

Aus dem Fachbereich Medizin  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Frankfurt am Main

betreut am  
Zentrum der Inneren Medizin  
Medizinische Klinik 4 (Nephrologie)  
Direktor: Prof. Dr. Thimoteus Speer

**Evaluation des Iliakalvenenkatheters als Gefäßzugang zur  
Hämodialyse im Langzeitverlauf**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin  
des Fachbereichs Medizin  
der Johann Wolfgang Goethe-Universität  
Frankfurt am Main

vorgelegt von  
Lion Karl-Josef Bernd Lautenschläger

aus Frankfurt am Main

Frankfurt am Main, 2023

Dekan:	Prof. Dr. Stefan Zeuzem
Referent:	Prof. Dr. Nicholas Obermüller
Korreferent:	Prof. Dr. Thomas Vogl
Tag der mündlichen Prüfung:	25.01.2024

<b>1. ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>6</b>
<b>2. SUMMARY.....</b>	<b>8</b>
<b>3. EINLEITUNG.....</b>	<b>10</b>
3.1. INDIKATIONEN ZUR NIERENERSATZTHERAPIE.....	11
3.2. VERFAHREN DER NIERENERSATZTHERAPIE .....	12
3.2.1 Peritonealdialyse.....	12
3.2.2. Hämofiltration.....	13
3.2.3. Nierentransplantation .....	14
3.2.3. Hämodialyse.....	16
3.3. GEFÄßZUGÄNGE ZUR HÄMODIALYSE .....	18
3.3.1. AV-Fistel.....	19
3.3.2. Graft .....	20
3.3.3. Venöse Katheter .....	21
3.3.3.1. Implantationsstellen für Langzeitkatheter.....	24
3.3.3.1.1.Vena jugularis interna.....	24
3.3.3.1.2. Vena jugularis externa .....	25
3.3.3.1.3. Vena femoralis.....	26
3.3.3.1.4. Vena subclavia.....	26
3.3.3.1.5 Unkonventionelle Gefäßzugänge.....	27
3.3.3.1.5.1. Kollaterale der Venae jugularis .....	27
3.3.3.1.5.2. Translumbale Punktion der Vena cava inferior.....	28
3.3.3.1.5.3. Vena cava inferior via vena hepatica.....	28
3.3.3.1.5.4. Vena brachiocephalica.....	28
3.3.3.1.5.5. Vena obturatoria .....	29
3.3.3.1.5.6. Vena cava inferior via Vena renalis .....	29
3.3.3.1.5.7. „Wire-Target“ Punktion der Vena cava superior .....	30
3.3.3.1.5.8. Vena iliaca .....	30
3.3.4. Komplikationen des Zentralvenenkatheters .....	31
3.3.4.1. Katheter-bedingte Blutstrominfektionen (CRBSI) .....	31
3.3.4.2. Lokale Infektionen.....	33
3.3.4.3. Okklusion & Katheter-Dysfunktion.....	33
3.3.4.3. Katheter-bedingte vaskuläre Stenose und Thrombose.....	35
3.3.4.4. Seltene Komplikationen.....	35
3.4. ZIELE DER ARBEIT .....	36
<b>4. MATERIAL UND METHODEN.....</b>	<b>37</b>
4.1. DATENERHEBUNG .....	37
4.2. EIN- UND AUSSCHLUSSKRITERIEN .....	37
4.3. BESCHREIBUNG DER VARIABLEN.....	38
4.4. DATENVERWALTUNG UND STATISTISCHE ANALYSE .....	38
4.5. IMPLANTATION DES ILIAKALVENENKATHETERS .....	39
<b>5. ERGEBNISSE.....</b>	<b>43</b>
5.1. DESKRIPTIVE UND ANALYTISCHE DATENAUSWERTUNG .....	43
5.1.1. Allgemeine Epidemiologie des Patientenkollektivs.....	43
5.1.1.1. Geschlechtsverteilung .....	43
5.1.1.2. Alter.....	44
5.1.1.3. Größe.....	44
5.1.1.4. Gewicht .....	44
5.1.1.5. BMI .....	44
5.2. Nephrologische Epidemiologie .....	46
5.2.1. Dialyserelevante Diagnose.....	46
5.2.2. Vorangegangene Dialysedauer.....	48
5.2.3. Anzahl vorheriger Gefäßzugänge .....	48
5.1.3. Auswertung und Analyse der Iliakalvenenkatheter-spezifischen Daten.....	49
5.1.3.1. Katheter-Anlage .....	49
5.1.3.2. Katheter-Liegedauer.....	49
5.1.3.2.1. Kaplan-Meier-Überlebensanalyse .....	50

5.1.3.2.1.1. Überlebensanalyse stratifiziert nach Geschlecht .....	50
5.1.3.2.2. Korrelation zwischen Alter und Katheter-Liegedauer.....	51
5.1.3.3. Ursache der Katheter-Enderfassung.....	51
5.1.3.4. Zusammenhang zwischen Alter und komplikationsbedingter Entfernung .....	54
5.1.3.5. Dialyseprotokolle .....	54
5.1.3.5.1. Blutfluss .....	54
5.1.3.5.2. Urea Reduction Rate.....	55
5.1.3.5.3. Dauer Dialysesitzung.....	55
5.1.4. <i>Komplikationen</i> .....	56
5.1.4.1. Infektionen .....	56
5.1.4.1.1. Exit-site Infektionen & Tunnelinfektionen.....	57
5.1.4.1.2. Katheter-bedingte Blutstrominfektionen (CRBSI).....	57
5.1.4.2. Interventionen bei schlechtem Blutfluss und primary patency .....	58
5.1.4.2.1. Anzahl der rt-PA Instillationen.....	59
5.1.4.2.2. Anzahl mechanischer Katheter-Eröffnungen durch Freispülen.....	59
5.1.4.3. Anzahl venöser Thrombosen.....	60
5.1.5. <i>Rechts-/ linksseitige Katheterlage</i> .....	60
5.1.5.1. Überlebensanalyse stratifiziert nach rechts-/ linksseitiger Katheterlage .....	60
5.1.5.1.1. Rechts-/linksseitige Katheterlage und Anzahl der Kathetertage.....	61
5.1.5.1.2. Rechts-/linksseitige Katheterlage und URR.....	61
5.1.5.1.3. Rechts-/linksseitige Katheterlage und Blutfluss .....	62
5.1.5.1.4. Rechts-/linksseitige Katheterlage und Anzahl der Infektionen.....	62
5.1.5.1.5. Rechts-/linksseitige Katheterlage und komplikationsbedingte Entfernungen .....	62
<b>6. DISKUSSION.....</b>	<b>63</b>
6.1. EPIDEMIOLOGIE DES PATIENTENKOLLEKTIVS .....	64
6.2. NEPHROLOGISCHE EPIDEMIOLOGIE.....	65
6.3. DER ILIAKALVENENKATHETER .....	67
6.3.1. <i>Katheter-Anlage</i> .....	67
6.3.2. <i>Katheter-Liegedauer</i> .....	67
6.3.3. <i>Ursachen der Katheter-Enderfassung</i> .....	68
6.3.4. <i>Komplikationen</i> .....	70
6.3.4.1. Infektionen .....	70
6.3.4.2. Katheter-Dysfunktion.....	71
6.3.4.3. Thrombosen.....	72
6.3.5. <i>Rechts- oder linksseitige Katheterlage</i> .....	72
6.3.6. <i>Kosmetik und Praktikabilität</i> .....	73
6.4. SCHWÄCHEN DER STUDIENARBEIT.....	74
<b>7. SCHLUSSFOLGERUNGEN .....</b>	<b>75</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIE.....</b>	<b>77</b>
<b>9. TABELLENVERZEICHNIS.....</b>	<b>83</b>
<b>10. ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>84</b>
<b>11. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>85</b>
<b>12. SCHRIFTLICHE ERKLÄRUNG.....</b>	<b>87</b>

## Gender-Erklärung

In der vorliegenden Arbeit wurde bewusst auf die Verwendung männlicher und weiblicher Sprachformen verzichtet, um zu einer besseren Lesbarkeit beizutragen. Es wurde überwiegend das generische Maskulinum verwendet. Es soll sich stets gleichermaßen sowohl auf männliche als auch ausdrücklich auf weibliche und alle anderen Geschlechteridentitäten beziehen.

## 1. Zusammenfassung

### Hintergrund und Ziele

Die Hämodialyse ist das am weitesten verbreitete Nierenersatztherapieverfahren und wird auch in den nächsten Jahren von immer mehr Patienten mit akutem und terminalen Nierenversagen beansprucht werden. Ein großlumiger, sicherer und komplikationsarmer Gefäßzugang ist essenziell für die Durchführung einer effizienten Hämodialyse. Während arterio-venöse Zugänge der klar präferierte Gefäßzugang zur chronischen Hämodialyse sind, eignen sie sich aufgrund ihrer Reifungsdauer nicht für Patienten mit akuter Dialysepflichtigkeit oder für Patienten mit untauglichen Gefäßeigenschaften. Für diese Patienten kann die Hämodialyse über einen Vorhofkatheter erfolgen. Die KDOQI Richtlinien (2019) empfehlen die präferierte Punktion der rechten Vena jugularis interna, jedoch muss für Patienten mit thrombosiertem oder obliteriertem Gefäßstatus die Verwendung neuer, unkonventionellerer Zugangswege erwogen werden, um die überlebenswichtige Hämodialyse zu ermöglichen. Ein solcher unkonventioneller Zugangsweg ist der erstmals 2006 von Betz et al. beschriebene Iliakalvenenkatheter, der während seines Beobachtungszeitraums von 1.500 Kathetertagen initial die Sicherheit und Effektivität des Verfahrens vermuten ließ.

Die vorliegende Arbeit stellt eine retrospektive Analyse des Langzeitverlaufs von 95 Iliakalvenenkathetern zur Hämodialyse dar, die in den Jahren 2004 bis 2022 im Universitätsklinikum Frankfurt implantiert wurden. Der nun deutlich längere kumulative Beobachtungszeitraum von 20.252 Tagen soll beurteilen, ob sich die ursprünglich durch Betz et al. beschriebenen Ergebnisse auch im Langzeitverlauf bestätigen und soll weiterführend einordnen, inwieweit der Iliakalvenenkatheter als Option des Zugangsweges zur chronischen Hämodialyse für Patienten mit schwierigem Gefäßstatus in Betracht gezogen werden kann.

### Patienten und Methoden

Das Patientenkollektiv bestand aus 79 Patienten (49 Männer und 30 Frauen) eines breiten Altersspektrums zum Zeitpunkt der Implantation (27 bis 84 Jahre), die während des Beobachtungszeitraums einen oder im Verlauf mehrere Dialysekatheter über eine der Iliakalvenen implantiert bekamen. Insgesamt wurden 95 Iliakalvenenkatheter erfasst und im Hinblick auf ihre Liegedauer, Komplikationsraten und Dialyse-Effektivität evaluiert. Die Datenerhebung erfolgte aus den archivierten Patientenakten und Dialyseprotokollen des Universitätsklinikums Frankfurt und ergänzend mittels Datenanforderung von weiterbehandelnden Zentren, Praxen und Kliniken.

## Ergebnisse

Der Iliakalvenenkatheter kam bei einem speziellen Patientenkollektiv zum Einsatz, welches oftmals bereits eine lange nephrologische Krankheitsgeschichte (im Durchschnitt erfolgte die Implantation 895,5 Tage nach der primären Andialyse), mehrere gescheiterte Gefäßzugänge 3,01( $\pm$ 2,97) und keine Alternativen eines sicheren konventionellen Gefäßzugangs zur Hämodialyse aufwies.

Die Katheter-Anlage verlief bei 98,96% der Implantationsversuche erfolgreich. Alle erfolgreichen Anlagen verliefen komplikationslos.

Die durchschnittliche Katheter-Liegedauer betrug 853,7 ( $\pm$  162,87) Kathetertage und die *primary patency* der Katheter lag im Mittelwert bei 507,60 ( $\pm$ 58,33) Tagen.

Die Gesamt-Infektionsrate der Iliakalvenenkatheter lag bei 0,69/1.000 Kathetertage und eine Katheter-Dysfunktion war in acht Fällen der Grund der Katheter-Entfernung (8,4%).

Die durchschnittliche *Urea Reduction Rate* betrug 68,9% ( $\pm$  7,1).

Es bestand kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen Alter ( $p=0.37$ ), Geschlecht ( $p=0,61$ ), BMI ( $p=0.97$ ) oder Seitenlage des Katheters ( $p=0.22$ ) und der Katheter-Liegedauer.

Im Verlauf erfolgte bei drei Patienten eine erfolgreiche Nierentransplantation.

## Schlussfolgerungen

Die Implantation des Iliakalvenenkatheters hat eine hohe Erfolgsrate, ein niedriges Komplikationsrisiko, ist technisch leicht zu erlernen und bedarf keiner aufwendigen interventionellen Rahmenbedingungen.

Auch im Verlauf zeigt sich ein Komplikationsprofil, das in Bezug auf Katheter-Infektionen, Katheter-Dysfunktion, Katheter-Thrombosen und Komplikations-bedingten Explantationen den etablierten Zugangswegen mindestens gleichwertig ist.

Außerdem konnte gezeigt werden, dass der Iliakalvenenkatheter eine lange Komplikations-freie Liegedauer hat und in Einzelfällen auch über mehrere Jahre hinweg eine suffiziente Hämodialyse gewährleisten kann.

Gäußerte Bedenken, nach welchen eine spätere Nierentransplantation nicht möglich sei, konnten ausgeräumt werden.

Des Weiteren beschreibt die vorliegende Studie erstmalig den Langzeitverlauf des Iliakalvenenkatheters bei einem Patientenkollektiv eines breiten Altersspektrums und zeigte auch die altersunabhängige Eignung des Zugangsweges.

## 2. Summary

### Background and Objectives

Hemodialysis is the most widely used renal replacement therapy and will continue to be utilized by increasing numbers of patients with renal failure in the coming years. Large-lumen, safe, and low-complication vascular access is essential for performing efficient hemodialysis. While arterio-venous accesses are the preferred vascular access for chronic hemodialysis, their maturation time makes them unsuitable for patients with acute dialysis requirements, as well as for patients with unfit vascular conditions. For these patients, hemodialysis can be provided via central venous catheters. Actual KDOQI guidelines (2019) recommend the preferred puncture of the right internal jugular vein, but for patients with depleted vascular status, the use of more unconventional access routes must be considered. One such unconventional access route is the iliac vein catheter first described by Betz et al. in 2006, which initially suggested the safety and efficacy of the procedure during its observation period of 1,500 catheter days.

The present work represents a retrospective analysis of the long-term course of 95 iliac vein catheters for hemodialysis implanted at University Hospital Frankfurt from 2004 to 2022. The now significantly longer cumulative observation period of 20,252 days is intended to assess whether the results originally described by Betz et al. are also confirmed in the long-term course and to further classify the extent to which the iliac vein catheter can be considered as an option of the access route for chronic hemodialysis for patients with difficult vascular status.

### Patients and Methods

The patient population consisted of 79 patients (49 men and 30 women) of a wide age range at the time of implantation (27 to 84 years). The patients had one or more dialysis catheters implanted via one of the iliac veins during the observation period. A total of 95 iliac vein catheters were recorded and evaluated for their duration of survival, complication rates, and dialysis effectiveness.

Data were collected from the archived patient records and dialysis protocols of the University Hospital Frankfurt and, in addition, by requesting data from centers, practices and clinics providing further treatment.



## Results

The iliac vein catheter was used in a special patient population, often with a long nephrological disease history (on average 895.5 days after onset of dialysis), several failed vascular accesses 3.01( $\pm$ 2.97) and no alternatives of a safe conventional vascular access for hemodialysis.

Catheter placement was successful in 98.96% of implantation attempts. All successful installations were without complications thereafter.

The mean catheter placement duration was 853.7 ( $\pm$  162.87) catheter days, and the mean primary patency of the catheters was 507.60 ( $\pm$ 58.33) days.

The overall infection rate of iliac vein catheters was 0.69/1,000 catheter days, and catheter dysfunction was the reason for catheter removal in eight cases (8.4%).

The mean urea reduction rate was 68.9% ( $\pm$  7.1).

There was no statistically significant association between age ( $p=0.37$ ), gender ( $p=0.61$ ), BMI ( $p=0.97$ ) or left- or right-sided position of the catheter ( $p=0.22$ ) and the duration of catheter placement.

In the further course three patients underwent successful kidney transplantation.

## Conclusions

Implantation of the iliac vein catheter has a high success rate, a low risk of complications, is technically easy to learn and does not require an elaborate interventional setting.

The cuffed iliac vein catheter has a complication profile during follow-up that is at least equivalent to established access routes in terms of catheter infection, catheter dysfunction, catheter thrombosis, and complication-related removal.

Furthermore, it has been shown that the iliac vein catheter has a long complication-free survival and can provide sufficient hemodialysis for several years in individual cases.

An originally expressed concern of unsuitability for kidney transplantation in the course could be eliminated.

Furthermore, the present study describes for the first time the long-term course of the iliac vein catheter in a patient population of a broad age range and showed the age-independent suitability of the access route.

### 3. Einleitung

Das terminale Nierenversagen stellt den gemeinsamen Endpunkt eines breiten Spektrums nephrologischer Erkrankungen dar. Unabhängig von der Grunderkrankung und davon, ob es sich um ein akutes, irreversibles Nierenversagen oder chronisches Geschehen handelt, kommt es für Patienten mit Nierenversagen im Verlauf zur Notwendigkeit einer lebenswichtigen Nierenersatztherapie.

Seit Beginn des 20. Jahrhunderts wurden im Forschungsfeld der Nierenersatztherapie enorme Fortschritte erzielt. So wurden erstmals erfolgreiche Ansätze einer Nierenersatztherapie als „*vivi-diffusion*“ im Jahr 1913 von Abel et al. beschrieben.<sup>1</sup> In den 1940er Jahren entwickelten Kolff et al. erstmals einen Dialyseapparat, der tauglich zur klinischen Anwendung war.<sup>2</sup> Das Prinzip der modernen Dialyse wurde im Anschluss erstmals beschrieben und basiert auf den Grundlagen der Arbeit von Alwall et al.<sup>2</sup> Neben der Hämodialyse konnten auch die Konzepte der Peritonealdialyse und der Nierentransplantation bahnbrechende Fortschritte verzeichnen und erwiesen sich in den letzten Jahrzehnten als effizient und praktikabel. Sie sind ebenso wie die Hämodialyse im Therapiespektrum der modernen Nephrologie vertreten.<sup>2</sup>

Die Hämodialyse ist das in Deutschland am häufigsten angewandte Nierenersatztherapie-Verfahren und wird, so prognostiziert, auch in den kommenden Jahren von immer mehr Patienten beansprucht werden müssen.<sup>3</sup> Der notwendige Gefäßzugang stellt einen limitierenden Faktor der Hämodialyse dar und bewegt Wissenschaftler und Kliniker weltweit zur anhaltenden Forschung für sichere und komplikationsarme Zugangswege.

Im Folgenden werden nun kurz die Indikationen zur Nierenersatztherapie sowie die gängigsten Verfahren vorgestellt. Im Anschluss erfolgt die Thematisierung der Auswahl des geeigneten Gefäßzugangs zur Hämodialyse und eine kurze Vorstellung der konventionellen und nichtkonventionellen beziehungsweise unkonventionellen Implantationsstellen für Dialyse-Katheter.

### 3.1. Indikationen zur Nierenersatztherapie

Die Notwendigkeit des Einsatzes eines Nierenersatztherapie-Verfahrens lässt sich im Wesentlichen auf zwei Patientengruppen reduzieren: Patienten mit akutem, irreversiblen Nierenversagen und Patienten mit chronischem Nierenversagen bei fortschreitender Organdysfunktion.<sup>2</sup>

Die Frage nach dem optimalen Zeitpunkt des Therapiestarts der Nierenersatztherapie-Verfahren beschäftigt Wissenschaftler und Kliniker weltweit und, während klare Guidelines noch ausstehen, besteht Einigung über die entscheidenden, zu berücksichtigenden Faktoren für Patienten in potenziell lebensbedrohlichen Zuständen.

So besteht akuter Handlungsbedarf für Patienten mit lebensbedrohlichen Änderungen des Wasser-, Elektrolyt- oder Säure-Base-Haushalts. Patienten mit rhythmusrelevanten Hyperkaliämien, starken Azidosen, überwässerungsbedingten Lungenödemem, urämischen Komplikationen (Enzephalopathie, Perikarditis, Hämorrhagische Diathese) sowie Intoxikationen mit dialysierbaren Substanzen müssen umgehend dialysiert werden, um das Überleben zu gewährleisten.<sup>4</sup>

Während die Indikationen zum Therapiebeginn der Nierenersatztherapie bei Patienten mit lebensbedrohlichen Zuständen aufgrund von Organdysfunktion durch Labor und Klinik eingegrenzt werden können, stellt die Ermittlung des optimalen Zeitpunkts des Therapiebeginns bei Patienten mit langjährigem, progredientem chronischen Nierenversagen eine anspruchsvolle Aufgabe dar.

Für Patienten mit einer chronischen Niereninsuffizienz Stadium 4 (CKD IV; GFR < 30 mL/min/1,73 m<sup>2</sup>) empfehlen die KDOQI Guidelines bereits eine ausführliche Aufklärung über mögliche Folgen eines Nierenversagens und den bestehenden Optionen einer Nierenersatztherapie - einschließlich Nierentransplantation, Peritonealdialyse, Hämodialyse, und konservativen nicht-invasiven Therapieoptionen.<sup>5</sup> Eine ausnahmslos strikte Orientierung an Blood-Urea-Nitrogen(BUN) und Kreatinin-Werten sollte nicht erfolgen, sondern der klinische Kontext des Patienten berücksichtigt werden.<sup>4</sup> Im Rahmen der klinischen Evaluation sollen Symptome des Nierenversagens (Pruritus, Säure-Base- oder Elektrolyt-Entgleisungen wie Hyperkaliämie, aber auch Hyperphosphatämie, Serositis), der Volumen- und Blutdruck-Dysregulationen, des abnehmenden Ernährungszustandes trotz unterstützender Maßnahmen oder der kognitiven Beeinträchtigungen berücksichtigt werden.<sup>5</sup>

Im Folgenden werden die üblichsten Nierenersatztherapie-Verfahren kurz vorgestellt.

## 3.2. Verfahren der Nierenersatztherapie

### 3.2.1 Peritonealdialyse

Die Peritonealdialyse, auch Bauchfelldialyse genannt, ist ein effektives Nierenersatztherapie-Verfahren, das überwiegend eigenständig durch den Patienten und/oder durch Mithilfe von Angehörigen im privaten Heimbereich durchgeführt werden kann. Hierzu wird der Peritonealdialyse-Katheter durch einen chirurgisch eröffneten Tunnel in der Bauchwand in die Peritonealhöhle eingebracht. Über die Spitze des Katheters wird zuerst die Dialyselösung in die Peritonealhöhle eingeführt und später wieder abgezogen. In der Bauchfelldialyse bedient man sich der Peritonealmembran, bestehend aus viszeralem Peritoneum, Bindegewebe und Mesenterialkapillaren, als natürlichem Filter, der die Diffusion von kleinmolekularen Substanzen entlang des Konzentrationsgefälles vom Blut in das Dialysat ermöglicht. Es stehen verschiedene Varianten der Peritonealdialyse zur Verfügung, die entweder der Mithilfe von Geräten bedürfen (Stichwort ‚*automated*‘; z.B. kontinuierliche zyklische Peritonealdialyse (CCPD)) oder manuell durchgeführt werden (z.B. als klassische kontinuierliche ambulante Peritonealdialyse (CAPD)). Ein weiteres mögliches Verfahren stellt die intermittierende Peritonealdialyse (IPD) dar, welche jedoch in spezialisierten Zentren durchgeführt werden muss und nicht im Heimbereich getätigt werden kann. Abhängig von der Art des Verfahrens ergeben sich verschiedene mögliche Zyklen, in denen die Häufigkeit der Eingabe der Dialyselösung und ihre Verweildauer in der Peritonealhöhle variiert. Da die Peritonealdialyse in erster Linie bei Patienten mit einer Nierenrestfunktion, das heißt guter Restdiurese, zum Einsatz kommt, gilt es die Zyklen der Peritonealdialyse an die Entwicklung der körpereigenen Nierenfunktion anzupassen und gegebenenfalls die Umstellung auf alternative Nierenersatztherapie-Verfahren, d.h. auf die Hämodialyse, rechtzeitig zu evaluieren. <sup>6</sup>

Als angemessener Kontrollparameter der Effektivität von Dialyseverfahren wird häufig mit  $K \cdot t / V$  gearbeitet. Der Parameter beschreibt die Harnstoff-Clearance durch das Dialyseverfahren ( $K$ ; in ml/min) in Bezug auf die Zeit der Anwendung ( $t$ ; in min) in einem Patienten (individuell definiert durch das Harnstoffverteilungsvolumen  $V$ ; in ml).<sup>7 8</sup>

Als Vorteil der Peritonealdialyse ist der langsame, kontinuierliche, Physiologie-nahe Vorgang der Entwässerung und Schadstoffentfernung zu sehen, der eine vergleichsweise stabile Blutchemie und stabilen Hydrationsstatus ermöglicht. Aufgrund der Tatsache,

dass kein vaskulärer Zugang erforderlich ist und kein direkter Kontakt zwischen großen Blutgefäßen und körperfremdem Material besteht, hat die Peritonealdialyse einen klaren Vorteil bezüglich Blutungs- und Blutinfektionskomplikationen gegenüber anderen Nierenersatztherapie-Verfahren. Des Weiteren scheint die verbleibende körpereigene Nierenfunktion in Patienten mit Peritonealdialyse besser erhalten zu bleiben. Da viele Formen der Peritonealdialyse im Heimbereich durchgeführt werden, gilt die Lebensqualität der Patienten als sehr hoch. Es kommt zu weniger Krankenhausaufenthalten und einer flexibleren Freizeit- und Urlaubsplanung. Ein weiterer Vorteil ist die Tatsache, dass Patienten mit Peritonealdialyse meist nicht auf blutverdünnende Medikation angewiesen sind. Gerade bei Patienten mit Herzinsuffizienz ist diese Methode in Einzelfällen eine gute Option.

