiration und Entfernung des Führungsdrahtes fixiert, um eine Katheterspitzenlage außerhalb des Herzens in der tiefen Vena cava superior zu sichern.

Anhand der direkt postoperativ auf der Kinderintensivstation routinemäßig durchgeführten ap-Röntgen-Thorax-Bettaufnahme erfolgte eine nochmalige Lagekontrolle. Zwischen Ende der Operation und Röntgenaufnahme lagen aufgrund des Transports aus der Neurochirurgie in die Kinderklinik erfahrungsgemäß zwischen 30 und 60 Minuten.

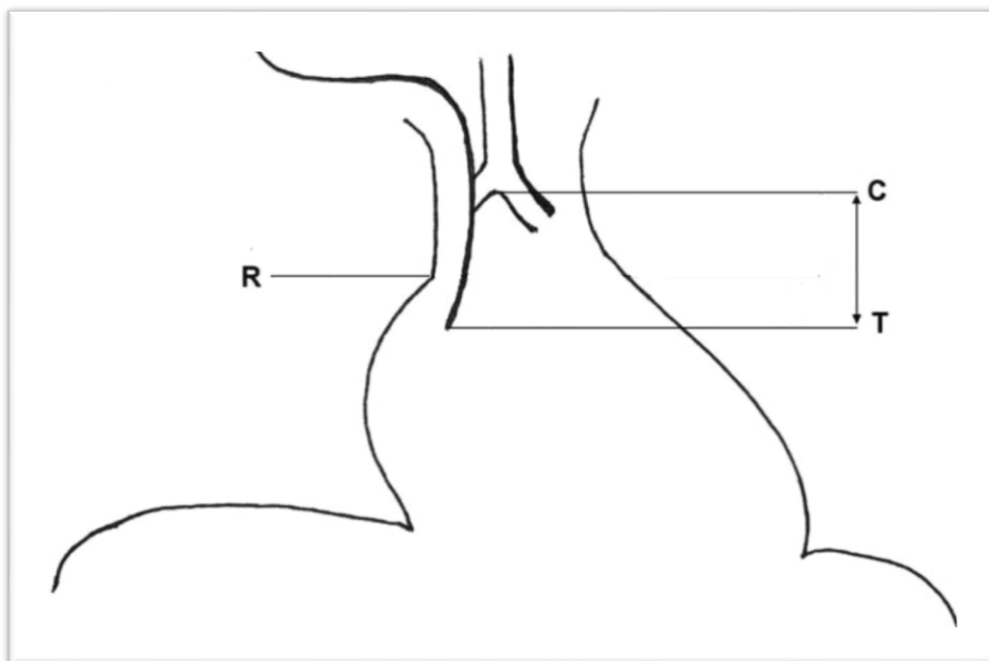
Die digitale Auswertung der Röntgenaufnahmen erfolgte mit Hilfe des Patient Archiving and Communication Systems (PACS, Image Devices GmbH, Idstein, Deutschland). Als radiologischer Übergang der Vena cava superior in den rechten Vorhof wurde die Spitze des konkaven Schattens angenommen, welcher durch die Überlagerung der distalen Vena cava superior und dem rechten Atrium entsteht [72, 112]. Nachdem das Perikard auf einer gewöhnlichen Röntgenaufnahme des Thorax nicht zu sehen ist, wurde die von vielen Autoren empfohlene Carina als verlässliche Landmarke [31, 34] zur Lagekontrolle auf Positionierung der ZVK-Spitze außerhalb des Herzens gewählt. Den geltenden Richtlinien bezüglich der wünschenswerten Position der Katheterspitze entsprechend, wurden Katheter als korrekt liegend bezeichnet, die möglichst tief in der Vena cava superior noch außerhalb des Herzens lagen. Aufgrund der in explorativen Studien dokumentierten räumlichen Nähe der Carina zum Perikardsack von durchschnittlich 0,4cm [31] bis 0,5cm [136] wurden ZVKs in dieser Arbeit, deren Entfernung maximal +/- 0,5cm von der Carina (TC-Distanz) betrug, als



„auf Carina-Ebene liegend“ bezeichnet. Die TC-Distanz ist der entscheidende Messwert für die Auswertung dieser Arbeit. Inagawa et al untersuchten den Abstand von Carina zu perikardialer Reflektion bzw. perikardialer Umschlagfalte an den Leichen von Neugeborenen. Die perikardiale Umschlagsfalte zeigte sich zwischen 4mm oberhalb bis 5mm unterhalb der Carina gelegen und markierte den rechten Vorhof. Der Abstand von Carina zu Perikard war ohne Zusammenhang mit Patientengröße, -gewicht oder -alter. [136]  
Am Erwachsenen tolerieren Wirsing et al. eine TC-Distanz bis zu 55mm [113].

Um den Abstand von Katheterspitze zu Carinaniveau (TC-Distanz) zu erhalten wurde im PACS jeweils eine Parallele durch die Carinaebene und durch die Katheterspitze gezogen und der Abstand durch eine dritte Gerade im rechten Winkel durch die beiden Parallelen bestimmt. Um die Messgenauigkeit zu erhöhen, wurden alle 155 Röntgenbilder in drei zeitlich getrennten Messzyklen ausgewertet. Damit sollten subjektive Fehler des Untersuchers minimiert werden, da die Kenntnis des zuletzt erzielten Messwertes die erneute Messung beeinflussen könnte.

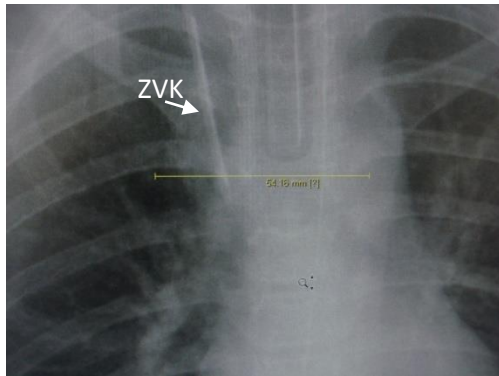
Danach wurde für jeden Katheter dreifach in wahlloser Reihenfolge der jeweilige Mittelwert der TC-Distanz ermittelt und in Zentimetern (mit einer Dezimalstelle nach dem Komma) angegeben.



**Abb. 8:** Skizzenhafte Darstellung einer ap-Röntgenthoraxaufnahme zur Vermessung der TC-Distanz eines Katheters, der den Übergang (R) von Vena cava superior und rechtem Vorhof passiert hat.

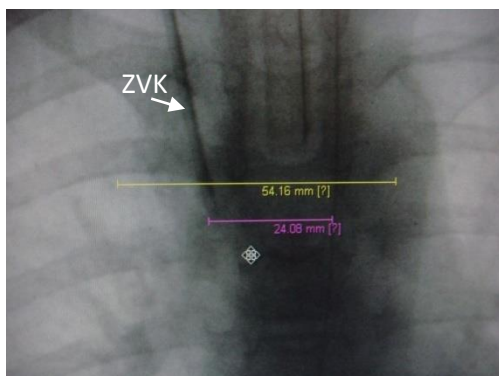
Hsu JH, Wang CK, Chu KS, Cheng KI, Chuang HY, Jaw TS, Wu JR. Comparison of radiographic landmarks and the echocardiographic SVC/RA junction in the positioning of long-term central venous catheters. Acta Anaesthesiol Scand. 2006 Jul;50(6):731-5.

Die Identifikation der Carina am Thoraxröntgenbild erfolgte im PACS durch Bildvergrößerung und teilweise Invertierung, d.h. Wechsel von schwarz- auf weissbetonte Darstellung. Als Spitze eines gedachten Dreiecks zwischen den beiden Hauptbronchen wurde die Carina aufgesucht, wie in Abbildung 8 skizziert und auf Foto 1 veranschaulicht. Mit einem Lineal-Grafikwerkzeug wurde zunächst eine Linie durch die Carina gezeichnet.



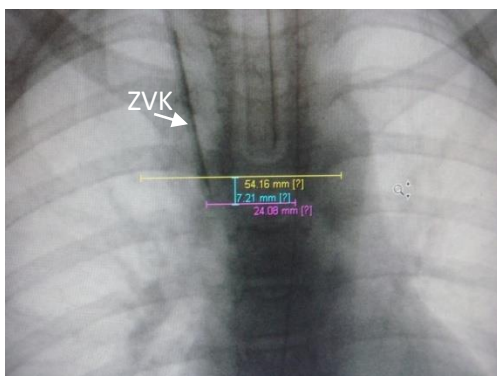
**Foto 1:**  
Röntgenaufnahme des Thorax im PACS, Originalaufnahme. Gerade (gelb) durch Carina.

Danach wurde mit dem gleichen Werkzeug eine Parallele durch die ZVK-Spitze gezeichnet (Foto 2). Die Spitze des ZVKs konnte gegebenenfalls durch Vergrößerung des Bildausschnittes und/oder Farbinvertierung leichter identifiziert werden.



**Foto 2:**  
Gerade (lila) parallel zum Carinaniveau (gelb) durch ZVK-Spitze. Originalaufnahme, zur genauen Lokalisation der ZVK-Spitze wurden die Farben invertiert.

Im dritten Schritt wurde dann eine Senkrechte zwischen die beiden Parallelen (Carinaniveau und Katheterspitze) gezeichnet und so der Abstand zwischen Carinaniveau und ZVK-Spitze gemessen, die sogenannte TC-Distanz (Foto 3).



**Foto 3:**  
senkrechte Gerade (türkis) zwischen den beiden Parallelen misst Abstand der ZVK-Spitze zur Carina (TC-Distanz). Originalaufnahme, zur genauen Lokalisation der ZVK-Spitze wurden die Farben invertiert.

Dann wurde noch der Winkel zwischen Katheterspitze und lateralen Cavawand im PACS ermittelt und gemäß den Empfehlungen aus der Literatur [40, 69, 111] ab einem Winkel  $>40^\circ$  als Fehllage gewertet.

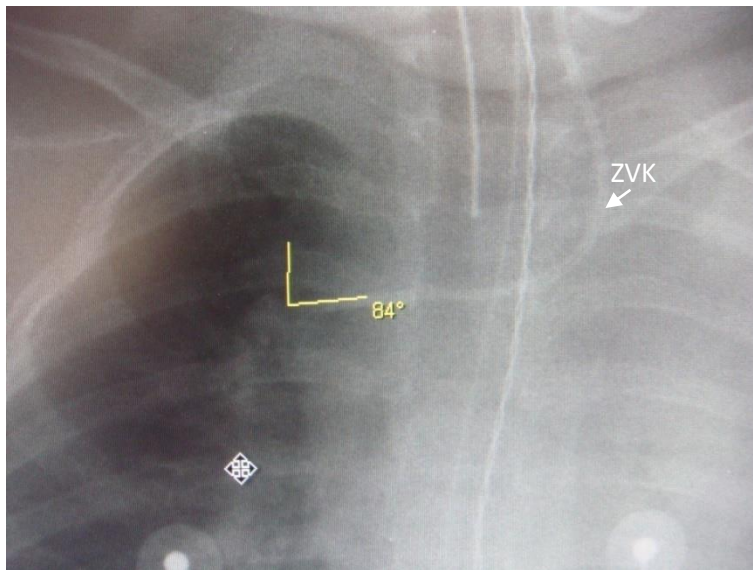


Foto 4: Fehllage durch starke Winkelbildung ( $84^\circ$ ) zwischen ZVK und lateraler Wand der Vena cava superior

Es wurde des Weiteren festgehalten, wenn sich der ZVK tiefer als 1cm unterhalb des konkaven Schattens, welcher durch die Überlagerung der distalen Vena cava superior und dem rechten Atrium entsteht, zeigte.

Zur Bestimmung der Genauigkeit der a.p. Röntgenaufnahmen wurde der Außendurchmesser von zwei Tubusgrößen in jeweils drei Röntgenbildern ausgemessen und mit dem echten Außendurchmesser der Tuben verglichen. Die echten Außendurchmesser wurden mittels Messschieber bestimmt. Es ergab sich insgesamt ein durchschnittlicher Vergrößerungsfaktor der Messwerte im a.p. Röntgenbild (PACS) von knapp 8%, das bedeutet weniger als einen Millimeter von einem gemessenen Zentimeter.

Es wurden folgende Daten erfasst:

- Alter, Geschlecht, Größe und Gewicht der Patienten
- Seite und Zugangsweg der Katheteranlage
- Abstand der Katheterspitze zum Messpunkt Carina (bei leicht erhöhter p-Welle im EKG)
- Verlauf des Katheters in Relation zur Wand der Vena cava superior
- Winkel zwischen lateraler Cavawand und Katheterspitze
- Projektion des ZVK  $>1\text{cm}$  unterhalb des Überganges V.cava superior/Vorhof: ja/nein

Die Daten wurden zunächst mittels Kolmogorov-Smirnov-Test auf Normalverteilung überprüft. Danach wurden zunächst die Faktoren Alter, Geschlecht und Punktionsort einzeln im Hinblick auf einen Zusammenhang mit der erreichten ZVK-Spitzenposition einer Varianzanalyse unterzogen. Im Anschluss wurden die gewonnenen Daten auf Interaktionen untereinander untersucht. Aus Größe und Gewicht wurde der BMI errechnet und auf seinen Einfluss auf die Katheterlage hin untersucht. Der Abstand der Katheterspitze zur Carina (TC-Distanz) war die abhängige Variable. Bei der zwei- bzw. mehrfaktoriellen Varianzanalyse war im Gegensatz zur einfaktoriellen Varianzanalyse noch in Haupt- und Interaktionseffekt zu unterscheiden, also zwischen dem isolierten und dem kombinierten Einfluss der Faktoren auf die abhängige Variable. Haupt- und Interaktionseffekte wurden mittels post-hoc-Duncan-Tests auf Signifikanz ( $p=0,05$ ) untersucht.

## 4. Ergebnisse

### 4.1 Korrekte Lage

Der Kolmogorov-Smirnov-Test ergab eine Normalverteilung für den vorliegenden Datensatz. Im postoperativen Röntgenbild zeigte sich entsprechend den Studienkriterien eine korrekte Katheterlage insgesamt in 138 von 155 Fällen (89%). 81 ZVKs stellten sich parallel zum Gefäßverlauf und noch außerhalb des Herzens dar und galten somit als korrekt liegend. Weitere 56 der 155 Katheterspitzen wiesen darüber hinaus eine Entfernung von maximal 0,5 cm zur Carina auf und lagen somit laut der Arbeit von Inagawa et al. etwa auf Höhe der perikardialen Umschlagfalte [136].

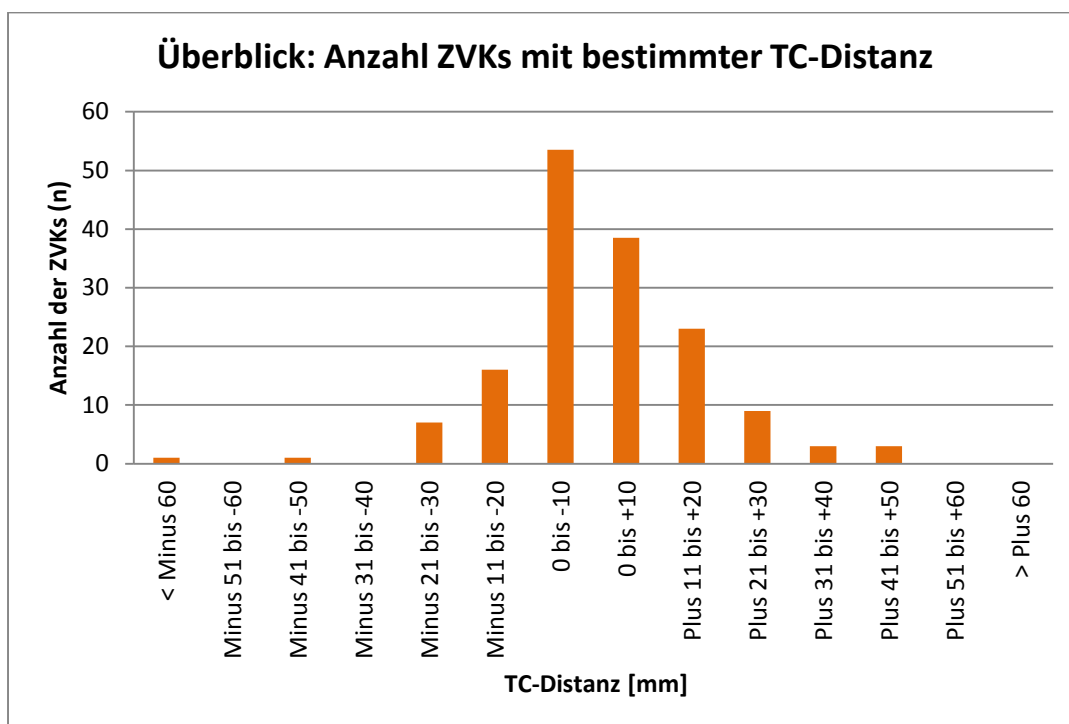


Diagramm 1: gemessener Abstand von Carina zu ZVK-Spitze (TC-Distanz) bei (n) ZVKs  
ZVK-Spitze oberhalb ("Minus") oder unterhalb ("Plus") Carina gelegen

In Diagramm 1 sind die Anzahl (n) an ZVKs mit der jeweils gemessenen TC-Distanz dargestellt. 92 von 155 ZVK-Spitzen (59%) kamen somit mit einem maximalen Abstand von +/- 1cm zur Carina zum liegen.

