

**Aus dem Institut für Radiologie mit Nuklearmedizin  
der Klinik am Eichert Göppingen  
Chefarzt: Prof. Dr. F. Dammann**

**Radiologisch-interventionelle Therapie obstruierter  
Hämodialyseshunt**

**Inaugural-Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades  
der Medizin  
der Medizinischen Fakultät  
der Eberhard Karls Universität zu Tübingen**

**vorgelegt von  
Natalie Hartung  
aus Labinsk**

**2011**

Dekan: Professor Dr. I. B. Autenrieth

1. Berichterstatter: Professor Dr. F. Dammann

2. Berichterstatter: Professor Dr. C. D. Claussen



# Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1. Allgemein .....	1
1.2. Historische Entwicklung .....	4
1.2.1. Dialyse .....	4
1.2.2. Shunts .....	7
1.3. Shunts.....	8
1.3.1. Shunttypen .....	8
1.3.2. Shuntinsuffizienz .....	10
1.3.3. Diagnostik der Shuntinsuffizienz .....	11
1.4. Interventionell radiologische Shuntbehandlung .....	16
1.4.1. Punktion .....	17
1.4.2. Katheter und Führungsdrähte .....	17
1.4.3. Diagnostische Angiographie.....	18
1.4.4. Perkutane transluminäre Angioplastie (PTA) .....	18
1.4.5. Pharmakologische Thrombolyse .....	19
1.4.6. Stentimplantation.....	21
1.4.7. Komplikationen.....	23
1.5. Fragenstellung der vorliegenden Arbeit .....	24
1.5.1. Aktuelle Situation.....	24
1.5.2. Fragestellungen.....	24
<b>2. Material und Methodik</b> .....	<b>25</b>
2.1. Datenerhebung .....	25
2.2. Patienten und Behandlungsverläufe .....	25
2.3. Shunts.....	26
2.3.1. Material, Form und Lokalisation .....	26
2.3.2. Shunt-Komplikationen .....	26
2.4. Radiologisch-interventionelle Therapie bei Shunt Dysfunktion.....	27
2.4.1. Indikationsstellung.....	27
2.4.2. Prätherapeutische Gefäß-Diagnostik .....	27
2.4.3. Endovaskuläre Shunt-Intervention .....	28
2.5. Kriterien für den Behandlungserfolg .....	31
2.5.1. Klinische Kriterien.....	31
2.5.2. Angiographische Kriterien .....	31
2.5.3. Klassifizierung des Behandlungserfolgs.....	32

2.5.4. Shunt-Offenheit .....	33
2.6. Statistische Analyse.....	33
<b>3. Ergebnisse .....</b>	<b>34</b>
3.1. Patientenkollektiv.....	34
3.2. Shunts.....	36
3.2.1. Material, Form und Lokalisation .....	36
3.2.2. Klinische Indikationen zur radiologischen Intervention .....	37
3.2.3. Ursachen der Shunt Dysfunktionen .....	38
3.2.4. Lokalisation der detektierten Läsionen.....	40
3.2.5. Länge und Graduierung der Stenosen .....	42
3.3. Primäre Shunt-Offenheit .....	44
3.4. Shunt-Intervention .....	46
3.4.1. Gefäßchirurgische Shunt-Interventionen.....	46
3.4.2. Radiologische endovaskuläre Shunt-Interventionen .....	47
3.4.3. Komplikationen bei radiologischen Shunt-Interventionen.....	49
3.4.4. Technische Erfolgsrate.....	50
3.5. Klinische Erfolgsrate .....	51
3.6. Primäre postinterventionelle Offenheit.....	52
3.6.1. Frühverschlüsse .....	53
3.6.2. Einfluss Endpunkt.....	53
3.6.3. Einfluss Behandlungsmethode .....	54
3.6.4. Einfluss Shuntmaterial.....	55
3.6.5. Einfluss Vorbehandlungen .....	56
3.6.6. Einfluss Anzahl der betroffenen Segmente .....	56
3.6.7. Einfluss Ursache der Dysfunktion.....	57
3.6.8. Einfluss Länge und Grad der Shuntläsionen .....	58
3.7. Sekundäre Offenheit.....	59
3.8. Kumulative Shunt-Offenheit.....	61
<b>4. Diskussion .....</b>	<b>64</b>
4.1. Chirurgische vs. endovaskuläre Behandlung.....	64
4.2. Patientenkollektiv .....	65
4.3. Shunts.....	66
4.3.1. Primäre Shunt-Offenheit.....	67
4.3.2. Shuntläsionen .....	68
4.4. Shunt-Interventionen.....	69
4.4.1. Interventionshäufigkeit .....	69