Dennoch geht die Peritonealdialyse im Heimbereich mit einer erhöhten Arbeitsbelastung für unterstützende Familienangehörige oder Pflegekräfte einher. Außerdem besteht ein erhöhtes Risiko einer lokalen Infektion, einer Peritonitis, sowie eines erhöhten Blutzuckerspiegels bei der Verwendung Glukose-basierter Lösungen und einer leichten chronischen Überwässerung. Weitere Komplikationen der Peritonealdialyse sind zum Beispiel ein erhöhtes Risiko der Hernienbildung, das durch den erhöhten intra-abdominellen Druck zu erklären ist, sowie die sklerosierenden Veränderungen des Peritonealgewebes nach längerer Anwendung des Verfahrens. Aufgrund der nötigen Eigenbeteiligung am Prozess der Peritonealdialyse im Heimbereich besteht prinzipiell eine erhöhte Fehleranfälligkeit, wenn kein geschultes Personal zur Unterstützung beteiligt ist.<sup>9 10 11</sup>

### 3.2.2. Hämofiltration

Die Hämofiltration ist ein Nierenersatztherapie-Verfahren, das dem Blut rein durch positiv hydrostatischen Druck und ohne die Verwendung eines Dialysats Wasser und harnpflichtige Substanzen entzieht. Abhängig von den Eigenschaften der verwendeten Membran können sowohl kleinere als auch größere Stoffe (bis zu einem Molekulargewicht von 50.000 Da) dem Blutkreislauf entlang des „*solvent drag*“ entzogen werden. Das Verfahren involviert einen großvolumigen Flüssigkeitsentzug, welcher durch eine Elektrolytlösung ausgeglichen wird. Der gewünschte Volumenstatus

des Patienten kann durch eine entsprechende Vor- und Nachverdünnung des Blutes gesteuert werden. (Abbildung 1, entnommen von Kotanko et al.<sup>12)</sup> <sup>12 13</sup>

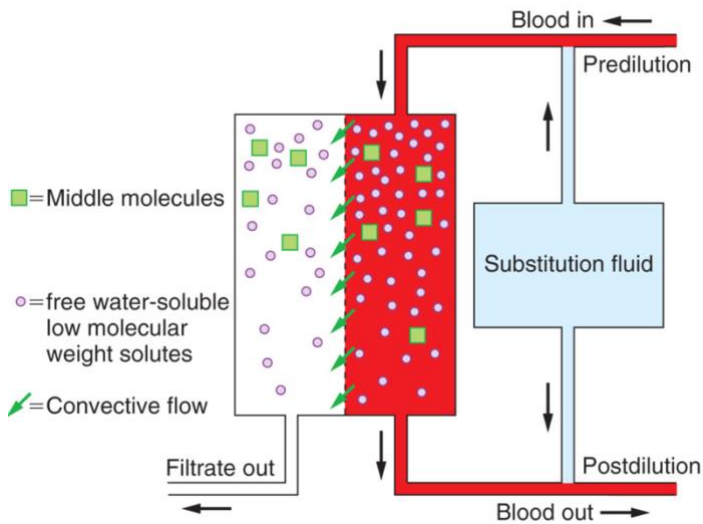


Abbildung 1. Funktionsprinzip der Hämofiltration, entnommen von Kotanko et al. <sup>12</sup>

Dieses Verfahren findet überwiegend Anwendung in der Intensivmedizin.<sup>14</sup> So tolerieren zum Beispiel nierenersatztherapiebedürftige Patienten mit dekompensierter Herzinsuffizienz oftmals keinen rapiden Volumenentzug in den Hämodialyse-üblichen Therapiedauern von zwei bis vier Stunden und profitieren von der langsameren, kontinuierlicheren Therapiedauer der Hämofiltration. Somit kommt es zu einer stabileren Hämodynamik und der Reduktion eines Dialyse-induzierten Blutdruckabfalls.<sup>15</sup>

### 3.2.3. Nierentransplantation

Nach der ersten erfolgreichen experimentellen Nierentransplantation an einem Hund in Wien im Jahre 1902 durch Emerich Ullmann, über die 1990 mit dem Nobelpreis ausgezeichnete erste erfolgreiche Lebendnierentransplantation am Menschen durch Joseph Murray 1954, wurden im Jahr 2020 in Deutschland aktuell 1.954 Nierentransplantationen durchgeführt.<sup>16 17 18</sup> Fortschritte der letzten Jahrzehnte, wie im Bereich der immunsuppressiven Therapie, den laparoskopischen Operationsverfahren

(bei der Lebendspende) und den Auswahlkriterien der Spender (Organe), haben dazu beigetragen, die Nierentransplantation als ein weiteres wichtiges Standbein der Nierenersatztherapie zu etablieren.<sup>18</sup>

Für Patienten, die sich als Empfänger eignen, ist die Nierentransplantation, inklusive der Lebendnierentransplantation, die bevorzugte Option, da sie der chronischen Hämodialyse im Langzeitüberleben und der verbleibenden Lebensqualität überlegen ist.<sup>18</sup> Global gesehen ist insbesondere für junge, anderweitig gesunde Patienten oder Patienten, denen eine Anbindung an ein Dialysezentrum nicht möglich ist, die Nierentransplantation eine willkommene Option, sofern die notwendige Nachsorge gewährleistet werden kann.<sup>19</sup>

Der Erfolg der Nierentransplantation ist abhängig von Faktoren des Spenders, des Empfängers und ihrer Kompatibilität, weshalb entsprechende Voruntersuchungen und die Evaluation der Eignung von großer Bedeutung sind.<sup>18</sup> Sobald die Untersuchungen einen Patienten als geeigneten Empfänger einstufen, wird dieser auf eine Warteliste gesetzt. In mehreren Studien in den USA wurden Patienten auf der Warteliste in zwei Gruppen unterteilt und untersucht: Patienten, die eine Nierentransplantation erhielten, und Patienten, die an der Hämodialyse blieben. In den ersten drei Monaten nach der Transplantation hatten die transplantierten Patienten ein höheres Sterberisiko, nach sechs bis neun Monaten war das Sterberisiko der beiden Gruppen ebenbürtig und danach war die Gruppe der Transplantierten überlegen.<sup>19</sup>

Gleichwohl bleibt die Lebenserwartung von Transplantatempfängern weit unter der von Individuen ohne Nierenerkrankung und mehr als die Hälfte verliert bis zum Tod ihren Graft.<sup>19</sup>

Im Zuge der Vorbereitung für eine Transplantation kommt es auch zur Aufklärung über mögliche Komplikationen. Im Rahmen der Operation kann es zu lebensgefährlichen Blutungen, aber auch arteriellen Thrombosen, venösen Thrombosen und Lymphozelen kommen.<sup>20</sup> In der postoperativen Phase kann es zu Abstoßungsreaktionen, zum Transplantatversagen und zur erneuten Dialysepflicht kommen. Die häufigste Todesursache für Patienten mit einem funktionierenden Nierentransplantat sind Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Unter anderem als Nebenwirkung der notwendigen immunsupprimierenden Therapie können transplantierte Patienten Posttransplantations-Diabetes, Bluthochdruck, Proteinurie und Dyslipidämien zusätzlich zu den konventionellen Risikofaktoren für Herz-Kreislauf-Erkrankungen entwickeln.<sup>21</sup> Weitere Komplikationen der notwendigen immunsupprimierenden Therapie sind eine erhöhte Anfälligkeit für Infektionskrankheiten (bakteriell und viral) und ein erhöhtes Risiko für

bestimmte maligne Erkrankungen.<sup>22</sup> Die Therapie mit Kortikosteroiden kann zudem zu einer Transplantationsosteoporose, anderen Knochenstoffwechselerkrankungen und einem erhöhten Infektionsrisiko führen. Aktuelle Studien zeigen jedoch, dass bei bestimmten Patienten mit einer Calcineurin-Inhibitor-basierten immunsuppressiven Therapie die entsprechende Steroidtherapie reduziert und abgesetzt werden kann.<sup>23</sup>

### 3.2.3. Hämodialyse

Die Hämodialyse ist das mit Abstand am häufigsten angewandte Nierenersatztherapie-Verfahren in Deutschland. Da in Deutschland kein nationales Datenregister für die Erfassung von dialysepflichtigen Patienten besteht, ermittelten Häckl et al. (2021) auf Basis einer Datengrundlage eine Prävalenz von 100.202 Dialysepflichtigen für das Jahr 2017. Bis 2040 wird ein weiterer Anstieg der Dialysepflichtigen um 20-23 % prognostiziert.<sup>3</sup>

Eine Vielzahl von Erkrankungen kann zu einem terminalen Nierenversagen führen. So ist die diabetische Nephropathie als häufigste Ursache zu nennen, gefolgt von der hypertensiven Nephropathie, der Gruppe der Glomerulonephritiden, den polyzystischen Nierenerkrankungen und anderen.<sup>24</sup> Für Patienten mit terminalem Nierenversagen führt der Verzicht auf Hämodialyse in wenigen Tagen bis Wochen zum Tod, was die absolute Notwendigkeit der Hämodialyse als lebenserhaltende Maßnahme verdeutlicht.<sup>24</sup>

Die chronisch-intermittierende Hämodialyse ist ein Therapieverfahren, das in spezialisierten Zentren und unter ärztlicher Aufsicht durchgeführt wird. Das Ziel der Hämodialyse ist es, möglichst komplikationsarm das Blut des Patienten dem Dialysator zuzuführen, die effiziente Entfernung von Schadstoffen, Stoffwechselprodukten und überschüssiger Flüssigkeit zu gewährleisten und das gereinigte Blut dem Körperkreislauf zurückzuführen.<sup>12</sup> Somit soll durch das Therapieverfahren die exkretorische Funktion der Nieren übernommen werden.

Die Patienten benötigen einen möglichst großlumigen Gefäßzugang, um den zu erzielenden Blutfluss von 250 - 450 ml/min zu ermöglichen. Die Optionen hierfür sind überwiegend arterio-venöse Fisteln, Grafts und Katheter und diese werden in den kommenden Kapiteln genauer vorgestellt.<sup>25</sup>



Über die arterielle Leitung wird dem Patienten Blut entzogen und dem Dialysator zugeführt. Während die zuvor beschriebene Hämofiltration sich des transmembranösen hydrostatischen Drucks bedient, ist der überwiegende Wirkmechanismus der Hämodialyse die transmembranöse Diffusion von Stoffen entlang eines Konzentrationsgefälles. (Abbildung 2; entnommen von Yeun et al.<sup>24</sup>)

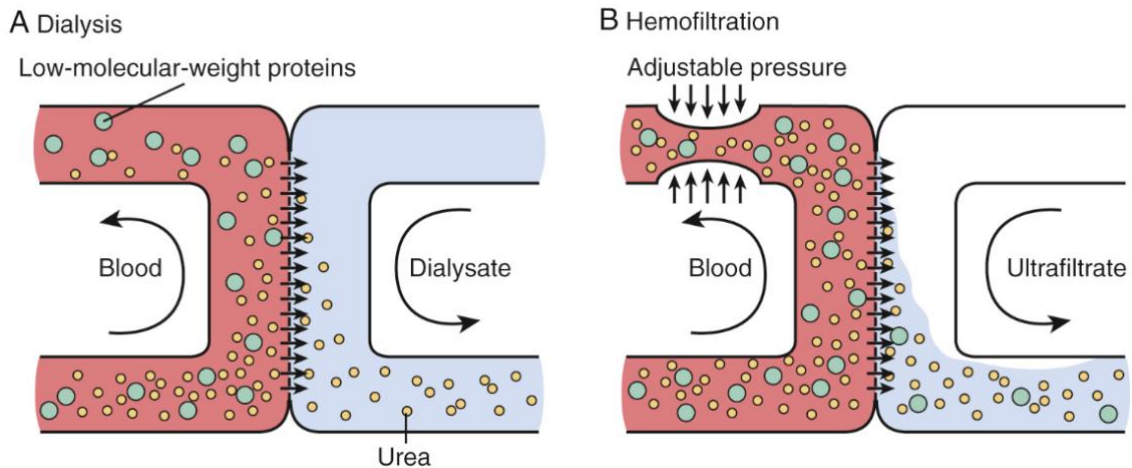


Abbildung 2. Wirkmechanismus der Hämodialyse, entnommen von Yeun et al.<sup>24</sup>

So diffundieren bei der Hämodialyse kleinere Stoffe, wie zum Beispiel Kalium, Harnstoff und andere urämische Giftstoffe, die sich in höheren Konzentrationen im Blut befinden, durch eine semipermeable Membran in das Dialysat. Eine selektive Entfernung der Stoffe kann durch die Porengröße der Membran beeinflusst werden, und falls Stoffe dem Blut hinzugeführt werden sollen, wie zum Beispiel Bikarbonat und Kalzium, können diese in höheren Konzentrationen dem Dialysat beigesetzt werden. Über die venöse Leitung wird das dialysierte Blut dem körpereigenen Blutkreislauf zurückgeführt.

Um eine möglichst sichere Hämodialyse zu gewährleisten, werden durchgehend arterieller sowie venöser Druck gemessen und das dialysierte Blut auf mögliche Luftbeimischungen geprüft. Außerdem wird, um eine mögliche, ungewünschte Blutgerinnung zu verhindern, eine Antikoagulation durchgeführt. Diese erfolgt meist mit unfraktioniertem Heparin oder *low molecular weight heparin* (LMWH) durch eine Bolusgabe vor Therapiebeginn, in der Regel gefolgt von einer kontinuierlichen Infusion bis 30 - 60 Minuten vor Therapieende.<sup>12</sup>

Ein offensichtlicher Nachteil der chronischen Hämodialyse als Nierenersatztherapie-Verfahren ist die Abhängigkeit der Patienten von Dialysestandorten und die dadurch, im Vergleich zur Nierentransplantation, unflexiblere Freizeitgestaltung und eventuell niedrigere Lebensqualität.<sup>18</sup> Die durch die KDOQI Richtlinien empfohlene Therapiefrequenz für die chronische Hämodialyse beträgt mindestens drei vierstündige Dialysesitzungen pro Woche, was einen Kompromiss darstellt aus der notwendigen Therapiedauer, um eine suffiziente Entgiftung zu gewährleisten, und dem Wunsch der Patienten, das Therapieverfahren möglichst freizeitkompatibel zu gestalten.<sup>5</sup>

Des Weiteren können während oder nach Dialysesitzungen Komplikationen auftreten. Als häufigste Komplikation sind Blutdruckabfälle zu nennen, welche in bis zu 30% aller Dialysesitzungen auftreten. Außerdem können Übelkeit und Erbrechen auftreten sowie durch Elektrolyt- und Wasserhaushaltstörungen verursachte Muskelkrämpfe und Arrhythmien. Seltener Komplikationen sind das Restless-Leg-Syndrom, Perikarditis, Anaphylaxie und Hämolyse.<sup>26</sup> Komplikationen, die durch die Art des vaskulären Zugangs bedingt sind, werden in den kommenden Kapiteln behandelt.

Trotz der genannten Nebenwirkungen stellt die Hämodialyse, insbesondere für Patienten die sich nicht als Transplantatempfänger eignen, das oftmals einzig verfügbare überlebensgarantierende Nierenersatztherapie-Verfahren dar.

### 3.3. Gefäßzugänge zur Hämodialyse

Für Patienten mit einer chronischen Niereninsuffizienz CKD IV (GFR<30ml/min) mit Progredienz sollte frühzeitig über die geeignete Nierenersatztherapie nachgedacht werden. Falls die Hämodialyse das geeignete Verfahren ist, ist eine zeitnahe und rechtzeitige Planung des vaskulären Zugangs essenziell, um eine komplikationsfreie Andialyse zu gewährleisten – im Optimalfall ohne die überbrückende Anwendung von Zentralvenenkathetern. So sollten jene Patienten beispielsweise keine Punktionen an zur Dialyse geeigneten Venen sowie ausführliche (gefäßchirurgische) Voruntersuchungen erhalten, um den geeigneten Zugangsweg zu eruieren.<sup>26</sup> Hierbei spielen insbesondere die klinische Untersuchung des Arterien- und Venen-Status und das „*vascular mapping*“ durch Dopplersonographie eine bedeutsame Rolle. Ein guter Zugangsweg soll eine gute

primäre Offenheit und ein niedriges Risiko für Komplikationen oder Nebenwirkungen haben sowie alternative Möglichkeiten offenhalten.<sup>27</sup>

### 3.3.1. AV-Fistel

Die arterio-venöse Fistel (AV-Fistel; AV-Shunt) ist der bevorzugte Gefäßzugang zur chronischen Hämodialyse. Sie ist dem arterio-venösen Graft sowohl in primärer als auch sekundärer Offenheit überlegen.<sup>26</sup> Um ressourcenschonend mit den Gefäßen des Patienten umzugehen und alternative, proximaler gelegene Zugangswege für die Zukunft offenzuhalten, ist der optimale erste Gefäßzugang zur Hämodialyse die radiocephalische Fistel am nicht-dominanten Handgelenk (Cimino Shunt).<sup>27</sup> Für die Anlage eines solchen Cimino Shunts werden Arteria radialis und Vena cephalica in End-zu-End-, Seit-zu-Seit- oder Seit-zu-End-Anastomose verbunden. Klassischerweise erfolgt die Anastomose-Anlage in einer offenen Operation; alternativ sind bereits endovaskuläre Prozeduren zur Shunt-Anlage mit hohen Erfolgs- und niedrigen Komplikationsraten durchgeführt worden.<sup>28</sup> Für Patienten mit einer komplikationsreichen peripheren Fistel oder ungeeigneten Unterarmgefäßen können die brachio-basilische oder brachio-cephalische Fistel in Erwägung gezogen werden. Auch für Frauen (ungünstigere Gefäßverhältnisse) sowie für Patienten mit Diabetes mellitus, koronarer Herzkrankheit oder peripherer arterieller Verschlusskrankheit wird oftmals die Shunt-Anlage an einer oberflächlich gelegenen Vene in der Ellenbeuge oder am Oberarm bevorzugt.<sup>27</sup> Falls die bevorzugt verwendete Vena cephalica sich nicht zur Anastomose eignet, kann operativ die tiefer gelegene Vena basilica von ulnar nach radial verlegt und eleviert werden. Dies ist insbesondere bei schwierig punktierbaren Venen, zum Beispiel in adipösen Patienten, hilfreich.<sup>27</sup> Prinzipiell ist die Shunt-Anlage an der oberen Extremität gegenüber der unteren Extremität aufgrund einer leichteren Punktierbarkeit und aufgrund des höheren Patientenkomforts zu bevorzugen.<sup>27</sup>

Als großer Nachteil der arterio-venösen Fistel ist die zu beachtende Reifungsdauer zu sehen. Eine Reifungsdauer von sechs bis zehn Wochen wird empfohlen.<sup>27</sup> Eine rechtzeitige Planung und Anlage der Fistel ist somit essenziell, um die vorübergehende Dialyse über einen Zentralvenenkatheter zu verhindern. Ein weiterer Nachteil ist die fehlerhafte Ausreifung der Fisteln. So reifen 25% der Fisteln nicht suffizient aus und weitere 25% bedürfen der Unterstützung durch chirurgische oder perkutane Balloon-

Angioplastie.<sup>24</sup> Desweiteren kann es, neben den chirurgischen Komplikationen, wie Blutungen und Anastomose-Insuffizienzen, zu Lymphödemen, Infektionen, Aneurysmen sowie Stenosen und Thrombosen kommen.<sup>29</sup>

### 3.3.2. Graft

Für Patienten, deren Gefäßstatus sich nicht für die Anlage einer arterio-venösen Fistel eignet, ist die Implantation eines Grafts die nächstbessere Option. So werden Grafts insbesondere bei Patienten mit kleinen Gefäßen oder übermäßiger Fettleibigkeit der Extremitäten verwendet. Ein Graft ist ein aus körperfremdem Material bestehendes Gefäß, das nach chirurgischer Installation eine künstliche Verbindung zwischen Arterie und Vene schafft und sich als Punktionsstelle für die Hämodialyse eignet. Eine Vielzahl an möglichen Lokalisationen an Unter- und Oberarm steht zur Verfügung (Abbildung 3, entnommen von Tordoir et al.) und die vergleichsweise einfache Implantationstechnik führte insbesondere in den 1980er bis 1990er Jahren zu einer vermehrten Anwendung.<sup>24</sup>

27

Neben den biosynthetischen Xenografts, die aus einer Kombination aus von Schafen (Omniflow) oder Schweinen gewonnenem Kollagen und Polyester bestehen, kommen am häufigsten prothetische Grafts aus Polyurethan (Vectra) oder Polytetrafluoroethylen (PTFE) zur Anwendung.<sup>27</sup> Aufgrund des Fortschrittes der Komposition der synthetischen Grafts ist eine erste Punktion des Grafts bereits 24 Stunden nach der Implantation möglich, was einen klaren Vorteil gegenüber der arterio-venösen Fistel darstellt.<sup>27</sup>

Dennoch sind synthetische Grafts anfälliger für Infektionen und Dysfunktion als Fisteln aus körpereigenen Gefäßen.<sup>30</sup> So ist die primäre Offenheit für Grafts meist zufriedenstellend, jedoch können nach 12 bis 24 Monaten Thrombosen, meist an der Graft-Venen-Anastomose, zu einer Okklusion und Dysfunktion führen.<sup>27</sup> Hierfür verantwortlich ist überwiegend die Hyperplasie der Intima, die mit der Einwanderung von glatten Muskelzellen und deren Proliferation einhergeht. So ist eine gründliche Kontrolle des Blutflusses im Graft-Gebiet vonnöten, um mögliche Thrombosen frühzeitig zu erkennen und therapieren zu können.<sup>24</sup>

Es besteht eine Option, die den Vorteil der frühzeitigen Verwendung von Grafts mit dem Vorteil der längeren Offenheit von arterio-venösen Fisteln kombinieren kann. So kann

durch eine primäre Graft-Anlage die Verwendung eines Dialysekatheters vermieden werden und eine anschließende sekundäre Anlage einer arterio-venösen Fistel für einen verbesserten Langzeitverlauf sorgen.<sup>31</sup>

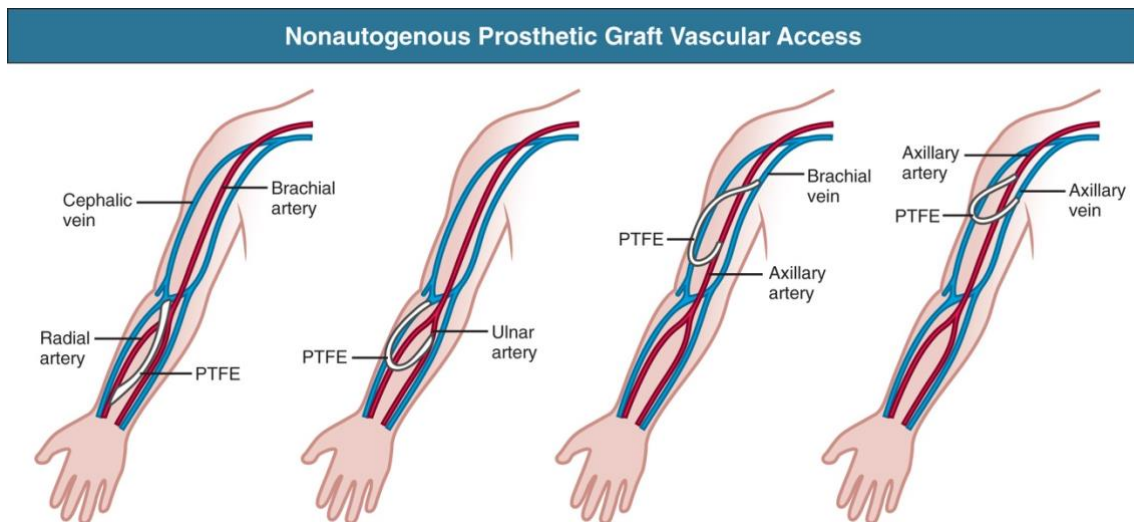


Abbildung 3. Übliche Lokalisationen der Graft Anlage, entnommen von Tordoir et al. <sup>27</sup>

### 3.3.3. Venöse Katheter

Zentralvenöse Katheter stellen eine weitere, sehr verbreitete Option des Zugangsweges zur Hämodialyse dar. Ihre Verwendung ist oftmals unvermeidbar bei Patienten mit akutem Nierenversagen oder Patienten mit chronischem Nierenversagen ohne arterio-venösen Zugang.<sup>32</sup> Insbesondere das vergleichsweise schnelle, einfache, und leicht zu erlernende Implantationsverfahren sowie die zeitnahe Benutzbarkeit machen sie zu einem weit verbreiteten, in der Akutmedizin nicht wegzudenkenden Gefäßzugang. Während anfänglich große, ein-lumige Katheter verwendet wurden, kommen heute überwiegend doppel-lumige Katheter zum Einsatz, die einen schnelleren Blutfluss und effizientere Hämodialysen ermöglichen. Maßgeblich für diesen Fortschritt sind verbesserte Materialien, die sowohl weicher als auch von stabilerer Beschaffenheit sind.<sup>24</sup>

Heutzutage stehen verschiedene Katheter-Modelle zur Auswahl, die sich in getunnelte und ungetunnelte Katheter eingruppierten lassen. Ungetunnelte Katheter werden

hauptsächlich für Kurzzeitdialysen verwendet und sollten aufgrund ihres Risikoprofils maximal für eine Dauer von zwei Wochen genutzt werden.<sup>33</sup> Getunnelte Katheter verlaufen circa 10 cm zwischen Venenpunktion und Hautaustritt im subkutanen Gewebe und sind durch eine Muffe sowohl vor Infektionen als auch Dislokationen besser geschützt.<sup>33</sup>

Trotz der in den vorherigen Kapiteln bereits besprochenen Empfehlung der arterio-venösen Fistel als bevorzugtem Gefäßzugang, gibt es klare Indikationen für die Anlage eines zentralvenösen Katheters. Der zentralvenöse Katheter kommt oftmals nur als Übergangslösung zur Anwendung, bis ein arterio-venöser Gefäßzugang geschaffen wurde. Unter bestimmten Voraussetzungen ist allerdings auch eine langfristige Hämodialyse über den zentralvenösen Katheter durchführbar. So nennt die KDOQI Richtlinie (2019) als Kandidaten, für die die Verwendung eines zentralvenösen Katheters zur Kurzzeitdialyse indiziert ist, beispielsweise:<sup>33</sup>

- Patienten mit angelegten, aber noch nicht ausgereiften arterio-venösen Fisteln oder Grafts,
- Patienten mit Komplikationen der angelegten arterio-venösen Fisteln oder Grafts, die der Ausheilung bedürfen (z.B. Cellulitis),
- Patienten mit akutem Nierentransplantatversagen,
- Peritonealdialyse-Patienten mit Komplikationen, die einen temporären Auslass der Peritonealdialyse erfordern,
- dialysepflichtige Patienten, die einen zeitnahen (z.B. in unter 90 Tagen) bestätigten Termin zur Lebendnierentransplantation haben.