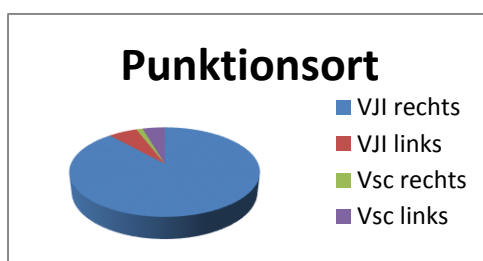


Diagramm 2:

Häufigkeitsverteilung der gewählten Zugangswege dieser Arbeit mit einer Dominanz der rechten V. jugularis interna als Punktionsort

Mit 137 ZVK-Anlagen wurde die rechte Vena jugularis interna als häufigster Zugangsweg

(88,4%) genutzt -gegenüber neun über die linke Vena jugularis interna, zwei über die Vena subclavia rechts und sieben über die Vena subclavia links.

## 4.2 Fehllagen

Insgesamt kam es in den ap-Röntgenaufnahmen des Thorax in 17 Fällen (11%) zu Fehllagen nach EKG-gesteuerter ZVK-Anlage – 8,6% über die rechte (12/139) und 31,3% über die linke (5/16) Patientenseite. Es werden folgende vier Fehllagearten unterschieden:

- Umschlag in ein falsches Zielgefäß (V. subclavia/jugularis interna anstelle V. cava superior)
- Winkelbildung >40° des ZVKs (mit der lateralen Wand der Vena cava superior)
- zu hoch (>2cm oberhalb der Carina)
- zu tief im rechten Vorhof (TC-Distanz >+1cm und ZVK>1cm unterhalb Übergang von Vena cava superior/rechter Vorhof)

Zugang	rechte VJI (n=137)	linke VJI (n=9)	rechte VSc (n=2)	linke VSc (n=7)
Fehllagen	11	3	1	2
Umschlag in Peripherie	1	0	0	1
Winkel >40°	0	2	0	1
zu tief	2	1	1	0
zu hoch	8*	0	0	0

**Tab. 3: Zugangswege und die angetroffenen Fehllagen**

VJI = V. jugularis interna, VSc = V. subclavia, \*nicht korrekturbedürftig

Bei den rechtsseitig eingebrachten ZVKs traten 11 von 12 Fehllagen über die rechte Vena jugularis interna und eine über die rechte Vena subclavia auf. In einem Fall kam es zu einem Umschlag des Katheters in Richtung Peripherie: von der rechten Vena jugularis interna in die Vena subclavia. Nach der Lagekontrolle im Röntgenbild wurde dieser Katheter noch am Operationstag entfernt und ein neuer ZVK über die linke Vena jugularis interna korrekt platziert. In acht Fällen lag die Katheterspitze mit Projektion auf die rechte Clavikula deutlich oberhalb der Carina (>2cm) und damit zu hoch. Korrekturbedürftig waren diese acht allerdings anhand der Dokumentation nicht und somit klinisch nicht relevant. Bei weiteren zwei Fehllagen über die rechte Jugularvene und einem Fall über die rechte Vena subclavia, überschritt der ZVK den Übergang von Vena cava superior und Vorhof deutlich (mehr als 1cm) und zeigte sich zusätzlich >1cm unterhalb der Carina.

Auf dem linken Zugangsweg ereigneten sich drei von fünf Fehllagen über die Vena jugularis interna und zwei über die Vena subclavia. Drei dieser Katheter berührten mit ihrer Spitze die laterale Wand der Vena cava superior und bildeten dabei einen Winkel >40° (48°, 54°, 84°). Darunter befand sich der Katheter über die Vena subclavia sinistra sowie zwei Katheter über die Vena jugularis interna sinistra. Ein Katheter über die linke Vena subclavia schlug um in die Vena jugularis interna sinistra, woraufhin auch hier ein Austausch am gleichen Tag erfolgte. Zu tief im rechten Vorhof zeigte sich ein weiterer Katheter über die linke Jugularvene.

Fehllageart	TC-Distanz [mm]	Geschlecht	Alter [Monate]	Altersgruppe	Punktionsort
	"-"= oberhalb C. "+"= unterhalb C.	m = Junge w = Mädchen		1= 0-12 Monate 2= 13-72 Monate 3= >72 Monate	
<b>zu tief:</b>					
Fall 1	29	m	66	2	VJI rechts
Fall 2	25	w	16	2	VJI rechts
Fall 3	43	m	88	3	Vsc rechts
Fall 4	15	m	6	1	VJI links
<b>Umschlag:</b>					
in Vsc rechts	-17	m	43	2	VJI rechts
in VJI links	-64	m	136	3	Vsc links
<b>Winkel:</b>					
55°	-3	w	21	2	Vsc links
84°	-8	w	15	2	VJI links
48°	-3	m	12	1	VJI links
<b>zu hoch:</b>					
Fall 1	-22	m	34	2	VJI rechts
Fall 2	-48	m	125	3	VJI rechts
Fall 3	-23	w	110	3	VJI rechts
Fall 4	-29	m	6	1	VJI rechts
Fall 5	-25	m	78	3	VJI rechts
Fall 6	-30	w	26	2	VJI rechts
Fall 7	-24	w	18	2	VJI rechts
Fall 8	-28	m	57	2	VJI rechts

**Tab. 4: Die 4 Fehllagearten im Überblick mit den erhobenen Patientendaten**

C. = Carina, VJI = V. jugularis interna, Vsc = V. subclavia

In Tabelle 4 sind die angetroffenen vier Fehllagearten mit den jeweils zugehörigen erhobenen Patientendaten dargestellt. Nachdem wir als Bezugspunkt für eine zu hohe Katheterlage die Carina als Landmarke gewählt haben und die linksseitig eingebrachten ZVKs in der Vena brachiocephalica sinistra nahezu horizontal in der Nachbarschaft der Carina

verlaufen bevor sie auf die Mündung in die Vena cava superior treffen, wurden die drei winkelbildenden ZVKs aufgrund der geringen TC-Distanz nicht zu den zu hohen Fehllagen (2cm oberhalb der Carina) gerechnet.

### 4.3 Statistische Auswertung

Die statistische Auswertung des Datensatzes erfolgte mit dem Computerprogramm SPSS für Windows.

Nach Geschlecht aufgeschlüsselt, traten 11 Fehllagen bei männlichen und 6 Fehllagen bei weiblichen Patienten auf.

	Jungen (n=87)	Mädchen (n=68)
Fehllagen (n)	11	6
0 bis 12 Monate	3	0
13 bis 72 Monate	4	5
> 72 Monate	4	1

Tab. 5: Verteilung von Fehllagen auf Alter und Geschlecht

Jungen waren mit 12,6% (11/87) gegenüber 8,8% bei Mädchen (6/68) häufiger von einer Fehllagerate betroffen als Mädchen. Zu erwähnen ist, dass das weibliche Kollektiv nicht exakt die Hälfte des Gesamtkollektivs stellte, sondern lediglich 43,9% -während die männlichen Patienten 56,1% ausmachten. Es ließ sich kein signifikanter Zusammenhang von Geschlecht und Auftreten einer Fehllage nachweisen.

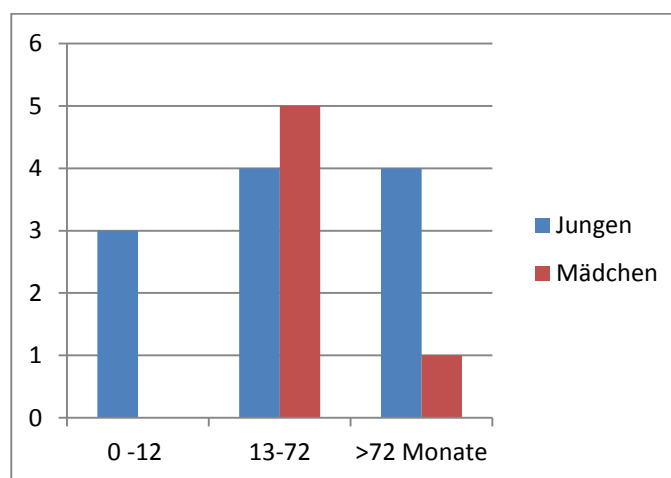


Diagramm 3: Anzahl der Fehllagen auf Alter und Geschlecht verteilt ohne Bezug zur Größe der einzelnen Geschlechtskollektive



Die statistische Analyse der Katheterlage (TC-Distanz) bezüglich Alter, Geschlecht, BMI und Punktionsort ergab folgendes:

Es findet sich kein signifikanter ( $p < 0,05$ ) Haupteffekt des Faktors „Alter“, des Faktors „Geschlecht“, des Faktors „BMI“ oder des Faktors "Punktionsstelle" – bei extrem ungleicher Verteilung zugunsten der rechten V. jugularis interna (137/155).

Es existiert eine Interaktion zwischen Geschlecht und Punktionsstelle mit allerdings niedriger Effektstärke.

Diese basiert deskriptiv auf dem Geschlechtsunterschied für Vena jugularis interna links und Vena subclavia links. Bei den Jungen ist ein signifikanter Effekt der Punktionsstelle der geringen Fallzahl ( $n=1$ ) für die rechte Vena subclavia zuzuschreiben.

Der Ausreißer des ZVKs bei einem Jungen über die rechte Vena subclavia ist nicht für den Interaktionseffekt Geschlecht\*Punktionsstelle verantwortlich zu machen, nachdem der Effekt auch unter Ausschluss der rechten Vena subclavia bestehen bleibt.

Die Punktionsstelle Vena subclavia rechts ( $n=2$ ) ist bei der geringen Fallzahl von Fehllagen von jeweils  $n=1$  nicht interpretierbar, aber auch nicht verantwortlich für eine Interaktion.

Bei der Punktionsstelle Vena jugularis interna dexter ( $n=137$ , damit hohe Aussagekraft) besteht kein Geschlechtsunterschied.

Der mögliche Einfluss des Punktionsortes, des BMI, des Alters und des Geschlechts wurden zusätzlich auf das Auftreten einer Fehllage entsprechend den Definitionen dieser Arbeit untersucht. Dies geschah um auch die drei Fehllagen mit Winkelbildung einzubeziehen, die sich bezüglich der gemessenen TC-Distanz unauffällig gezeigt hatten. BMI und Alter (Monate) wurden mit einer logistischen Regression untersucht, Geschlecht und Punktionsort mit einem Mann-Whitney-U-Test. BMI, Alter und Geschlecht zeigten keinen signifikanten Einfluss auf das Auftreten von Fehllagen. Für den Faktor Punktionsort lieferte die statistische Auswertung einen hochsignifikanter Zusammenhang ( $p < 0,001$ ) auf den erzielten Lagetyp (korrekt/Fehllage). Dieser Effekt beruht jedoch auf der extrem ungleichen Verteilung des Punktionsortes zugunsten der rechten Vena jugularis interna, was die Aussagekraft mindert.

Erstaunlich ist, dass sich trotz Rückzug des Katheters von  $P_{max}$  89% der eingebrachten ZVKs am pädiatrischen Patienten unter den Studienbedingungen korrekt platziert im a.p.

Röntgenbild des Thorax zeigten. Nachdem die acht zu hohen Fehllagen nicht korrekturbedürftig waren, kann von 94,2% korrekt platzierten ZVKs und 5,8% klinisch relevanten Fehllagen gesprochen werden.

Im Chi-Quadrat-Test zeigt sich, dass hier signifikant mehr korrekte ZVK-Positionen erreicht wurden als ursprünglich erwartet wurde ( $p < 0,001$ ,  $\text{Chi}^2 = 94,46$ ).

Betrachtet man allein die rechte V. jugularis interna (mit  $n = 137$  häufigster Zugangsweg) zeigten sich hier sogar knapp 98% der ZVKs (134/137) ohne Korrekturbedarf.

Klinisch relevante Fehllagen: Zu tief im rechten Vorhof landeten 2,5% der Katheter und dies überwiegend bei ZVKs über die rechte Patientenseite. Ein Umschlag in ein falsches Gefäß zeigte sich in 1,3% der Röntgenbilder unabhängig von der Patientenseite. In 2% kam es zur Bildung eines Impingementwinkels  $> 40^\circ$  und dies hoch signifikant häufiger bei ZVKs über die linke Patientenseite als über die rechte Seite ( $p = 0,001$ ,  $\text{Chi}^2 = 26,58$ ).

## 5. Diskussion

Trotz sinkender Komplikations- und Fehllageraten ist man sich in der Literatur einig, dass gerade die Anlage zentralvenöser Katheter am pädiatrischen Patienten selbst für erfahrene Anästhesisten immer noch eine besondere Herausforderung darstellt [27, 114, 115]. Zur Visualisierung des Punktionsprozesses und weiteren Senkung der Komplikationsrisiken, wie beispielsweise der versehentlich arteriellen Punktion, empfehlen zahlreiche Autoren den Ultraschall [5, 29]. Seit 2002 hat die Ultraschallkontrolle als Hilfsmittel im Rahmen der ZVK-Einbringung auch Einzug in die Empfehlungen des National Institute of Clinical Excellence (NICE) Großbritanniens erhalten [116].

Durch einen erfahrenen Arzt der Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie erfolgte die Punktion zur Einbringung von ZVKs in der Abteilung für Pädiatrische Neurochirurgie des Universitätsklinikums Würzburg stets unter Ultraschallkontrolle, so dass bei allen 155 in dieser Arbeit eingeschlossenen Kindern dieses Standardverfahren angewendet wurde.

Neben dem Aufsuchen anatomischer Hilfsstrukturen, der Visualisierung des Punktionsprozesses und dem Durchführen klinischer Tests zur Bestätigung der intravasalen Lage, kommt der Lagekontrolle der Katheterspitze bei der Einbringung eine ganz zentrale Rolle zu. Die intravasale Elektrokardiographie hat sich in den letzten Jahrzehnten als ein für den Anwender zuverlässiges und kosteneffektives Mittel zur Überprüfung der Lage während des Kathetervorschubs etabliert [52, 62-66].

Auch bei extrem Frühgeborenen können Korrekturen des Katheters sofort ohne großen Aufwand unter hygienisch optimalen Bedingungen durchgeführt werden [20].

Die Ableitung des intravasalen EKGs erfolgte in dieser Studie bei allen Kindern über einen Führungsdraht. Das ursprünglich als ableitende Elektrode gängige flüssigkeitsgefüllte Katheterlumen erwies sich trotz erfolgreichem Einsatz im neonatologischen Bereich [51, 115, 117] dem Seldingerdraht im Direktvergleich unterlegen [65, 118, 119, 150].

Da in der Kinderklinik des Universitätsklinikums Würzburg nach neurochirurgischen Eingriffen routinemäßig eine ap-Röntgenthorax-Aufnahme durchgeführt wird, war es uns möglich ein großes pädiatrisches Patientenkollektiv zu analysieren. Die retrospektive Betrachtung eines vorher nicht randomisierten Patientenkollektivs war der Anlass für einen deskriptiven Aufbau der Studie.