4.4.2. Komplikationen.....	70
4.5. Technische und klinische Erfolgsrate.....	71
4.6. Offenheitsraten .....	73
4.6.1. Primäre postinterventionelle Offenheit .....	73
4.6.2. Sekundäre Offenheit .....	76
4.6.3. Kumulative Shunt Offenheit.....	77
4.7. Fazit.....	78
<b>5. Zusammenfassung.....</b>	<b>81</b>
<b>6. Literaturverzeichnis .....</b>	<b>85</b>
<b>7. Anhang.....</b>	<b>91</b>
7.1. Danksagung.....	91

## **Abkürzungsverzeichnis**

AV - Autologer Shunt

DSA - Subtraktionsangiographie

FKDS - Farbkodierte Duplexsonographie

KIS - Krankenhausinformationssystem

KM - Kontrastmittel

MTRA - Medizinisch-technische Radiologieassistenten

OA - Oberarm

PI - Pulsalitätsindex

PACS - Picture Archiving and Communication System

PRF - Pulsrepetitionsfrequenz

PTA - perkutane transluminale Angioplastie

PTFE - Polytetrafluorethylen

RI - Widerstandsindex

RIS - Radiologieinformationssystem

rt-PA - recombinant tissue-type plasminogen activator

TASC - Transatlantic Inter-Society Consensus

UA - Unterarm

# 1. Einleitung

## 1.1. Allgemein

Eine nierenfunktionsersetzende Behandlung mit Hilfe von chronisch-intermittierender Hämodialyse ist bei einer zunehmenden Anzahl von Patienten in der gesamten Welt die wichtigste Lebenserhaltungsmaßnahme. Mit Beginn des Jahres 2001 wurden in Deutschland etwa 52.600 Patienten hämodialysiert. Ende 2006 waren in Deutschland 63.307 Hämodialysepatienten gemeldet. In Deutschland steigt die Anzahl der Patienten mit terminaler Niereninsuffizienz jährlich um etwa 5 bis 6 % an.

Bei der chronischen Niereninsuffizienz kommt es zu einer irreversiblen, progredienten Abnahme des Glomerulumfiltrates als Ausdruck einer durch chronische Destruktion verminderten Anzahl funktionstüchtiger Nephrone. Die Hämodialysebehandlung ist eine Nierenersatztherapie, mit deren Hilfe der Ausfall der exkretorischen Nierenfunktion bei akutem Nierenversagen überbrückend und bei chronischer Niereninsuffizienz so weit wie möglich dauerhaft ausgeglichen werden soll. Ausgehend von der Annahme, dass die meisten Urämiesymptome von der Konzentration harnpflichtiger Substanzen abhängen, die normalerweise von den Nieren ausgeschieden werden, ist das Ziel der Behandlung, die Konzentration dieser Stoffe möglichst dauernd unter die potenziell toxische Grenze zu senken. Wird das Nierenversagen nicht behandelt, tritt der Tod nach sechs bis sieben Tagen ein.

Die physikalische Nierenersatztherapie stützt sich auf 2 prinzipielle Methoden:

- Extrakorporale Blutreinigungsverfahren: Hämodialyse, Hämofiltration und Hämodiafiltration;
- Peritonealdialyse.

Die Funktionsprinzipien der Hämodialyse sind die physikalischen Prinzipien der Stoffdiffusion entlang einem Konzentrationsgradienten und die Ultrafiltration von



Flüssigkeiten entlang einem Druckgradienten. Dabei entsteht zusätzlich ein gewisser Stoffentzug durch Konvektion.