Die Verwendung eines zentralvenösen Katheters zur Langzeitdialyse kann in folgenden Patientengruppen indiziert sein:<sup>33</sup>

- Patienten mit mehreren vorangegangenen fehlerhaften arterio-venösen Zugängen und ein erschöpfter Gefäßstatus,
- auf ausdrücklichen Patientenwunsch, wenn andere arterio-venöse Zugänge zu einer Verminderung der Lebensqualität führen und nicht mit dem Erreichen der Lebensziele vereinbar sind (hierbei muss eine gründliche Aufklärung über alle patientenbezogenen Risiken und Nebenwirkungen aller Gefäßzugangsoptionen erfolgt sein),
- Patienten mit einer limitierten Lebenserwartung,
- Patienten mit einem Gefäßstatus, der aufgrund von Problemen der Einfluss-Arterie und Ausfluss-Vene keine Anlage eines arterio-venösen Zugangs

ermöglicht (z.B. hochgradige arterielle Verschlusskrankheit, zentralvenöse Ausflussokkusion),

- spezielle medizinische Umstände.

Im Fokus dieser Arbeit werden Patienten stehen, die aufgrund ihres schwierigen Gefäßstatus keine Alternativen zu einem zentralvenösen Zugangsweg haben und dieser für sie somit auch im Langzeitverlauf überlebenswichtig ist.

Es gibt verschiedene Verfahren der Implantation von zentralen Venenkathetern, jedoch bedienen sich alle der Seldinger-Technik. Im Folgenden wird eine Vorgehensweise in der retrograden Manier beschrieben. Die Implantation des Vorhofkatheters wird stets unter sterilen Bedingungen vorgenommen und die Mindestausstattung des Eingriffsraums sollte Monitoring beinhalten sowie gegebenenfalls die Möglichkeit der Lagekontrolle via Röntgen. Vor der Venenpunktion wird per Ultraschalluntersuchung die gewählte Vene auf Thrombosen untersucht und ihre anatomische Beschaffenheit evaluiert. Die Einstichstelle wird ordnungsgemäß in einer sterilen Manier gereinigt und abgedeckt. Die Strecke zwischen Austrittspforte und Venenpunktion wird mit einem Lokalanästhetikum betäubt (bevorzugterweise Lidocain). Unter sonographischer Kontrolle wird die Vene nun mit einer klein-lumigen Nadel (18-22 Gauge) punktiert und über diese ein Mikropunktions-Führungsstab eingeführt. Am Beispiel der Punktion der rechten Vena jugularis interna wird der Führungsstab bis in die Vena cava superior plaziert. Die Punktionsnadel wird nun entfernt und ein Dilatator über den Führungsstab eingeführt. Der Führungsstab wird anschließend durch einen Standardführungsstab ersetzt. Durch einen kleinen subkutanen Einschnitt wird die Eintrittspforte geweitet und anschließend der Vorhofkatheter über den Führungsstab eingeführt. Hierbei ist insbesondere auf die Sicherung des Führungsstabes zu achten. Im Falle eines getunnelten Katheters ist bei der Auswahl der Austrittspforte darauf zu achten, im subkutanen Abschnitt des Katheters kein Abknicken zu verursachen. Am gewünschten Ort der Austrittspforte wird ein oberflächlicher 1 cm langer Einschnitt vorgenommen. Im subkutanen Verlauf wird nun eine Tunnelierungshilfe (Mandrel, engl. „*tunneling device*“) vorgeschoben. Das Katheter-Ende wird mit dem Mandrel verbunden und möglichst ohne Abknicken zur Austrittspforte gezogen. Aus beiden Schenkeln des Katheters wird venöses Blut aspiriert, die Schenkel werden gespült und mit Heparin geblockt. Die Lagekontrolle erfolgt durch Fluoroskopie oder Röntgenaufnahme mit der Projektion der knickfreien Katheterspitze im rechten Vorhof. An den Austrittsenden des Katheters wird der Katheter mit der Haut

zur Lagerung vernäht. Eine Sicherung der Lage erfolgt über kutane Nähte der Muffe. Die Einstichstelle der Venenpunktion wird mit Nähten verschlossen.<sup>34</sup>

#### 3.3.3.1. Implantationsstellen für Langzeitkatheter

Die KDOQI Richtlinien empfehlen bei der Wahl der Implantationsstelle für Langzeit-Dialysekatheter, aufgrund ihres anatomisch geradlinigeren Verlaufs stets Gefäße der rechten Körperhälfte denen der linken Körperhälfte zu bevorzugen. Hiervon ausgeschlossen sind Patienten mit spezifischen Komorbiditäten, wie zum Beispiel venösen Thrombosen oder Herzschrittmachern, die gesondert betrachtet werden sollten. Falls sich ein Gefäß zwar nicht für die Anlage eines arterio-venösen Zugangs, jedoch für die Anlage eines Zentralvenenkatheters eignet, so sollte der Katheter in dieses Gefäß gelegt werden, um das Gefäß der kontralateralen Seite für einen möglichen arterio-venösen Zugang zu erhalten.

In absteigender Präferenz werden in den Leitlinien folgende Gefäße genannt: Vena jugularis interna, Vena jugularis externa, Vena femoralis, Vena subclavia, Vena lumbalis. Hauptausschlaggebend für die Reihenfolge der genannten Gefäße sind, neben der anatomischen Vorzüge der Vena jugularis interna, die Komplikationsraten.<sup>33</sup> Aufgrund der überschaubaren Datenlage und der teilweise sehr selten beschriebenen unkonventionellen Zugangswege werden im Folgenden auch Studien diskutiert, die bereits älter als zehn Jahre sind.

##### 3.3.3.1.1. Vena jugularis interna

Die Venae jugulare internae verlaufen oberflächlich und sind die Halsgefäße mit den größten Radii, was die Punktion erleichtert. Der große Radius trägt ebenso dazu bei, dass Thrombosen eher selten sind und sich klinisch asymptomatisch präsentieren. Dennoch kann es zu zentralvenösen Thrombosen und Ischämien der oberen Extremität kommen.<sup>35</sup>

36

Aufgrund des kurzen, geradlinigen Verlaufs in das rechte Atrium ist die rechte Vena jugularis interna der linken vorzuziehen. Der vergleichsweise verwinkelte Verlauf der



linken Vena jugularis wird als Hauptgrund für die im Vergleich zur rechten Seite gehäuft auftretende Stenose gehandelt.<sup>37</sup> Des Weiteren wird bei Rechtshändern der linke Arm zur Anlage eines arterio-venösen Shunts bevorzugt, sodass die Katheter-Anlage auf der kontralateralen Seite keine Ausflussproblematik für zukünftige Shunts oder Grafts verursachen kann.<sup>38</sup> Aufgrund seines linksseitigen Verlaufes ist außerdem das Risiko einer akzidentiellen Verletzung des Ductus thoracicus bei einer rechtsseitigen Punktion geringer.<sup>39</sup> Außerdem konnten Studien sowohl eine komplikationsärmere Anlage als auch eine längere Überlebensdauer für rechtsseitige Jugularvenenkatheter bestätigen.<sup>35</sup>

#### 3.3.3.1.2. Vena jugularis externa

Die Vena jugularis externa zeigte sich bereits in einer Studie von Beigi et al. als verlässliche Ausweichoption für Patienten, bei denen Komplikationen eine Punktion der rechten Vena jugularis interna nicht ermöglichten. So hatten 40 der 45 der Patienten (81,6 %) keine Komplikationen in den ersten drei Monaten nach Installation. Bei zwei Patienten (4,4 %) kam es zu Thrombosen und bei einem Patienten (2,2 %) führte eine Katheter-bedingte Infektion zur Entfernung. Im Verlauf wurde nach einem Jahr noch bei 30 Patienten (68,2 %) über den gelegten Katheter dialysiert.<sup>40</sup> Weitere Vorteile der rechten Vena jugularis externa sind die oberflächliche Lage, die eine leichte Punktion ermöglicht und der geradlinige Verlauf in das rechte Atrium. Außerdem mündet die rechte Vena jugularis externa in der Vena subclavia, sodass eine Thrombose der ipsilateralen Vena jugularis interna keine Kontraindikation darstellt. Der kleine Radius des Gefäßlumens stellt einen Nachteil dar, da eine komplikationsfreie Punktion technisch anspruchsvoll ist und Erfahrung bedarf. Des Weiteren können sich auch in der Vena jugularis externa Thrombosen formen und es kommt vermehrt zum Abknicken des Katheters. Zusammenfassend stellt die rechte Vena jugularis externa eine gute Option für Patienten mit einer verschlossenen rechten Vena jugularis interna und linksseitig geplanten arterio-venösen Zugängen dar.<sup>35</sup>

### 3.3.3.1.3. Vena femoralis

Bei Patienten mit erschöpften Jugularvenen kann eine Katheter-Anlage in der Vena femoralis erwogen werden. Aufgrund ihres oberflächlichen Verlaufs ist die Punktion der Vena femoralis für geschultes Personal vergleichsweise einfach, jedoch können im Verlauf gehäuft Komplikationen auftreten. So besteht aufgrund der anatomischen Nähe zum Urogenitaltrakt ein erhöhtes Infektionsrisiko. Ebenso führt der Verlauf auf die Hüftachse zu einem gehäuften Abknicken beim Gehen und somit Mobilisierung von Block-Lösung. Zaleski et al. berichten von 41 inserierten getunnelten Femoralvenen-Kathetern und einer Beobachtungsdauer von 2.506 Kathetertagen. Eine Infektionsrate von 2,4/1.000 Kathetertage und Interventionsintervalle von 61 Kathetertagen demonstrierten die Unterlegenheit gegenüber thorakalen Kathetern.<sup>41</sup> Insbesondere in früheren Studien von Chow et al., Maya et al. und Falk et al. wurde von hohen Infektionsraten berichtet (3,8/1.000 Kathetertage; 4/1.000 Kathetertage; 6,3/1.000 Kathetertage).<sup>42 43 44</sup> Eine neuere Übersichtsarbeit von Marik et al. konnte dies allerdings nicht bestätigen und zeigte vergleichbare Infektionsraten in V. jugularis interna, V. subclavia und V. femoralis.<sup>45</sup> Ein weiterer Nachteil ist die Katheter-bedingt eingeschränkte Mobilität der Patienten.<sup>35</sup> Die ebenfalls gehäuft auftretende Okklusion soll verhindert werden, indem die Katheterspitze erst nach dem Zusammenfluss der Vena iliaca communis platziert wird.<sup>35</sup> Falls eine Katheter-Anlage in der Vena femoralis erfolgen soll, ist die rechte Seite der linken zu bevorzugen, um die Option einer späteren möglichen Anlage eines arterio-venösen Zugangs auf der linken Seite zu bewahren.<sup>35</sup>

### 3.3.3.1.4. Vena subclavia

Ein Vorteil der Punktion der Vena subclavia ist ihr großer Radius. Trotzdem kann es im Rahmen der Punktion zu Gewebsverletzungen und zu einem Pneumothorax kommen. Bei Langzeitkathetern in der Vena subclavia kann das „*pinch-off*“ – Phänomen auftreten (Einklemmen des Katheters zwischen Schlüsselbein und erster Rippe mit folgender Okklusion), was eine sofortige Entfernung des Katheters als Konsequenz hat.<sup>46</sup> Außerdem soll für Patienten, die weiterhin die Option der Anlage eines arterio-venösen Zugangs an der oberen Extremität haben, eine Katheter-Anlage in der Vena subclavia

vermieden werden. Die häufig auftretende Stenose der Vena subclavia kann zu klinisch relevanten Ausflussstörungen der oberen Extremität führen und verhindert somit im Verlauf die Anlage eines arterio-venösen Zugangs.<sup>35</sup>

#### 3.3.3.1.5 Unkonventionelle Gefäßzugänge

In der chronischen Nierenersatztherapie sind Patienten ständig auf einen vaskulären Zugang angewiesen. Katheter-Dysfunktion, Infektionen und andere Komplikationen führen oftmals zur Notwendigkeit des Wechsels des Zugangsweges, sodass sich über Jahre hinweg der Gefäßstatus der Patienten erschöpfen kann und sich nach und nach weniger Optionen eines dauerhaften vaskulären Zugangs anbieten. In jenem „*running out of vessels*“ - Szenario müssen oftmals kreativere, unkonventionellere Zugangswege in Betracht gezogen werden, um die überlebenswichtige Hämodialyse zu ermöglichen.

##### 3.3.3.1.5.1. Kollaterale der Venae jugularis

Im Falle von chronisch stenosierte Jugularvenen kann es zur Ausbildung von Kollateralgefäßen im mediastinalen, thyrozervikalen und Brustwand-Bereich kommen. Eben jene Kollateralgefäße bieten in der Theorie einige Vorteile zur Anlage eines Dialysekatheters. So ist der geradlinige Verlauf in das rechte Atrium zu nennen, sowie eine dem Jugularvenenkatheter ähnliche Wundversorgung und vergleichbare Lifestyle-Einschränkung. Außerdem werden keine größeren Gefäße verbraucht, die sich eventuell zu einer späteren Anlage eines arterio-venösen Zugangs eignen.<sup>35</sup> Funaki et al. beschreiben die Punktion von 25 jener Kollateralgefäße mit einer technischen Erfolgsrate von 88 %. Im Verlauf zeigte sich eine Dysfunktions-bedingte Entfernung in 6,7/1.000 Kathetertagen und eine Infektions-bedingte Entfernung in 0,6/1.000 Kathetertagen. Es wurde eine sekundäre Offenheitsrate nach einem Jahr von 70 % beschrieben.<sup>47</sup> Als Nachteile dieses Ansatzes sind die technisch anspruchsvolle Anlage und das Risiko von Blutungen zu nennen.<sup>35</sup>

#### 3.3.3.1.5.2. Translumbale Punktion der Vena cava inferior

Eine weitere Option für Patienten mit erschöpftem Gefäßstatus stellt die translumbale Punktion der Vena cava inferior dar. Die translumbale Punktion der Vena cava erfolgt in Bauchlage des Patienten mit einer kleinumigen, langen Nadel. Die Punktion ist technisch anspruchsvoll und birgt als Hauptrisiko die akzidentielle Punktion des Ureters. Ein Vorteil der Vena cava inferior als Gefäß zur Hämodialyse ist ihr großes Lumen, was das Thromboserisiko verringert. Als Nachteile beschreiben sowohl Liu et al., als auch Moura et al. die technisch anspruchsvolle Installation und häufige Katheterwechsel aufgrund von schlechtem Blutfluss oder Infektionen.<sup>48 49</sup> Dieser Ansatz scheint insbesondere im Rahmen eines kurzzeitigen „bridging“ eine Option zu sein.<sup>35</sup>

#### 3.3.3.1.5.3. Vena cava inferior via vena hepatica

Sanal et al. berichten von 69 transhepatisch installierten Kathetern mit der Katheterspitze in entweder der Vena cava inferior, Vena cava superior oder dem rechten Atrium. Die Anlage erfolgte unter sonographischer Kontrolle über eine Lebervene und war in allen Fällen komplikationsfrei. Im Verlauf kam es zu Thrombosen (3,7/1.000 Kathetertage), Infektionen (1,8/1.000 Kathetertage), Dislokationen durch Migration (1,8/1.000 Kathetertage) und zum Abknicken des Katheters (0,4/1.000 Kathetertage).<sup>50</sup> Andere Studien belegen ähnliche Komplikationen, wobei insbesondere der Fokus auf die Dislokation durch Migration und der damit nötige Wechsel des Katheters gelegt wird.<sup>51</sup> Zugrundeliegend hierfür ist die atemabhängige Bewegung der Leber und das damit erhöhte Risiko der Dislokation des Katheters. Eine weitere beschriebene Komplikation der Anlage des Katheters ist die intrahepatische Blutung.<sup>35</sup>

#### 3.3.3.1.5.4. Vena brachiocephalica

Falk et al. berichten von der Anlage von 44 Dialysekathetern in die rechte oder linke Vena brachiocephalica auf der kontralateralen Seite eines geplanten zukünftigen arterio-venösen Zugangs. Alle 33 Patienten hatten stenosierte oder verschlossene Jugularvenen.

Die Anlage war in 97,7 % komplikationsfrei. Die durchschnittliche Überlebensdauer der Katheter betrug 92 Tage und eine Infektionsrate von 4,1/1.000 Kathetertage wurde beschrieben. Bei zwei Kathetern (4,5 %) kam es zur Dislokation und ein Katheter wurde aufgrund schlechten Blutflusses (<200 ml/min) entfernt. Die Autoren beschreiben die Anlage eines Dialysekatheters in eine der Venae brachiocephalicae als eine sichere alternative Zugangsrouten für Patienten mit verschlossenen Jugularvenen (interna & externa).<sup>52</sup>

#### 3.3.3.1.5.5. Vena obturatoria

Das kleine Lumen, die Nähe zu Arteria obturatoria und Nervus obturatorius und die Gefahr der Perforation der Vena obturatoria werfen grundlegende Bedenken zur Punktierbarkeit des Gefäßes auf, sodass die Vena obturatoria lange Zeit nicht für die Hämodialyse in Betracht gezogen wurde. Dennoch berichten Salsamendi et al. in einem Fallbericht von der erfolgreichen Installation eines Dialysekatheters in die rechte Vena obturatoria eines 21-jährigen Patienten mit terminalem Nierenversagen und maximal erschöpftem Gefäßstatus. Als Endpunkt wird die erfolgreiche Nierentransplantation nach drei Jahren beschrieben, ohne weiter auf die Funktionalität des Katheters in diesem Zeitraum einzugehen. So scheint es, dass diese Art des venösen Zugangs in seltenen Einzelfällen mitberücksichtigt werden kann.<sup>53</sup>

#### 3.3.3.1.5.6. Vena cava inferior via Vena renalis

Die Punktion und Katheter-Installation in einer Nierenvene gilt als unvorteilhaft und komplikationsreich, insbesondere bei Patienten mit Nierenerkrankungen.<sup>35</sup> Dennoch gibt es vereinzelte Fallberichte über Patienten mit erschöpften Gefäßzugängen, in denen eine Nierenvene punktiert und hierüber ein Dialysekatheter in der Vena cava inferior installiert werden konnte. Das Verfahren ist technisch anspruchsvoll, zeitaufwendig und birgt das Risiko der arteriellen Gefäßverletzung.<sup>54</sup> Law et al. berichten über einen Patienten mit Lupus-bedingtem terminalem Nierenversagen und erschöpftem Gefäßstatus. Jener Patient erhielt mittels komplikationsfreier Anlage einen transrenalen Dialysekatheter, welcher

nach zwei Jahren aufgrund einer Okklusion entfernt werden musste. Es erfolgte eine komplikationsfreie Wiederanlage über denselben Zugangsweg.<sup>55</sup> Aufgrund der nur vereinzelt verfügbaren Fallberichte lässt sich keine allgemeine Aussage bezüglich Offenheitsrate, Infektions- und Thrombose-Risiko treffen. Die technisch anspruchsvolle und risikobehaftete Installation macht den transrenalen Zugangsweg nur zu einer Option für Einzelfälle ohne Alternativen.

#### 3.3.3.1.5.7. „Wire-Target“ Punktion der Vena cava superior

Bonasso et al. berichten von einem unkonventionellen Ansatz der Installation eines Dialysekatheters in der Vena cava superior. Das Verfahren wurde bei fünf Patienten mit bilateralen Thrombosen der Subclavia- & Jugularvenen angewandt. Über einen Femoralvenenzugang wurde über einen Führungsstab ein „pig-tail“ Katheter in die extrakardiale Vena cava superior installiert und bis zum thrombosierten Abschnitt der Subclavia- und Jugularvenen vorgeschoben. Mittels fluoroskopischer Orientierung anhand des „pig-tail“ Katheters in Echtzeit erfolgte nun die perkutane Punktion der Vena cava superior. Die Einstichstelle befand sich rechtsseitig supraklavikulär im Apex des durch das Schlüsselbein und den mittleren und lateralen Kopf des Musculus sternocleidomastoideus begrenzten Dreiecks. Über jenen Zugangsweg wurden anschließend ein Vorhofkatheter installiert und die femoral eingeführten Materialien entfernt. Die Punktion verlief in allen fünf Fällen komplikationslos. Im 30-tägigen Follow-up blieben alle Katheter patent und es wurden keine Komplikationen registriert.<sup>56</sup>

#### 3.3.3.1.5.8. Vena iliaca

Die Punktion der Vena iliaca externa als Gefäßzugang zur Hämodialyse wurde erstmals 2006 von Betz et al. beschrieben. In dem Fallbericht wurde über die komplikationsfreie Anlage eines Dialysekatheters in die Vena iliaca externa bei sechs Patienten berichtet, deren Subclavia- und Jugularvenen bereits erschöpft waren. Ziel war es, einen Gefäßzugang zu etablieren, der sich durch eine einfache Punktion, ein großes Lumen und niedrige Komplikationsraten auszeichnet. Ebenso sollte durch die Austrittspforte

oberhalb des Leistenbandes das beim Femoralvenenkatheter bekannte Abknicken beim Gehen umgangen werden. Während des Beobachtungszeitraums von 1.500 Kathetertagen musste kein Katheter komplikationsbedingt ausgetauscht oder entfernt werden. Es kam zu keiner Katheter-bedingten Blutstrom-Infektion und eine *Urea reduction rate* von 64 – 83 % sowie suffiziente Flussgeschwindigkeiten wurden beschrieben.<sup>57</sup> Im Jahr 2016 berichten Wang et al. ebenfalls von der Installation von Dialysekathetern in der Vena iliaca externa. In ihrer retrospektiven Studie berichten sie von 99 installierten Kathetern bei 70 älteren Patienten (>65 Jahre) mit einer technischen Erfolgsrate von 100 %. Die kumulative Beobachtungsdauer betrug 65.369 Kathetertage mit einer durchschnittlichen Überlebensdauer von 1.067 Tagen pro Katheter. Die durchschnittliche Infektionsrate betrug 2,1/1.000 Kathetertage. Eine Katheter-Dysfunktion trat durchschnittlich 0,8/1.000 Kathetertage auf. Bei 29 Patienten war ein Austausch des Katheters notwendig, in 24 Fällen aufgrund einer Dysfunktion und in fünf Fällen aufgrund therapie-refraktärer Infektionen.<sup>58</sup> Eine erste Befürchtung des erhöhten Risikos retroperitonealer Blutungen als Komplikation der Katheter-Anlage, geäußert von da Costa Moreira et al., scheint durch die zuvor beschriebenen Studien entkräftet zu werden.<sup>59</sup>

### 3.3.4. Komplikationen des Zentralvenenkatheters

Im Folgenden werden die häufigsten Komplikationen der Langzeitkatheter im Allgemeinen thematisiert und, auf die verschiedenen Lokalisationen bezogen, erläutert.

#### 3.3.4.1. Katheter-bedingte Blutstrominfektionen (CRBSI)

Die Definition der Katheter-bedingten Blutstrominfektionen (*Catheter-Related Blood Stream Infections*; CRBSI) variiert in verschiedenen Richtlinien (KDOQI 2019, KDOQI 2006, CDC, IDSA), beinhaltet jedoch in allen Versionen das Auftreten klinischer Manifestationen einer systemischen Infektion, den Nachweis von zirkulierenden Erregern mittels Blutkulturen und den Nachweis von Erregern am Zentralvenenkatheter.<sup>33</sup> CRBSI sind eine der häufigsten Komplikationen des Zentralvenenkatheters und haben einen entscheidenden Einfluss auf Morbidität und Mortalität der Dialysepatienten. So

beschreiben Allon et al. in der HEMO Studie eine nachweislich niedrigere Mortalität für Patienten, die zeitnah von einem Zentralvenenkatheter auf einen arterio-venösen Zugang wechseln, verglichen mit Patienten, die durchgehend über ein Zentralvenenkatheter dialysieren.<sup>60</sup> Als wahrscheinlichste Ursache hierfür sind Katheter-bedingte Infektionen, Infektionen der Haut an der Austrittspforte (Exit-site Infektionen) und Sepsis zu nennen.<sup>27</sup> Während typische Infektionsraten für Zentralvenenkatheter von drei Episoden je 1.000 Kathetertage beschrieben sind, setzen die KDOQI Richtlinien einen Wert von weniger als 1,5 Episoden je 1.000 Kathetertage als Ziel. Dieser Wert ist das Ziel für sämtliche Katheter, unabhängig davon, ob es sich um getunnelte oder nicht-getunnelte Katheter, Katheter mit Muffe oder ohne, Katheter als Übergangslösung oder als finalen Zugang zur Hämodialyse handelt.<sup>33</sup> Im Rahmen von CRBSI kann es in 5 – 10 % zu schwerwiegenden Komplikationen (z.B. Endokarditis, Osteomyelitis, septische Arthritis, epiduraler Abszess) kommen, was eine frühzeitige Erkennung und Therapie, sowie präventive Maßnahmen unabdingbar macht.<sup>61</sup>

Als präventive Maßnahme ist auch die Wahl der richtigen Gefäßlokalisierung zu sehen, welche im vorangegangenen Kapitel bereits diskutiert wurde.