Der Einsatz der radiologischen Lagekontrolle ist ein viel diskutiertes Thema in der Literatur. Das Röntgen gilt als Goldstandard zur Kontrolle der Katheterspitze laut Klockgether [43]. In den letzten Jahren wird von einigen Autoren die Notwendigkeit der Röntgenthoraxaufnahme nach komplikationslosen Katheteranlagen und einem gesicherten ‚P-atriale‘ im intravasalen EKG kritisch hinterfragt oder eingeschränkt [48, 65, 67, 68, 120].

Demgegenüber betont die Mehrheit der Autoren die Notwendigkeit der Röntgenaufnahme [43, 74, 79, 101, 121-123] nach ZVK-Anlage, insbesondere bei ZVKs über die linke Patientenseite [36] oder am pädiatrischen Patient [3]. Die in dieser Arbeit ermittelten Fälle mit Winkelbildung bei ZVKs von links sowie die im intravasalen EKG unentdeckt gebliebenen Fehllagen unterstützen diese Empfehlung.

Zur Beurteilung der Katheterlage im Röntgenbild finden sich in der Literatur zahlreiche Empfehlungen bezüglich geeigneter Hilfsstrukturen. Laut Greenall et al. [32] soll der Katheter maximal 2cm unterhalb der Untergrenze der Schlüsselbeine zum Liegen kommen, weil diese mit dem Beginn der Vena cava superior übereinstimmen. Collier et al. [30] empfehlen eine Katheterlage außerhalb der Herzsilhouette in der Vena cava superior. Schuster kritisiert jedoch, dass bei ap-Thoraxaufnahmen mit mobilen Röntgengeräten der Film am liegenden Patienten näher an der Strahlenquelle läge als bei stehenden Patienten. Folglich würden sich anteriore sowie periphere Strukturen des Patienten vergrößert darstellen. Dieses Phänomen wird auch als Parallaxe-Effekt bezeichnet [31].

1998 konnten Aslamy et al. [124] in einer MRT-Studie nachweisen, dass die oben genannten Orientierungspunkte aufgrund ihrer Lagebeziehung zur Vena cava superior einem deutlichen Parallaxe-Effekt unterliegen. Durch den Parallaxe-Effekt und Variationen in der radiologischen Aufnahmetechnik können 20-47% der ZVKs in der klinisch-radiologischen Routine als im rechten Vorhof fehlinterpretiert werden [45]. In dieser Arbeit wurden die Röntgenbilder mit Fehllagen zusätzlich einem Radiologen der Universitätsklinik Würzburg vorgestellt und auf diesem Wege zwei der ursprünglich sechs zu tiefen Katheterpositionen als zu tief fehlinterpretiert herausgefiltert. Nachdem die Auswertung der Ergebnisse erst nach Verifizierung der Fehllagen durch den Radiologen erfolgte, wurde ein negativer Einfluss des Parallaxe-Effektes auf die Ergebnisse dieser Arbeit minimiert.

Um diesen Effekt zu umgehen, schlugen Rutherford et al. den Winkel zwischen rechtem Hauptbronchus und Trachea als verlässliche Hilfsstruktur vor [125]. Aslamy et al. waren der gleichen Meinung und präzisierten die Empfehlung für die korrekte Spitzenlage des ZVK als

maximal 2,9cm caudal des rechten Tracheobronchialwinkels, der aufgrund seiner Nähe zur Sagittalebene der Vena cava, den Parallaxe-Effekt minimiere [124].

Nachdem das Perikard auf einer gewöhnlichen Röntgenaufnahme des Thorax nicht zu sehen ist, empfehlen Schuster und Stonelake in ihren Studien die Carina als verlässliche Landmarke. Durch ihre zentrale Lage im Röntgenbild und dem geringen longitudinalen Abstand zum Perikard, der nicht mit der Größe des Patienten korreliert, beschränke die Carina sogar den unerwünschten Parallaxe-Effekt auf ein Minimum [31, 34].

Nachdem sich die Carina im Gegensatz zum Tracheobronchialwinkel in allen Röntgenbildern dieser Arbeit darstellen ließ, wurde sie zum maßgeblichen Bezugspunkt für diese Arbeit.

Es wurden die Faktoren Patientenalter, Geschlecht, gewählter Zugangsweg und BMI in dieser Arbeit auf einen Zusammenhang mit Fehllagen untersucht.

Aufgrund der ungleichen Anzahl an Jungen (87) und Mädchen (68) entstand kein signifikanter Zusammenhang zwischen Geschlecht und Fehllagerate.

Alter [Monate]	Geschlecht	Fehllagenanzahl
0-12	m	0
	w	3
13-72	m	4
	w	5
>72	m	4
	w	1

Tab. 6: Fehllagenanzahl versus Alter/Geschlecht

Mit einem Anteil von über 50% war der Großteil der Fehllagen pro Altersgruppe bei Kleinkindern (13 - 72 Monate) zu beobachten. Der in der Literatur beschriebene Zusammenhang zwischen Alter und Fehllagerate [5, 27] erreichte in dieser Arbeit kein Signifikanzniveau. Somit wurde die Hypothese nicht bestätigt, die Fehllagerate sei höher je jünger der Patient ist. Grebenik [5] betont in seiner Studie, dass in seinem pädiatrischen Patientenkollektiv fast alle ZVK-assoziierten Probleme bei Kindern auftraten, die weniger als ein Jahr alt und weniger als 10kg schwer waren. 124 Kinder (0-8Jahre) wurden zur ZVK-Anlage vor einem operativen Eingriff am Herzen über die rechte Vena jugularis interna via Ultraschall oder Orientierung an anatomischen Landmarken punktiert (beides mit Seldingerdraht). Bei Kindern, die älter als 2 Jahre sind, seien Komplikationen wie Gefäßperforation weniger häufig zu erwarten, weil die Zielvene größer ist [5]. Das statistische Ergebnis der vorliegenden Studie steht somit im Gegensatz zu den oben

genannten Studien. Erstaunlich ist, dass bei Säuglingen in unserer Studie am wenigsten Korrekturen notwendig waren, obwohl diese Altersgruppe laut Autoren wie Grebenik et. al besonders zu Fehllagen neigen.

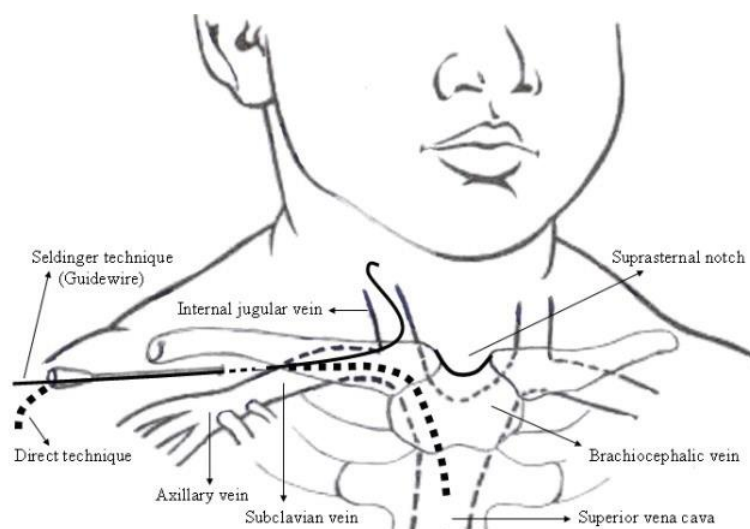
Betrachtet man die ermittelte absolute Fehllagerate dieser Arbeit von 11% (nach Studienkriterien) bezüglich dem Geschlecht als Einflussfaktor, erhielten wir 6,5% Fehllagen an Jungen gegenüber 3,5% an Mädchen. Wenn man die Fehllagen auf die Katheterzahl der einzelnen Geschlechtsgruppe bezieht, schrumpft die Differenz der Fehllagerate zwischen Jungen (11/87) und Mädchen (6/68) auf 3,8%. In der Literatur finden sich nur spärlich Hinweise auf das Geschlecht als Risikofaktor für ZVK-Fehllagen, weil die meisten Studien prospektiv angelegt sind und die Patientenkollektive demographisch angeglichen werden, anstatt zwischen weiblichen und männlichen Kollektiven zu unterscheiden [130]. Craft et al. erhielten eine erhöhte Migrationstendenz in weiblichen Patienten, wobei ihnen lediglich die Vena subclavia als Zugang diente und Hickmankatheter verwendet wurden [131]. Bei Bailey zeichnete sich ebenfalls eine etwas höhere Fehllagentendenz beim weiblichen Geschlecht ab, erreichte jedoch kein Signifikanzniveau. Als Erklärung wird die etwas kleinere Statur der weiblichen Patienten im Direktvergleich genannt [77]. Nachdem das Patientenkollektiv Erwachsene einschloss, erschwert es allerdings die Vergleichbarkeit mit dieser Arbeit.

Es fand sich auch kein Zusammenhang zwischen BMI der Kinder und erzielter ZVK-Lage. In der Literatur wird ein BMI >30 mit einer geringen Chance auf eine erfolgreiche Punktion beim ersten Versuch in Verbindung gebracht [81, 152]. Mansfield et al. beobachteten einen Misserfolg des ersten Punktionsversuches in 20,1% [p= 0,009] der Patienten mit einem BMI >30. Als Zugangsweg diente hier die Vena subclavia und als Kontrollverfahren eingesetzt wurden Ultraschall und eine anschließende Röntgenaufnahme des Thorax. Eine 2006 publizierte Arbeit [152] verglich die Erfolgsquote des ersten Punktionsversuches zweier Ultraschallverfahren (Doppler/B-Mode) im Zusammenhang mit dem BMI der Patienten. In beiden Verfahren zeigte sich eine deutlich höhere Erfolgsquote des ersten Punktionsversuches für Patienten mit einem BMI <30 (Doppler 94,2%, B-Mode 96,4%) gegenüber Patienten mit einem BMI >30 (Doppler 77,1%, B-Mode 97,4%). [152] Mansfield et al. [81] beschrieben bei Patienten mit einem BMI <20 ein etwa um 6% erhöhtes Risiko [p=0,019] für das Eintreten von Komplikationen wie arterieller Blutung, Pneumothorax oder mediastinalem Hämatom.

Nachdem sich weder in der Patientendokumentation noch in den Röntgenaufnahmen des Thorax dieser Arbeit Hinweise für eine dieser Komplikationen fanden, konnte kein Zusammenhang zwischen BMI der Kinder und einem gehäuften Auftreten von Komplikationen bei der ZVK-Anlage gefunden werden. Die hier erhobenen Patientendaten der Kinder (Alter, Geschlecht, BMI) zeigten keine Korrelation zu der erzielten Katheterlage.

Die Ergebnisse dieser Studie belegen, dass es insgesamt bei 11 % der eingeführten Katheter auch nach vermeintlich korrekter Positionierung durch EKG-gestützte Lagekontrolle zu einer Fehllage kam, im Sinne der Studienkriterien. Damit entspricht unser Wert fast der von Neubauer et al. [51] am pädiatrischen Patienten mittels Röntgen erhaltenen Fehllagerate von 9,5%. Erschwert wird die Vergleichbarkeit nachdem Neubauer auch periphere Venen wie die Vena basilica als Zugangsweg diente und es nur eine Altersgruppe (Neugeborene) gab [51]. Diese Altersgruppe zeigte in unserer Analyse die niedrigste Fehllagehäufigkeit und betrug in der Patientenzahl nur 30,3% des Gesamtkollektives. Mit 11% unterscheidet sich die Fehllagerate dieser Arbeit deutlich von den in der Literatur publizierten Studien ohne EKG-Steuerung, die eine Fehllagerate von über 30% aufweisen [35, 127, 128]. Als retrospektiv festgestellte Fehllagen dieser Arbeit wurden Katheterumschlag, Winkelbildung, zu hohe oder zu tiefe Lage der Katheterspitzen beobachtet. Werden nur klinisch relevante Fehllagen betrachtet, liegen wir mit 5,8% Fehllagen sogar deutlich unter den 9,5% von Neubauer [51].

Der Umschlag des Katheters in ein falsches Gefäß stellt eine Form der Fehllage dar. In unserer Studie gerieten die Katheter in zwei Fällen (1,3 %) durch Umschlag in ein falsches



**Abb. 9:** Coskun D, Mahli A, Oncul S, Ilvan G, Dalgic A. Malposition of subclavian vein catheter inserted through indirect technique in a pediatric liver transplantation: a case report. *Cases J.* 2009 Jun 3;2:7998.

Zielgefäß. Ein über die rechte Vena jugularis interna platzierter ZVK wurde in die ipsilaterale Vena subclavia und im anderen Fall wurde ein ZVK von der linken Vena subclavia in die ipsilaterale Vena jugularis interna fehlgeleitet. Ein Umschlag des ZVKs war somit von der rechten und von der linken Patientenseite zu beobachten. Coskun et al. erwähnt eine erhöhte Wahrscheinlichkeit eines Umschlags des ZVKs von der kindlichen Vena subclavia kranial in Richtung Vena jugularis interna (siehe Abb. 9) und benennt den schmaleren Gefäßdurchmesser und den stärker verwinkelten Verlauf von Vena subclavia und Vena jugularis interna gegenüber einem erwachsenen Patienten als mögliche Ursachen für eine derartige Fehllage [126].

Die Tatsache, dass diese beiden Fehllagen auf den postoperativen Röntgenbildern erscheinen, legt den Verdacht nahe, dass die Fehllagen während der ZVK-Einbringung asymptomatisch geblieben sind. Dies ist verwunderlich, weil bei Fehllagen dieser Art keine typische P-Wellenänderung im EKG zu erwarten wäre. Obwohl eine fehlende P-Wellenänderung oft als Hinweis für eine Fehllage des ZVKs in einem anderen Gefäß als der Vena cava superior interpretiert wird [45, 55, 61 ], kann dies auch bei Patienten mit Myokardschäden, Pulmonaremphysem oder bei ZVK-Anlagen von links bei großen Patienten vorkommen [35, 54 ]. In der Patientendokumentation beider Fälle finden sich weder ein Hinweis auf eine dieser Ausnahmen noch auf einen fehlenden Sinusrhythmus. Korrekte ZVK-Lagen sind bei korrekter Funktionsprüfung trotz ausbleibender P-Wellenänderung laut der Studie von David et al. durchaus möglich [35].

Darüber hinaus kam es bei drei linksseitig eingebrachten ZVKs zu einer Winkelbildung  $>40^\circ$  der Katheterspitze mit der lateralen Wand der Vena cava superior. Stonelake empfiehlt bei von links gelegten ZVKs die Spitze etwas unterhalb der Carina zu positionieren, da in seiner Studie die linksseitigen ZVKs entweder relativ hoch landeten oder eine Winkelbildung größer  $40^\circ$  aufwiesen [34].

Die Winkelbildung des ZVKs mit der lateralen Wand der Vena cava superior wird deshalb als so gefährlich eingestuft, weil sie wesentlich weicher ist als die mediale, die durch den Perikardsack verstärkt wird [31].

Sowohl invitro Studien wie auch klinische Berichte zeigen ein steigendes Perforationsrisiko mit der Größe des Winkels, die der ZVK mit der Venenwand bildet [40, 69, 111].

Linksseitige ZVKs stellen ein besonderes Risiko dar, weil die linke Brachiocephalvene einen beinahe rechten Winkel mit der Vena cava superior eingeht [39]. Daher neigen ZVKs von



links dazu die laterale Gefäßwand der Vena cava superior zu berühren. Das damit verbundene höhere Perforationsrisiko ist gut dokumentiert [41, 69, 111].

Zu den drei Winkelbildungen dieser Untersuchung wäre es aller Wahrscheinlichkeit nach nicht gekommen, wenn die ZVKs von links tiefer (in der Vena cava superior) platziert worden wären. Der Rückzug der Katheter von Pmax in unserer Studie kann folglich bei linksseitigen ZVKs zu unerwünscht weit vom Herzen entfernten Spitzenpositionen mit ungünstiger Winkelbildung beigetragen haben. Dieses Ergebnis korreliert mit Schummers These, dass Pmax am ehesten die perikardiale Reflektion detektiert [37, 56, 59]. Ebenso bekräftigt unser Ergebnis Stonelakes et al.'s Empfehlung linksseitige ZVKs tiefer zu legen als ZVKs von rechts für eine korrekte Position [34].