Bei der Hämofiltration werden die Filtrationsvorgänge im Glomerulum nachgeahmt. Aus einer Vene heraus geleitetes Blut fließt über eine Membran, welche Moleküle bis zu einem Molekulargewicht von 35.000 Dalton durchlässt. Unter Ausnutzung eines Druckgradienten wird dem Blut eine dem Primärharn ähnliche Flüssigkeit abgepresst, die nicht weiter aufbereitet werden kann. Das Hämofiltrat, das die harnpflichtigen Substanzen enthält, wird verworfen und gegen eine gleich große Menge einer isotonischen und isoionischen Flüssigkeit ersetzt. Das so gereinigte Blut wird dem Patienten wieder zugeleitet. Die Hämofiltration bietet den Vorteil einer geringeren Kreislaufbelastung.

Bei der Peritonealdialyse dient das Peritoneum als semipermeable Membran, die Bauchhöhle als Behälter für das Dialysat, welches über einen Tenckhoff-Katheter instilliert wird. Die Peritonealdialyse kommt für nur ca. 2.500 Patienten in Deutschland in Frage und wird hier nicht weiter betrachtet. Dagegen werden mittels der verschiedenen Hämodialyseverfahren 91,4 % der Dialysepatienten in Deutschland behandelt [1].

Bei der Hämodialyse wird das Blut des Patienten durch einen Gefäßzugang mit Hilfe einer Schlauchpumpe entlang einer semipermeablen Membran, dem eigentlichen Dialysator, geleitet. Auf der Gegenseite der Membran strömt Dialysatflüssigkeit in entgegengesetzter Richtung vorbei. Durch Diffusion findet der Stoffaustausch über die Membran statt. Über einen hydrostatischen Druckgradienten kann zusätzlich freies Wasser von der Blutseite auf die Dialysatseite ultrafiltriert werden und damit der Wasserhaushalt des oligo- oder anurischen Patienten korrigiert werden. Meist erfolgt die Hämodialysebehandlung dreimal pro Woche und dauert durchschnittlich drei bis vier Stunden. Bedeutend für den Patienten ist neben der Krankheit die Abhängigkeit von medizinischen Geräten, die für ihn die Filterfunktion anstelle gesunder Nieren übernehmen. Daraus ergibt sich für den Patienten eine signifikante Umstellung seiner bisherigen Lebensweise.

Eine grundlegende Voraussetzung für die Hämodialyse ist die Zugangsmöglichkeit zum Blutkreislauf des Patienten. Die permanente Dialysepflichtigkeit erfordert einen dauerhaften, regelmäßig benutzbaren Gefäßanschluss, der es erlaubt, Blut aus dem Körper zu entnehmen und wieder zurück zu leiten. Der Zugang sollte leicht zu erreichen und leicht zu punktieren sein, da nur so der Anschluss an den Dialysator zu regelmäßigen Dialysebehandlungen gewährleistet werden kann. Darüber hinaus muss ein ausreichender Blutfluss vorhanden sein, da bei der Hämodialyse üblicherweise pro Minute 200 bis 400 ml Blut entnommen, dialysiert und zurückgegeben werden.

Da physiologische Blutgefäße solche Bedingungen regelhaft nicht bieten, ist die Anlage einer arteriovenösen Gefäßfistel erforderlich. Die Schaffung einer für die chronische Hämodialyse regelmäßig punktierbaren inneren arteriovenösen Gefäßfistel setzt jedoch das Vorhandensein von Venen an geeigneter Lokalisation und mit ausreichendem Kaliber voraus. Außerdem muss sich die arterialisierte Vene distal der Anastomose zu einer kaliberstarken Shuntvene ausbilden, sie muss „reifen“. Eine Engstelle im Bereich der Anastomose oder die Ausbildung mehrerer venöser Kollateralen stört die Reifung der Shuntvene.

Prinzipiell wird eine Anastomose möglichst weit peripher angelegt. Treten nämlich Stenosen, Verschlüsse oder andere Komplikationen an der Anastomose oder der Shuntvene auf, so können die proximal gelegenen Abschnitte derselben Gefäße im Sinne einer Reservestrecke für eine erneute Shuntanlage genutzt werden.