CRBSI benötigen stets eine parenterale Antibiotikatherapie. Die Auswahl eines empirischen Antibiotikums richtet sich nach hausinternen Leitlinien, die sich an den regional häufigsten Erregern orientieren (überwiegend *Staphylococcus* spp.). Die Umstellung auf eine antibiogramgerechte Therapie soll erfolgen, sobald die Erreger in den Blutkulturen identifiziert werden. Wenn innerhalb der ersten 36 – 48 Stunden nach Therapiebeginn keine klinische Besserung eintritt oder der Patient klinisch instabil ist, sollte der Katheter entfernt werden. Anderenfalls kann durch eine mehrwöchige parenterale Antibiotikatherapie der Katheter-Erhalt versucht werden.<sup>26</sup>

Ein vergleichsweise neuer Ansatz der Therapie von CRBSI ist die Verwendung der „*antibiotic-lock*“-Technik. Hierzu werden die Katheter-Schenkel nach Beendigung einer Dialyse Sitzung nicht wie üblicherweise mit Heparin geblockt, sondern mit einer Mischung aus Antibiotika und Heparin. Dieses „*antibiotic-lock*“ verbleibt somit in den Katheter-Lumen, bis es vor der nächsten Dialysesitzung wieder aspiriert wird. Die verwendeten Antibiotika orientieren sich an der parenteralen Antibiotikatherapie und es wird erst nach Beendigung der parenteralen Therapie wieder auf einen Heparin-Block gewechselt. Studien hierzu zeigen gute Erfolgsraten, die jedoch je nach Erreger variieren können. Das Prinzip der „*antibiotic-lock*“-Technik wird auch als prophylaktische Maßnahme diskutiert.<sup>61</sup>



### 3.3.4.2. Lokale Infektionen

Lokale Infektionen sind eine weitere mögliche Komplikation des Dialysekatheters. Zu unterscheiden ist hierbei die lokale Infektion der Austrittspforte (*exit-site* Infektion) von der Tunnelinfektion. Bei der lokalen Infektion der Austrittspforte handelt es sich um eine lokale Cellulitis, die auf einen Radius von 1 – 2 cm der Austrittspforte des Katheters limitiert ist. Typische Symptome sind hier eine Hyperämie, Verhärtung und Spannung des umgebenden Gewebes. Im Falle von austretendem Wundsekret ist eine mikrobiologische Untersuchung des Materials indiziert.<sup>33</sup> Der Großteil dieser Infektionen reagiert jedoch sehr gut auf lokale und systemische Antibiotikatherapie und gründliche Wundpflege, sodass ein Entfernen des Katheters meist nicht notwendig ist.<sup>27</sup>

Allerdings können sich *exit-site* Infektionen, zum Beispiel durch inadäquate Antibiotikatherapie, zu Tunnelinfektionen entwickeln. Hierbei ist auch Gewebe, das sich im Verlauf des subkutanen Tunnels und mehr als 2 cm von der Austrittspforte des Katheters befindet, involviert. Auch hier können die lokalen Symptome Hyperämie und Spannungsgefühl auftreten. Austretendes Wundsekret sollte mikrobiologisch untersucht werden. Patienten mit Tunnelinfektionen können rasch Bakteriämien entwickeln, sodass eine rein medikamentöse Therapie mit Antibiotika oftmals nicht ausreicht und die Entfernung des Katheters erforderlich ist.<sup>27</sup>

So kann exemplarisch prophylaktisch applizierte Mupirocin-Salbe an der Austrittspforte das Auftreten lokaler Infektionen verringern, jedoch ist wie bei allen prophylaktischen Antibiotikagaben die Möglichkeit der Bildung resistenter Keime zu berücksichtigen.<sup>24</sup>

### 3.3.4.3. Okklusion & Katheter-Dysfunktion

Obwohl die Katheter-Dysfunktion eine der häufigsten Komplikationen des zentralvenösen Katheters zur Hämodialyse ist, gibt es leider keine einheitliche Definition. So erklärt die KDOQI Richtlinie die Formulierung eben jener einheitlichen Definition der Katheter-Dysfunktion als Ziel künftiger Forschung, um im Verlauf aussagekräftige, institutionsübergreifende Studien durchführen zu können. Bis dahin ist, auf Grundlage von Expertenmeinungen, eine Katheter-Dysfunktion als das Nicht-Erreichen des

verordneten extrakorporalen Blutflusses für eine adäquate Hämodialyse und dadurch verlängerte Therapiesitzungen zu verstehen.<sup>33</sup>

Ursächlich für die Dysfunktion des Katheters ist meistens die Ablagerung von Fibrin im Katheter-Lumen oder als Ummantelung um den Katheter, so dass kein adäquater Blutfluss zustande kommen kann. Diese Flussbehinderung löst oftmals einen Alarm während der Dialysesitzung aus und kann je nach Lokalisation der Obstruktion variieren. Im Falle einer Obstruktion des arteriellen Schenkels kann beispielsweise ein negativ arterieller Druck-Alarm ausgelöst werden und bei der Obstruktion des venösen Schenkels ein positiv venöser Druck-Alarm.<sup>27</sup>

Als Präventionsmaßnahme werden die Katheter-Schenkel nach jeder Dialyse-Sitzung mit Heparin oder Citrat geblockt. Die Verwendung von Heparin kann jedoch bei fehlerhafter Dosierung oder Anwendung zu Blutungskomplikationen führen und das Risiko einer Heparin-induzierten Thrombozytopenie erhöhen (1 – 4 % aller Dialysepatienten).<sup>61</sup> Insbesondere, wenn es zum Austreten des Blocks in den Körperkreislauf kommt, ist mit einer erhöhten Blutungsgefahr sowie einer erhöhten Thrombosegefahr des Katheter-Schenkels zu rechnen.<sup>27 24</sup>

Als erste Therapiemaßnahme für verschlossene Katheter dient das Spülen mit Kochsalzlösung. Mit der Applikation von fibrinolytischen Mitteln, beispielsweise *tissue plasminogen activator* (tPA) oder Urokinase, können intraluminal Thromben pharmakologisch gelöst und verschlossene Katheter-Schenkel wieder eröffnet werden. Eine weitere mögliche Herangehensweise ist das mechanische Eröffnen des Katheter-Lumens mittels Bürste. Für Katheter mit einer therapieresistenten Okklusion bleibt noch der Austausch des verschlossenen Katheters und die Einführung eines neuen Katheters über einen Führungsstab.<sup>27 34</sup>

Weitere Ursachen der Katheter-Dysfunktion neben dem thrombotischen Verschluss sind das Abknicken des Katheters oder eine inkorrekte Positionierung, bei der beispielsweise die Katheter-Spitze an der Gefäßwand aufliegt. Diese Ursachen sind jedoch als frühe Komplikationen zu betrachten und sollten bereits direkt nach der Anlage des Katheters entdeckt und behoben werden.

#### 3.3.4.3. Katheter-bedingte vaskuläre Stenose und Thrombose

Zentralvenenkatheter neigen nicht nur zur Thrombenbildung im Katheter-Lumen, sondern können auch zu vaskulären Stenosen und thrombotischen Verschlüssen im proximalen Gefäßverlauf führen. Katheter in der Vena subclavia weisen diese Komplikation häufiger auf als Katheter in der Vena jugularis interna. Das Risiko der Entwicklung einer Lungenarterienembolie im Verlauf ist jedoch ungewiss und die Thrombosen der Zentralvenen bleiben oftmals asymptomatisch. Gelegentlich entwickeln Patienten jedoch ein ipsilaterales Ödem der oberen Extremität, was oftmals wiederholter angioplastischer Interventionen bedarf.<sup>61</sup>

Bei Patienten mit Femoralvenenkathetern kam es in einer vergleichenden Studie von Maya et al. häufiger zu Thrombosen als in der Vergleichsgruppe mit Jugularvenenkathetern. Sieben von 27 Patienten mit Femoralvenenkatheter (26 %) entwickelten eine tiefe Beinvenenthrombose der ipsilateralen Seite. Für diese Patienten war eine weitere Nutzung des Katheters zur Hämodialyse jedoch weiterhin möglich und die Thrombose-Therapie mittels Antikoagulation erfolgreich.<sup>43</sup>

#### 3.3.4.4. Seltene Komplikationen

Zu den seltenen Komplikationen gehören unter anderem solche, die während der Anlage des Dialysekatheters auftreten können. Hierbei gilt es zwischen den verschiedenen Lokalisationen zu unterscheiden, jedoch kann es stets, wie bei jeder Gefäßpunktion, zu ungewünschten Blutungen kommen. Des Weiteren können auch andere Gewebeerletzungen nie kategorisch ausgeschlossen werden und Patienten sollten stets bezüglich Gefäß-, Nerven- und Gewebeschäden aufgeklärt werden. Im Rahmen der Katheter-Anlage kann es außerdem zu Herzrhythmusstörungen kommen.

### 3.4. Ziele der Arbeit

Patienten mit schwierigem Gefäßstatus stellen die behandelnden Nephrologen oftmals vor Schwierigkeiten bei der Wahl des Zugangsweges zur Hämodialyse. Insbesondere bei Patienten, die aufgrund langjährigen Gefäßverschleißes oder vorbestehender Thrombosen keine konventionellen Jugularvenenkatheter mehr erhalten können, werden unkonventionelle Zugangswege in Betracht gezogen. Wie zuvor erläutert, ist eine Vielzahl verschiedener unkonventioneller Zugangswege beschrieben. Leider haben die vorgestellten Studien oftmals wenig allgemeingültige Aussagekraft, da es sich um vereinzelte Fallberichte oder Studien mit kleinen Probandenzahlen handelt.

Einer der zuvor vorgestellten unkonventionellen Gefäßzugänge ist die Implantation eines Vorhofkatheters über die Vena iliaca externa. Das erstmals 2006 von Betz et al. beschriebene Verfahren erwies sich während des Beobachtungszeitraums von kumulativ 1.500 Tagen als sicher, effektiv und komplikationsarm.<sup>57</sup>

Bei der nun vorliegenden Arbeit erfolgte eine retrospektive Analyse des Langzeitverlaufs von Iliakalvenenkathetern zur Hämodialyse, die in den Jahren 2004 bis 2022 im Universitätsklinikum Frankfurt installiert wurden. Es handelt sich erstmals um eine Evaluation des Iliakalvenenkatheters im Langzeitverlauf bei einer großen Population (n=95) eines breiten Altersspektrums (27-84 Jahre zum Zeitpunkt der Implantation).

Im Einzelnen wurden folgende Fragestellungen untersucht:

- Mit welcher Erfolgsrate erfolgte die Anlage des Iliakalvenenkatheters? Welche Komplikationen traten im Rahmen der Anlage auf?
- Wie lange war das komplikationsfreie Überleben der Iliakalvenenkatheter?
- Was waren die Ursachen der Katheter-Entfernung?
- In welcher Häufigkeit traten Komplikationen wie Infektionen und Katheter-Dysfunktion auf?
- Behinderte der Iliakalvenenkatheter die spätere Durchführung einer Nierentransplantation?
- Sind Alter, BMI oder rechts-oder linksseitige Katheter-Lage relevante Faktoren für die Katheter-Liegedauer?

## 4. Material und Methoden

### 4.1. Datenerhebung

Die Grundlage der vorliegenden retrospektiven Arbeit war die Implantation von 96 Dialysekathetern in eine der beiden Iliakalvenen bei 80 Patienten am Universitätsklinikum Frankfurt. Als Datenquellen dienten archivierte analoge Patientenakten und Daten aus den digitalen Patientenakten des Klinikportals ORBIS. Zusätzlich wurden 4.116, teils digitale und teils analoge Dialyseprotokolle des Universitätsklinikums Frankfurt gesichtet. Für Patienten, die während des Beobachtungszeitraums in externen Zentren, Praxen oder Kliniken dialysiert oder nephrologisch weiterbehandelt wurden, erfolgte eine telefonische Datenabfrage oder die Zusendung der gewünschten Unterlagen per Fax.

### 4.2. Ein- und Ausschlusskriterien

Eingeschlossen wurden alle Patienten, die im Zeitraum vom 01.11.2004 bis zum 31.07.2022 einen Dialysekatheter in eine der Iliakalvenen gelegt bekommen hatten. Die Nachbeobachtungszeit endete am 31.07.2022. Während des genannten Zeitraums kam es insgesamt zur Implantation von 96 Iliakalvenen-Kathetern bei 80 Patienten. Für die weitere Analyse der Daten wurde nur ein Katheter ausgeschlossen, da der Versuch der Anlage frustriert endete. Somit erfolgte die weitere Analyse der Daten von 95 Iliakalvenen-Kathetern bei 79 Patienten.

Als Startpunkt der Datenerfassung wurde jeweils die Katheter-Implantation gewertet, der Endpunkt der Datenerfassung war jeweils die Entfernung des Katheters oder das Versterben des Patienten. Patienten, die im genannten Beobachtungszeitraum das Dialysezentrum wechselten, wurden nach bester Möglichkeit nachverfolgt, und die Datenerhebung bis zum Endpunkt erfolgte mittels telefonischer Nachrecherche. Bei drei Patienten war die Nachrecherche erfolglos, und kein primärer Endpunkt konnte bestimmt werden. Diese drei Patienten wurden als „lost to follow-up“ kategorisiert, und als Endpunkt wurde der letzte verfügbare Datenpunkt gewertet. Zum Endpunkt der Nachbeobachtungszeit waren zwei Dialysekatheter noch aktiv in Benutzung. Jene zwei

Katheter wurden als „*aktiv*“ kategorisiert, und der letzte verfügbare Datenpunkt vor dem Ende der Nachbeobachtungszeit wurde als Endpunkt gewertet.

#### 4.3. Beschreibung der Variablen

Folgende generelle Parameter zum Zeitpunkt der Katheter-Implantation wurden aus den Patientenakten erhoben:

Geschlecht, Alter, Größe, Gewicht, BMI.

Bezüglich der Hämodialyse wurden zum Zeitpunkt der Katheter-Implantation folgende Parameter aus den Patientenakten erhoben:

Dialysepraxis, Hauptdiagnose (Hauptdiagnose, die zur aktuellen Dialyse-Pflichtigkeit führte), Nebendiagnosen, Zeitpunkt der ersten Hämodialyse, Anzahl und Art vorheriger Gefäßzugänge.

Bezüglich des Iliakalvenen-Katheters wurden während des Beobachtungszeitraums folgende Parameter erfasst:

Zeitpunkt der Implantation, Zeitpunkt der Explantation, rechts- oder linksseitige Anlage, Grund der Explantation, Anzahl der verfügbaren Dialyseprotokolle, Blutflussgeschwindigkeit, Urea Reduction Rate, Dauer der Dialysesitzungen, Anzahl der lokalen Infektionen, Anzahl der Blutstrominfektionen, Anzahl der rt-PA-Instillationen (Urokinase und Alteplase), Anzahl der mechanischen Katheter-Eröffnungen durch Freispülen des Katheters, Anzahl der venösen Thrombosen.

Aufgrund des lange zurückliegenden Startpunktes im Jahr 2004 und der damit verbundenen damals zeitgemäßen Dokumentation mittels analoger Patientenakten und Dialyseprotokolle kam es vereinzelt zu Lücken in der Erhebung einzelner Variablen. Bei der nachfolgend beschriebenen statistischen Auswertung der Daten wurden jene Lücken berücksichtigt und die Berechnungen auf die jeweils verfügbaren Daten reduziert.

#### 4.4. Datenverwaltung und statistische Analyse

Die Verwaltung der Daten erfolgte mittels Microsoft Excel für Mac (Version 16.54). Die statistische Analyse erfolgte mit Hilfe des Statistikprogramms IBM SPSS *Statistics* für

Mac (Version 28). Die Dissertationsschrift wurde mit Microsoft Word für Mac (Version 16.54) erstellt und die Literaturverwaltung und Quellenangabe erfolgte mit Hilfe des Literaturverwaltungsprogramms Zotero (Version 6.0.11).

Die Ergebnisse werden als Mittelwert  $\pm$  Standardabweichung oder als Median mit 95%-Konfidenzintervall angegeben. Kategorische Variablen werden prozentual in der Häufigkeit angegeben (%). Die Überlebenszeit-Analyse wurde mittels Kaplan-Meier-Methode und log-rank Test durchgeführt. Die Analyse der Unterschiede zwischen nominalen Variablen erfolgte mittels Chi<sup>2</sup>-Test nach Pearson. Falls die Voraussetzungen für diesen Test nicht erfüllt waren (z.B. nicht alle erwarteten Häufigkeiten  $>5$ ), wurden *exakte* Berechnungen nach Fisher durchgeführt. Die Normalverteilung der Variablen wurde mittels Kolmogorov-Smirnov und Shapiro-Wilk ermittelt.

Für Rechnungen mit normal verteilten Variablen wurde der T-Test verwendet und für nicht normal verteilte Variablen der Mann-Whitney-U-Test.

Für die Analyse von Zusammenhängen zwischen  $>2$  Gruppen und nicht normal verteilten Variablen wurde der Kruskal-Wallis-Test durchgeführt.

Weitere einzelne verwendete Tests werden im jeweiligen Abschnitt der Ergebnisse genannt.

Ergebnisse wurden als statistisch signifikant interpretiert, wenn der p-Wert kleiner als 0,05 war ( $p < 0.05$ ).

#### 4.5. Implantation des Iliakalvenenkatheters

Das Implantations-Verfahren des Iliakalvenenkatheters wurde erstmals im Jahre 2006 von Betz et al. beschrieben.<sup>57</sup> Da unsere Studie auf dieser Arbeit aufbaut, ist das im Folgenden beschriebene Implantationsverfahren im Wesentlichen unverändert.

Vor jeder Implantation erfolgte die Aufklärung des Patienten über die Vorteile und Risiken des Verfahrens, und eine schriftliche Einwilligung wurde erteilt. Alle Implantationen unserer Studie wurden von einem erfahrenen Nephrologen durchgeführt. Die Patienten erhielten eine prophylaktische Einmalgabe von 500 mg Imipinem intravenös. In Rückenlagerung wurden mittels Duplex Doppler Sonographie die Femoral- und Iliakalgefäße sowie ihre Beziehung zum Peritonealsack dargestellt. Unter sterilen Bedingungen erfolgte eine lokale Anästhesie mit 20ml Mepivacain (2%) subkutan auf Höhe des Leistenbands und im Areal der geplanten Ausleitungsstelle. Die Iliakalvene

wurde oberhalb des Leistenbands in einem 45°-Winkel punktiert. Mittels Seldinger-Technik erfolgte zunächst das Einführen und Vorschieben eines Führungsdrahtes in die Iliakalvene. Danach wurde, vom Führungsdraht ausgehend, mittels stumpfer Dissektion eine subkutane Tasche geformt. Im Anschluss erfolgte etwa zwei Querfinger kranial und zwei Querfinger lateral der Inzisionsstelle ein Einschnitt und anschließend die stumpfe Präparierung eines subkutanen Tunnels bis zur zuvor geformten subkutanen Tasche. Die Muffe des Katheters wurde in Gentamycin getränkt. Nun erfolgte eine schrittweise Bougierung der Iliakalvene über den liegenden Führungsdraht und das Einlegen der Einführungshülse. Im Anschluss wurde der Katheter über die Einführungshülse vorgeschoben und nach dem Entfernen der Einführungshülse sicher im Blutgefäß platziert. Bei den ersten 30 implantierten Kathetern handelte es sich um 55cm lange, 15 French single-lumen, DEMERS Katheter ® (Bionic GmbH, Friedrichsdorf, Deutschland). Bei den 65 darauffolgenden Kathetern handelte es sich um 33cm lange, 14,5 French, doppel-lumige PALINDROME Katheter TM (Covidien, Mansfield, Vereinigte Staaten von Amerika). Mittels mehrfacher Aspiration und Spülung des Katheters mit einer 10ml Spritze wurde die Eignung des Blutflusses beurteilt. Die Tasche wurde mit 2-3 Nähten verschlossen und der Katheter sorgfältig steril verbunden. Am Ende des Verfahrens wurde die korrekte Lage des Katheters in der Vena cava inferior und die Katheterspitze circa 10 cm kaudal des rechten Vorhofs mittels Ultraschall-Untersuchung dargestellt. Eine radiografische Visualisierung war nicht nötig. Nach erfolgreicher Lageprüfung wurde jeder der Katheter-Schenkel entsprechend dem Füllungsvolumen mit 13,6 % Natrium-Citrat-Lösung instilliert. Insofern keine Kontraindikation bestand (z.B. vorbestehende orale Antikoagulation aufgrund von Nebendiagnosen) erhielten alle Patienten niedrig-dosiertes Heparin (Nadroparin). Die Katheter-Austrittsstelle wurde zusätzlich mit Haltefäden fixiert, welche nach 4-6 Wochen entfernt werden konnten. Die Fäden der Hautwunde konnten nach circa 10 Tagen entfernt werden.

Abbildung 4 zeigt einen liegenden Iliakalvenenkatheter bei einer 28-jährigen Patientin, Abbildung 5 stellt stilisiert die anatomische Lage des Katheters dar.





Abbildung 4 Iliakalvenenkatheter bei einer 28-jährigen Patientin

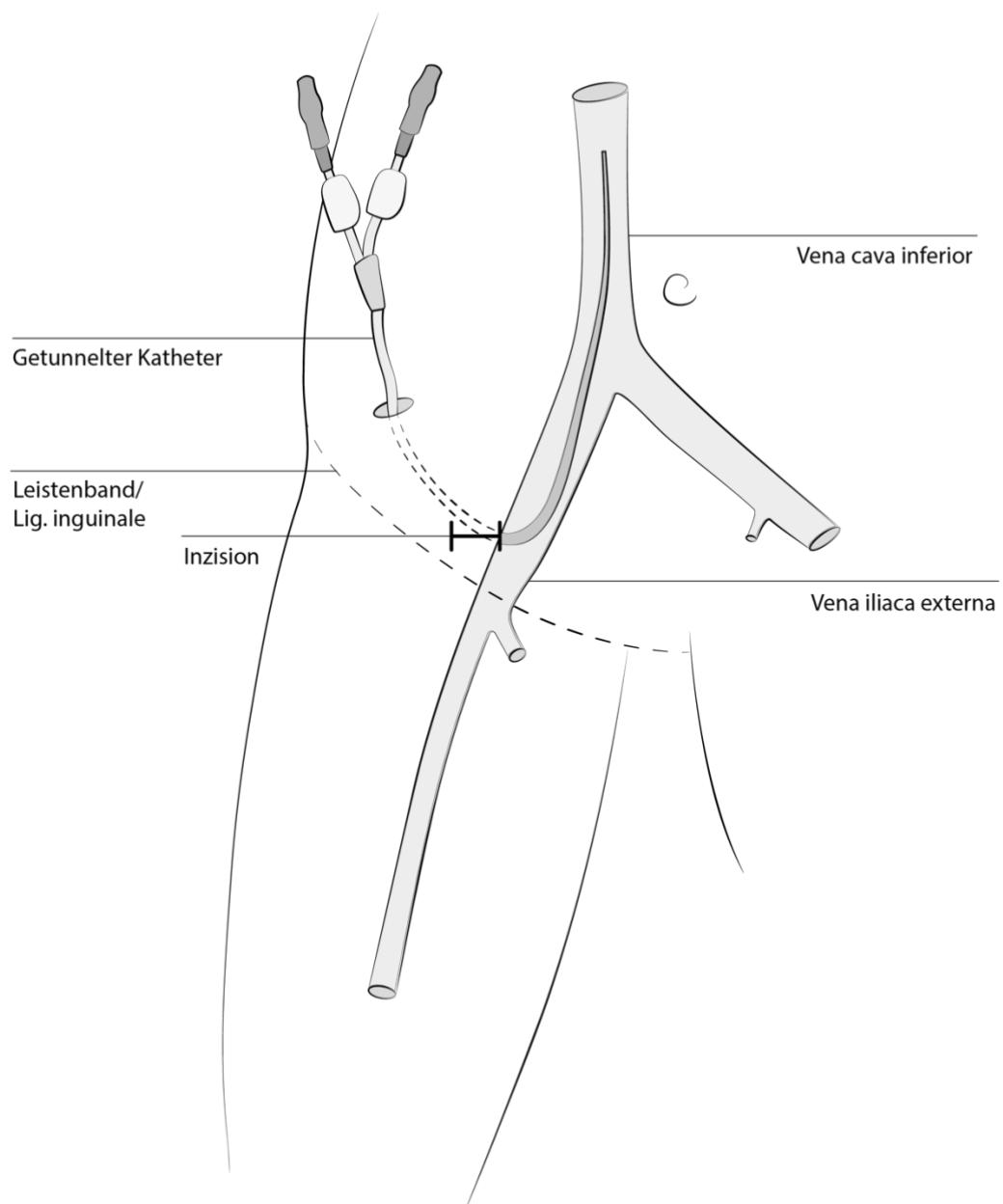


Abbildung 5 Stilisierte anatomische Lage des Iliakalvenenkatheters

## 5. Ergebnisse

### 5.1. Deskriptive und analytische Datenauswertung

#### 5.1.1. Allgemeine Epidemiologie des Patientenkollektivs

In Tabelle 1 sind die allgemeinen Charakteristika der Patienten zum Zeitpunkt der Katheter-Implantation zusammenfassend aufgeführt.