In einer im Juni 2011 publizierten Arbeit [137] wird ein konstanter Fehler der Lagebestimmung von ZVKs über die linke Patientenseite mittels Seldingerdraht-Technik festgestellt. Hier wurden insgesamt 270 ZVKs in 260 Erwachsene eingebracht sowie anschließend die Lagebestimmung durch Seldingerdraht und Alphacard-System verglichen. Die unterschiedlichen Ergebnisse der gemessenen Tiefen beider Methoden abhängig von der Patientenseite beruhen vermutlich auf dem steiferem Medium des Seldingerdrahtes (gegenüber einem NaCl gefüllten Alphacard-System) und der für das linke zentralvenöse System typischen Anatomie: linksseitig muss der Katheter eine (Subclavia) oder zwei (Jugularis interna) nahezu rechte Winkel im Gefäß durchlaufen bis zur Lage in der Vena cava superior. Der Winkel der Zusammenflüsse auf der rechten Seite ist im Vergleich deutlich stumpfer. Über einen Führungsdraht eingebrachte ZVKs landeten links konstant 10mm (Subclavia) bzw. 20mm (Jugularis interna) höher als durch die Messung erwartet worden war. Daher gehen die Autoren nun dazu über ZVKs mittels Seldingerdraht auf der linken Patientenseite um 10mm über die Vena subclavia bzw. 20mm über die Vena Jugularis interna weiter zu schieben als durch die EKG-Messung vorgeschlagen wird [137]. Was die TC-Distanz betrifft stellt dies einen Widerspruch zu unseren erhobenen Daten dar, die durch Seldingerdraht-Technik und Rückzug des ZVK von Pmax erhalten wurden. Die TC-Distanz war bei linksseitig eingebrachten ZVKs nicht größer als rechts, entgegen der ursprünglichen Erwartung.

An diesem Beispiel wird klar, dass die Abhängigkeit bestimmter Fehllagen vom Punktionsort nicht unterschätzt werden sollte. In der Literatur herrscht Einigkeit darüber, dass von links eingebrachte ZVKs mit einem höheren Risiko auf Fehllagen und folglich mit mehr

Komplikationen assoziiert sind wie ZVKs von rechts [69, 70]. Als Grund dafür wird der rechtwinklige Weg des Katheters durch die linke Brachiocephalvene in die Vena cava superior genannt [41].

Die bereits erwähnten 3 Fälle, in denen es zu einer Winkelbildung  $>40^\circ$  kam, traten alle bei ZVKs von der linken Patientenseite ein. Besonders gehäuft tritt die Winkelbildung bei ZVKs über die linke Vena jugularis interna auf [36]. Auch wenn es in unserer Studie mit 2 Kathetern über die linke Jugularvene auf diesem Weg einmal öfter zur Winkelbildung kam als über die linke Vena subclavia, verliert dieses Ergebnis allein durch die niedrige Fallzahl (3 Fehllagen) an Gewicht und hat statistisch keine Relevanz. Unabhängig von der punktierten Vene zeigten sich unerwünschte Winkelbildungen ausschließlich bei ZVK-Anlagen über die linke Patientenseite ( $p < 0,001$ ) und bestätigten somit die Hypothese einer höheren Fehllagerate der ZVKs von links im Sinne einer Winkelbildung.

Demgegenüber waren die 8 zu hohen Fehllagen in unserer Arbeit ausschließlich über die rechte Jugularvene zu beobachten. Der nahezu senkrechte Verlauf der rechten Jugularvene kann dafür verantwortlich sein, dass es beim Rückzug von Pmax schneller zu einer Änderung der TC-Distanz kam als über die nahezu waagrecht verlaufende Vena brachiocephalica von links [41].

Trotz des Rückzugs lagen insgesamt 4 von 155 (2,5 %) Katheter unerwünscht tief im rechten Vorhof und mussten nach Befundung des Röntgenbildes zurückgezogen werden um möglichen Herzrhythmusstörungen, Vorhofverletzungen oder gar einer Ventrikelperforation mit Perikardtamponade vorzubeugen [30]. Ähnlich erging es Neubauer et al. in ihrer prospektiven Untersuchung von 50 EKG-gesteuerten ZVKs bei extrem untergewichtigen Frühgeborenen. Die Katheter wurden nicht auf Pmax fixiert, sondern zurückgezogen bis die P-Welle gerade kleiner wurde. Dennoch landeten in ihrer Studie 10% der ZVKs zu tief im Herzen [20].

Bei den 4 zu tief liegenden Kathetern über drei unterschiedliche Zugangswege (rechte Vena jugularis interna, rechte Vena subclavia und linke Vena jugularis interna) konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen Punktionsort und Fehllagehäufigkeit eruiert werden. Hierfür ist vor allem die extreme Größenvarianz der Einzelgruppen verantwortlich zu machen, die für eine ausreichende Interaktionsanalyse nötig ist.

Bezüglich der Patientenseite traten Kathetertieflagen in unserer Arbeit rechts dreimal von

insgesamt 4 Tieflagen auf und waren somit deutlich häufiger als über die linke Seite anzutreffen, wobei dieses Ergebnis aufgrund der zu geringen Fallzahl linksseitiger ZVKs kein Signifikanzniveau erreichte. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es in dieser Arbeit zu mehr Winkelbildungen über die linke Seite kam, während über die rechte Jugularvene mehr Katheterhoch- /Tieflagen zu beobachten waren, jedoch besteht eine erhebliche Fallzahldifferenz der verschiedenen Punktionsorte. Für die Annahme der Punktionsort oder die Patientenseite könne die Katheterlage beeinflussen, konnte anhand der erhobenen Daten neben der Winkelbildung linksseitig eingebrachter ZVKs kein weiterer signifikanter Zusammenhang hergestellt werden.

Zur Beurteilung der Ergebnisse dieser Arbeit sind die folgenden Anmerkungen zu berücksichtigen.

Vergleichbare Zahlen zur erzielten TC-Distanz bei ZVK-Anlage unter intrakardialer EKG-Ableitung sind in der Literatur für den pädiatrischen Patienten nicht zu finden. Schummer et al. [56] erhielten am Erwachsenen (Altersdurchschnitt 65 Jahre) alle ZVK-Lagen mit einem Abstand von maximal +/- 0,5cm zur Crista terminalis, wenn der ZVK auf Höhe der maximalen P-Wellen-Amplitude fixiert wurde. Demgegenüber untersuchten wir ausschließlich Kinder und zogen den ZVK stets von Pmax zurück bis zur Normalisierung der P-Welle. Schummer et al. [56] hatten die erhaltene ZVK-Spitzenposition nach intrakardialer EKG-Ableitung (Führungsdraht 1mm überstehend) mittels TEE bestimmt und betrachteten das postoperative a.p. Röntgenbild des Thorax nur zum Ausschluss einer Winkelbildung. In dieser Arbeit wurde das postoperativ routinemäßig angefertigte Röntgenbild (a.p.) des Thorax hingegen auf Katheterlage, TC-Distanz und Winkelbildung untersucht.

Für die Genauigkeit der Ausmessung im Röntgenbild finden sich in der Literatur keine vom Versuchsaufbau vergleichbaren Werte. Curelaru et al. [151] beschreiben einen Vergrößerungsfaktor bei Röntgenaufnahmen des Thorax von 8-10 Prozent beim Einbringen des ZVK am Erwachsenen. Wir erhielten einen durchschnittlichen Vergrößerungsfaktor von knapp 8% beim pädiatrischen Patienten und somit umgerechnet weniger als einen Millimeter Abweichung pro gemessenen Zentimeter.

Nachdem bei von linksseitig eingebrachten ZVKs vermehrt Winkelbildungen und Katheterhochlagen in dieser Arbeit zu beobachten waren und manche Autoren [34, 137]

beim Zugang über die linke Patientenseite andere Katheterlagen erhielten als durch intrakardiale EKG-Ableitung erwartet, gibt es in der Literatur unterschiedliche Erklärungsansätze. Ein ZVK kann unter EKG-Ableitung mittels Führungsdraht aufgrund des steiferen Materials des Drahtes gegenüber einem flüssigkeitsgefüllten Lumen laut Kremser et al. [137] bei ZVKs von links ungewollt 10-20mm höher zum Liegen kommen. Dem Gedanken, dass ein über den Katheter hinaus ragender Führungsdraht eventuell für die um 10-20mm tiefer interpretierte Lage des ZVKs Sorge steht das Ergebnis der Arbeit von Hansen et al. [150] entgegen. Hier zeigte sich weder beim Überstehen um 1cm noch beim Rückzug des Führungsdrahtes um 1cm von der ZVK-Spitze eine Veränderung in der intrakardialen EKG-Ableitung [150]. In unserem Fall stand der Führungsdraht um 8mm über den Katheter hinaus. Linksseitig eingebrachte ZVKs müssen darüber hinaus in der linken Brachiocephalvene einen beinahe rechten Winkel am Übergang zur Vena cava superior überwinden und können dort zur unerwünschten Winkelbildung führen [39]. Der Winkel der Zusammenflüsse auf der rechten Seite ist im Vergleich deutlich stumpfer [137].

An diesem Ergebnis wird klar, dass das intravasale EKG trotz korrekter Anwendung nicht unfehlbar ist. Laut Koscielniak et al. (176) liegt die Sensitivität der EKG-gesteuerten Lagekontrolle bei 96% und die Spezifität bei etwa 83%.

Abschließend ist noch die Möglichkeit der postoperativen Migration des ZVK auf dem Weg vom OP zum Anfertigen des Röntgenbildes des Thorax in der Kinderklinik des Universitätsklinikums Würzburg (30-60 Minuten postoperativ) als Limitation dieser Arbeit zu nennen. Curelaru et al. [151] untersuchten an 6 Leichen die Kathetermigration in maximaler Kopfflexion und Extension. Der ZVK wanderte bei den Patienten in maximaler Flexion durchschnittlich 1 bis 2 cm Richtung Herz. In maximaler Kopfextension entfernte sich die ZVK-Spitze durchschnittlich 0,5 bis 1 cm vom Herzen [151].

Nachdem wir die ZVKs von Pmax zurückgezogen hatten, war im Hinblick auf die Erkenntnisse von Schummer, Chu und Jeon zu erwarten, dass sich die Katheter in der Vena cava superior darstellen und eher zu hoch als zu tief zum Liegen kamen.

Insgesamt lagen mit 79 von 155 ZVKs (51 %) in etwa die Hälfte der ZVK-Spitzen oberhalb der Carina. 8 Katheter (5 %) waren zu hoch im zuführenden Gefäß positioniert; das bedeutete mehr als 2cm oberhalb der Carina. Besonders thrombosegefährdet durch eine zu hohe

Katheterlage sind laut Puel et al. die obere Hälfte der Vena cava superior rechts, sowie die Vena brachiocephalica links [108].

Die Spitze des Katheters möglichst in der tiefen Vena cava superior zu platzieren ist empfehlenswert, weil Kleinkinder oft weniger als 5 cm Gefäßstrecke von Punktionsstelle bis zum Herzen haben. Besonders Mehrlumenkatheter laufen dann Gefahr, dass ihr proximales Lumen nicht mehr intravasal liegt [71].

Nachdem trotz des Rückzuges von Pmax in 89% der Fälle (138 von 155) durch intravasale EKG-Steuerung in unserem Gesamtkollektiv auf Anhieb eine korrekte Lage erreicht wurde, konnte die Hypothese überwiegend zu hoch liegenden ZVKs zu erzielen widerlegt werden. Damit ist die Häufigkeit korrekt positionierter ZVKs mit 89% in unserer Arbeit vergleichbar mit den 92%, die Salmela et al. und David et al. beschreiben [35, 54]. Anzumerken ist, dass bei der Erfolgsquote von 89% die 8 zu hohen Katheterlagen dieser Arbeit mit berücksichtigt wurden, obwohl sie retrospektiv nicht korrekturbedürftig und daher klinisch nicht relevant waren. Während die beiden genannten Arbeiten Erwachsene ins Patientenkollektiv einschlossen, untersuchten wir ein rein pädiatrisches Kollektiv. Nachdem bei Kindern erschwerte Bedingungen bei der ZVK-Einbringung herrschen [5, 27, 126], ist die etwas niedrigere Erfolgsrate gegenüber Arbeiten mit ausgewachsenen Patienten in dieser Arbeit nachvollziehbar und immer noch ein ausgesprochen gutes Ergebnis.

In den postoperativen Röntgenbildern dieser Arbeit zeigen sich weder Hinweise auf einen Pneumothorax noch auf Gefäßperforationen. Die Patientendokumentation zeigt keinen Anhalt für Komplikationen wie eine versehentliche arterielle Punktion oder mehrfacher Punktion. Die Komplikationsrate für versehentliche arterielle Punktion, Pneumothorax und Gefäßperforation lag somit direkt postoperativ bei 0%. Housseinpour et al konnten am Neugeborenen ebenfalls das Auftreten eines Pneumothorax verhindern, wobei in den 100 Patienten ausschließlich die rechte Vena jugularis interna als Zugang genutzt wurde [135].

Betrachtet man die erreichte Lagenkategorie (korrekte Lage/ Fehllage) auf einen Zusammenhang mit Faktoren wie Alter, Geschlecht, BMI und Punktionsort, zeigte lediglich der überproportional häufig gewählte Punktionsort rechte Vena jugularis interna (n=137/155) hoch signifikant ( $p < 0,001$ ) mehr korrekte Lagen als erwartet.

Auch wenn kein signifikanter Zusammenhang zwischen möglichen Einflussfaktoren wie Alter, Geschlecht, Punktionsort und BMI auf die TC-Distanz des ZVK festgestellt werden konnte, ist das Ergebnis von 89% nach Studienkriterien korrekt platzierten ZVKs und in 94% der Fälle nicht mehr korrekturbedürftigen ZVKs ohne Hinweis auf Komplikationen bemerkenswert. Werden nur ZVKs über die rechte V. jugularis interna betrachtet, erreichten wir hier sogar knapp 98% nicht mehr korrekturbedürftige Katheterlagen.

Diese hohe Erfolgsquote wurde trotz Rückzug des ZVK von Pmax erreicht. Damit wurde die Hypothese durch Rückzug von Pmax bei Kindern generell eine zu hohe Anzahl an hohen Katheterlagen zu verursachen widerlegt. Als wesentliches Ergebnis dieser Arbeit wird festgehalten, dass bei Kindern nicht pauschal eine Fixierung auf Pmax empfohlen werden kann, wie es aktuell für Erwachsene von einigen Autoren empfohlen wird [37, 56, 59, 144]. Mit insgesamt 94% korrekt gelegter ZVKs am pädiatrischen Patienten war der Rückzug von Pmax besonders für ZVKs von rechts richtig, führte linksseitig allerdings zu hochsignifikant ( $p=0,001$ ) mehr Winkelbildungen und wird daher linksseitig nicht empfohlen. Die postoperative Röntgenkontrolle am pädiatrischen Patienten sollte im Hinblick auf die gewonnenen Erkenntnisse bei ZVKs von links daher weiter empfohlen werden, wie es in der Literatur für ZVKs am Erwachsenen vorgeschlagen wird [36].

## 6. Zusammenfassung:

Einleitung: Vor der Diskussion wo die ZVK-Spitze EKG-gesteuert anhand der P-Welle tatsächlich zum Liegen kommt, soll die, in der Abteilung für Pädiatrische Neurochirurgie des Universitätsklinikums Würzburg, angewandte Methode retrospektiv betrachtet werden.