Bei der Anlage eines Shunts bieten sich zwei Möglichkeiten an. Bei guten Venenverhältnissen kann eine direkte Anastomose zwischen einer Arterie und einer Vene geschaffen werden. Vorzugsweise werden hierzu die A. radialis und die V. cephalica genutzt. Bei gering ausgebildeten oder bereits verbrauchten Gefäßen kann ein Stück eines Kunststoffinterponates zwischengeschaltet werden, das entweder gerade (Straight-Shunt) oder als Schlaufe (Loop-Shunt) verläuft.

Für Dialysepatienten ergeben sich neben den vielfältigen Problemen, die bereits die Nierenerkrankung und die Dialyse mit sich bringen, häufig zusätzliche Schwierigkeiten mit dem Gefäßzugang, die die Dialysefähigkeit gefährden und so die Therapie erschweren. Die Ausbildung von Stenosen vermindert den Shuntfluss und die Dialyse kann nicht effektiv durchgeführt werden. Der Verschluss des Gefäßzuganges droht. Die Effizienz der Dialyse ist abhängig von der Flussstärke, welche wiederum durch den Shunt limitiert ist. Ist sie nicht ausreichend hoch für die Elimination der harnpflichtigen Substanzen und des überschüssigen Wassers im Körper, wird die Einschränkung der Shuntfunktion behandlungspflichtig.

Die Behebung der Funktionsstörungen von Dialyseshuntis ist für die betroffenen Patienten von vitaler Bedeutung. In den letzten Jahren werden als Behandlungsverfahren zunehmend innovative interventionell-radiologische, endovaskuläre Behandlungsmethoden eingesetzt. Zu deren wesentlichen Vorteilen zählen die Möglichkeit einer ambulanten Behandlung, die nach erfolgreicher Therapie sofortige Dialysierbarkeit und die Erhaltung der wertvollen Shuntstrecke.

Die endovaskulären Behandlungsmethoden haben inzwischen eine weite Verbreitung in der klinischen Praxis gefunden und werden auch in der Radiologischen Abteilung des Akademischen Lehrkrankenhauses in Göppingen seit mehreren Jahren zunehmend häufiger durchgeführt. Allerdings sind sowohl national als auch international bislang erst relativ wenige valide Daten publiziert, die den mittel- und langfristigen klinischen Erfolg der radiologischen Therapieverfahren qualitativ und quantitativ beschreiben.

## **1.2. Historische Entwicklung**

### **1.2.1. Dialyse**

Bereits 18 Jahrhunderte vor der Entwicklung des ersten Dialysators führten die Römer in ihren heißen Bädern eine Art Dialyseverfahren durch. Die heißen

Bäder bewirken ein sehr starkes Schwitzen des Patienten, wobei die Haut als Membran fungiert und Toxine nach außen transportiert werden. So kommt es zur Ausschwemmung harnpflichtiger Substanzen aus dem Körper, jedoch auch zu starken Erschöpfungszuständen des Patienten aufgrund des hohen Wasserverlustes durch den Schwitzvorgang. Diese Methode fand damals keine weitere Verbreitung und geriet somit auch bald wieder in Vergessenheit [2].

Im Jahr 1854 wurde der heute geläufige Ausdruck „Dialyse“ durch Thomas Graham zum ersten Mal in der Literatur erwähnt. Der „Vater der Hämodialyse“ veröffentlichte eine wissenschaftliche Arbeit mit dem Titel „On Osmotic Force“ („Über die osmotische Kraft“). Er beschrieb darin die Bewegung verschiedener gelöster Stoffe unterschiedlicher Konzentration durch verschiedene Membranen hindurch. Als Membran verwendete er wie seine Vorgänger die Harnblase, zusätzlich aber auch anorganisches Material. Thomas Graham erkannte den weit reichenden Nutzen seiner Experimente, als es ihm gelang, verschiedene Gifte nicht nur aus gewöhnlichen Lösungen, sondern auch aus defibriniertem Blut herauszufiltern. Grahams Arbeit diente nachfolgenden Forschern als Ausgangspunkt und lenkte ihre Aufmerksamkeit auf die Rolle der Membran bei der Diffusion.