Tabelle 1 Allgemeine Charakteristika des Patientenkollektivs

<u>Parameter</u>	<u>Mittelwert <math>\pm</math> Standardabweichung</u>
<i>Patienten, n</i>	79
<i>Katheter, n</i>	95
<i>Männliches Geschlecht, n (%)</i>	49 (62,0)
<i>Alter, Jahre</i>	65 $\pm$ 13,8
<i>Größe, cm</i>	170 $\pm$ 12,3
<i>Gewicht, kg</i>	73 $\pm$ 18,6
<i>BMI, kg/m<sup>2</sup></i>	25,7 $\pm$ 5,7

##### 5.1.1.1. Geschlechtsverteilung

Insgesamt wurden 95 Iliakalvenenkatheter erfolgreich bei 79 Patienten implantiert. Davon waren 30 Frauen und 49 Männer. Da es bei vereinzelt Patienten im Verlauf zur Implantation mehrerer Katheter kam, wird die Geschlechtsverteilung auch aus der Katheter-Sicht beschrieben. Aus der Perspektive der Katheter wurden insgesamt 36 Katheter bei weiblichen Patientinnen implantiert und 59 Katheter bei männlichen Patienten.

#### 5.1.1.2. Alter

Das durchschnittliche Alter zum Zeitpunkt der Implantation des Katheters betrug 65 ( $\pm 13,8$ ) Jahre. Der jüngste Patient erhielt den Iliakalvenenkatheter mit 27 Jahren und der älteste war zum Zeitpunkt der Implantation 84 Jahre alt. Der Median betrug 69 Jahre.

#### 5.1.1.3. Größe

Die durchschnittliche Körpergröße zum Zeitpunkt der Implantation des Katheters betrug 170 ( $\pm 12,3$ ) cm. Der kleinste Patient war 140 cm groß und der größte 195 cm. Der Median betrug 170 cm.

#### 5.1.1.4. Gewicht

Das Gewicht zum Zeitpunkt der Implantation des Katheters betrug im Mittelwert 73 ( $\pm 18,6$ ) kg. Der leichteste Patient wog 42 kg und der schwerste 110 kg. Der Median betrug 72 kg.

#### 5.1.1.5. BMI

Der durchschnittliche BMI zum Zeitpunkt der Implantation des Katheters betrug 25,7 ( $\pm 5,7$ ) kg/m<sup>2</sup>. Der niedrigste errechnete BMI betrug 16,4 kg/m<sup>2</sup> und der höchste 38,1 kg/m<sup>2</sup>. Der Median lag bei 25,7 kg/m<sup>2</sup>.

Außerdem wurden die Patienten anhand des BMI in Gruppen unterteilt. Gruppe 1 beschreibt Patienten mit einem BMI  $< 18,5$  kg/m<sup>2</sup> und wird als Untergewicht kategorisiert. Gruppe 2 beschreibt Patienten mit einem BMI zwischen 18,5 und 24,9 kg/m<sup>2</sup> und kategorisiert das Normalgewicht. Gruppe 3 beinhaltet Patienten mit Übergewicht und einem BMI zwischen 25 und 29,9 kg/m<sup>2</sup>. In Gruppe 4 befinden sich Patienten mit Adipositas Grad 1 und einem BMI zwischen 30 und 34,9 kg/m<sup>2</sup>. Patienten mit einem BMI

>35 kg/m<sup>2</sup> bilden Gruppe 5 und sind als Adipositas Grad 2 kategorisiert. (siehe Abbildung 6)

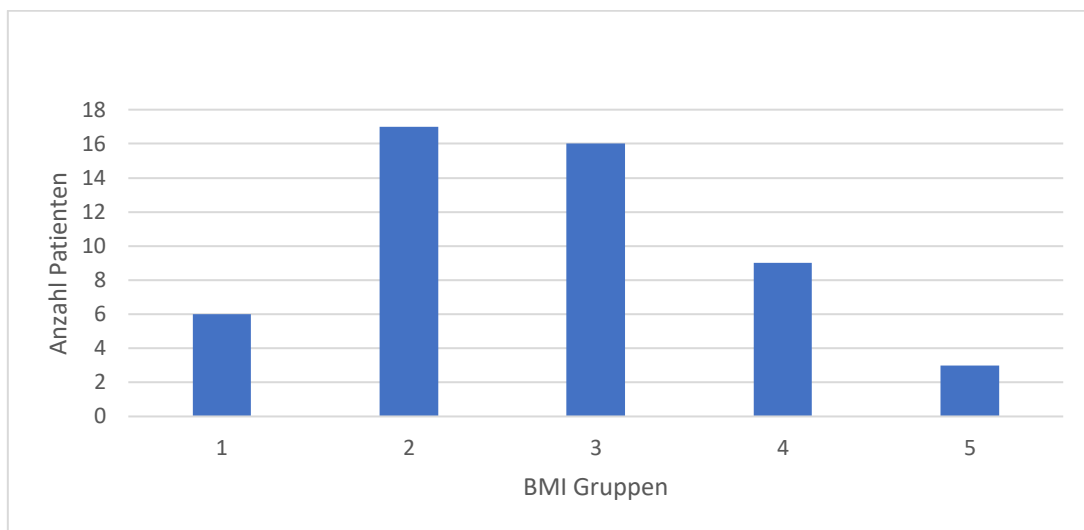


Abbildung 6. Eingruppierung der Patienten anhand des BMI

Mithilfe eines Kruskal-Wallis-Tests konnte kein signifikanter Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Anzahl der Kathetertage und der BMI Eingruppierung festgestellt werden,  $H(4)=0.532, p=0.97$  (Abbildung 7).

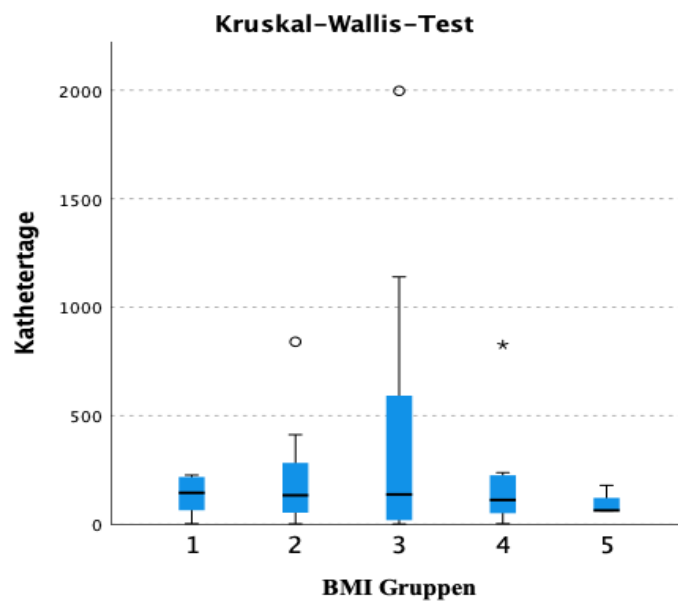


Abbildung 7. Kathetertage der BMI-Gruppen

## 5.2. Nephrologische Epidemiologie

### 5.2.1. Dialyserelevante Diagnose

Patienten mit Nierenversagen haben oftmals eine Mehrzahl an systemischen und nephrologischen Vorerkrankungen, die alleinstehend oder in Kombination zur Dialysepflicht führen können. Im Rahmen unserer Untersuchungen wurde versucht die entscheidende Diagnose zu isolieren, die zur aktuellen Dialysepflicht führte und die dadurch notwendige Implantation des Iliakalvenenkatheters bedingte. Für eine übersichtlichere Darstellung wurden einzelne seltener beobachtete Erkrankungen in Gruppen zusammengefasst. Im Folgenden werden die Gruppierungen, ihre jeweiligen Bestandteile und ihr Häufigkeiten beschrieben (Abbildung 8).

Am häufigsten wurden Katheter bei Patienten mit diabetischer Nephropathie implantiert (n=17; 17,9 %).

Ebenso viele Katheter wurden bei Patienten mit einer Grunderkrankung, die am ehesten als multiorgan-systemische Genese zusammenzufassend ist, implantiert (n=17; 17,9%). Hierzu wurden, in absteigender Häufigkeit der Implantation des Iliakalvenenkatheters, Patienten gezählt, die an einer Granulomatose mit Polyangiitis erkrankt waren (n=6; 6,3%), ein postoperatives Nierenversagen erlitten hatten (n=3; 3,2%) oder ein Sepsis-bedingtes Nierenversagen erlitten hatten (n=3; 3,2%). Bei jeweils einem Patienten (n=1; 1,1%) war ein systemischer Volumenverlust, ein hämolytisch urämisches Syndrom im Rahmen der Geburt, eine hepato-renale Genese, eine Cast-Nephropathie im Rahmen einer Plasmazellleukämie oder eine systemische Amyloidose der Dialysepflichtigkeit zugrunde-liegend.

Bei der Implantation von 15 Kathetern war eine kardio-renale Genese ursächlich für die Dialysepflichtigkeit des Patienten (n=15; 15,8%).

Elf Katheter wurden in Patienten mit hypertensiver Nephropathie implantiert (n=11; 11,6%).

Bei der Implantation von neun Kathetern war ein Transplantatversagen ursächlich für die Dialysepflichtigkeit des Patienten (n=9; 9,5%).

Bei der Implantation von acht Kathetern lag eine Glomerulonephritis zugrunde (n=8; 8,4%). Hierbei handelte es sich in drei Fällen um eine IgA-Nephropathie (n=3; 3,2%), in zwei Fällen um eine membranöse Glomerulonephritis (n=2; 2,1%) und in jeweils einem Fall (n=1; 1,1%) um eine diffuse mesangio-proliferative Glomerulonephritis, eine

membrano-proliferative Glomerulonephritis oder um eine Anti-GBM Glomerulonephritis.

Bei der Implantation von fünf Kathetern lag eine interstitielle Nephritis zugrunde (n=5; 5,3%).

Vier Katheter wurden bei Patienten mit einer Medikamenten-induzierten Niereninsuffizienz implantiert (n=4; 4,2%).

Die Gruppe der sonstigen Ursachen umfasste drei Katheter-Implantationen (n=3; 3,2%) und setzt sich aus zwei Implantationen bei einem Patienten mit Laurence-Moon-Bardet-Biedl Syndrom (n=2; 2,1%) und einer Implantation bei einem Patienten mit familiären Zystennieren/*Autosomal Dominant Polycystic Kidney Disease (ADPKD)*; n=1; 1,1%) zusammen.

Bei der Implantation von drei Kathetern lag eine prärenale Ursache, spezifischer eine Stenose oder der Verschluss einer Nierenarterie, zugrunde (n=3; 3,2%).

Eine postrenale Ursache in Form einer Urosepsis war in zwei Fällen für die zur Implantation des Katheters führende Dialysepflichtigkeit verantwortlich (n=2; 2,1%).

Bei einem Patienten konnte die Ursache der Dialysepflichtigkeit nicht bestimmt werden und die Genese bleibt somit unklar (n=1; 1,1%).

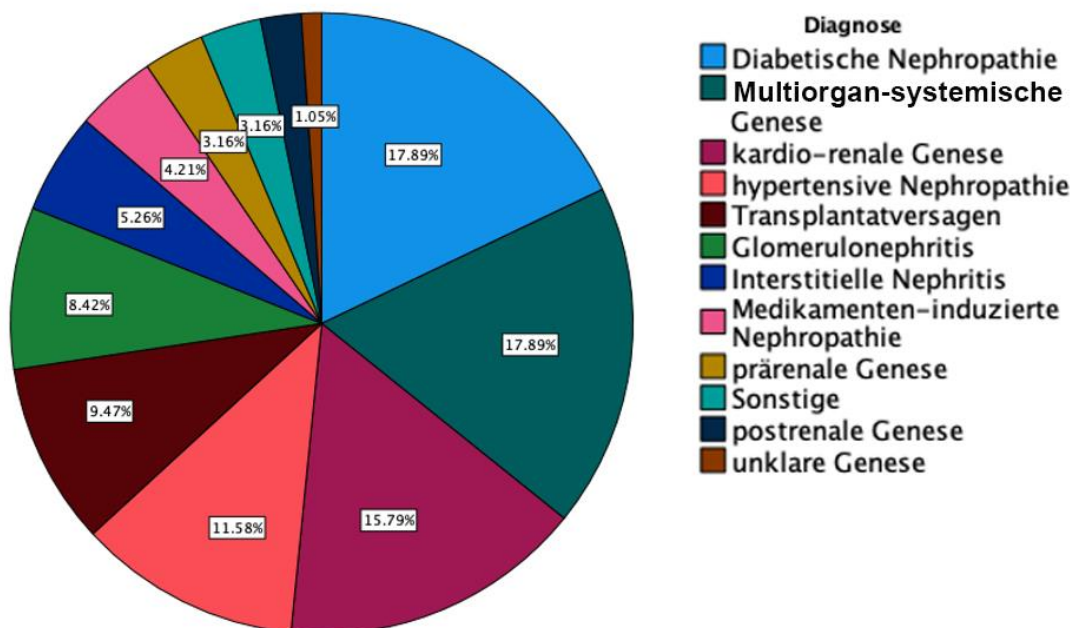


Abbildung 8. Dialyserelevante Diagnosen

### 5.2.2. Vorangegangene Dialysedauer

Viele der Patienten waren langjährige Dialysepatienten, die erst mit dem Fortschreiten der Dialysepflichtigkeit auf den Iliakalvenenkatheter als Zugangsweg angewiesen waren. Im Durchschnitt lagen 895,5 ( $\pm 1.585,25$ ) Tage zwischen der primären Andialyse des Patienten und der Implantation des Iliakalvenenkatheters. Die weite Spanne der Standardabweichung der Durchschnittsdauer lässt sich durch die geringe Anzahl der Patienten mit einer vorangegangenen Dialysedauer über 3.000 Tage erklären (n=4).

Bei 15 Patienten erfolgte die Andialyse über den Iliakalvenenkatheter (15,8%) und Implantationsdatum und Andialyse lagen nur wenige Tage auseinander. Das längste Intervall zwischen Andialyse und Katheter-Implantation betrug 8.483 Tage. Im Median betrug das Intervall 80,5 Tage.

### 5.2.3. Anzahl vorheriger Gefäßzugänge

Der Iliakalvenenkatheter als Gefäßzugang zur Hämodialyse ist selten der erste Zugangsweg zur Hämodialyse. Es wurde die Anzahl der bereits zuvor verlorenen Gefäßzugänge und komplikationsreichen arterio-venösen Gefäßzugänge erfasst. Im Durchschnitt hatten die Patienten bereits 3,01 ( $\pm 2,97$ ) letztlich gescheiterte Zugangswege bis zur Implantation des Iliakalvenenkatheters. Das Spektrum reichte von null vorangegangenen Zugangswegen bis hin zu 13 verlorenen Gefäßzugängen. Im Median waren es zwei verlorene Gefäßzugänge vor der Katheter-Implantation. Es ist jedoch zu beachten, dass bei sämtlichen Patienten, auch bei Patienten mit keinen oder wenigen vorangegangenen gescheiterten Zugängen, eine Kontraindikation zur Anlage der konventionellen Dialysekatheter in eine der Venae jugulare internae vorlag und somit die Katheter-Anlage in eine der Iliakalvenen als die für den Patienten individuell beste Option eruiert wurde.



### 5.1.3. Auswertung und Analyse der Iliakalvenenkatheter-spezifischen Daten

#### 5.1.3.1. Katheter-Anlage

Bei 95 von 96 Kathetern verlief die Anlage erfolgreich (98,96%). Bei einem Katheter wurde die Anlage als technisch nicht möglich beschrieben und ein Verschieben des Katheters war frustrierend. Anschließend erfolgte eine erfolgreiche Shaldon-Katheter Anlage und der Patient wurde von der weiteren Datenerhebung ausgeschlossen.

Bei allen erfolgreich implantierten Kathetern verlief die Implantation komplikationsfrei. Es kam zu keinen Blutungen oder sonstigen Gewebsverletzungen.

#### 5.1.3.2. Katheter-Liegedauer

Es wurde die Dauer zwischen der Katheter-Implantation und der Enderfassung berechnet. Der Zeitpunkt der Enderfassung wurde definiert als Explantation des Katheters, Versterben des Patienten mit liegendem Katheter, letzter verfügbarer Datenpunkt vor *Lost to follow-up* oder letzter verfügbarer Datenpunkt bei Kathetern, die zum Ende der Nachbeobachtungszeit noch aktiv in Benutzung waren. So ergab sich ein Beobachtungszeitraum von kumulativ 20.252 Kathetertagen.

Mittels deskriptiver Statistik ergab sich eine durchschnittliche Laufzeit der Katheter von 213 ( $\pm 306,13$ ) Tagen. Der Median lag im Rahmen der deskriptiven Statistik bei 83 Kathetertagen.

Die kürzeste Laufzeit eines Katheters betrug null Tage, wobei hier die individuelle Krankengeschichte des Patienten ursächlich für die kurze Laufzeit ist. In diesem speziellen Fall kam es zum (nicht Katheter-bedingten) Versterben des Patienten am Tag der Katheter-Implantation. Das intensivmedizinische Konzept der „*rescue therapy*“ für katecholaminpflichtige Patienten wird im Verlauf diskutiert. Die längste Laufzeit eines Iliakalvenenkatheters betrug 1.997 Tage.

### 5.1.3.2.1. Kaplan-Meier-Überlebensanalyse

Die Überlebensdauer der Iliakalvenenkatheter lag im Median bei 762 Tagen (95%-KI [127,17;1396,83]). Der mittels Kaplan-Meier-Überlebensanalyse geschätzte Mittelwert lag bei 853,7 ( $\pm 162,87$ ) Kathetertagen (Abbildung 9).

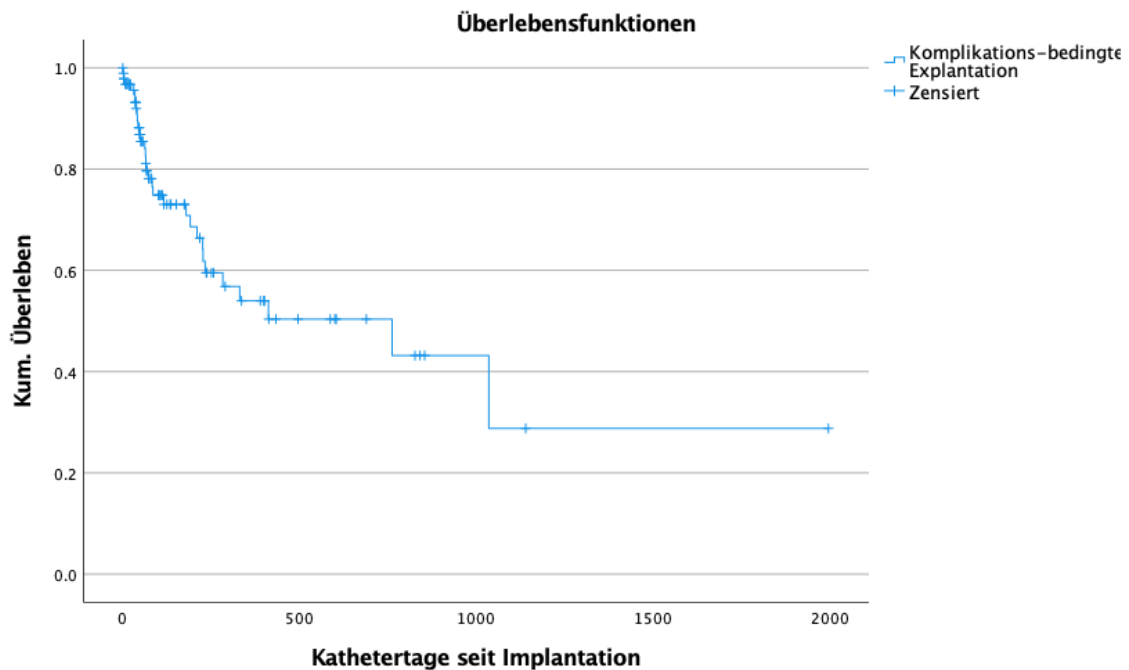


Abbildung 9. Kaplan-Meier Überlebensanalyse

#### 5.1.3.2.1.1. Überlebensanalyse stratifiziert nach Geschlecht

Die Überlebenszeit der Katheter wurde nach dem Geschlecht der Patienten stratifiziert und mittels Kaplan-Meier-Überlebensanalyse dargestellt (Abbildung 10).

Die Überlebensdauer der Katheter war im Median bei den männlichen Patienten (Mdn = 331, 95%-KI [0; 927,47]) geringer als bei den weiblichen Patientinnen (Mdn = 762, 95%-KI [114,08;1409,92]).

Ein log-rank Test wurde durchgeführt, um festzustellen, ob signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen bestehen. Es konnten hierbei keine signifikanten Unterschiede festgestellt werden,  $\chi^2(2)=0,26$ ,  $p=0,61$ .

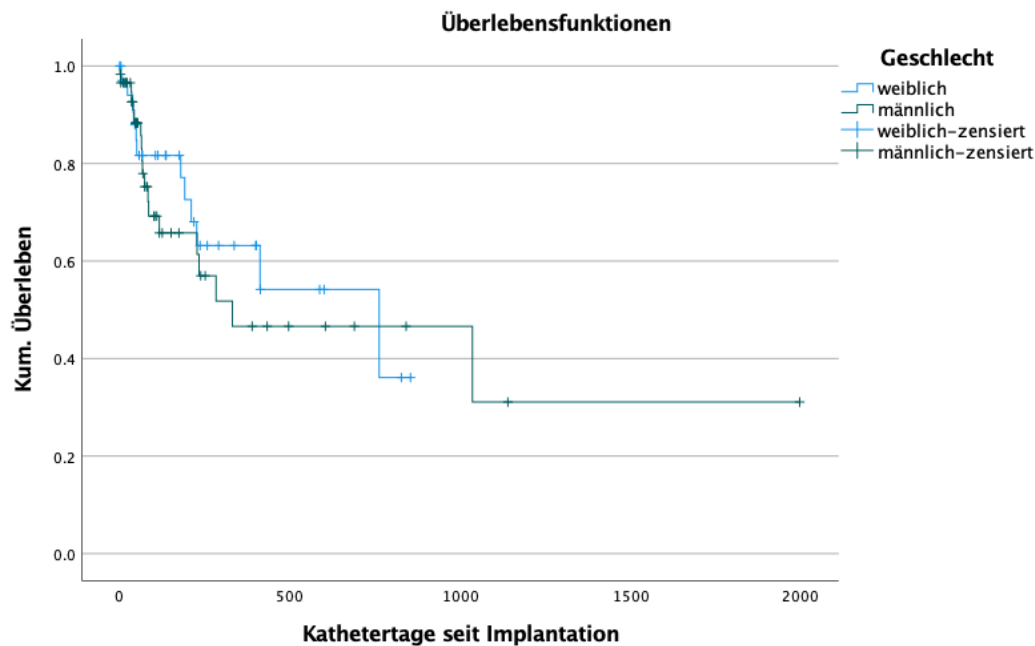


Abbildung 10. Kaplan-Meier-Überlebensanalyse stratifiziert nach Geschlecht

#### 5.1.3.2.2. Korrelation zwischen Alter und Katheter-Liegedauer

Die Katheter-Liegedauer korrelierte nicht mit dem Implantationsalter der Patienten,  $r=0.93$ ,  $p=0.369$ .

#### 5.1.3.3. Ursache der Katheter-Enderfassung

Für 90 der 95 Katheter konnte die Ursache der Katheter-Enderfassung klar definiert werden. Zwei Katheter waren zum Ende der Nachbeobachtungszeit noch aktiv in Benutzung ( $n=2$ ; 2,1%). Bei drei Kathetern verlief die Nachrecherche erfolglos und die Ursache der Katheter-Enderfassung konnte nicht eruiert werden, sie werden als „lost to follow-up“ gelistet ( $n=3$ ; 3,2%).

Die größte Gruppe bilden Patienten, die mit liegendem Iliakalvenenkatheter verstorben sind ( $n=31$ ; 32,6%). Hierbei ist zu erwähnen, dass in keinem Fall der Iliakalvenenkatheter

oder eine durch ihn bedingte Komplikation ursächlich für das Versterben des Patienten war.

Die zweitgrößte Gruppe ist eine Zusammenfassung verschiedener Ursachen, die allesamt eine elektive, nicht-komplikationsbedingte Explantation des Katheters zur Folge hatten. In Summe kam es zu 28 elektiven Explantationen (n=28; 29,5%). Hierzu zählen 16 Patienten mit erfolgreich installierten, ausgereiften und zur Hämodialyse punktablen arterio-venösen Zugängen (n=16; 16,8%). Bei acht Patienten wurde aufgrund des individuellen Krankheitsverlaufes ein Therapieauslass beschlossen, sodass es zur elektiven Explantation des Katheters kam (n=8; 8,4%). Bei drei Patienten konnte eine Nierentransplantation erfolgreich durchgeführt werden, sodass der Katheter elektiv explantiert werden konnte (n=3; 3,2%). Bei einem Patienten wurde das Dialyseverfahren umgestellt und auf eine Peritonealdialyse gewechselt, sodass eine elektive Explantation des Katheters erfolgen konnte (n=1; 1,1%).

Bei 13 Kathetern kam es zur akzidentiellen Entfernung des Katheters oder zur Dislokation durch Manipulation, was zu einer Entfernung des Katheters führte (n=13; 13,7%; 0,64/1.000 Kathetertage).

Bei acht Kathetern war eine Katheter-Dysfunktion ursächlich für die Entfernung (n=8; 8,4%).