Methodik: 87 Jungen und 68 Mädchen im Alter von 0 bis 14 Jahren hatten im Zeitraum von Dezember 2007 bis Juni 2009 zur neurochirurgischen Operation alle ZVKs nach einem standardisierten Verfahren unter sonographischer Punktionskontrolle und intrakardialer EKG-Ableitung erhalten. Der ZVK wurde mittels Seldingerdraht-Technik soweit vorgeschoben, dass Pmax erkennbar war und dann bis zur Normalisierung der P-Welle zurückgezogen. Alle ZVKs wurden postoperativ mittels a.p. Thoraxröntgenbild kontrolliert. Nach Ermittlung der exakten Lage des ZVKs im a.p. Röntgenbild des Thorax mit der Carina als Bezugspunkt wurden Zugangswege (Vena subclavia, Vena jugularis interna), Patientenseite, Alter, Geschlecht und BMI auf ihren Einfluss untersucht

Ergebnisse: Es konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen Einzelfaktoren wie Zugangsweg, Patientenseite oder Patienteneigenschaften (Alter, BMI, Geschlecht) auf die ZVK-Lage (TC-Distanz) festgestellt werden. Trotz Rückzug von Pmax waren 94% der eingebrachten ZVKs am pädiatrischen Patienten auf Anhub nicht mehr korrekturbedürftig platziert im a.p. Röntgenbild des Thorax.

Ausgenommen sind hier 5% der Katheter, die sich deutlich oberhalb der Carina (>2cm) zeigten, aber klinisch nicht relevant waren. Zur Winkelbildung zwischen Katheter und lateraler Wand der Vena cava superior (>40°) kam es in 2% der Patienten: alle über die linke Patientenseite. Zu tief im rechten Vorhof waren 2,5% der Katheter. Ein Umschlag des ZVK in die ipsilaterale Vena subclavia/jugularis interna zeigte sich in 1,3% der Röntgenbilder.

Fazit: Mit einer Erfolgsrate von 94% zeigte sich die Hypothese bei Kindern durch Rückzug von Pmax eine hohe Anzahl zu hoher Katheterlagen zu verursachen nicht bestätigt mit Ausnahme linksseitig eingebrachter ZVKs. Obwohl die TC-Distanz von links gesamt betrachtet nicht größer war, wurden linksseitig hochsignifikant ( $p=0,001$ ) mehr Winkelbildungen als rechts beobachtet. Somit wird bei Kindern ein Rückzug des ZVK von Pmax auf den Beginn des P-Wellenzuwachses nur rechts empfohlen, nicht links. Bei komplikationsloser Einbringung ist eine anschließende Röntgenkontrolle von links dringend empfohlen, von rechts kann darauf verzichtet werden. Die Erwartung einer Zunahme der Fehllagerate je jünger der Patient ist, konnte nicht bestätigt werden.

## 7. Anhang

### 7.1 Literaturverzeichnis

- [1] **Krier C.** Der zentralvenöse Katheter – eine (einfache) Routinemaßnahme? Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther **1998**;33: 75-76.
- [2] **Metz Silvia**, persönliche Mitteilung, Markt Management Deutschland der B. Braun Melsungen AG
- [3] **de Jonge RC**, Polderman KH, Gemke RJ. Central venous catheter use in the pediatric patient: mechanical and infectious complications. *Pediatr Crit Care Med.* **2005** May;6(3):329-39.
- [4] **van Engelenburg KC**, Festen C. Cardiac tamponade: a rare but life-threatening complication of central venous catheters in children. *J Pediatr Surg.* **1998** Dec;33(12):1822-4.
- [5] **Grebenik CR**, Boyce A, Sinclair ME, Evans RD, Mason DG, Martin B. NICE guidelines for central venous catheterization in children. Is the evidence base sufficient? *Br J Anaesth.* **2004** Jun;92(6):827-30. Epub 2004 Apr 30.
- [6] **Stenzel JP**, Green TP, Fuhrman BP, Carlson PE, Marchessault RP. Percutaneous central venous catheterization in a pediatric intensive care unit: a survival analysis of complications. *Crit Care Med.* **1989** Oct;17(10):984-8.
- [7] **Forssmann W.** Die Sondierung des rechten Herzens. *Klin Wochenschr* **1929**; 8: 2085-2087.
- [8] **Cournand A**, Ranges HA. Catheterization of the right auricle in man. *Proc Soc Exp Biol Med* **1941**;46: 462-466.
- [9] **Lenègre J**, Maurice P. De quelques resultats obtenus par la dérivation directe intracavitare des courants électriques de l'oreillette et du ventricule droits. *Arch Mal Coeur Vaiss* **1945**;38:298-302.
- [10] **Hecht HH.** Potential variations of the right auricular and ventricular cavities in man. *Am Heart J* **1946**;32:39-51.
- [11] **Battro A**, Bidoggia H. Endocardiac electrocardiogram obtained by heart catheterization in the man. *Am Heart J* **1947**;33:604-632.
- [12] **Levine HD**, Hellems HK, Wittenborg MH, Dexter L. Studies in intracardiac electrography in man. I. The potential variations in the right atrium. *Am Heart J* **1949**;37: 46-63.
- [13] **Hellerstein HK**, Pritchard WH, Lewis RL. Recording of intracavitary potentials through a single lumen, saline filled catheter. *Proc Soc Exp Biol Med* **1949**;71:58-60.
- [14] **Aubaniac R.** Une nouvelle voie d'injection ou de ponction veineuse: la voie sous-claviculaire. *Sem Hop Paris* **1952**; 28:3445-3447.
- [15] **Wilson J**, Grow J, DeMay C, et al. Central venous pressure in optimal blood volume maintenance. *Arch Surg* **1952**;815:563-566.
- [16] **Vanek VW.** The ins and outs of venous access: part I. *Nutr Clin Pract.* **2002** Apr;17(2):85-98.



- [17] **Chiang VW**, Baskin MN. Uses and complications of central venous catheters inserted in a pediatric emergency department. *Pediatr Emerg Care*. **2000** Aug;16(4):230-2.
- [18] **Wiener ES**, McGuire P, Stolar CJ, Rich RH, Albo VC, Ablin AR, Betcher DL, Sitarz AL, Buckley JD, Krailo MD, et al. The CCSG prospective study of venous access devices: an analysis of insertions and causes for removal. *J Pediatr Surg*. **1992** Feb;27(2):155-63; discussion 163-4.
- [19] **Chung DH**, Ziegler MM. Central venous catheter access. *Nutrition*. **1998** Jan;14(1):119-23.
- [20] **Neubauer AP**. Die zentralvenöse Platzierung des Silastikkatheters durch Ableitung eines intravasalen EKG - Eine prospektive Untersuchung an 50 Frühgeborenen unter 1000 g. *Klin Padiatr*. **1991** May-Jun;203(3):146-8.
- [21] **Szibor-Kriesen U**, Rucker G, Vagts DA. Der zentrale Venenkatheter –eine Literaturanalyse - Indikationen, Nutzen und Risiken. *Anästhesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* **2008**; 43: 654-663.
- [22] **Schummer W**, Schummer C, Schlegel-Hoefner H. An unusual problem during central venous cannulation by Seldinger technique. *J Clin Anesth*. **2002** Mar;14(2):158-9.
- [23] **Troianos CA**, Jobes DR, Ellison N. Ultrasound-guided cannulation of the internal jugular vein. A prospective, randomized study. *Anesth Analg* **1991**;72: 823-6.
- [24] **Denys BG**, Uretsky BF, Reddy PS. Ultrasound-assisted cannulation of the internal jugular vein. A prospective comparison to the external landmark-guided technique. *Circulation*. **1993** May;87(5):1557-62.
- [25] **Araujo CC**, Lima MC, Falbo GH. Percutaneous subclavian central venous catheterization in children and adolescents: success, complications and related factors. *J Pediatr (Rio J)*. **2007** Jan-Feb;83(1):64-70. Epub 2007 Jan 24.
- [26] **Sznajder JI**, Zveibil FR, Bitterman H, Weiner P, Bursztein S. Central vein catheterization. Failure and complication rates by three percutaneous approaches. *Arch Intern Med*. **1986** Feb;146(2):259-61.
- [27] **Breschan C**, Platzer M, Likar R. Zentrale Venenkatheter bei Neugeborenen, Säuglingen und Kindern. *Anaesthesist*. **2009** Sep;58(9):897-900, 902-4.
- [28] **M. Stocker**, T. M. Berger. Arterielle und zentralvenöse Katheter bei Neugeborenen und Säuglingen. *Anaesthesist*. **2006** Aug;55(8):873-82.
- [29] **Chuan WX**, Wei W, Yu L. A randomized-controlled study of ultrasound prelocation vs anatomical landmark-guided cannulation of the internal jugular vein in infants and children. *Paediatr Anaesth*. **2005** Sep;15(9):733-8.
- [30] **Collier PE**, Blocker SH, Graff DM, Doyle P. Cardiac tamponade from central venous catheters. *Am J Surg*. **1998** Aug;176(2):212-4.
- [31] **Schuster M**, Nave H, Piepenbrock S, Pabst R, Panning B. The carina as a landmark in central venous catheter placement. *Br J Anaesth*. **2000** Aug;85(2):192-4.
- [32] **Greenall MJ**, Blewitt RW, McMahon MJ. Cardiac tamponade and central venous catheters. *Br Med J*. **1975** Jun 14;2(5971):595-7.

- [33] **Chalkiadis GA**, Gouke CR. Depth of central venous catheter insertion in adults: an audit and assessment of a technique to improve tip position. *Anaesth Intensive Care* **1998**;26: 61-66.
- [34] **Stonelake PA**, Bodenham AR. The carina as a radiological landmark for central venous catheter tip position. *Br J Anaesth*. 2006 Mar;96(3):335-40. Epub **2006** Jan 16.
- [35] **David JS**, Tazarourte K, Perfus JP, Savary D. Is ECG-guidance a helpful method to correctly position a central venous catheter during prehospital emergency care? *Acta Anaesthesiol Scand*. **2005** Aug;49(7):1010-4.
- [36] **Schummer W**, Herrmann S, Schummer C, Funke F, Steenbeck J, Fuchs J, Uhlig T, Reinhart K. Intra-atrial ECG is not a reliable method for positioning left internal jugular vein catheters. *Br J Anaesth*. **2003** Oct;91(4):481-6.
- [37] **Jeon Y**, Ryu HG, Yoon SZ, Kim JH, Bahk JH. Transesophageal echocardiographic evaluation of ECG-guided central venous catheter placement. *Can J Anaesth*. **2006** Oct;53(10):978-83.
- [38] **Gebhard RE**, Szmuk P, Pivalizza EG, Melnikov V, Vogt C, Warters RD. The accuracy of electrocardiogram-controlled central line placement. *Anesth Analg*. **2007** Jan;104(1):65-70.
- [39] **Fletcher SJ**, Bodenham AR. Safe placement of central venous catheters: where should the tip of the catheter lie? *Br J Anaesth*. **2000** Aug;85(2):188-91.
- [40] **Gravenstein N**, Blackshear RH. In vitro evaluation of relative perforating potential of central venous catheters: comparison of materials, selected models, number of lumens, and angles of incidence to simulated membrane. *J Clin Monit*. **1991** Jan;7(1):1-6.
- [41] **Tocino IM**, Watanabe A. Impending catheter perforation of superior vena cava: radiographic recognition. *AJR Am J Roentgenol*. **1986** Mar;146(3):487-90.
- [42] **Wu ET**, Huang SC, Wu MH, Wang JK, Chang CI. An unusual position of central venous catheter. *Paediatr Anaesth*. **2006** Feb;16(2):222-4.
- [43] **Klockgether-Radke AP**, Gaus P. Fehllage eines zentralen Venenkatheters bei einem Patienten mit schwerem Thoraxtrauma. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*. **2004** May;39(5):292-6.
- [44] **Arndt GA**, Felton T, Finucane B, Santora A. Confirmation of internal jugular vein cannulation: the Finucane technique. *Can J Anaesth*. **1993** Dec;40(12):1220-1.
- [45] **McGee WT**, Ackerman BL, Rouben LR, Prasad VM, Bandi V, Mallory DL. Accurate placement of central venous catheters: a prospective, randomized, multicenter trial. *Crit Care Med*. **1993** Aug;21(8):1118-23.
- [46] **Ender J**, Erdoes G, Krohmer E, Olthoff D, Mukherjee C. Transesophageal echocardiography for verification of the position of the electrocardiographically-placed central venous catheter. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. **2009** Aug;23(4):457-61. Epub 2009 Feb 13.
- [47] **Antonaglia V**, Ristagno G, Berlot G. Procedural and clinical data plus electrocardiographic guidance greatly reduce the need for routine chest radiograph following central line placement. *J Trauma*. **2008** Apr;64(4):1146.

- [48] **Cavatorta F**, Zollo A, Galli S, Dionisio P. Central venous catheter placement in hemodialysis: evaluation of electrocardiography using a guide-wire. *J Vasc Access*. **2001** Apr-Jun;2(2):45-50.
- [49] **Farooq M**. Can electrocardiogram-controlled central line placement decrease the need for routine chest radiographs after central venous cannulation? *Anesth Analg*. **2007** Jun;104(6):1614; author reply 1614-5.
- [50] **Redo SF**, Dinner MH. Placement of central venous catheters by cut-down with electrocardiogram positioning. *Surg Gynecol Obstet*. **1993** Jul;177(1):49-53.
- [51] **Neubauer AP**. Percutaneous central i.v. access in the neonate: experience with 535 silastic catheters. *Acta Paediatr*. **1995** Jul;84(7):756-60.
- [52] **Madan M**, Shah MV, Alexander DJ, Taylor C, McMahon MJ. Right atrial electrocardiography: a technique for the placement of central venous catheters for chemotherapy or intravenous nutrition. *Br J Surg*. **1994** Nov;81(11):1604-5.
- [53] **Schummer W**, Schummer C, Schelenz C, Brandes H, Stock U, Müller T, Leder U, Hüttemann E. Central venous catheters--the inability of 'intra-atrial ECG' to prove adequate positioning. *Br J Anaesth*. **2004** Aug;93(2):193-8. Epub 2004 Jun 25.
- [54] **Salmela L**, Aromaa U. Verification of the position of a central venous catheter by intra-atrial ECG. When does this method fail? *Acta Anaesthesiol Scand*. **1993** Jan;37(1):26-8.
- [55] **Wilson RG**, Gaer JA. Right atrial electrocardiography in placement of central venous catheters. *Lancet*. **1988** Feb 27;1(8583):462-3.
- [56] **Schummer W**, Schummer C, Schelenz C, Schmidt P, Fröber R, Hüttemann E. Optimierte Positionierung zentraler Venenkatheter durch eine modifizierte Anwendung der intravasalen Elektrokardiographie Validierung mithilfe der transösophagealen Echokardiographie. *Anaesthesist*. **2005** Oct;54(10):983-90.
- [57] **Schummer W**, Schummer C, Paxian M, Stock U, Richter K, Bauer M. Extravasale Lage von zentralen Venenkathetern bei korrekter EKG-Ableitung. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther*. **2005** Feb;40(2):91-6.
- [58] **Schummer W**, Schummer C, Müller A, Steenbeck J, Fuchs J, Bredle D, Hüttemann E. ECG-guided central venous catheter positioning: does it detect the pericardial reflection rather than the right atrium? *Eur J Anaesthesiol*. **2004** Aug;21(8):600-5.
- [59] **Chu KS**, Hsu JH, Wang SS, Tang CS, Cheng KI, Wang CK, Wu JR. Accurate central venous port-A catheter placement: intravenous electrocardiography and surface landmark techniques compared by using transesophageal echocardiography. **2004** Apr;98(4):910-4, table of contents.
- [60] **Gronert GA**. Intra-atrial ECG guidance for positioning central vein catheters. *Br J Anaesth* **2004**;92: 599-601.
- [61] **Lumb P**. Complications of central vein catheters. *Crit Care Med* **1993**;21:1105-6.
- [62] **Watters VA**, Grant JP. Use of electrocardiogram to position right atrial catheters during surgery. *Ann Surg*. **1997** Feb;225(2):165-71.