Die extrakorporale Hämodialyse geht auf Abel, Rowntree und Turner zurück. Das erste Membranmaterial war Kollodium: bereits 1895 wurde Kollodium von A. Eulenburg als sirupartige Flüssigkeit beschrieben, die nach dem Trocknen einen porösen Film bildete. Aus Blutegelköpfen gewann man Hirudin und damit ungerinnbar gemachtes Blut floss durch die Kollodium-Röhrchen, die von einem Glasbehälter mit 0,6 % Kochsalzlösung umschlossen waren. Abel et al. prägten für ihr Gerät den Ausdruck „Künstliche Niere“. Unabhängig und zunächst ohne Kenntnis der anderen Autoren hatte sich Dr. Georg Haas in Gießen schon seit 1914 mit ersten Dialyseversuchen beschäftigt. Er experimentierte mit Hunden unterschiedlicher Größe, um die Verträglichkeit der Dialyse und vor allem die Verträglichkeit und benötigte Menge der verschiedenen Hirudinpräparate zu testen. Er führte auch erstmals eine extrakorporale Hämodialyse am Menschen durch. Die Dialysezeit betrug 15 Min. Die Behandlungszeit war so kurz, um die

Reaktion des menschlichen Organismus auf diesen Eingriff abschätzen zu können.

Weitere Behandlungen nahm Dr. Haas zwischen 1925-1928 vor. Obwohl keiner seiner Patienten überlebte, kann man nicht von erfolglosen Dialysen sprechen. Er konnte nachweisen, dass er in der Lage war, während einer 6-stündigen Dialyse mehr Harnstoff aus dem Blut zu entfernen, als der Körper in 24 Stunden nachbilden konnte. Das Befinden der Patienten besserte sich unter der Behandlung und der Blutdruck ging auf Normalwerte zurück. Außerordentlich wichtig war seine Entdeckung, dass es mit dieser Behandlungsmethode auch möglich war, Wasser aus dem Körper zu entfernen. Die Nachteile der Methode, die noch lange Zeit durch nachfolgende Forscher nicht behoben werden konnten, waren der nicht mehrfach zu benutzende Gefäßzugang mit Glaskanülen und das toxische Hirudin als Antikoagulans, obwohl das Heparin bereits entdeckt war. Nach 1928 führte Haas keine Dialysen mehr durch und setzte seine vielversprechende Arbeit nicht fort.

William Thalhimer aus New York benutzt 1938 erstmals Cellophan als Dialysemembran. Er bereitet damit den Weg für die Entwicklung leistungsfähiger Dialysatoren. Willem Johann Kolff und Hendrik Berk stellen 1943 in Kampen (Niederlande) einen für eine routinemäßige Anwendung ausreichend sicheren und wirksamen Dialysator vor, die „rotierende Trommelniere“. Bei der Trommel selbst handelte es sich um einen Zylinder aus Aluminium, Holzplatten oder Stahl, auf den ein 30 bis 40 cm langer und 2,5 cm breiter Cellophanschlauch gewickelt wurde, durch den Patientenblut strömte. Die untere Hälfte der horizontal angeordneten rotierenden Trommel tauchte in eine 70 bis 100 Liter fassende Wanne mit selbst bereitetem Dialysat, welches auf Körpertemperatur erwärmt war [3]. Zwischen 1943 und 1945 wurden mit der neu entwickelten „Trommelniere“, die eine Membranoberfläche von etwa 2 qm hatte, bereits 17 Patienten dialysiert [4].