Sechs Katheter wurden aufgrund des Verdachts der Katheter-bedingten Infektion entfernt (n=6; 6,3%). Diese Gruppe ist jedoch weiter zu unterteilen in drei Katheter, bei denen sich der Verdacht bestätigte und der Katheter ursächlich für die Infekt-Konstellation war (n=3; 3,2%), und drei Katheter, bei denen sich der Verdacht nicht bestätigen konnte und der Infekt-Fokus nicht der Iliakalvenenkatheter war (n=3; 3,2%).

Bei drei Kathetern trat eine venöse Thrombose auf, sodass der Katheter entfernt werden musste (n=3; 3,2%).

Bei einem Katheter kam es zu Wundheilungsstörungen, sodass nach längerer Beobachtungszeit entschieden wurde den Katheter zu entfernen (n=1; 1,1%). (Abbildung 11)

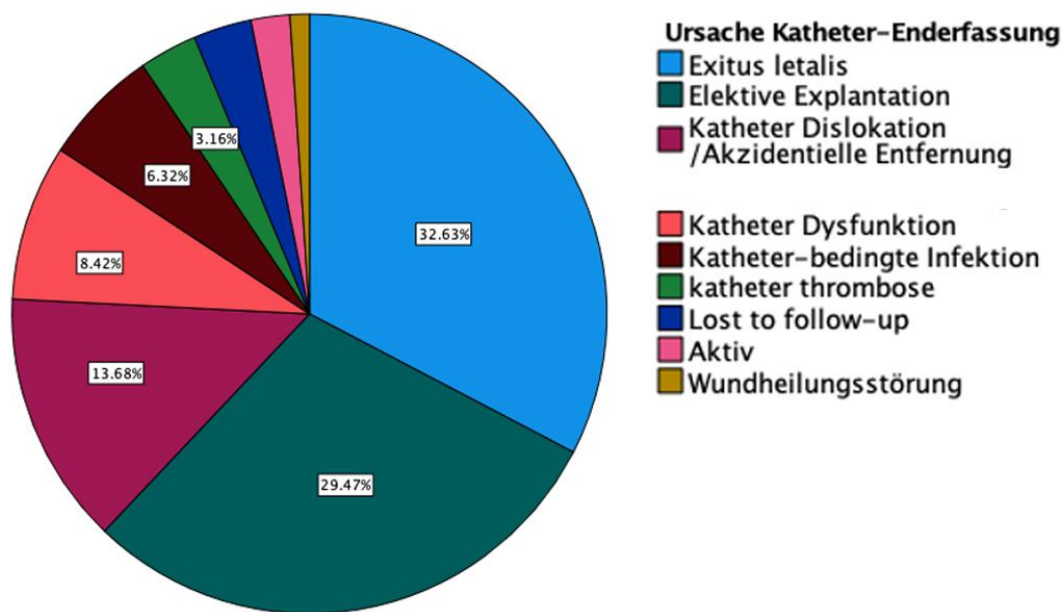


Abbildung 11. Ursache der Katheter-Enderfassung

Es erfolgte eine weitere Zusammenfassung der Gruppen in komplikationsbedingte und nicht komplikationsbedingte Ursachen der Enderfassung. Hierfür wurden die noch aktiv laufenden Katheter sowie die „lost to follow-up“ Katheter ausgeschlossen, da hier nicht klar prognostiziert werden kann, ob es noch zu einer komplikationsbedingten Entfernung kommen wird.

Die Gruppe der komplikationsbedingten Entfernung des Katheters umfasst die Ursachen: Katheter-Dislokation / akzidentielle Entfernung, Katheter-Dysfunktion, Katheter-Thrombose, Verdacht der Katheter-bedingten Infektion (bestätigt sowie unbestätigt), Wundheilungsstörungen. Somit sind es kumulativ 31 Katheter, bei denen es zu einer komplikationsbedingten Entfernung des Katheters kam (n=31; 34,4%).

Die Gruppe der komplikationsfreien Ursachen der Enderfassung umfasst somit die elektiv explantierten Katheter und die Patienten, die mit liegendem Katheter verstarben (n=59; 65,6%). Die Gruppe der Patienten, die mit liegendem Katheter verstarben, wurde als komplikationsfreie Ursache der Enderfassung gewertet, da das Versterben in keinem der Fälle durch den Katheter bedingt war.

Im Folgenden gilt es zu diskutieren, inwiefern die akzidentielle Entfernung des Katheters als spezifische Komplikation des Iliakalvenenkatheters zu sehen ist oder inwiefern prinzipiell bei allen Kathetern mit einer akzidentiellen Entfernung und Dislokation zu rechnen ist.

#### 5.1.3.4. Zusammenhang zwischen Alter und komplikationsbedingter Entfernung

Mittels binär logistischer Regression konnte kein statistisch relevanter Zusammenhang zwischen dem Alter zum Zeitpunkt der Katheter-Implantation und dem gehäuften Auftreten einer komplikationsbedingten Entfernung des Katheters festgestellt werden,  $\chi^2(1) = .697, p = 0.404$ .

#### 5.1.3.5. Dialyseprotokolle

Insgesamt konnten 4.116 Dialyseprotokolle gesichtet werden. Für jeden Katheter wurden die durchschnittlichen Blutflussgeschwindigkeiten, die Dauer der Dialysesitzungen, mögliche Komplikationen während der Dialysesitzung (z.B. der Einsatz von rt-PA) sowie, falls vorhanden, die kalkulierte Urea Reduction Rate erfasst. Zusätzlich zu den ausgewerteten hausinternen Dialyseprotokollen wurden für extern dialysierende Patienten die beschriebenen Durchschnittswerte sowie die kumulativen Komplikationen abgefragt. (Tabelle 3)

Tabelle 2 Parameter der Dialyseprotokolle

<u>Parameter</u>	<u>Mittelwert ± Standardabweichung</u>
<i>Dialyseprotokolle, n</i>	4.116
<i>Blutfluss, ml/min</i>	241 ± 31,1
<i>Urea Reduction Rate, %</i>	68,9 ± 7,1
<i>Dauer je Dialysesitzung, h</i>	4,23 ± 0,76

##### 5.1.3.5.1. Blutfluss

Die durchschnittliche Blutflussgeschwindigkeit betrug 241 (± 31,1) ml/min. Im Folgenden wird die Variable Blutfluss noch nach rechts- oder linksseitiger Lage stratifiziert.

#### 5.1.3.5.2. Urea Reduction Rate

Die durchschnittliche Urea Reduction Rate betrug 68,9% ( $\pm 7,1$ ). Die niedrigste erfasste Urea Reduction Rate war 54,1% und die höchste 83,9%. Der Median lag bei 68,1%. Im Folgenden wird die Variable Urea Reduction Rate noch nach rechts- oder linksseitiger Lage stratifiziert.

#### 5.1.3.5.3. Dauer Dialysesitzung

Im Durchschnitt wurden die Patienten mit Iliakalvenenkathetern für eine Dauer von 4,23 ( $\pm 0,76$ ) Stunden je Dialysesitzung dialysiert. Der Median lag bei 4,2 Stunden.

#### 5.1.4. Komplikationen

Die Tabelle 4 stellt eine Übersicht der aufgetretenen Komplikationen nach erfolgreicher Implantation des Iliakalvenenkatheters dar. Es wurden außerdem die Häufigkeiten je 1.000 Kathetertage berechnet. Die letzte Spalte der Tabelle verdeutlicht, in wie vielen Fällen die beschriebene Komplikation ursächlich für die Entfernung des Katheters war. Es wird die prozentuale Häufigkeit in Bezug auf alle Katheter-Enderfassungen angegeben.

Tabelle 3 Komplikationen und ihre Häufigkeiten

<u>Komplikationen</u>	<u>Anzahl an Ereignissen, n</u>	<u>Häufigkeit je 1.000 Kathetertage</u>	<u>Relevant für Explantation, n (% von 95)</u>
<b><i>Infektionen (Gesamt)</i></b>	14	<b>0,69 / 1.000</b>	<b>6 (6,3)</b>
Lokale Infektionen	5	<b>0,25 / 1.000</b>	<b>2 (2,1)</b>
Katheter-bedingte Blutstrominfektionen	9	<b>0,44 / 1.000</b>	<b>4 (4,2)</b>
<b><i>Katheter-Dysfunktion (Gesamt)</i></b>	122	<b>6,02 / 1.000</b>	<b>8 (8,4)</b>
<i>Urokinase Instillationen (rt-PA)</i>	24	<b>1,19 / 1.000</b>	-
<i>Alteplase Instillationen (rt-PA)</i>	77	<b>3,80 / 1.000</b>	-
<i>Freispülen</i>	21	<b>1,04 / 1.000</b>	-
<b><i>Venöse Thrombosen</i></b>	9	<b>0,44 / 1.000</b>	<b>3 (3,2)</b>
<b><i>Wundheilungsstörungen</i></b>	1	<b>0,05 / 1.000</b>	<b>1 (1,1)</b>

##### 5.1.4.1. Infektionen

In Summe kam es zu 14 Katheter-bedingten Infektionen. Die Rate der Katheter-bedingten Infektionen wird üblicherweise je 1.000 Kathetertage angegeben. Bei einem Beobachtungszeitraum von 20.252 Kathetertagen ergibt sich somit eine Infektionsrate



von 0,69 / 1.000 Kathetertage. Dieser Wert beinhaltet sowohl lokale Infektionen der Austrittspforte und Tunnelinfektionen als auch Katheter-bedingte Blutstrominfektionen.

#### 5.1.4.1.1. Exit-site Infektionen & Tunnelinfektionen

Es wurden fünf lokale Infektionen der Katheter-Austrittsstelle (*Exit-site*) erfasst. Somit ergibt sich eine Rate der lokalen Infektionen von 0,25 / 1.000 Kathetertage. Diese fünf lokalen Infektionen traten bei fünf verschiedenen Patienten auf. Hier gilt zu erwähnen, dass zwei dieser fünf Patienten zum Zeitpunkt der Infektion unter dem Einfluss einer stark immunsuppressiven Therapie im Rahmen ihrer Grund- oder Begleiterkrankung standen.

#### 5.1.4.1.2. Katheter-bedingte Blutstrominfektionen (CRBSI)

Wie zuvor beschrieben, orientiert sich die Definition der Katheter-bedingten Blutstrominfektion an dem Auftreten klinischer Manifestationen einer systemischen Infektion, dem Nachweis von zirkulierenden Erregern mittels Blutkulturen und dem Nachweis von Erregern am Zentralvenenkatheter. Insgesamt kam es zu neun CRBSI bei sechs Patienten. Die Rate der Blutstrominfektionen beträgt somit 0,44 / 1.000 Kathetertage.

Bei drei der sechs Patienten wurde die Blutstrominfektion zur Ursache der Explantation des Katheters. Bei den anderen drei Patienten wurde aufgrund des desolaten Gefäßzustandes entschieden, den Katheter im Gefäß zu belassen, um weiterhin einen zuverlässigen Zugangsweg zur lebenswichtigen Hämodialyse zu behalten. Mittels aggressiver systemischer Antibiotika-Therapie konnten die Infektionen therapiert werden und somit Katheter und Zugangsweg erhalten bleiben.

Bei einem jener Patienten kam es im Verlauf zu wiederholten, insgesamt vier, Katheter-bedingten Blutstrominfektionen. Ursächlich waren für jede Infektion jeweils unterschiedliche Keime (*S. epidermidis*, *E. coli*, 3-MRGN *K. Pneumoniae*), die jedoch allesamt erfolgreich Antibiotikogramm-gerecht medikamentös therapiert werden konnten. Der Patient konnte seinen Iliakalvenenkatheter somit insgesamt für 1.140 Tage nutzen, und

ein suffizienter Zugangsweg zur Hämodialyse bis zu seinem nicht Katheter-assoziierten Versterben war gesichert.

#### 5.1.4.2. Interventionen bei schlechtem Blutfluss und primary patency

Als Interventionen bei schlechtem Blutfluss wurden das Freispülen des Katheters und die Instillation von fibrinolytischen Präparaten, wie Alteplase oder Urokinase, erfasst (rt-PA). Selbstverständlich können auch das Spülen des Katheters mit Kochsalzlösung oder die Änderung der Position des Patienten zu einem verbesserten Blutfluss führen. Diese Maßnahmen wurden allerdings als niedrighschwellig gewertet und daher nicht erfasst.

Bei vergleichbaren Studien wurde oftmals die *primary patency* beschrieben, definiert als das Intervall, das die Offenheit des Katheters vom Zeitpunkt der Implantation bis hin zur ersten Instillation eines fibrinolytischen Präparats oder zur Explantation des Katheters aufgrund von Dysfunktion beschreibt. Bei 22 Kathetern unserer Studie kam es im Verlauf zur Verwendung von fibrinolytischen Präparaten oder zur Explantation aufgrund von Dysfunktion. Die *primary patency* wurde mittels Kaplan-Meier-Überlebensanalyse berechnet. Als Endpunkt wurde das Auftreten einer Katheter-Dysfunktion gewertet. Katheter, bei denen es im Verlauf zu keiner Dysfunktion kam und bei denen keine Dysfunktion-bedingte Explantation erfolgte, wurden in die Berechnungen eingeschlossen und bei frühzeitigem Austreten zensiert. Die *primary patency* lag im Mittelwert bei 507,60 ( $\pm 58,33$ ) Tagen. Der Median lag bei 587 Tagen (95%-KI [131,69;1042,31]). Die Kaplan-Meier-Überlebensfunktion dieser Katheter dient zur graphischen Darstellung (Abbildung 12).

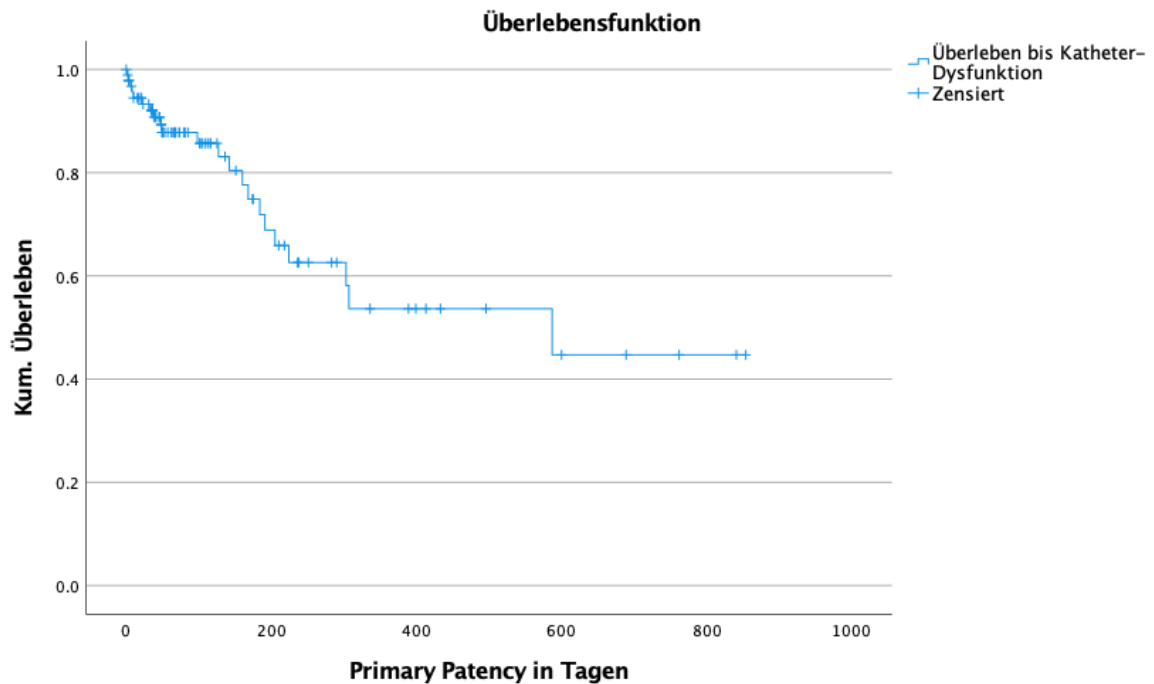


Abbildung 12. Kaplan-Meier-Überlebensanalyse der primary patency

#### 5.1.4.2.1. Anzahl der rt-PA Instillationen

Bis zum Jahr 2013 wurde bei Kathetern mit Dysfunktion das Präparat Urokinase verwendet. Insgesamt kam es in 24 Dialysesitzungen bei sieben verschiedenen Kathetern zum Einsatz. Im Anschluss wurde die Substanz Alteplase verwendet, welche in den Jahren 2013 bis 2022 in 77 Dialysesitzungen bei neun verschiedenen Kathetern zum Einsatz kam.

#### 5.1.4.2.2. Anzahl mechanischer Katheter-Eröffnungen durch Freispülen

Insgesamt 21 Mal war bei zwei Kathetern war eine mechanische Eröffnung mittels Freispülen von Nöten. Die Maßnahme wurde nur in den ersten Jahren der Datenerfassung verwendet und wurde zuletzt im Jahr 2007 beschrieben.

### 5.1.4.3. Anzahl venöser Thrombosen

Es kam zu neun venösen Thrombosen bei fünf verschiedenen Patienten.

### 5.1.5. Rechts-/ linksseitige Katheterlage

Bei 88 der 95 implantierten Katheter konnte die rechts- oder linksseitige Lage des Katheters erfasst werden. Aufgrund von unvollständigen Datensätzen konnte die Lage bei sieben Kathetern nicht bestimmt werden. Diese sieben Katheter wurden von der weiteren Lage-bezogenen statistischen Analyse ausgeschlossen.

63% der Katheter wurden in die rechte (n=55) und 37% in die linke Vena iliaca externa (n=33) implantiert.

#### 5.1.5.1. Überlebensanalyse stratifiziert nach rechts-/ linksseitiger Katheterlage

Die Überlebenszeit der Katheter wurde nach der rechts- oder linksseitigen Anlage des Katheters stratifiziert und mittels Kaplan-Meier-Überlebensanalyse dargestellt (Abbildung 13). Die durchschnittliche Liegedauer bei linksseitiger Katheterlage betrug nach Kaplan-Meier-Überlebensanalyse 418 ( $\pm$  78,13) Tage, während die rechtsseitig liegenden Katheter im Mittelwert eine Liegedauer von 989 ( $\pm$  200,73) Tagen hatten.

Die Überlebensdauer der Katheter war auch im Median bei den linksseitig angelegten Kathetern (Mdn = 283, 95%-KI [126,02; 439,99]) geringer als bei den rechtsseitig angelegten Kathetern (Mdn = 1036, 95%-KI [110,40;1961,60]).

Ein log-rank-Test wurde durchgeführt, um festzustellen, ob signifikante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen bestehen. Die Unterschiede der beiden Gruppen stellten sich jedoch als nicht statistisch signifikant heraus,  $\chi^2(1)=2,28$ ,  $p=0,131$ .

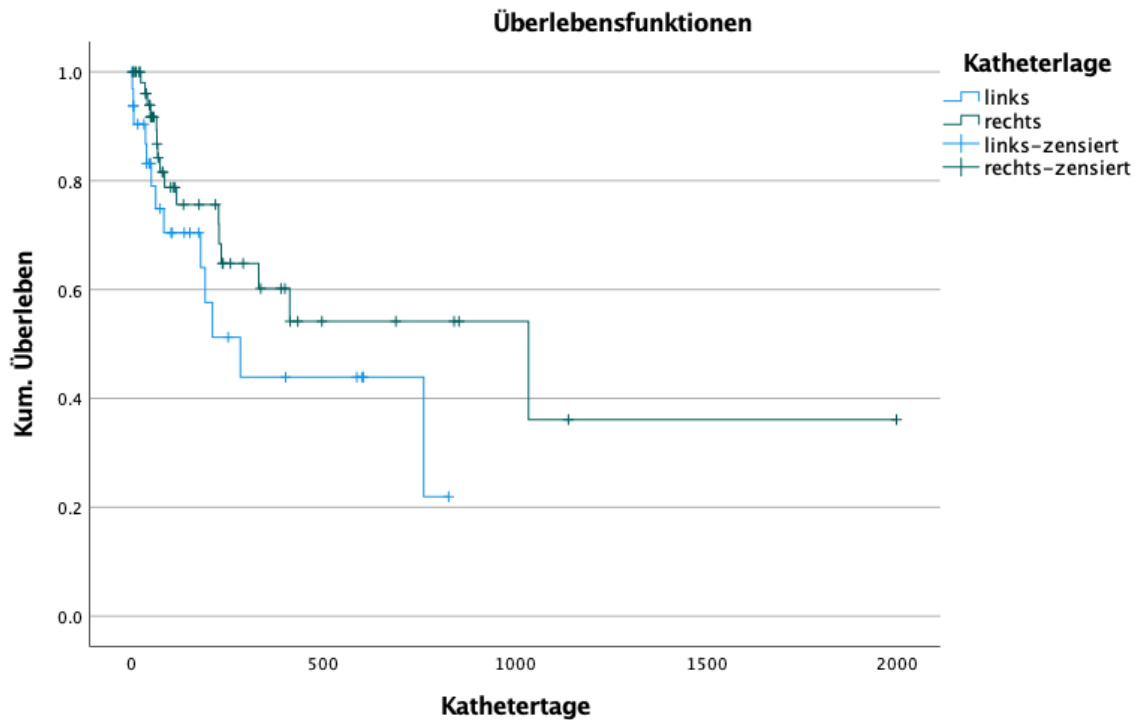


Abbildung 13. Überlebensanalyse stratifiziert nach rechts- oder linksseitiger Katheterlage

#### 5.1.5.1. Rechts-/linksseitige Katheterlage und Anzahl der Kathetertage

Aufgrund der fehlenden Normalverteilung wurde mittels Mann-Whitney-U-Test berechnet, ob sich die Anzahl der Kathetertage zwischen rechts- oder linksseitiger Katheterlage statistisch signifikant unterschied.

Es gab keinen signifikanten Unterschied der Katheterlaufzeit zwischen rechts- oder linksseitiger Katheterlage,  $U=765.50$ ,  $Z=-1.224$ ,  $p=0.221$ .

#### 5.1.5.2. Rechts-/linksseitige Katheterlage und URR

Mittels t-Test ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied der Urea Reduction Rate zwischen rechts- und linksseitiger Katheterlage,  $t(33)=-0.367$ ,  $p=0.716$ .

#### 5.1.5.3. Rechts-/linksseitige Katheterlage und Blutfluss

Mittels t-Test ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied des Blutflusses zwischen rechts- und linksseitiger Katheterlage,  $t(57)=1.089$ ,  $p=0.281$ .

#### 5.1.5.4. Rechts-/linksseitige Katheterlage und Anzahl der Infektionen

Mittels t-Test ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied der Anzahl der Infektionen zwischen rechts- und linksseitiger Katheterlage,  $t(85)=0.125$ ,  $p=0.901$ .

#### 5.1.5.5. Rechts-/linksseitige Katheterlage und komplikationsbedingte Entfernungen

Ein Chi-Quadrat-Test wurde zwischen der rechts-oder linksseitigen Katheterlage und der komplikationsbedingten Explantation durchgeführt. Keine erwarteten Zellohäufigkeiten waren kleiner als 5. Es gab keinen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen den Faktoren,  $\chi^2(1) = 0.991$ ,  $p = 0.32$ .

## 6. Diskussion

Für Patienten mit terminalem Nierenversagen ist eine Nierenersatztherapie überlebenswichtig. Während die Optionen der Nierentransplantation und Peritonealdialyse bestehen und sich für manche Patienten eignen, stellt die Hämodialyse die am weitesten verbreitete Nierenersatztherapie dar.<sup>3</sup> Arterio-venöse Gefäßzugänge sind allgemeingültig der klar präferierte Zugangsweg zur chronischen Hämodialyse.<sup>26</sup> Die Reifungsdauer von arterio-venösen Fisteln macht sie allerdings nicht brauchbar für Patienten mit einer akuten Dialysepflichtigkeit, sodass oftmals eine primäre Implantation eines Vorhofkatheters als Dialysezugang erfolgt. Für Patienten mit einem Gefäßstatus, der sich nicht zur Anlage eines arterio-venösen Zugangs eignet, sind Vorhofkatheter auch daher im Langzeitverlauf die einzig verbleibende Option. Die KDOQI Guidelines empfehlen die Anlage des Vorhofkatheters über die rechte Jugularvene (V. jugularis interna dextra) als die präferierte Lokalisation. In absteigender Präferenz sollen alternativ Vena jugularis externa, Vena femoralis, Vena subclavia und Vena lumbalis verwendet werden.<sup>33</sup>

Für Patienten mit erschöpften Gefäßstatus muss die Verwendung unkonventionellerer Zugangswege erwogen werden, um die überlebenswichtige Hämodialyse zu ermöglichen.

Eine jener unkonventionellen Methoden ist die Implantation eines Vorhofkatheters über die Vena iliaca externa, welche erstmals 2006 in Frankfurt am Main von Betz et al. beschrieben wurde.<sup>57</sup> Die Arbeit beschreibt die Implantation des Iliakalvenenkatheters bei sechs Patienten am Universitätsklinikum Frankfurt und den Verlauf während eines Beobachtungszeitraums von kumulativ 1.500 Tagen. Die Ergebnisse dieser Studie lassen initial die Sicherheit und Effektivität des Verfahrens für Patienten ohne alternative Zugangswege vermuten.

Die vorliegende Arbeit stellt eine retrospektive Analyse des Langzeitverlaufs von 95 Iliakalvenenkathetern zur Hämodialyse dar, die in den Jahren 2004 bis 2022 im Universitätsklinikum Frankfurt implantiert wurden. Der nun deutlich längere kumulative Beobachtungszeitraum von 20.252 Tagen soll beurteilen, ob sich die ursprünglich durch Betz et al. beschriebenen Ergebnisse auch im Langzeitverlauf bestätigen. Weiterführend sollen die Ergebnisse dieser Arbeit einordnen, inwieweit der Iliakalvenenkatheter als Option des Zugangsweges zur chronischen Hämodialyse für Patienten mit schwierigem Gefäßstatus in Betracht gezogen werden kann.