- [63] **Schäfer M**, Reinhart K. Die Platzierung von zentralen Venenkathetern mit Hilfe der intraatrialen EKG-Ableitung. *Zentralbl Chir* **1993**;118:432-5.
- [64] **Calabuig R**, Sueiras A, Galera MJ, Ortiz C, Pi F, Sierra E. Central venous catheter location by endocavitary ECG: an alternative to chest radiography *Med Clin (Barc)*. **1997** Sep 20;109(9):324-7.
- [65] **Koscielniak-Nielsen ZJ**, Otkjaer S, Hansen OB, Hemmingsen C. CVP catheter electrocardiography: an alternative to radiographic control after cannulation of central veins? *Acta Anaesthesiol Scand*. **1991** Nov;35(8):762-6.
- [66] **Francis KR**, Picard DL, Fajardo MA, Pizzi WF. Avoiding complications and decreasing costs of central venous catheter placement utilizing electrocardiographic guidance. *Surg Gynecol Obstet*. **1992** Sep;175(3):208-11.
- [67] **Lucey B**, Varghese JC, Haslam P, Lee MJ. Routine chest radiographs after central line insertion: mandatory postprocedural evaluation or unnecessary waste of resources? *Cardiovasc Intervent Radiol*. **1999** Sep-Oct;22(5):381-4.
- [68] **Corsten SA**, van Dijk B, Bakker NC, de Lange JJ, Scheffer GJ. Central venous catheter placement using the ECG-guided Cavafix-Certodyn SD catheter. *J Clin Anesth*. **1994** Nov-Dec;6(6):469-72.
- [69] **Mukau L**, Talamini MA, Sitzmann JV. Risk factors for central venous catheter-related vascular erosions. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. **1991** Sep-Oct;15(5):513-6.
- [70] **Muralidhar K**. Left internal versus right internal jugular vein access to central venous circulation using the Seldinger technique. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. **1995** Feb;9(1):115-6.
- [71] **Andropoulos DB**, Stayer SA, Bent ST, Campos CJ, Bezold LI, Alvarez M, Fraser CD. A controlled study of transesophageal echocardiography to guide central venous catheter placement in congenital heart surgery patients. *Anesth Analg*. **1999** Jul;89(1):65-70.
- [72] **Hsu JH**, Wang CK, Chu KS, Cheng KI, Chuang HY, Jaw TS, Wu JR. Comparison of radiographic landmarks and the echocardiographic SVC/RA junction in the positioning of long-term central venous catheters. *Acta Anaesthesiol Scand*. **2006** Jul;50(6):731-5.
- [73] **Reynolds N**, McCulloch AS, Pennington CR, MacFadyen RJ. Assessment of distal tip position of long-term central venous feeding catheters using transesophageal echocardiography. *JPEN J Parenter Enteral Nutr*. **2001** Jan-Feb;25(1):39-41.
- [74] **Abood GJ**, Davis KA, Esposito TJ, Luchette FA, Gamelli RL. Comparison of routine chest radiograph versus clinician judgment to determine adequate central line placement in critically ill patients. *J Trauma*. **2007** Jul;63(1):50-6.
- [75] **Scott WL**. Central venous catheters. An overview of Food and Drug Administration activities. *Surg Oncol Clin N Am*. **1995** Jul;4(3):377-93.
- [76] **Amshel CE**, Palesty JA, Dudrick SJ. Are chest X-rays mandatory following central venous recatheterization over a wire? *Am Surg*. **1998** Jun;64(6):499-501; discussion 501-2.

- [77] **Bailey SH**, Shapiro SB, Mone MC, Saffle JR, Morris SE, Barton RG. Is immediate chest radiograph necessary after central venous catheter placement in a surgical intensive care unit? *Am J Surg*. **2000** Dec;180(6):517-21; discussion 521-2.
- [78] **McGee DC**, Gould MK. Preventing complications of central venous catheterization. *N Engl J Med*. **2003** Mar 20;348(12):1123-33.
- [79] **Yilmazlar A**, Bilgin H, Korfali G, Eren A, Ozkan U. Complications of 1303 central venous cannulations. *J R Soc Med*. **1997** Jun;90(6):319-21.
- [80] **Miller JA**, Singireddy S, Maldjian P, Baker SR. A reevaluation of the radiographically detectable complications of percutaneous venous access lines inserted by four subcutaneous approaches. *Am Surg*. **1999** Feb;65(2):125-30.
- [81] **Mansfield PF**, Hohn DC, Fornage BD, Gregurich MA, Ota DM. Complications and failures of subclavian-vein catheterization. *N Engl J Med*. **1994** Dec 29;331(26):1735-8.
- [82] **Muhm M**, Sunder-Plassmann G, Apsner R, Pernerstorfer T, Rajek A, Lassnigg A, Prokesch R, Derfler K, Druml W. Malposition of central venous catheters. Incidence, management and preventive practices. *Wien Klin Wochenschr*. **1997** Jun 6;109(11):400-5.
- [83] **Webb JG**, Simmonds SD, Chan-Yan C. Central venous catheter malposition presenting as chest pain. *Chest*. **1986** Feb;89(2):309-12.
- [84] **Sandroni C**, Pirroni T, Tortora F, Santangelo S, Rinaldi P, Antonelli M. Unusual central venous catheter malposition into the left internal mammary vein: a case report. *Intensive Care Med*. **2003** Dec;29(12):2338-9. Epub 2003 Oct 16.
- [85] **Zaman MH**, Mitra P, Bondi E, Gintautas J, Abadir AR. A rare malposition of the central venous catheter. *Chest*. **1990** Sep;98(3):768-70.
- [86] **Sobrinho G**, Salcher J. Partial anomalous pulmonary vein drainage of the left lower lobe: incidental diagnostic after central venous cannulation. *Crit Care Med*. **2003** Apr;31(4):1271-2.
- [87] **Townley SA**. Central venous catheter malposition in an anomalous pulmonary vein. *Eur J Anaesthesiol*. **2003** Dec;20(12):985-6.
- [88] **Schummer W**, Schummer C. Central venous catheter malposition in the azygos arch. *Eur J Anaesthesiol*. **2002** Nov;19(11):832-4.
- [89] **Ng KS**, Teh BT, Siew EP, Leong HK. Malposition of a long central venous catheter in the right inferior thyroid vein--a case report. *Singapore Med J*. **1996** Oct;37(5):556-8.
- [90] **Boyle DM**, Engelking C. Vesicant extravasation: myths and realities. *Oncol Nurs Forum*. **1995** Jan-Feb;22(1):57-67.
- [91] **Brothers TE**, Von Moll LK, Niederhuber JE, Roberts JA, Walker-Andrews S, Ensminger WD. Experience with subcutaneous infusion ports in three hundred patients. *Surg Gynecol Obstet*. **1988** Apr;166(4):295-301.
- [92] **Heckler FR**. Current thoughts on extravasation injuries. *Clin Plast Surg*. **1989** Jul;16(3):557-63.

- [93] **Wallenborn J**, Kühnert I. Do position control methods for central venous catheters prevent complications? Hydromediastinum caused by an initially correctly placed tri-lumen subclavian catheter by using intra-atrial ECG recording--a case report. *Anaesthesiol Reanim.* **2002**;27(5):131-7.
- [94] **Domino KB**, Bowdle TA, Posner KL, Spitellie PH, Lee LA, Cheney FW. Injuries and liability related to central vascular catheters: a closed claims analysis. *Anesthesiology.* **2004** Jun;100(6):1411-8.
- [95] **Schummer W**, Schummer C, Hoffmann E. Chylothorax nach Anlage eines zentralvenösen Katheters - Überlegungen zu Anatomie, Differentialdiagnose und Therapie. *Anaesthesist.* **2003** Oct;52(10):919-24. Epub 2003 Jul 1.
- [96] **Kwon SS**, Falk A, Mitty HA. Thoracic duct injury associated with left internal jugular vein catheterization: anatomic considerations. *J Vasc Interv Radiol.* **2002** Mar;13(3):337-9.
- [97] **Valassiadou K**, Prinianakis G, Sanidas E, Tsiftsis D, Georgopoulos D. Milky-white pleural effusion in a patient with acute respiratory failure: a case report. *Intensive Care Med.* **2000** May;26(5):645-6.
- [98] **Varache N**, Bouachour G, Le Davay M, Harry P, Alquier P. Bilateral chylothorax following jugular catheterization in a woman with complete situs inversus. *Am J Emerg Med.* **1991** May;9(3):235-6.
- [99] **Schummer W**, Schummer C, Müller A, Karzai W. Extravasation—eine seltene Komplikation zentralvenöser Katheter? Fallbericht einer drohenden Arrosion der A. carotis. *Anaesthesist.* **2003** Aug;52(8):711-7.
- [100] **Forauer AR**. Pericardial tamponade in patients with central venous catheters. *J Infus Nurs.* **2007** May-Jun;30(3):161-7.
- [101] **Kalen V**, Medige TA, Rinsky LA. Pericardial tamponade secondary to perforation by central venous catheters in orthopaedic patients. *J Bone Joint Surg Am.* **1991** Dec;73(10):1503-6.
- [102] **Booth SA**, Norton B, Mulvey DA. Central venous catheterization and fatal cardiac tamponade. *Br J Anaesth.* **2001** Aug;87(2):298-302.
- [103] **Forauer AR**, Dasika NL, Gemmete JJ, Theoharis C. Pericardial tamponade complicating central venous interventions. *J Vasc Interv Radiol.* **2003** Feb;14 (2 Pt 1):255-9.
- [104] **Karnauchow PN**. Cardiac tamponade from central venous catheterization. *CMAJ.* **1986** Nov 15;135(10):1145-7.
- [105] **Losert H**, Prokesch R, Grabenwöger M, Waltl B, Apsner R, Sunder-Plassmann G, Muhm M. Inadvertent transpericardial insertion of a central venous line with cardiac tamponade failure of preventive practices. *Intensive Care Med.* **2000** Aug;26(8):1147-50.
- [106] **Cherng YG**, Cheng YJ, Chen TG, Wang CM, Liu CC. Cardiac tamponade in an infant. A rare complication of central venous catheterisation. *Anaesthesia.* **1994** Dec;49(12):1052-4.
- [107] **Casado-Flores J**, Barja J, Martino R, Serrano A, Valdivielso A. Complications of central venous catheterization in critically ill children. *Pediatr Crit Care Med.* **2001** Jan;2(1):57-62.

- [108] **Puel V**, Caudry M, Le Métayer P, Baste JC, Midy D, Marsault C, Demeaux H, Maire JP. Superior vena cava thrombosis related to catheter malposition in cancer chemotherapy given through implanted ports. *Cancer*. **1993** Oct 1;72(7):2248-52.
- [109] **Timsit JF**, Farkas JC, Boyer JM, Martin JB, Misset B, Renaud B, Carlet J. Central vein catheter-related thrombosis in intensive care patients: incidence, risks factors, and relationship with catheter-related sepsis. *Chest*. **1998** Jul;114(1):207-13.
- [110] **Ryan JA Jr**, Abel RM, Abbott WM, Hopkins CC, Chesney TM, Colley R, Phillips K, Fischer JE. Catheter complications in total parenteral nutrition. A prospective study of 200 consecutive patients. *N Engl J Med*. **1974** Apr 4;290(14):757-61.
- [111] **Dailey RH**. Late vascular perforations by CVP catheter tips. *J Emerg Med*. **1988** Mar-Apr;6(2):137-40.
- [112] **Boxt LM**, Reagan K, Katz J. Normal Plain Film Examination of the Heart and Great Arteries in the Adult. *J Thorac Imaging* **1994**;9: 208-218.
- [113] **Wirsing M**, Schummer C, Neumann R, Steenbeck J, Schmidt P, Schummer W. Is traditional reading of the bedside chest radiograph appropriate to detect intraatrial central venous catheter position? *Chest*. **2008** Sep;134(3):527-33. Epub 2008 Jul 18.
- [114] **Pirotte T**, Veyckemans F. Ultrasound-guided subclavian vein cannulation in infants and children: a novel approach. *Br J Anaesth*. **2007** Apr;98(4):509-14. Epub 2007 Mar 1.
- [115] **Serafini G**, Pietrobono P, Cornara G. Location of central venous catheters in children by endocavitary ECG: A new technique. *Clin Nutr*. **1985** Nov;4(4):201-2.
- [116] **National Institute for Clinical Excellence (2002)**. Guidance on the use of ultrasound location devices for placing central venous catheters. Technology Appraisal Guidance No 49, September. <http://www.nice.org.uk> 2002
- [117] **Giraldo Lozano L**, Barjau Capdevila M. Silastic catheters: pinpointing the end tip of the catheter by means of electrocardiographic monitoring. *Rev Enferm*. **1997** Oct;20(230):50-2.
- [118] **Pawlik MT**, Kutz N, Keyl C, Lemberger P, Hansen E. Central venous catheter placement: comparison of the intravascular guidewire and the fluid column electrocardiograms. *Eur J Anaesthesiol*. **2004** Aug;21(8):594-9.
- [119] **Hausser J**. Clinical use of a new cava catheter with an ECG lead over a steel mandrin. *Anaesthesist*. **1990** Apr;39(4):240-2.
- [120] **Simon L**, Teboul A, Gwinner N, Boulay G, Cerceau-Delaporte S, Hamza J. Central venous catheter placement in children: evaluation of electrocardiography using J-wire. *Paediatr Anaesth*. **1999**;9(6):501-4.
- [121] **Albuquerque Júnior FC**, Vasconcelos PR. Technical aspects of central venous catheterization. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care*. **1998** May;1(3):297-304.
- [122] **Starr DS**, Cornicelli S. EKG guided placement of subclavian CVP catheters using J-wire. *Ann Surg*. **1986** Dec;204(6):673-6.

- [123] **Gladwin MT**, Slonim A, Landucci DL, Gutierrez DC, Cunnion RE. Cannulation of the internal jugular vein: is postprocedural chest radiography always necessary? *Crit Care Med.* **1999** Sep;27(9):1819-23.
- [124] **Aslamy Z**, Dewald CL, Heffner JE. MRI of central venous anatomy: implications for central venous catheter insertion. *Chest.* **1998** Sep;114(3):820-6.
- [125] **Rutherford JS**, Merry AF, Occleshaw CJ. Depth of central venous catheterization: an audit of practice in a cardiac surgical unit. *Anaesth Intensive Care.* **1994** Jun;22(3):267-71.
- [126] **Coskun D**, Mahli A, Oncul S, Ilvan G, Dalgic A. Malposition of subclavian vein catheter inserted through indirect technique in a pediatric liver transplantation: a case report. *Cases J.* **2009** Jun 3;2:7998.
- [127] **Conces DJ Jr**, Holden RW. Aberrant locations and complications in initial placement of subclavian vein catheters. *Arch Surg.* **1984** Mar;119(3):293-5.
- [128] **Peres PW**. Positioning central venous catheters--a prospective survey. *Anaesth Intensive Care.* **1990** Nov;18(4):536-9.
- [129] **Vesely TM**. Central venous catheter tip position: a continuing controversy. *J Vasc Interv Radiol.* **2003** May;14(5):527-34.
- [130] **Rey C**, Alvarez F, De La Rua V, Medina A, Concha A, Díaz JJ, Menéndez S, Los Arcos M, Mayordomo-Colunga J. Mechanical complications during central venous cannulations in pediatric patients. *Intensive Care Med.* **2009** Aug;35(8):1438-43. Epub 2009 Jun 16.
- [131] **Craft PS**, May J, Dorigo A, Hoy C, Plant A. Hickman catheters: left-sided insertion, male gender, and obesity are associated with an increased risk of complications. *Aust N Z J Med.* **1996** Feb;26(1):33-9.
- [132] **Kowalski CM**, Kaufman JA, Rivitz SM, Geller SC, Waltman AC. Migration of central venous catheters: implications for initial catheter tip positioning. *J Vasc Interv Radiol.* **1997** May-Jun;8(3):443-7.
- [133] **Krebs A**, Product Manager (Marketing Management Regional) Teleflex Medical GmbH, persönliche Mitteilung
- [134] **Rooden CJ**, Tesselaar ME, Osanto S, Rosendaal FR, Huisman MV. Deep vein thrombosis associated with central venous catheters - a review. *J Thromb Haemost.* **2005** Nov;3(11):2409-19. Epub **2005** Jun 24.
- [135] **Hosseinpour M**, Mashadi MR, Behdad S, Azarbad Z. Central venous catheterization in neonates: Comparison of complications with percutaneous and open surgical methods. *J Indian Assoc Pediatr Surg.* **2011** Jul;16(3):99-101.
- [136] **Inagawa G**, Ka K, Tanaka Y, Kato K, Tanaka M, Miwa T, Morimura N, Koyama Y, Hiroki K. The carina is not a landmark for central venous catheter placement in neonates. *Paediatr Anaesth.* **2007** Oct;17(10):968-71.