Alwall aus Schweden sowie Murray und Mitarbeiter aus Kanada beschrieben 1947 Dialysegeräte, bei denen der Cellophanschlauch um einen stehenden Zylinder gewickelt wird. Ein ähnliches Gerät stellte in Deutschland Curt Möller

aus Hamburg vor. Malinow und Korzon bauten in den USA ein Gerät mit 20 parallelen Schlauchstücken. Ein Jahr später stellten ihre Landsleute Skeggs und Leonards den ersten Plattendialysator her, dessen System später in dem modifizierten Kiildialysator große Verbreitung fand. Der o. g. Curt Möller nahm 1950 mit seinem Dialysator die erste klinisch effektive Dialyse vor. Als wichtig für die weitere Entwicklung erwies sich außerdem die Idee von Garrelts, den blutführenden Schlauch mit einem Maschendraht aufzuwickeln und die Spüllösung mit einer Pumpe durch die so entstandene Spule zu pressen. Der Norweger Kiil entwickelte bereits Ende der 50er Jahre einen Dialysator, der zur mehrmaligen Verwendung geeignet war. Hierbei wurde das Cellophan nicht als Schlauchsystem, sondern als in Form von Folien verwandt, durch die das Blut als ein dünner Film floss. In Deutschland kam es zur Entwicklung des Cuprophans. Scribner verwandte Cuprophan 1960 erstmalig als Membran in einem Kiil-Dialysator. Der wichtigste Unterschied zum Cellophan war die wesentlich bessere Stabilität, die sehr geringe Membrandicke und die damit verbesserte Leistungsfähigkeit gegenüber einer herkömmlichen Cellophan-Membran. Cuprophanmembranen werden auch heute noch verwendet, werden jedoch mehr und mehr von synthetisch hergestellten Membranen wie Polysulfon, Polyacrylnitril ect. verdrängt.

Ab 1974 wurde die Hämofiltration als Nierenersatztherapie anstelle der Hämodialyse eingesetzt. 1978 begann mit der Einführung der Hämodiafiltration durch Prof. Leber und Mitarbeiter in Giessen das Zeitalter der Kurzzeitdialysen.

### **1.2.2. Shunts**

Am 9. März 1960 begannen Scribner und Mitarbeiter mit der Anlage der ersten Dialysehunts, der sogenannten Scribner-Shunts. Dabei wurde am Unterarm oder am Unterschenkel ein Teflon-Adapter in eine Arterie und ein weiterer in eine Vene eingelegt und beide über der Haut mit einem Silicon-Zwischenstück verbunden. In den 60er und Anfang der 70er Jahre benutzte man den Scribner-Shunt sowohl für Akutdialyse als auch für die chronische Hämodialyse.

Problematisch waren häufige Thrombosierungen und Infektionen an der Hautdurchtrittsstelle. Später wurden Scribner-Shunts in der Akutbehandlung durch eine Katheterisierung der großen Gefäße verdrängt. 1966 entwickelte James Cimino eine innere Gefäßfistel, in dem er in Höhe des Handgelenkes die A. radialis und die V. cephalica anastomosierte. Die Vene vergrößerte durch den erhöhten Blutfluss dauerhaft ihr Kaliber und eignete sich so zuverlässig zur Punktion für die Dialyse.

In den Anfängen wurde die Gefäßanastomosierung Seit-zu-Seit, später End-zu-End vorgenommen. Aufgrund der vergleichsweise geringeren kardialen Belastung und der besseren Punktierbarkeit setzte sich seit 1979 die End-zu-Seit-Anastomosierung durch. Zunächst wurden Fisteln ausschließlich am distalen Unterarm gesetzt, doch im Laufe der Zeit wurden auch der proximale Unterarm sowie der Oberarm für die Anastomosierung genutzt. Fehlen dem Patienten geeignete ortständige Gefäße zur direkten Anastomosierung, besteht die Möglichkeit, ein natürliches oder künstliches Gefäßinterponat einzusetzen. 1969 wurde die Verwendung eines autologen Vena saphena Interponates am Oberschenkel eingeführt [5]. Abgelöst wurden diese nativen Gefäßprothesen durch homo- und heterologe Nabelschnur- und Kalbscarotis-Interponate, die sich jedoch längsfristig nicht bewährten. Heute werden vorwiegend Kunststoffinterponate aus Polytetrafluorethylen (PTFE), Polyurethan, Polyester (Dacron), Impra, Coretx oder Vitagraft verwendet [6].