## 6.1. Epidemiologie des Patientenkollektivs

Während des Beobachtungszeitraums vom 01.11.2004 bis zum 31.07.2022 kam es zu insgesamt 95 erfolgreichen Implantationen eines Iliakalvenenkatheters bei 79 Patienten. Das Patientenkollektiv bestand aus 49 Männern (62,0%) und 30 Frauen (38,0%). Das durchschnittliche Alter der Patienten betrug zum Zeitpunkt der Implantation 65 ( $\pm 13,8$ ) Jahre und reichte von 27 Jahren bis zu 84 Jahren.

Die einzige uns bekannte Verlaufsstudie von Iliakalvenenkathetern, die sich aufgrund der Anzahl der implantierten Katheter ( $n=99$ ) und der kumulativen Beobachtungsdauer (65.369 Kathetertage) zum Vergleich eignet, stammt von Wang et al. aus dem Jahr 2016.<sup>58</sup> Das Patientenkollektiv hatte eine vergleichbare Geschlechterverteilung mit ebenfalls einer leicht überrepräsentierten männlichen Population [40 Männer (57,1%), 30 Frauen (42,9%)]. Ebenso vergleichbar war das durchschnittliche Alter zum Zeitpunkt der Implantation [70 ( $\pm 6$ ) Jahre], jedoch mit dem entscheidenden Unterschied, dass in der genannten Studie nur Patienten mit einem Alter von über 65 Jahren eingeschlossen wurden.<sup>58</sup>

Im Unterschied zu Wang et al. beinhaltet unsere Studie allerdings keine altersbezogenen Ausschlusskriterien, sodass die im Verlauf diskutierten Ergebnisse allgemeingültiger bewertet werden können und sich nicht nur auf eine Population älter als 65 Jahre beschränken. Tatsächlich wurden in Summe 38 Katheter in Patienten implantiert, die zum Zeitpunkt der Implantation jünger als 65 Jahre alt waren (40% aller Katheter).

Die Katheter-Liegedauer korrelierte nicht mit dem Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Implantation ( $p=0.369$ ). Außerdem bestand keine statistisch relevante Regression zwischen dem Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Implantation und dem gehäuften Auftreten einer komplikationsbedingten Entfernung des Katheters ( $p=0.404$ ). Hieraus lässt sich ableiten, dass kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen dem Patientenalter und der zu erwartenden Liegedauer oder dem gehäuften Auftreten komplikationsbedingter Entfernungen des Iliakalvenenkatheters vorliegt. Diese Ergebnisse weisen darauf hin, dass ein kategorisches Vorbehalten des Iliakalvenenkatheters ausschließlich für ältere Patienten unbegründet ist.

Durch die Erfassung von Größe und Gewicht zum Zeitpunkt der Implantation des Katheters konnte der BMI berechnet werden. Der durchschnittliche BMI lag bei 25,7 ( $\pm 5,7$ ) kg/m<sup>2</sup>. Es erfolgte eine weitere Kategorisierung der Patienten anhand des BMI in



die Gruppen 1 (Untergewicht) bis 5 (Adipositas Grad 2). Es konnte kein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Katheter-Liegedauer und der Eingruppierung anhand des BMI festgestellt werden ( $p=0.97$ ). Somit sollte die Zugehörigkeit zu keiner der BMI-Gruppen Anlass sein, eine verkürzte Katheter-Liegedauer zu erwarten. Ein hoher BMI geht oftmals mit erschwerten anatomischen Implantationsbedingungen für Gefäßzugänge einher, sodass die erwartete Katheter-Liegedauer nicht als alleinentscheidender Faktor bei der Wahl des Zugangswegs zu werten ist.

## 6.2. Nephrologische Epidemiologie

Im Rahmen der Datenerhebung wurden die Diagnosen der Patienten erfasst, die zum Zeitpunkt der Implantation des Iliakalvenenkatheters am wahrscheinlichsten die Ursache der Dialysepflichtigkeit begründeten. Aufgrund der Multimorbidität einiger dialysepflichtiger Patienten sollten die Ergebnisse unserer Datenerhebung bezüglich der dialyserelevanten Diagnose als Annäherung interpretiert werden. Um eine definitive histologische Diagnosesicherung zu erhalten, hätte für jeden der Patienten eine Nierenbiopsie durchgeführt werden müssen. Ein solches Prozedere wäre einerseits klinisch unüblich und zudem aufgrund des retrospektiven Charakters der Datenanalyse nicht nachträglich durchführbar gewesen.

Dennoch spiegeln die erhobenen Daten und ihre Häufigkeiten im Großen die Erkrankungen wider, die auch in der Literatur, sowohl im Falle des akuten Nierenversagens als auch für Patienten mit chronischem Nierenversagen, am häufigsten zu einer Dialysepflichtigkeit führen.<sup>24</sup>

Die diabetische Nephropathie gilt als die häufigste Ursache des zur Dialysepflichtigkeit führenden Nierenversagens und bildet auch in der Population unserer Studie die größte Gruppe ( $n=17$ ; 17,9%).<sup>24</sup> Patienten, die der Gruppe der kardio-renalen Genese zugeteilt wurden, entwickelten die Dialysepflichtigkeit im Rahmen einer kardialen Dekompensation. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass Patienten dieser Gruppe bereits nicht-dialyserelevante nephrologische Vorerkrankungen hatten. Das Nichterfassen jener nephrologischen Vorerkrankungen, beziehungsweise die fehlende Diagnosesicherung mittels Nierenbiopsie, kann als Ursache der verhältnismäßigen Überrepräsentation dieser Gruppe ( $n=15$ ; 15,8%) gewertet werden.

Außerdem beinhaltete das Patientenkollektiv Patienten mit vergleichsweise selten auftretenden Nierenerkrankungen (z.B. Laurence-Moon-Bardet-Biedl Syndrom) sowie einige Patienten mit einem Transplantatversagen nach Nierentransplantation (n=9, 9,5%), welches zur Dialysepflichtigkeit führte. Ursächlich hierfür könnte der universitäre Charakter des Klinikums sowie die Spezialisierung des Zentrums auf Nierentransplantationspatienten und ihre Folgebehandlung sein.

Alle in der Studie eingeschlossenen Patienten hatten Kontraindikationen zur Implantation eines Vorhofkatheters über ein Jugulargefäß. So hatten die Patienten in der Krankengeschichte entweder gescheiterte Vorhofkatheter über die üblichen Zugangswege oder anderweitig bedingte Thrombosen oder Stenosen der Jugularvenen, Schlüsselbeinvenen, Femoralvenen, Achselvenen oder der oberen Hohlvene. Im Durchschnitt hatten die Patienten 3,01(±2,97) gescheiterte Zugangswege vor der Implantation des Iliakalvenenkatheters. Nur in solchen „*running out of vessels*“-Szenarien wurde, nach Eruiierung der individuellen Eignung eines jeden Patienten, die Implantation des Vorhofkatheters über die Iliakalvene in Betracht bezogen, um einen Zugangsweg zur lebenswichtigen Hämodialyse zu sichern.

Der Stellenwert des Iliakalvenenkatheters als Ausweichoption wird auch durch die Dauer der Dialysepflichtigkeit bis zum Zeitpunkt der Implantation deutlich. Im Durchschnitt erfolgte die Implantation 895,5 Tage nach der primären Andialyse. Nur in wenigen Fällen (n=15; 15,8%) fand die aktuelle Andialyse über den Iliakalvenenkatheter statt. Hierbei inbegriffen sind jedoch auch Patienten mit Transplantatversagen nach Nierentransplantation, welche oftmals bereits vor der Transplantation dialysepflichtig waren.

Wie gezeigt werden konnte, kam der Iliakalvenenkatheter bei einem speziellen Patientenkollektiv zum Einsatz, welches oftmals bereits eine lange Krankheitsgeschichte, mehrere gescheiterte Gefäßzugänge und keine Alternativen eines sicheren konventionellen Gefäßzugangs zur Hämodialyse hatte.

### 6.3. Der Iliakalvenenkatheter

#### 6.3.1. Katheter-Anlage

Die Anlage des Iliakalvenenkatheters verlief bei 98,96% der Implantationen erfolgreich. Bei allen erfolgreich implantierten Kathetern erfolgte die Implantation komplikationsfrei. Wang et al. berichten in ihrer Studie von einer Erfolgsrate der Implantation von 100% (n=99). Auch hier wurden keine Implantations-bedingten Komplikationen beschrieben.<sup>58</sup> Eine ursprünglich beschriebene Befürchtung des erhöhten Risikos retroperitonealer Blutungen im Rahmen der Iliakalvenenkatheter-Implantation konnte bei der Implantation durch erfahrenes Personal nicht beobachtet werden.<sup>59</sup>

Die hohe Erfolgsrate der Punktion ist durch die gute sonographische Darstellbarkeit der Iliakalvenen zu erklären. Alle Punktionen konnten durch einen erfahrenen Oberarzt der Nephrologie durchgeführt werden und es bedurfte keiner fachärztlichen Unterstützung durch Kollegen der Radiologie oder der Gefäßchirurgie. Außerdem konnten die Eingriffe in einem aseptischen Eingriffsraum der Dialysestation unternommen werden und es mussten keine designierten Operations- oder Eingriffssäle anderer Abteilungen beansprucht werden. In diesen Punkten unterscheidet sich die Implantation des Iliakalvenenkatheters von alternativen unkonventionellen Zugangswegen, wie beispielsweise der technisch wesentlich anspruchsvolleren translumbalen, transhepatischen oder transrenalen Punktion der Vena cava inferior, der Punktion der Vena obturatoria und der „wire-target“ Punktion der Vena cava superior.<sup>48 50 35 53 56</sup> Wie gezeigt werden konnte, ist der Iliakalvenenkatheter in Bezug auf den technischen Schwierigkeitsgrad sowie das Komplikationsrisiko des Implantationsverfahrens den soeben genannten Methoden zu bevorzugen.

#### 6.3.2. Katheter-Liegedauer

In der vorliegenden Studie wurde die Katheter-Liegedauer als die Zeit des komplikationsfreien Überlebens des Katheters definiert und mittels Kaplan-Meier-Überlebensanalyse bestimmt. Im Durchschnitt betrug die Katheter-Liegedauer somit 853,7 ( $\pm$  162,87) Kathetertage. Der Median lag bei 762 Tagen (95%-KI

[127,17;1396,83]). Wang et al. berichten von einer durchschnittlichen Überlebensdauer des Katheters von 1.067 Tagen.<sup>58</sup>

Das komplikationsfreie Überleben des Katheters wurde als geeigneter Parameter zur Interpretation der Katheter-Liegedauer gewählt, da sich in unserer Studie einige Patienten zum Zeitpunkt der Implantation des Katheters bereits in einem kritischen Krankheitszustand befanden und eine kurze Katheter-Liegedauer oftmals dem vorerkrankungsbedingten Gesundheitszustand geschuldet war. So kam beispielsweise das Prinzip der „*rescue therapy*“ bei Patienten zum Einsatz, die sich aufgrund ihrer Grund- und Nebenerkrankungen in einem kritischen Krankheitszustand befanden. Für diese Patienten wurde – neben weiteren intensivmedizinischen Maßnahmen - eine unverzügliche Hämodialyse von Nöten, um ein ansonsten zeitnah bevorstehendes Versterben abzuwenden.<sup>62</sup> Insgesamt wurden fünf Katheter bei Patienten implantiert, die innerhalb einer Woche nach der Implantation (nicht Katheter-bedingt) verstarben.

Das längste Intervall zwischen Katheter-Implantation und Katheter-Enderfassung betrug 1.997 Tage. Der Grund der Enderfassung dieses Katheters war das nicht Katheter-bedingte Versterben des Patienten. Hierdurch wird deutlich, dass der Iliakalvenenkatheter in Einzelfällen auch über mehrere Jahre hinweg ein sicherer und zuverlässiger Zugangsweg zur Hämodialyse sein kann.

Neben der Liegedauer der Katheter ist auch die Qualität der Hämodialyse relevant. Als Maß der Effektivität der Hämodialyse-Sitzungen wurde die *Urea Reduction Rate* berechnet. Ein Mindestwert von 65% gilt als suffizient, um von einer adäquaten Hämodialyse sprechen zu können.<sup>63</sup> Die Hämodialyse über den Iliakalvenenkatheter erreichte einen durchschnittlichen Wert von 68,9% ( $\pm 7,1$ ); im Median lag die *Urea Reduction Rate* bei 68,1%. Somit lässt sich schlussfolgern, dass eine suffiziente Hämodialyse über den Iliakalvenenkatheter erfolgte.

### 6.3.3. Ursachen der Katheter-Enderfassung

Es erfolgte die Eingliederung der Katheter-Enderfassung in komplikationsbedingte (n=31; 34,4%) und nicht komplikationsbedingte Endpunkte (n=59; 65,5%). Patienten mit aktivem Katheter zum Ende der Nachbeobachtungszeit (n=2) und als „*lost to follow-up*“ kategorisierte Katheter (n=3) wurden nicht berücksichtigt.

Die Gruppe der nicht komplikationsbedingten Endpunkte setzt sich aus verstorbenen Patienten (n=31; 32,6%) und elektiv explantierten Kathetern (n=28; 29,5%) zusammen. Obwohl die Studie von Wang et al. eine längere Nachbeobachtungszeit sowie ein höheres Alter des Patientenkollektivs hat, verstarben während der Nachbeobachtungszeit weniger Patienten (12,8%).<sup>58</sup> Da jedoch in keiner der beiden Arbeiten eine Katheter-bedingte Komplikation ursächlich für das Versterben eines Patienten war, lässt sich vermuten, dass unterschiedliche Einschlusskriterien bezüglich des Patientenzustands zum Zeitpunkt der Implantation ursächlich für diese Differenz sein könnten.

Interessant ist in der Gruppe der elektiven Explantationen die Subgruppe der erfolgreichen Nierentransplantationen (n=3). Ein Bedenken, das in der Arbeit der erstmaligen Beschreibung des Iliakalvenenkatheters von Betz et al. geäußert wurde, war die Untauglichkeit zur Nierentransplantation im weiteren Verlauf.<sup>57</sup> Dieses ursprüngliche Bedenken konnte sich nach nun drei erfolgreichen Nierentransplantationen im Verlauf nicht bestätigen.

In die Gruppe der komplikationsbedingten Entfernungen des Katheters wurden auch die akzidentiellen Entfernungen und Entfernungen aufgrund von Dislokation aufgenommen (n=13; 13,7%). Die akzidentielle Entfernung ist zweifelsohne als komplikationsbedingte Entfernung zu werten, jedoch nicht zwangsläufig als spezifische Komplikation der Lage des Katheters in der Iliakalvene zu interpretieren. Galazzi et al. berichten in ihrer 194.372 Beobachtungstage umfassenden Studie von einer Rate von 1,5 akzidentiellen Entfernungen von Zentralvenenkathetern oder arteriellen Zugängen je 1.000 Beobachtungstage.<sup>64</sup> Die in unserer Studie erfasste Rate liegt mit 0,64/1.000 Kathetertage deutlich darunter. Dies lässt mutmaßen, dass die akzidentielle Entfernung des Iliakalvenenkatheters keinesfalls häufiger als bei anderen zentralen Gefäßzugängen auftritt und somit nicht als Iliakalvenenkatheter-spezifische Komplikation zu werten ist.

Als weitere komplikationsbedingte Entfernungsgründe sind die Katheter-Dysfunktion und die Katheter-bedingte Infektion zu nennen, welche im folgenden Abschnitt *Komplikationen* diskutiert werden.

### 6.3.4. Komplikationen

#### 6.3.4.1. Infektionen

Als eine der häufigsten Komplikationen des getunnelten Dialysekatheters gilt das Auftreten von Infektionen. Prinzipiell sind dabei lokale Infektionen, die sich in Infektionen der Austrittspforte (*exit-site* Infektionen) und Tunnelinfektionen untergliedern lassen, von Katheter-bedingten Blutstrominfektionen (CRBSI) zu unterscheiden. Die KDOQI Guidelines geben eine Infektionsrate von  $<1,5/1.000$  Kathetertage als Zielwert für jegliche Art von Dialysekatheter vor.<sup>33</sup> Insgesamt kam es in unserer Studie zu 14 Infektionen (fünf lokale Infektionen & neun Katheter-bedingte Blutstrominfektionen) und einer Gesamt-Infektionsrate von  $0,69/1.000$  Kathetertage. Die Infektionsrate liegt somit deutlich unter der Grenze des KDOQI Richtwerts.

Die für die Diagnosestellung der CRBSI relevanten Kriterien sind das Auftreten klinischer Manifestationen einer systemischen Infektion, der Nachweis von zirkulierenden Erregern mittels Blutkulturen und der Nachweis von Erregern am Zentralvenenkatheter. Betrachtet man isoliert die Katheter-bedingten Blutstrominfektionen lässt sich eine Infektionsrate von  $0,44/1.000$  Kathetertage ermitteln. Marik et al. konnten in ihrer 113.652 Kathetertage umfassenden systematischen Übersichtsarbeit keinen signifikanten Unterschied der Blutstrom-Infektionsrate von Jugular-, Schlüsselbein- und Femoralvenen-Katheter feststellen und ermittelten einen Durchschnittswert von  $2,5$  Katheter-bedingten Blutstrominfektionen je  $1.000$  Kathetertage.<sup>45</sup>

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Infektionsrate des Iliakalvenenkatheters unserer Arbeit nicht nur unter der Grenze der KDOQI-Richtlinie liegt, sondern im Vergleich mit der genannten Studie sogar besser als die etablierten Zugangswege abschneidet. Für zukünftige Forschungsarbeiten bietet sich ein Studiendesign an, dass die beschriebenen Zugangswege unter vergleichbaren Rahmenbedingungen begleitet.

Weiterführend ist zu erwähnen, dass nur sechs Katheter aufgrund eines Infektionsverdachts explantiert werden mussten ( $n=6$ ;  $6,3\%$ ). Von jenen sechs explantierten Kathetern konnte in nur drei Fällen nachweislich bestätigt werden, dass der Iliakalvenenkatheter ursächlich für die systemischen Manifestationen einer Infektion war. Vor dem Hintergrund des schwierigen Gefäßstatus der Patienten mit Iliakalvenenkathetern gilt das Verhindern der Explantation als erstrebenswertes Outcome

im Falle einer Infektion. Bei 57% der Infektionen gelang die *Katheter-Salvage*, also das Verhindern der Explantation durch erfolgreiche Antibiotikatherapie.

#### 6.3.4.2. Katheter-Dysfunktion

Ein weiteres relevantes Kriterium bei der Evaluation eines Dialysekatheters ist die Häufigkeit der Katheter-Dysfunktion. Insgesamt kam es bei 22 Kathetern zur Katheter-Dysfunktion, welche in acht Fällen zur Entfernung des Katheters führte (8,4% aller erfassten Katheter-Endpunkte). Bei den übrigen 14 Kathetern konnte mittels der Instillation von rt-PA (Alteplase kumulativ, n=77; Urokinase, n = 24) oder durch Freispülen des Katheters (n=21) ein suffizienter Blutfluss zur Hämodialyse hergestellt werden.

In der Arbeit von Wang et al. kam es insgesamt zu wesentlich mehr Dysfunktionsbedingten Katheter-Explantationen (n=24; 24,2%), jedoch traten die Katheter-Dysfunktionen im Median der *primary patency* später auf als in unserer Studie (875 Kathetertage vs. 587 Kathetertage).<sup>58</sup> Eine Erklärung für die Unterschiede der *primary patency* könnten abweichende Definitionen der Katheter-Dysfunktion und Einschlusskriterien für die Berechnung sein. Das Fehlen einer einheitlichen Definition der Katheter-Dysfunktion wurde bereits in den KDOQI Guidelines thematisiert und die Formulierung einer allgemeingültigen Definition als ein Ziel zukünftiger Forschungsarbeiten definiert.<sup>33</sup> Erst wenn die notwendigen Parameter einheitlich definiert sind, können zuverlässige Vergleiche verschiedener Studien angestellt werden.

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Katheter-Dysfunktion in den meisten Fällen mittels der zuvor genannten Interventionen behoben und somit eine Explantation des Katheters verhindert werden konnte. Dennoch ist zu beachten, dass die Instillation fibrinolytischer Substanzen mit möglichen Nebenwirkungen verbunden ist, sodass die niedrige Dysfunktion-bedingte Explantationsrate (8,4%) nicht alleinstehend betrachtet werden sollte, sondern auch auf die Interventionsrate von 6,2/1.000 Kathetertage hingewiesen werden muss.

Für zukünftige Forschungsarbeiten empfiehlt es sich, unter Berücksichtigung der Nebenwirkungsprofile, den Einfluss verschiedener antikoagulativer Therapiekonzepte auf die Katheter-Dysfunktion sowie mögliche präventive Effekte zu untersuchen.

#### 6.3.4.3. Thrombosen

Bei fünf von 79 Patienten (6,3%) kam es im Verlauf zu kumulativ neun venösen Thrombosen. Jedoch wurde eine Thrombose-bedingte Explantation nur bei drei Kathetern nötig. Maya et al. verglichen in ihrer Studie Femoralvenen-Katheter mit Jugularvenen-Kathetern und berichten von einem gehäuften Auftreten venöser Thrombosen in der Gruppe der Femoralvenen-Katheter (26% aller Patienten mit Femoralvenen-Katheter). Eine Thrombose-bedingte Explantation war jedoch nicht von Nöten.<sup>43</sup>

Somit lässt sich im Vergleich festhalten, dass es in unserer Studie zu wesentlich weniger Thrombosen kam, jedoch zu mehr Thrombose-bedingten Explantationen. Als Gründe für die geringere Anzahl der Explantation des Femoralvenen-Katheters bei Maya et al. könnten die geringe Population der Studie (n=27) sowie die vergleichsweise kürzere Nachbeobachtungsdauer (5 Jahre vs. >17 Jahre) genannt werden.

Ein wesentlich aussagekräftigerer Vergleich könnte mit einem Studiendesign ermöglicht werden, das gezielt den Verlauf einer Gruppe mit Iliakalvenen-Kathetern und einer Gruppe mit Femoralvenen-Kathetern begleitet. Hierbei könnte auch eine potenzielle Überlegenheit des Iliakalvenenkatheters in Bezug auf das Abknicken oder „*kinking*“ des Katheters untersucht werden, das in unserer Studie bei keinem Katheter auftrat.

#### 6.3.5. Rechts- oder linksseitige Katheterlage

In der vorliegenden Studie wurden 67% der Katheter in die rechte Vena iliaca externa installiert und 37% in die linke. Im Rahmen der Datenanalyse konnten für die Faktoren Überlebenszeit ( $p=0,13$ ), *Urea Reduction Rate* ( $p=0,72$ ), Blutfluss ( $p=0,28$ ), Infektionsrate ( $p=0,90$ ) und Komplikations-bedingte Explantation ( $p=0,32$ ) keine statistisch signifikanten Unterschiede in Bezug auf eine rechts- oder linksseitige Katheterlage festgestellt werden.

Pereira et al. formulierten die bevorzugte Katheteranlage in der rechten Femoralvene gegenüber der linken, um die Möglichkeit einer zukünftigen Anlage eines arterio-venösen Zugangs der linken unteren Extremität zu bewahren.<sup>35</sup> Bei keinem Patienten unserer Studie erfolgte der Versuch der Anlage eines arterio-venösen Zugangs an einer der unteren Extremitäten, sodass diesbezüglich keine Aussage getroffen werden kann. Festzuhalten ist jedoch, dass anhand unserer Daten in Bezug auf die Dialyse-Effektivität



(bemessen an Blutfluss und Urea Reduction Rate), die Infektionsrate und die komplikationsfreie Überlebensdauer keine Empfehlung zur bevorzugten Anlage eines Iliakalvenenkatheters auf der rechten über der linken Seite getroffen werden kann.

#### 6.3.6. Kosmetik und Praktikabilität

Aufgrund des retrospektiven Charakters der Studie konnte nachträglich keine umfängliche Umfrage der Patienten bezüglich der kosmetischen Zufriedenheit mit dem Katheter und der Praktikabilität im Alltag vollzogen werden. Bei einzelnen Befragungen der Patienten mit noch aktiven Kathetern konnte jedoch eine positive Resonanz verzeichnet werden mit keinerlei Katheter-bezogenen Beschwerden hinsichtlich der Körperhygiene oder Einschränkungen des Sexuallebens.

Um eine verlässliche Aussage bezüglich der Kosmetik und Praktikabilität des Iliakalvenenkatheters treffen zu können, empfiehlt es sich für zukünftige Arbeiten eine strukturierte Umfrage der Patienten nach Implantation und in regelmäßigen Abschnitten im Verlauf durchzuführen.

#### 6.4. Schwächen der Studienarbeit

Um die gewonnenen Schlussfolgerungen richtig einordnen zu können, wird im Folgenden auf mögliche Limitationen der vorliegenden Arbeit hingewiesen.

Wie bei retrospektiven Arbeiten üblich, wurden die Daten aus Patientenakten und archivierten Dialyseprotokollen erhoben. Eine Nachbestimmung einzelner Werte oder das Erschließen von lückenhafter Dokumentation waren somit, auch aufgrund des langen Nachbeobachtungszeitraums, nachträglich nicht mehr möglich. Da in den ersten Jahren des Nachbeobachtungszeitraums noch eine analoge Archivierung der Daten erfolgte, war die Datenbeschaffung trotz großen Arbeitsaufwandes nicht gänzlich lückenlos möglich. Eine weitere Limitation ist die geringe Anzahl an Probanden. Aufgrund der Rarität des beschriebenen Verfahrens sind die Ergebnisse jedoch dennoch als Erkenntnisgewinn zu werten.

Die vorliegende Arbeit ist eine deskriptive, explorative Analyse des implantierten Iliakalvenenkatheters im Langzeitverlauf. Eine prospektive Studie mit einer Vergleichsgruppe des Femoralvenen-Katheters wäre als zukünftiges Forschungsprojekt empfehlenswert, um direkte Vergleiche der zwei Zugangswege ziehen zu können.