- [137] **Kremser J**, Kleemann F, Reinhart K, Schummer W. Optimized method for correct left-sided central venous catheter placement under electrocardiographic guidance. *British Journal of Anaesthesia* 107 (4): 567–72 (2011)
- [138] **Nowak-Göttl U**, Dübbers A, Kececioglu D, Koch HG, Kotthoff S, Runde J, Vielhaber H. Factor V Leiden, protein C, and lipoprotein (a) in catheter-related thrombosis in childhood: a prospective study. *J Pediatr.* 1997 Oct;131(4):608-12.
- [139] **Beck C**, Dubois J, Grignon A, Lacroix J, David M. Incidence and risk factors of catheter-related deep vein thrombosis in a pediatric intensive care unit: a prospective study. *J Pediatr.* 1998 Aug;133(2):237-41.
- [140] **Timsit JF**, Farkas JC, Boyer JM, Martin JB, Misset B, Renaud B, Carlet J. Central vein catheter-related thrombosis in intensive care patients: incidence, risks factors, and relationship with catheter-related sepsis. *Chest.* 1998 Jul;114(1):207-13.
- [141] **Wu X**, Studer W, Skarvan K, Seeberger MD. High incidence of intravenous thrombi after short-term central venous catheterization of the internal jugular vein. *J Clin Anesth.* 1999 Sep;11(6):482-5.
- [142] **Hentschel R**, Sutor AH. Katheterthrombosen im Kindesalter und ihre Prävention. *Hämostaseologie.* 2002 Dec;22(4):167-73.
- [143] **Gesellschaft für Thrombose und Hämostaseforschung e.V. (GTH)**. Pressemitteilung vom 02.05.2011. [http://www.gth-online.org/home/presse/GTH-Presstext-2011-05-02\\_SchlaganfallKinder.pdf](http://www.gth-online.org/home/presse/GTH-Presstext-2011-05-02_SchlaganfallKinder.pdf)
- [144] **Stas M**, Mulier S, Pattyn P, Vijgen J, De Wever I. Peroperative intravasal electrographic control of catheter tip position in access ports placed by venous cut-down technique. *Eur J Surg Oncol.* 2001 Apr;27(3):316-20.
- [145] Zahlenangaben des statistischen Bundesamtes zur Bevölkerung in Deutschland im Jahr 2009
- [146] §5 der Deutschen Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vom 1. August 2001, zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung vom 04. Oktober 2011
- [147] §32 der Deutschen Röntgenverordnung (RöV) vom 08. Januar 1987, zuletzt geändert durch Artikel 1 der Verordnung zur Änderung der Röntgenverordnung und anderer atomrechtlicher Verordnungen vom 18. Juni 2002
- [148] **Duntley P**, Siever J, Korwes ML, Harpel K, Heffner JE. Vascular erosion by central venous catheters. Clinical features and outcome. *Chest.* 1992 Jun;101(6):1633-8.
- [149] **Jost K**, Leithäuser M, Grosse-Thie C, Bartolomaeus A, Hilgendorf I, Andree H, Casper J, Freund M, Junghanss C. Perforation of the superior vena cava - a rare complication of central venous catheters. *Onkologie.* 2008 May;31(5):262-4. Epub 2008 Apr 18.

- [150] **E. Hansen**, N. Kutz, C. Keyl, K. Taeger. ZVK-Lagekontrolle durch EKG-Ableitung über den Einführdraht. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther.* **1998** Feb;33(2):110-3.
- [151] **Curelaru I**, Linder LE, Gustavsson B. Displacement of catheters inserted through internal jugular veins with neck flexion and extension. A preliminary study. *Intensive Care Med.* **1980** May;6(3):179-83.
- [152] **Schummer W**, Schummer C, Tuppatsch H, Fuchs J, Bloos F, Hüttemann E. Ultrasound-guided central venous cannulation: is there a difference between Doppler and B-mode ultrasound? *J Clin Anesth.* **2006** May;18(3):167-72.
- [153] **Wölfel R.**, Ethik-Kommission der Universität Würzburg, e-mail vom 21.09.2009
- [154] **Hick C**, Hick A. *Physiologie*, 4. Überarbeitete und aktualisierte Auflage (2002), Kapitel 3 (Herz), S.52ff

## 7.2 Abbildungsnachweis:

- Abbildung 1: **Forssmann W.** Die Sondierung des rechten Herzens. *Klin Wochenschr* **1929**; 8: 2085-2087.
- Abbildung 2: Skizze des zentralen Venensystems anhand **Schünke M.** *Prometheus: Lernatlas der Anatomie – Hals und innere Organe*, 2. Auflage, Thieme Verlag **2009**.
- Abbildung 3: **McGee DC**, Gould MK. Preventing complications of central venous catheterization. *N Engl J Med.* **2003** Mar 20; 348 (12): 1123-33. Bildausschnitt.
- Abbildung 4: Veranschaulichung der P-Wellenmorphologie abhängig von der Lage des ZVK anhand Herz-Anatomie aus **Frank H. Netter**: *Atlas der Anatomie des Menschen*, 3. Überarbeitete und erweiterte Auflage.
- Abbildung 5: **Hick C**, Hick A. *Physiologie*, 4. Überarbeitete und aktualisierte Auflage (**2002**), Kapitel 3 (Herz), Seite 55, „Abb. 3.9: Richtung und Stärke des Integralvektors und die korrespondierende EKG-Ableitung (II nach Einthoven) bzw. Vektorschleifen bei der elektrischen Herzaktion.“

- Abbildung 6: **Simon L**, Teboul A, Gwinner N, Boulay G, Cerceau-Delaporte S, Hamza J. Central venous catheter placement in children: evaluation of electrocardiography using J-wire. *Paediatr Anaesth.* **1999**;9(6):501-4. Abbildung wurde mit GIMP nachbearbeitet und Text auf Deutsch übersetzt.
- Abbildung 7: **Simon L**, Teboul A, Gwinner N, Boulay G, Cerceau-Delaporte S, Hamza J. Central venous catheter placement in children: evaluation of electrocardiography using J-wire. *Paediatr Anaesth.* **1999**;9(6):501-4.
- Abbildung 8: **Hsu JH**, Wang CK, Chu KS, Cheng KI, Chuang HY, Jaw TS, Wu JR. Comparison of radiographic landmarks and the echocardiographic SVC/RA junction in the positioning of long-term central venous catheters. *Acta Anaesthesiol Scand.* **2006** Jul;50(6):731-5.
- Abbildung 9: **Coskun D**, Mahli A, Oncul S, Ilvan G, Dalgic A. Malposition of subclavian vein catheter inserted through indirect technique in a pediatric liver transplantation: a case report. *Cases J.* **2009** Jun 3;2:7998.
- Foto 1-4: Originalaufnahmen aus dem PACS abfotografiert am 16.12.2009 in der Klinik und Poliklinik für Anästhesiologie der Universität Würzburg.
- Tabelle 1: **Rooden CJ**, Tesselaar ME, Osanto S, Rosendaal FR, Huisman MV. Deep vein thrombosis associated with central venous catheters - a review. *J Thromb Haemost.* 2005 Nov;3(11):2409-19. Epub 2005 Jun 24.
- Tabelle 2: "Table II – Review of literature" von **Bailey SH**, Shapiro SB, Mone MC, Saffle JR, Morris SE, Barton RG. Is immediate chest radiograph necessary after central venous catheter placement in a surgical intensive care unit? *Am J Surg.* **2000** Dec;180(6):517-21; discussion 521-2.

### 7.3 Liste der verwendeten Abkürzungen:

ZVK	zentraler Venenkatheter
a.p.	anterior posterior
V.	Vena
D	Doppler
V	Venographie
Vv	Venae
A.	Arteria
M.	Musculus
VJI	Vena jugularis interna
Vsc	Vena subclavia
re	rechts
li	links
KathCarAbs	Abstand von Katheterspitze zu Carina
TC-Distanz	Abstand Katherspitze (englisch „tip“) zu Carina
HB	Heparin beschichtet
NHB	nicht Heparin beschichtet
AlterKat	Altersgruppe
Abb.	Abbildung
Tab.	Tabelle

## 7.4 Meßdaten

### 7.4.1 Rohdaten

#### Spaltenlegende

**A** = Fallnummer

**B** = Absolute TC-Distanz [mm]

**C** = Kategorie (TC-Distanz)

$\Delta 0 +/- 5$  = 1

$\Delta >5$  bis 20 = 2

$\Delta >20$  = 3

**D** = Kategorie: Spitzenlage [mm] zu Carinaniveau ( oberhalb „-“/ unterhalb „+“)

1 = 0 – 5

2 = 5 – 20

3 = > 20

4 = 0 – minus5

5 = minus5 – minus20

6 = über minus 20

**E** = Geschlecht: 1=m 2=w

**F** = Alter absolut [Monate]

**G** = Kategorie (Altersgruppen)

1 = 0 – 12 Monate

2 = 13 – 72 Monate

3 = >72 Monate

**H** = Punktionsstelle

1 = VJI re

2 = VJI li

3 = Vsc re

4 = Vsc li

**I** = Projektion des ZVK im Vorhof

1 = keine Projektion >1cm unterhalb Übergang V. cava sup./Vorhof

2 = mit Projektion des ZVK >1cm unterhalb Übergang

**J** = Lagetyp korrekt/Fehllage

1 = korrekte Lage

2 = alle Fehllagen, auch unabhängig von TC-Distanz (Winkelbildung, falsches Gefäß etc.)

**K** = wörtliche Beschreibung der Fehllagen ("hoch", "tief", "Winkel"bildung, "Umschlag")

**L** = Patientengröße in [m]

**M** = Patientengewicht in [kg]

**N** = BMI

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	-3	1	4	1	12	1	1	1	1		0,75	9,0	16,0
2	-4	1	4	1	56	2	1	1	1		0,86	12,7	17,4
3	-11	2	5	1	12	1	1	1	1		0,78	10,6	17,4
4	-4	1	4	1	32	2	1	1	1		0,93	11,0	12,9
5	9	2	2	1	25	2	1	1	1		0,86	10,4	14,1
6	-8	2	5	2	92	3	1	1	1		1,30	26,0	15,4
7	10	2	2	1	27	2	1	1	1		0,83	10,8	15,7
8	-17	2	5	1	43	2	1	1	2	Umschlag	1,01	18,0	17,6
9	-2	1	5	1	43	2	1	1	1		1,00	18,0	18,0
10	-7	2	5	1	122	3	1	1	1		1,30	35,4	20,9
11	-6	2	5	1	158	3	1	1	1		1,65	55,0	20,2
12	-6	2	5	1	69	2	1	1	1		1,16	20,0	14,9
13	-4	1	4	2	159	3	1	1	1		1,58	56,7	22,7
14	29	3	3	1	66	2	1	2	2	tief	1,20	26,5	18,4
15	35	3	3	1	110	3	1	1	1		1,39	32,0	16,6
16	-5	1	4	1	157	3	1	1	1		1,65	55,0	20,2
17	-1	1	4	2	0	1	1	1	1		0,56	3,9	12,4
18	-8	2	5	2	5	1	3	1	1		0,62	5,1	13,3
19	15	2	2	2	8	1	1	1	1		0,66	5,7	13,2
20	0	1	1	1	5	1	1	1	1		0,67	6,7	14,9
21	-13	2	5	1	19	2	1	1	1		0,81	10,5	16,0
22	4	1	1	2	14	2	1	1	1		0,85	12,5	17,3
23	25	3	3	2	16	2	1	2	2	tief	0,58	5,7	16,9
24	3	1	1	2	55	2	1	1	1		1,12	22,0	17,5
25	3	1	1	2	60	2	1	1	1		1,06	13,5	12,0
26	-5	1	4	2	83	3	1	1	1		1,16	23,0	17,1
27	7	2	2	2	68	2	1	1	1		1,13	20,0	15,7
28	-11	2	5	2	110	3	1	1	1		1,40	29,1	14,8
29	-3	1	4	2	47	2	1	1	1		0,93	10,3	11,9
30	-4	1	4	2	60	2	1	1	1		0,99	13,0	13,3
31	-22	3	6	1	34	2	1	1	2	hoch	0,97	16,6	17,6
32	-7	2	5	1	111	3	1	1	1		1,34	27,7	15,4
33	16	2	2	1	154	3	1	1	1		1,72	49,0	16,6
34	-48	3	6	1	125	3	1	1	2	hoch	1,40	35,0	17,9
35	4	1	1	2	4	1	1	1	1		0,65	6,6	15,6
36	-23	3	6	2	110	3	1	1	2	hoch	1,27	27,0	16,7
37	-7	2	5	1	69	2	1	1	1		1,18	24,0	17,2
38	2	1	1	1	92	3	1	1	1		1,18	34,0	24,4
39	-9	2	5	1	3	1	1	1	1		0,59	8,2	23,6
40	-17	2	5	2	26	2	1	1	1		0,83	12,6	18,3

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
41	11	2	2	2	157	3	1	1	1		1,61	42,4	16,4
42	-1	1	4	1	5	1	1	1	1		0,71	8,4	16,7
43	-3	1	4	2	18	2	1	1	1		0,88	13,5	17,4
44	1	1	1	1	50	2	1	1	1		1,08	20,0	17,1
45	-5	1	4	1	116	3	1	1	1		1,38	44,9	23,6
46	13	2	2	1	123	3	1	1	1		1,29	35,0	21,0
47	-29	3	6	1	6	1	1	1	2	hoch	0,66	8,0	18,4
48	-15	2	5	1	131	3	1	1	1		1,37	41,8	22,3
49	-16	2	5	1	137	3	1	1	1		1,39	43,0	22,3
50	9	2	2	2	167	3	1	1	1		1,64	47,0	17,5
51	-15	2	5	1	19	2	1	1	1		0,89	16,0	20,2
52	3	1	1	2	136	3	1	1	1		1,54	31,6	13,3
53	25	3	3	2	162	3	1	1	1		1,68	45,0	15,9
54	-1	1	4	1	81	3	1	1	1		1,16	21,0	15,6
55	-6	2	5	2	12	1	1	1	1		0,76	9,3	16,1
56	-3	1	4	2	80	3	1	1	1		1,17	23,0	16,8
57	1	1	1	2	93	3	1	1	1		1,34	30,7	17,1
58	-4	1	4	1	11	1	1	1	1		0,77	8,6	14,5
59	-9	2	5	2	149	3	1	1	1		1,55	82,3	34,3
60	5	1	1	1	171	3	1	1	1		1,70	53,0	18,3
61	3	1	1	1	4	1	1	1	1		0,68	7,4	16,0
62	10	2	2	1	4	1	1	1	1		0,66	8,7	20,0
63	21	3	3	2	167	3	1	1	1		1,58	57,0	22,8
64	5	1	1	2	0	1	1	1	1		0,54	3,4	11,7
65	11	2	2	1	8	1	1	1	1		0,71	7,9	15,6
66	22	3	3	1	157	3	1	1	1		1,69	51,8	18,1
67	20	2	2	2	9	1	1	1	1		0,78	10,8	17,8
68	-1	1	4	1	6	1	1	1	1		0,75	5,0	8,9
69	11	2	2	2	12	1	1	1	1		0,73	7,0	13,1
70	7	2	2	2	19	2	1	1	1		0,60	11,5	31,9
71	24	3	3	1	138	3	1	1	1		1,51	44,0	19,3
72	10	2	2	1	108	3	1	1	1		1,39	49,0	25,4
73	-25	3	6	1	78	3	1	1	2	hoch	1,08	17,4	14,9
74	-11	2	5	2	74	3	1	1	1		1,18	22,0	15,8
75	-1	1	4	1	11	1	1	1	1		0,76	10,0	17,3
76	9	2	2	1	9	1	1	1	1		0,73	9,3	17,5
77	-11	2	5	1	76	3	1	1	1		1,11	21,0	17,0
78	-9	2	5	1	23	2	1	1	1		0,83	11,5	16,7
79	22	3	3	2	164	3	1	1	1		1,71	68,3	23,4
80	8	2	2	1	119	3	1	1	1		1,36	31,5	17,0