Außerdem würde sich eine zukünftige Forschungsarbeit anbieten, welche den Einfluss verschiedener antikoagulativer Therapiekonzepte auf die Katheter-Dysfunktion sowie mögliche präventive Effekte untersucht.

## 7. Schlussfolgerungen

Der Vorhofkatheter ist ein wichtiger Baustein in der Therapie von Patienten mit dialysepflichtigem Nierenversagen. Für Patienten, deren Gefäßstatus sich nicht oder nicht mehr zur Implantation eines Katheters über die konventionellen Zugangswege (Vv. jugulare) eignet, müssen Alternativen gefunden werden. Ein sicherer Zugangsweg zur Hämodialyse ist überlebenswichtig für Patienten mit Nierenversagen und sollte sowohl leicht installierbar als auch im Verlauf möglichst komplikationsarm sein.

Die vorliegende Studie beschreibt erstmals den Langzeitverlauf des initial im Jahre 2006 beschriebenen Iliakalvenenkatheters als Zugang zur Hämodialyse bei Patienten eines breiten Altersspektrums (27 bis 84 Jahre zum Zeitpunkt der Implantation).

Die Implantation des Iliakalvenenkatheters verlief sowohl in unserer als auch in einer vergleichbaren Studie stets komplikationsfrei und hatte eine hohe Erfolgsrate (99%). Außerdem ist das Implantationsverfahren technisch leicht zu erlernen und bedarf keiner aufwendigen interventionellen Rahmenbedingungen. Somit bietet der Iliakalvenenkatheter in Bezug auf das Implantationsverfahren einige Vorteile gegenüber alternativen unkonventionellen Zugangswegen.

Mit einem durchschnittlichen komplikationsfreien Überleben des Katheters von 853,7 ( $\pm$  162,87) Tagen und einer maximal aufgezeichneten Liegedauer von über 5 Jahren zeigt sich die Tauglichkeit des Iliakalvenenkatheters im Langzeitverlauf.

Die Infektionsraten liegen mit 0,69/1.000 Kathetertage in unserer Studie deutlich unter den Mindestvoraussetzungen der KDOQI Richtlinien und zeigen sich auch im Vergleich zu etablierten Zugangswegen als nicht unterlegen. Auch die Dysfunktionsraten erwiesen sich als vergleichbar mit denen der konventionellen Zugangswege.

Sowohl die aufgezeichnete Blutflussgeschwindigkeit während der Dialysesitzungen als auch die ermittelte *Urea Reduction Rate* bestätigen, dass die Hämodialyse über den Iliakalvenenkatheter suffizient erfolgte.

Ein weiterer Erkenntnisgewinn unserer Studie ist, dass sich Patienten mit Iliakalvenenkatheter im Verlauf, entgegen ursprünglichen Bedenken, zur Nierentransplantation eignen.

Zusammenfassend bestätigt die Studie auch im Langzeitverlauf, dass der Iliakalvenenkatheter ein vergleichsweise einfach und komplikationsfrei installierbarer, im Verlauf komplikationsarmer Gefäßzugang ist, der für Patienten mit schwierigem Gefäßstatus eine suffiziente Hämodialyse gewährleisten kann.



## 8. Bibliografie

1. Featherstone PJ, Ball CM. A brief history of haemodialysis and continuous renal replacement therapy. *Anaesth Intensive Care*. 2019;47(3):220-222. doi:10.1177/0310057X19853391
2. Fleming GM. Renal replacement therapy review. *Organogenesis*. 2011;7(1):2-12. doi:10.4161/org.7.1.13997
3. Häckl D, Kossack N, Schoenfelder T. Prävalenz, Kosten der Versorgung und Formen des dialysepflichtigen chronischen Nierenversagens in Deutschland: Vergleich der Dialyseversorgung innerhalb und außerhalb stationärer Pflegeeinrichtungen. *Gesundheitswesen*. 2021;83(10):818-828. doi:10.1055/a-1330-7152
4. Kidney Disease: Improving Global, Outcomes (KDIGO) Acute Kidney Injury Work Group. KDIGO Clinical Practice Guideline for Acute Kidney Injury. *Kidney Int Suppl*. 2012;2(1):1. doi:10.1038/kisup.2012.1
5. National Kidney Foundation. KDOQI Clinical Practice Guideline for Hemodialysis Adequacy: 2015 update. *Am J Kidney Dis Off J Natl Kidney Found*. 2015;66(5):884-930. doi:10.1053/j.ajkd.2015.07.015
6. Cohen D, Valeri AM. Treatment of Irreversible Renal Failure. In: *Goldman-Cecil Medicine*. Twenty Sixth. Elsevier; 2020:804-811.
7. Garzotto F, Lorenzin A, Zaccaria M, Clark WR. Chapter 150 - Solute and Water Transport in Hemodialysis: Dialyzers, Flow Distribution, and Cross-Filtration. In: Ronco C, Bellomo R, Kellum JA, Ricci Z, eds. *Critical Care Nephrology (Third Edition)*. Elsevier; 2019:909-918.e1. doi:10.1016/B978-0-323-44942-7.00150-3
8. Gotch FA, Sargent JA. A mechanistic analysis of the National Cooperative Dialysis Study (NCDS). *Kidney Int*. 1985;28(3):526-534. doi:10.1038/ki.1985.160
9. Rippe B. Peritoneal Dialysis : Principles, Techniques, and Adequacy. In: *Comprehensive Clinical Nephrology*. Sixth. Elsevier; 2019:1103-1113.e1.
10. Szeto CC, Li PKT. Peritoneal Dialysis–Associated Peritonitis. *Clin J Am Soc Nephrol CJASN*. 2019;14(7):1100-1105. doi:10.2215/CJN.14631218
11. Davenport A. 3 - Chronic Kidney Failure: Renal Replacement Therapy. In: Knechtle SJ, Marson LP, Morris PJ, eds. *Kidney Transplantation - Principles and Practice (Eighth Edition)*. Elsevier; 2019:36-50. doi:10.1016/B978-0-323-53186-3.00003-6
12. Kotanko P, Kuhlmann MK, Chan C, Levin NW. Hemodialysis: Principles and Techniques. In: *Comprehensive Clinical Nephrology*. Sixth. Elsevier; 2019:1073-1081.
13. Bouchard J, Roberts DM, Roy L, et al. Principles and operational parameters to optimize poison removal with extracorporeal treatments. *Semin Dial*. 2014;27(4):371-380. doi:10.1111/sdi.12247

14. Bellomo R, Ronco C. Continuous Renal Replacement Therapy: Modalities and Their Selection. In: *Critical Care Nephrology*. Elsevier; 2019:1005-1010.
15. Ross EA, Damman K, Kazory A. Dialytic Management of Refractory Heart Failure. In: *Comprehensive Clinical Nephrology*. Sixth. Elsevier; 2019:852-858.
16. Hamilton D. 1 - Kidney Transplantation: A History. In: Knechtle SJ, Marson LP, Morris PJ, eds. *Kidney Transplantation - Principles and Practice (Eighth Edition)*. Elsevier; 2019:1-8. doi:10.1016/B978-0-323-53186-3.00001-2
17. Statistisches Bundesamt (Destatis). Fallpauschalenbezogene Krankenhausstatistik (DRG-Statistik) Operationen und Prozeduren der vollstationären Patientinnen und Patienten in Krankenhäusern (4-Steller) - 2020.; 2021:72. Accessed August 20, 2022. [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Krankenhaeuser/Publikationen/Downloads-Krankenhaeuser/operationen-prozeduren-5231401207014.pdf?\\_\\_blob=publicationFile](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Gesundheit/Krankenhaeuser/Publikationen/Downloads-Krankenhaeuser/operationen-prozeduren-5231401207014.pdf?__blob=publicationFile)
18. Lam NN, Habbous S, Garg AX, Lentine KL. Considerations in Living Kidney Donation. In: *Brenner and Rector's The Kidney*. Eleventh. Elsevier; 2020:2288-2304.e5.
19. Chapman JR. 4 - The Recipient of a Renal Transplant. In: Knechtle SJ, Marson LP, Morris PJ, eds. *Kidney Transplantation - Principles and Practice (Eighth Edition)*. Elsevier; 2019:51-68. doi:10.1016/B978-0-323-53186-3.00004-8
20. Lenihan CR, Tan JC. Clinical Management of the Adult Kidney Transplant Recipient. In: *Brenner and Rector's The Kidney*. Eleventh. Elsevier; 2020:2244-2287.e11.
21. Pham PTT, Pham SV, Pham PAT, Danovitch GM. Medical Management of the Kidney Transplant Recipient: Cardiovascular Disease and Metabolic Abnormalities. In: *Comprehensive Clinical Nephrology*. Sixth. Elsevier; 2019:1213-1225.e1.
22. Pham PTT, Schaenman J, Pham PCT. Medical Management of the Kidney Transplant Recipient: Infections and Malignancies. In: *Comprehensive Clinical Nephrology*. Sixth. Elsevier; 2019:1198-1212.e1.
23. Woodle ES, Gill JS, Clark S, Stewart D, Alloway R, First R. Early Corticosteroid Cessation vs Long-term Corticosteroid Therapy in Kidney Transplant Recipients. *JAMA Surg*. 2021;156(4):307-314. doi:10.1001/jamasurg.2020.6929
24. Yeun JY, Young B, Depner TA, Chin AA. Hemodialysis. In: *Brenner and Rector's The Kidney*. Eleventh. Elsevier; 2020:2038-2093.e21.
25. Liu KD, Chertow GM. Dialysis in the Treatment of Kidney Failure. In: Loscalzo J, Fauci A, Kasper D, Hauser S, Longo D, Jameson JL, eds. *Harrison's Principles of Internal Medicine*. 21st ed. McGraw-Hill Education; 2022. Accessed August 21, 2022. [accessmedicine.mhmedical.com/content.aspx?aid=1190490519](https://accessmedicine.mhmedical.com/content.aspx?aid=1190490519)
26. Rocco MV, Moossavi S. Hemodialysis. In: Lerma EV, Rosner MH, Perazella MA, eds. *CURRENT Diagnosis & Treatment: Nephrology & Hypertension*. 2nd ed.

- McGraw-Hill Education; 2017. Accessed August 21, 2022.  
accessmedicine.mhmedical.com/content.aspx?aid=1149116333
27. Tordoir JHM. Vascular Access for Dialytic Therapies. In: *Comprehensive Clinical Nephrology*. Sixth. Elsevier; 2019:1050-1061.e1.
  28. Steinke T, Rieck J, Nuth L. Endovaskuläre Anastomosetechniken in der Shuntchirurgie. *Gefässchirurgie*. 2018;23(6):412-419. doi:10.1007/s00772-018-0466-9
  29. Stolic R. Most important chronic complications of arteriovenous fistulas for hemodialysis. *Med Princ Pract Int J Kuwait Univ Health Sci Cent*. 2013;22(3):220-228. doi:10.1159/000343669
  30. Misra M. Hemodialysis and Hemofiltration. In: *National Kidney Foundation Primer on Kidney Diseases*. Elsevier; 2023:534-544.
  31. Slayden GC, Spergel L, Jennings WC. Secondary arteriovenous fistulas: converting prosthetic AV grafts to autogenous dialysis access. *Semin Dial*. 2008;21(5):474-482. doi:10.1111/j.1525-139X.2008.00459.x
  32. Saad TF, Ash SR. Interventional Nephrology. In: Lerma EV, Rosner MH, Perazella MA, eds. *CURRENT Diagnosis & Treatment: Nephrology & Hypertension*. 2nd ed. McGraw-Hill Education; 2017. Accessed August 21, 2022.  
accessmedicine.mhmedical.com/content.aspx?aid=1149117297
  33. Lok CE, Huber TS, Lee T, et al. KDOQI Clinical Practice Guideline for Vascular Access: 2019 Update. *Am J Kidney Dis*. 2020;75(4):S1-S164.  
doi:10.1053/j.ajkd.2019.12.001
  34. O'Neill WC, Wasse H, Ash SR. Diagnostic and Interventional Nephrology. In: *Comprehensive Clinical Nephrology*. Sixth. Elsevier; 2019:1062-1072.e1.
  35. Pereira K, Osiason A, Salsamendi J. Vascular Access for Placement of Tunneled Dialysis Catheters for Hemodialysis: A Systematic Approach and Clinical Practice Algorithm. *J Clin Imaging Sci*. 2015;5:31. doi:10.4103/2156-7514.157858
  36. Topcu AC. Acute upper limb ischemia as a complication of tunneled hemodialysis catheter placement via the right internal jugular vein. *J Vasc Access*. Published online May 7, 2021:11297298211015040. doi:10.1177/11297298211015041
  37. Salgado OJ, Urdaneta B, Colmenares B, García R, Flores C. Right versus left internal jugular vein catheterization for hemodialysis: complications and impact on ipsilateral access creation. *Artif Organs*. 2004;28(8):728-733. doi:10.1111/j.1525-1594.2004.07316.x
  38. Yevzlin AS, Chan M, Gimelli G. How I do it: preferential use of the right external jugular vein for tunneled catheter placement. *Semin Dial*. 2008;21(2):183-185.  
doi:10.1111/j.1525-139X.2007.00415.x

39. Sulek CA, Blas ML, Lobato EB. A randomized study of left versus right internal jugular vein cannulation in adults. *J Clin Anesth.* 2000;12(2):142-145. doi:10.1016/s0952-8180(00)00129-x
40. Beigi AA, Sharifi A, Gaheri H, Abdollahi S, Esfahani MA. Placement of long-term hemodialysis catheter (permcath) in patients with end-stage renal disease through external jugular vein. *Adv Biomed Res.* 2014;3:252. doi:10.4103/2277-9175.146381
41. Zaleski GX, Funaki B, Lorenz JM, et al. Experience with tunneled femoral hemodialysis catheters. *AJR Am J Roentgenol.* 1999;172(2):493-496. doi:10.2214/ajr.172.2.9930810
42. Chow KM, Szeto CC, Leung CB, Wong TY, Li PK. Cuffed-tunneled femoral catheter for long-term hemodialysis. *Int J Artif Organs.* 2001;24(7):443-446.
43. Maya ID, Allon M. Outcomes of tunneled femoral hemodialysis catheters: Comparison with internal jugular vein catheters. *Kidney Int.* 2005;68(6):2886-2889. doi:10.1111/j.1523-1755.2005.00762.x
44. Falk A. Use of the femoral vein as insertion site for tunneled hemodialysis catheters. *J Vasc Interv Radiol JVIR.* 2007;18(2):217-225. doi:10.1016/j.jvir.2006.12.001
45. Marik PE, Flemmer M, Harrison W. The risk of catheter-related bloodstream infection with femoral venous catheters as compared to subclavian and internal jugular venous catheters: a systematic review of the literature and meta-analysis. *Crit Care Med.* 2012;40(8):2479-2485. doi:10.1097/CCM.0b013e318255d9bc
46. Schlangen JT, Debets JM, Wils JA. The “pinch-off phenomenon”: a radiological symptom for potential fracture of an implanted permanent subclavian catheter system. *Eur J Radiol.* 1995;20(2):112-113. doi:10.1016/0720-048x(95)00635-4
47. Funaki B, Zaleski GX, Leef JA, Lorenz JN, Van Ha T, Rosenblum JD. Radiologic placement of tunneled hemodialysis catheters in occluded neck, chest, or small thyrocervical collateral veins in central venous occlusion. *Radiology.* 2001;218(2):471-476. doi:10.1148/radiology.218.2.r01fe29471
48. Liu F, Bennett S, Arrigain S, et al. Patency and Complications of Translumbar Dialysis Catheters. *Semin Dial.* 2015;28(4):E41-47. doi:10.1111/sdi.12358
49. Moura F, Guedes FL, Dantas Y, Maia AH, Oliveira RA de, Quintiliano A. Translumbar hemodialysis long-term catheters: an alternative for vascular access failure. *J Bras Nefrol Orgao Of Soc Bras E Lat-Am Nefrol.* 2019;41(1):89-94. doi:10.1590/2175-8239-JBN-2018-0080
50. Şanal B, Nas ÖF, Doğan N, et al. Safety and functionality of transhepatic hemodialysis catheters in chronic hemodialysis patients. *Diagn Interv Radiol Ank Turk.* 2016;22(6):560-565. doi:10.5152/dir.2016.16043



51. Younes HK, Pettigrew CD, Anaya-Ayala JE, et al. Transhepatic hemodialysis catheters: functional outcome and comparison between early and late failure. *J Vasc Interv Radiol JVIR*. 2011;22(2):183-191. doi:10.1016/j.jvir.2010.10.011
52. Falk A. Use of the brachiocephalic vein for placement of tunneled hemodialysis catheters. *AJR Am J Roentgenol*. 2006;187(3):773-777. doi:10.2214/AJR.04.1830
53. Salsamendi JT, Pereira KJ, Osiason AD. Successful obturator vein vascular access for hemodialysis catheter placement in patients with end-stage renal disease. *J Vasc Access*. 2015;16(5):e91-92. doi:10.5301/jva.5000404
54. Rahman S, Kuban JD. Dialysis Catheter Placement in Patients With Exhausted Access. *Tech Vasc Interv Radiol*. 2017;20(1):65-74. doi:10.1053/j.tvir.2016.11.008
55. Law WP, Cheung CY, Chan HW, Kwok PCH, Chak WL, Chau KF. Hemodialysis catheter insertion using transrenal approach. *Hemodial Int Int Symp Home Hemodial*. 2015;19(4):E14-16. doi:10.1111/hdi.12263
56. Bonasso PC, Budi S, Jones B, Pillai L. Percutaneous access of the superior vena cava in patients with bilateral jugular-subclavian vein occlusion using wire-target access for placement of tunneled hemodialysis catheters: An important new tool for gaining upper body vascular access. *J Vasc Surg Cases Innov Tech*. 2020;6(1):156-159. doi:10.1016/j.jvscit.2020.01.010
57. Betz C, Kraus D, Müller C, Geiger H. Iliac cuffed tunnelled catheters for chronic haemodialysis vascular access. *Nephrol Dial Transplant*. 2006;21(7):2009-2012. doi:10.1093/ndt/gfl176
58. Wang L, Wei F, Sun G, Chen H, Yu H, Jiang A. Use of iliac vein tunneled cuffed catheters in elderly hemodialysis patients: a single-center retrospective study. *J Nephrol*. 2016;29(1):105-110. doi:10.1007/s40620-015-0198-9
59. Moreira RW da C, Borges LC, Costa KMA, Quinino RM e, Serra YG, Oliveira LC de. Using recanalized external iliac vein for tunneled hemodialysis catheter insertion. *J Vasc Bras*. 2008;7:171-173. doi:10.1590/S1677-54492008000200014
60. Allon M, Daugirdas J, Depner TA, Greene T, Ornt D, Schwab SJ. Effect of Change in Vascular Access on Patient Mortality in Hemodialysis Patients. *Am J Kidney Dis*. 2006;47(3):469-477. doi:10.1053/j.ajkd.2005.11.023
61. Allon M. Current management of vascular access. *Clin J Am Soc Nephrol CJASN*. 2007;2(4):786-800. doi:10.2215/CJN.00860207
62. Huriaux L, Costille P, Quintard H, Journois D, Kellum JA, Rimmelé T. Haemodialysis catheters in the intensive care unit. *Anaesth Crit Care Pain Med*. 2017;36(5):313-319. doi:10.1016/j.accpm.2016.10.003
63. Kuhlmann MK, Kotanko P, Levin NW. CHAPTER 90 - Hemodialysis: Outcomes and Adequacy. In: Floege J, Johnson RJ, Feehally J, eds. *Comprehensive Clinical Nephrology (Fourth Edition)*. Mosby; 2010:1060-1068. doi:10.1016/B978-0-323-05876-6.00090-3

64. Galazzi A, Adamini I, Consonni D, et al. Accidental removal of devices in intensive care unit: An eight-year observational study. *Intensive Crit Care Nurs.* 2019;54:34-38. doi:10.1016/j.iccn.2019.06.002

## 9. Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1: Allgemeine Charakteristika des Patientenkollektivs	43
Tabelle 2: Parameter der Dialyseprotokolle	54
Tabelle 3: Komplikationen und ihre Häufigkeiten	56

## 10. Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1: Funktionsprinzip der Hämofiltration, entnommen von Kotanko et al.	14
Abbildung 2: Wirkmechanismus der Hämodialyse, entnommen von Yeun et al.	17
Abbildung 3: Übliche Lokalisationen der Graft Anlage, entnommen von Tordoir et al.	21
Abbildung 4: Iliakalvenenkatheter bei einer 28-jährigen Patientin	41
Abbildung 5: Stilisierte anatomische Lage des Iliakalvenenkatheters	42
Abbildung 6: Eingruppierung der Patienten anhand des BMI	45
Abbildung 7: Kathetertage der BMI-Gruppen	45
Abbildung 8: Dialyserelevante Diagnosen	47
Abbildung 9: Kaplan-Meier-Überlebensanalyse	50
Abbildung 10: Kaplan-Meier-Überlebensanalyse stratifiziert nach Geschlecht	51
Abbildung 11: Ursache der Katheter-Enderfassung	53
Abbildung 12: Kaplan-Meier-Überlebensanalyse der primary patency	59
Abbildung 13: Überlebensanalyse stratifiziert nach rechts- oder linksseitiger Katheterlage	61

## 11. Abkürzungsverzeichnis

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
ADPKD	Autosomal Dominant Polycystic Kidney Disease, Zystennieren
AV	Arterio-venös
BMI	Body Mass Index
BUN	Blood Urea Nitrogen / Blut-Harnstoff-Stickstoff
CAPD	Kontinuierliche ambulante Peritonealdialyse
CCPD	Kontinuierliche zyklische Peritonealdialyse
CDC	Centers for Disease Control and Prevention
CKD	Chronic Kidney Disease
cm	Zentimeter
CRBSI	Katheter-bedingte Blutstrominfektionen
Da	Dalton
E.	Escherichia
GBM	Glomerular Basement Membrane
GFR	Glomerular Filtration Rate
h	Stunde
IDSA	Infectious Diseases Society of America
IgA	Immunglobulin A
IPD	Intermittierende Peritonealdialyse
K	Harnstoff Clearance durch das Dialyseverfahren
K.	Klebsiella
KDOQI	Kidney Disease Outcomes Quality Initiative
kg	Kilogramm
LMWH	Low Molecular Weight Heparin
m	Meter
m <sup>2</sup>	Quadratmeter
min	Minute
mL	Milliliter
MRGN	Multiresistente gramnegative Bakterien
PTFE	Polytetrafluoroethylen

rt-PA	Recombinant tissue-type plasminogen activator
S.	Staphylococcus
Spp.	Spezies
t	Zeit
tPA	Tissue Plasminogen Activator, Gewebespezifischer Plasminogenaktivator
URR	Urea Reduction Rate
V	Volumen
V.	Vena
Vv.	Venae

## 12. Schriftliche Erklärung

Ich erkläre ehrenwörtlich, dass ich die dem Fachbereich Medizin der Johann Wolfgang Goethe-Universität Frankfurt am Main zur Promotionsprüfung eingereichte Dissertation mit dem Titel

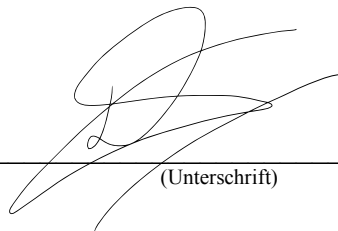
*Evaluation des Iliakalvenenkatheters als Gefäßzugang zur Hämodialyse im Langzeitverlauf.*

im Zentrum der Inneren Medizin in der Medizinischen Klinik 4 (Nephrologie) unter Betreuung und Anleitung von Prof. Dr. Nicholas Obermüller mit Unterstützung durch Dr. Christoph Betz ohne sonstige Hilfe selbst durchgeführt und bei der Abfassung der Arbeit keine anderen als die in der Dissertation angeführten Hilfsmittel benutzt habe. Darüber hinaus versichere ich, nicht die Hilfe einer kommerziellen Promotionsvermittlung in Anspruch genommen zu haben.

Ich habe bisher an keiner in- oder ausländischen Universität ein Gesuch um Zulassung zur Promotion eingereicht. Die vorliegende Arbeit wurde bisher nicht als Dissertation eingereicht.

Frankfurt am Main, 13.02.2024

(Ort, Datum)

A handwritten signature in black ink, consisting of several loops and strokes, positioned above a horizontal line.

(Unterschrift)

## **Danksagung**

Insbesondere gilt mein Dank den folgenden Personen, ohne deren Hilfe die Anfertigung dieser Doktorarbeit niemals zustande gekommen wären:

Mein Dank gilt zunächst meinem Doktorvater, Herrn Prof. Dr. Nicholas Obermüller, für die Betreuung dieser Arbeit sowie die stets freundliche Hilfe und Unterstützung, insbesondere in Zeiten der remote-Kommunikation.

Nicht minder gilt mein Dank Herrn Dr. Christoph Betz, der durch die Etablierung des Iliakalvenenkatheters diese Arbeit überhaupt erst ermöglichte und stets mit fachlicher Kompetenz zur Hilfe stand.

Mein ganz besonderer Dank gilt meiner Tante Waltraud *Walli* Bruder für ihre bedingungslose Unterstützung während meines Studiums und ihrer fachlichen Expertise im Gebiet der stationären Hämodialyse.

Ebenso danke ich meinen Geschwistern, die mir bei fachfremden Aufgaben immer beratend zur Seite standen – so wie Lili in Grafikentscheidungen, Lola und Hendrik bei statistischen Fragestellungen und Luis bei Strukturierungs- & Organisationsprozessen.

Nicht zuletzt danke ich von ganzem Herzen meinen Eltern Angelika und Wolfgang, die mir meinen bisherigen Lebensweg ermöglichten und denen ich diese Arbeit widme.