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
81	25	3	3	1	0	1	1	1	1		0,46	2,9	13,5
82	-11	2	5	1	107	3	1	1	1		1,28	21,0	12,8
83	16	2	2	2	5	1	1	1	1		0,67	7,1	15,8
84	2	1	1	2	112	3	1	1	1		1,35	32,0	17,6
85	16	2	2	2	127	3	1	1	1		1,36	25,0	13,5
86	-18	2	5	2	123	3	1	1	1		1,40	31,0	15,8
87	7	2	2	2	165	3	1	1	1		1,57	42,4	17,2
88	11	2	2	1	77	3	1	1	1		1,26	31,0	19,5
89	7	2	2	1	4	1	1	1	1		0,66	7,2	16,5
90	43	3	3	1	88	3	3	2	2	tief	1,32	33,0	18,9
91	-4	1	4	2	12	1	1	1	1		0,75	10,1	18,0
92	20	2	2	1	112	3	1	1	1		1,36	26,4	14,3
93	-1	2	4	1	6	1	1	1	1		0,63	6,8	17,1
94	4	1	1	1	85	3	1	1	1		1,23	28,5	18,8
95	-2	1	4	1	17	2	1	1	1		0,80	8,7	13,6
96	6	2	2	1	29	2	1	1	1		0,92	11,0	13,0
97	12	2	2	1	43	2	1	1	1		1,01	15,0	14,7
98	6	2	2	1	5	1	1	1	1		0,73	7,8	14,6
99	6	2	2	1	60	2	1	1	1		1,08	19,0	16,3
100	-3	1	4	1	129	3	1	1	1		1,46	30,7	14,4
101	13	2	2	1	0	1	1	1	1		0,52	4,1	15,2
102	19	2	2	1	28	2	1	1	1		0,91	13,0	15,7
103	33	3	3	1	60	2	2	1	1		1,08	22,0	18,9
104	-8	2	5	2	86	3	2	1	1		1,21	21,0	14,3
105	-4	1	4	2	17	2	2	1	1		0,75	8,3	14,8
106	-3	1	4	1	10	1	4	1	1		0,52	7,0	25,9
107	-3	1	4	1	8	1	4	1	1		0,60	6,0	16,7
108	-3	1	4	2	21	2	4	1	2	Winkel	0,87	12,0	15,9
109	-1	1	4	2	94	3	2	1	1		1,32	35,0	20,1
110	-8	2	5	2	15	2	2	1	2	Winkel	0,68	8,5	18,4
111	-64	3	6	1	136	3	4	1	2	Umschlag	1,45	28,0	13,3
112	31	3	3	1	136	3	4	1	1		1,45	28,0	13,3
113	45	3	3	2	119	3	4	1	1		1,49	35,0	15,8
114	42	3	3	2	120	3	2	1	1		1,50	34,0	15,1
115	-8	2	5	2	47	2	1	1	1		1,04	15,9	14,7
116	7	2	2	2	16	2	1	1	1		0,77	8,9	15,0
117	-6	2	5	2	166	3	1	1	1		1,56	42,0	17,3
118	-7	2	5	2	173	3	1	1	1		1,60	45,0	17,6
119	-6	2	5	1	7	1	1	1	1		0,76	9,7	16,8
120	-2	1	4	2	27	2	1	1	1		0,97	14,6	15,5



A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
121	-30	3	6	2	26	2	1	1	2	hoch	0,92	14,1	16,7
122	14	2	2	2	82	3	4	1	1		1,22	22,5	15,1
123	-8	2	5	2	41	2	1	1	1		0,98	13,0	13,5
124	1	1	1	1	7	1	1	1	1		0,72	8,2	15,8
125	0	1	1	1	15	2	1	1	1		0,84	11,6	16,4
126	-5	1	4	1	101	3	1	1	1		1,30	41,0	24,3
127	12	2	2	1	17	2	1	1	1		0,79	8,5	13,6
128	15	2	2	1	6	1	2	2	2	tief	0,70	7,1	14,5
129	-3	1	4	1	12	1	2	1	2	Winkel	0,80	9,0	14,1
130	-4	1	4	1	12	1	1	1	1		0,80	12,0	18,8
131	4	1	1	2	136	3	1	1	1		1,52	40,0	17,3
132	22	3	3	2	162	3	1	1	1		1,58	43,0	17,2
133	2	1	1	2	12	1	1	1	1		0,74	8,5	15,5
134	-13	2	5	2	97	3	1	1	1		1,28	30,0	18,3
135	11	2	2	1	5	1	1	1	1		0,69	8,1	17,0
136	2	1	1	2	7	1	1	1	1		0,65	7,1	16,8
137	7	2	2	2	80	3	1	1	1		1,15	23,0	17,4
138	0	1	1	2	93	3	1	1	1		1,23	29,0	19,2
139	-2	1	4	2	119	3	1	1	1		1,45	38,1	18,1
140	6	2	2	1	12	1	1	1	1		0,75	9,5	16,9
141	-11	2	5	1	39	2	1	1	1		1,03	19,0	17,9
142	2	1	1	1	41	2	1	1	1		1,04	20,0	18,5
143	14	2	2	1	12	1	1	1	1		0,68	7,1	15,4
144	2	1	1	2	0	1	1	1	1		0,52	3,2	11,8
145	-24	3	6	2	18	2	1	1	2	hoch	0,76	8,5	14,7
146	-11	2	5	1	120	3	1	1	1		1,36	33,7	18,2
147	5	1	1	2	12	1	1	1	1		0,78	8,9	14,6
148	15	2	2	1	6	1	2	1	1		0,73	8,4	15,8
149	-5	1	4	2	71	2	1	1	1		1,20	21,0	14,6
150	13	2	2	2	123	3	1	1	1		1,33	26,5	15,0
151	20	2	2	1	168	3	1	1	1		1,85	84,0	24,5
152	-28	3	6	1	57	2	1	1	2	hoch	1,04	17,5	16,2
153	-3	1	4	2	16	2	1	1	1		0,77	8,0	13,5
154	-12	2	5	1	38	2	1	1	1		0,99	14,0	14,3
155	15	2	2	1	7	1	1	1	1		0,70	7,9	16,1

## 7.4.2 Deskriptive Statistik

Geschlecht	Punktionsort	Altersgruppe [Monate]	Mittelwert der TC-Distanz [mm]	Standardabweichung [mm]	N
Gesamt (Jungen + Mädchen)	VJl re	0 bis 12	3,47	9,82	38
		13 bis 72	-2,26	12,65	43
		>72	1,02	14,84	56
		Gesamt	0,67	13,03	137
	VJl li	0 bis 12	9,00	10,39	3
		13 bis 72	7,00	22,61	3
		>72	11,00	27,07	3
		Gesamt	9,00	18,47	9
	VSc re	0 bis 12	-8,00	0,00	1
		>72	43,00	0,00	1
		Gesamt	17,50	36,06	2
	VSc li	0 bis 12	-3,00	0,00	2
		13 bis 72	-3,00	0,00	1
		>72	6,50	48,68	4
		Gesamt	2,43	34,79	7
	Gesamt	0 bis 12	3,30	9,75	44
		13 bis 72	-1,68	13,18	47
		>72	2,48	18,99	64
		Gesamt	1,45	15,18	155

	Größe [m]	Gewicht [kg]	Alter [Monate]
<b>Mittelwert</b>	<b>1,06</b>	<b>21,8</b>	<b>63,44</b>
<b>Max.</b>	1,85	84	168
<b>Min.</b>	0,52	2,9	0

## 7.4.3 Analyse der Daten

### Normalverteilung:

Kolmogorov-Smirnov-Anpassungstest		
		TC-Distanz
N		155,00
Parameter der Normalverteilung <sup>a, b</sup>	Mittelwert	1,45
	Standardabweichung	15,18
Extremste Differenzen	Absolut	0,09
	Positiv	0,07
	Negativ	-0,09
Kolmogorov-Smirnov-Z		1,12
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)		0,16

a. Die zu testende Verteilung ist eine Normalverteilung.

b. Aus den Daten berechnet.

### Einfluss von Geschlecht, Punktionsstelle, Alter und BMI auf die erzielte TC-Distanz:

TC-Distanz versus Punktionsstelle		
Duncan <sup>a, b, c</sup>		
Punktionsstelle	N	Untergruppe 1
VJl re	137	0,672
VSc li	7	2,43
VJl li	9	9,00
VSc re	2	17,50
Sig.		0,086
Fazit: Kein signifikanter Einfluss der Punktionsstelle auf TC-Distanz		

TC-Distanz versus Alter		
Duncan <sup>a,b,c</sup>		
Alter	N	Untergruppe
2,00	47	-1,68
3,00	64	2,48
1,00	44	3,30
Sig.		0,105

**Fazit:** Kein signifikanter Einfluss des Alters auf TC-Distanz

Übersicht Einflussfaktoren auf TC-Distanz						
Varianzanalyse						
Quelle	Quadratsumme vom Typ III	df	Quadrate	F	Sig.	Partielles Eta-Quadrat
Geschlecht	35,710	1	35,710	0,171	0,68	0,001
Punktionsstelle	1270,692	3	423,564	2,032	0,112	0,042
AlterKatNeu	420,537	2	210,269	1,009	0,367	0,014
Geschlecht * Punktionsstelle	2792,333	2	1396,166	6,697	0,002	0,088
Geschlecht * AlterKatNeu	76,265	2	38,133	0,183	0,833	0,003
Punktionsstelle * AlterKatNeu	1337,380	4	334,345	1,604	0,177	0,044

**Fazit:** Kein signifikanter Einfluss von Geschlecht, Punktionsstelle, Alter auf TC-Distanz. Nur Interaktion von Geschlecht und Punktionsstelle auf TC-Distanz.

**Anmerkung:** Signifikant erscheinende Interaktion von Geschlecht und Punktionsstelle auf TC-Distanz beruht auf Geschlechtsunterschied für linke Vsc und VJl (siehe folgende Tabellen)

Punktionsstellen bei Jungen			
Punktionsstelle	Wertelabel	N	
1	VJl re	78	
2	VJl li	4	
3	VSc re	1	
4	VSc li	4	

Punktionsstelle bei Mädchen			
Punktionsstelle	Wertelabel	N	
1	VJl re	59	
2	VJl li	5	
3	VSc re	1	
4	VSc li	3	

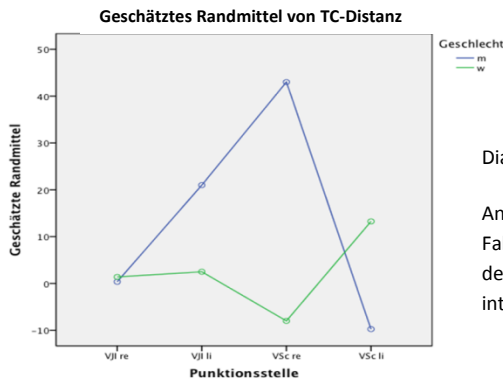


Diagramm TC-Distanz versus Punktionsstelle und Geschlecht:

Anmerkung: Der starke Ausschlag über Vsc rechts beruht auf der geringen Fallzahl von n=2 (oberer Punkt = 1 Junge, unterer Punkt = 1Mädchen). Bei der mit 137 von 155 am häufigsten gewählten Punktionsstelle (V. jugularis interna rechts) besteht kein Geschlechtsunterschied.

TC-Distanz versus BMI				
logistische Regression				
Faktor	R-Quadrat	F	Sig.	β
<b>BMI</b>	0	0,005	0,941	-0,006

**Fazit:** Kein signifikanter Einfluss des BMI auf die TC-Distanz

### Einfluss von Geschlecht, Punktionsstelle, Alter und BMI auf korrekte Lage/Fehllage:

korrekte Lage versus Geschlecht	
Mann-Whitney-Test	
Mann-Whitney-U	1060
Z	-0,753
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,452
Fazit: Kein signifikanter Einfluss von Geschlecht auf korrekte Lage	

Korrekte Lage versus Punktionsstelle	
Mann-Whitney-Test	
Mann-Whitney-U	862,500
Z	-3,197
Asymptotische Signifikanz (2-seitig)	0,001
Fazit: Kein signifikanter Einfluss von Punktionsstelle auf korrekte Lage	

Korrekte Lage versus Alter				
logistische Regression				
Faktor	R-Quadrat	Chi-Quadrat	Sig.	$\beta$
<b>Alter</b>	0,015	1,128	0,288	0,995
Fazit: Kein signifikanter Einfluss von Alter auf korrekte Lage				

Korrekte Lage versus BMI				
logistische Regression				
Faktor	R-Quadrat	Chi-Quadrat	Sig.	$\beta$
<b>BMI</b>	0,004	0,294	0,588	0,957
Fazit: Kein signifikanter Einfluss von BMI auf korrekte Lage				

### **Ergebnis: Erzielte korrekte Lagen > erwartete korrekte Lagen:**

Tatsächliche versus erwartete korrekte ZVK-Spitzenlagen			
Chi-Quadrat Test			
Lagetyp	Beobachtetes	Erwartete Anzahl	Residuum
korrekt	138	77,5	60,5
Fehllage	17	77,5	-60,5
Gesamt	155		
	Lagetyp		
Chi-Quadrat	<b>94,458</b>		
df	1		
Asympt. Sign.	<b>&lt;.001</b>		
Fazit: hoch signifikant ( $p < 0,001$ ) mehr korrekte Lagen als erwartet			

### **Fehllagetyp Winkelbildung (>40°) VS Patientenseite:**

Patientenseite (links/rechts) VS Winkelbildung			
Chi-Quadrat Test nach Pearson			
Patientenseite	kein Winkel	Winkelbildung	Gesamt
Links	13	3	16
Rechts	139	0	139
Chi-Quadrat	<b>26,58</b>		
df	1		
Asympt. Sign.	<b>0,001</b>		
Fazit: hoch signifikant mehr unerwünschte Winkelbildung bei ZVKs von links			

### **Bestimmung der Röntgengenauigkeit:**

Fall	Tubusgröße/Typ (=Innendurchmesser)	Querdurchmesser (Röntgenbild [mm])	Querdurchmesser (Original [mm])	Abweichung
1	3,5 (sw)	6	5	1,0mm
2	3,5 (sw)	5	5	0
3	3,5 (sw)	5	5	0
4	4,0 (sw)	6	5,5	0,5mm
5	4,0 (sw)	5	5,5	0,5mm
6	4,0 (sw)	6	5,5	0,5mm
Durchschnittlicher Vergrößerungsfaktor von				0,41mm, d.h. 7,8% (für durchschnittlichen Tubusdurchmesser)

## Danksagung

Mein besonderer Dank gilt Herrn **Prof. Dr. med. Franz Kehl** für die Überantwortung des vielschichtigen Themas sowie die stets freundliche und hilfsbereite Betreuung meiner Dissertation.

Außerdem danke ich sehr Herrn **Dr. med. Herbert Trautner** für seine umfassende wissenschaftliche und sehr freundliche Unterstützung sowie seine wertvolle Hilfe bei der Fertigstellung dieser Arbeit.

Weiterhin möchte ich mich bei Herrn **Dr. med Andreas Redel** für seine Unterstützung bei der statistischen Ausarbeitung, seinen sehr hilfreichen Tipps und auch Aufmunterungen bedanken.

Auch danke ich sehr herzlich Herrn **PD Dr. med. habil. Wolfram Schummer** für seine hilfreichen Anregungen zu den technischen und statistischen Aspekten meiner Arbeit.

Weiterhin gilt mein Dank Herrn **Dr. med. Martin Stenzel** für seinen Rat bei Fragen zur Kinderradiologie und den für meine Auswertung nötigen technischen Messmethoden.

Auch möchte ich mich bei meiner **Frau**, meinen **Eltern** und meiner **Schwester** bedanken, die für mich während des Zeitraums meiner Doktorarbeit ein großer Rückhalt waren.