## **1.3. Shunts**

### **1.3.1. Shunttypen**

Als Dialysehunt oder Dialysefistel bezeichnet man eine künstlich angelegte Verbindung zwischen einer Arterie und einer Vene. Eine Shuntanlage ist indiziert, wenn mit einer langfristigen Behandlung mittels der Hämodialyse zu rechnen ist.

Heute werden zwei Gruppen von Shunttypen unterschieden: chronisch intrakorporale und temporäre extrakorporale Shunts. Zu der ersten Gruppe der intrakorporalen Shunts gehören der Brescia-Cimino-Shunt, die arteriovenösen Shunts sowie die Prothesen-Shunts.

Weitaus am häufigsten wird der native Brescia-Cimino-Shunt zwischen A. radialis und der V. cephalica am distalen Unterarm der nichtdominanten Hand des Patienten angewandt. Die Anastomose kann prinzipiell End-zu-End, Seit-zu-Seit, Seit-zu-End oder End-zu-Seit angelegt werden. Bei Seit-zu-End- sowie Seit-zu-Seit-Verbindungen kommt es zu einem relativ großen Shuntfließvolumen, das zusätzlich zu dem Blut aus dem Gebiet der A. ulnaris über die Hohlhandbögen in die Shuntvene fließt. In aller Regel geht dieser Shunttyp mit einer Umkehr der Strömungsrichtung in dem handwärts der Verbindungsstelle gelegenen Arteriensegment einher. Obwohl damit zum einen für das Herz eine relativ große Volumenbelastung entsteht und zum anderen die Blutversorgung der Hand deutlich verringert ist, wird inzwischen diese Seit-zu-End-Nahtechnik zwischen Arterie und Vene der mit einem geringeren Shuntminutenvolumen einhergehenden End-zu-End-Anastomosierung vorgezogen. Der Grund ist, dass im Falle des irreparablen Shuntverschlusses die Arterie funktionell fast immer erhalten bleibt, so dass nachfolgende Shuntoperationen am gleichen Arm mit geringerem Risiko für die Handdurchblutung versucht werden können. Das gegenüber der End-zu-End-Anastomosierung größere Shuntminutenvolumen wird von der großen Mehrheit der Patienten ohne wesentliche negative Durchblutungsfolgen für Herz oder Hand verkraftet [7].

Die Gruppe der extrakorporalen Shunts wird heute als vorübergehender, zentralvenöser Gefäßzugang nur in Notfallsituationen, wie bei akutem Nierenversagen oder akuter Shuntthrombose, eingesetzt. Dabei wird vorzugsweise ein nach Dr. Stanley Shaldon benannte Katheter in die obere Hohlvene, gelegentlich auch in die Leistenvene eingeführt. Wegen des Risikos von Thrombosen und Infektionen bedarf dieser Katheter einer besonderen ärztlichen und pflegerischen Aufmerksamkeit und eignet sich grundsätzlich nicht für Blutabnahmen oder Infusionen. Zur Dauerbehandlung wird ein



sogenannter Demers-Katheter wie der Shaldon-Katheter in die obere Hohlvene implantiert und seine Spitze im rechten Vorhof plaziert. Ein wesentlicher Unterschied zum Shaldon-Katheter ist ein unter der Haut liegender Filzring (Cuff), der das Infektionsrisiko deutlich reduziert. Der so genannte Scribner-Shunt wird in geringer Abwandlung des oben beschriebenen ursprünglichen Verfahrens dadurch hergestellt, dass eine Dauerverweilkanüle in jeweils eine geeignete Arterie und Vene eingeführt wird und beide Gefäße extrakorporal mittels Silikonschläuchen und Teflonverbindungsstücken kurzgeschlossen werden. Seit der klinischen Anwendung chronischer intrakorporaler Shunts wird der Scribner-Shunt nur noch in Einzelfällen als akuter Zugangsweg zu Beginn der Hämodialyse verwendet.

### **1.3.2. Shuntinsuffizienz**

Die Funktionstüchtigkeit des Shunts ist die entscheidende Voraussetzung für eine erfolgreiche Dialysebehandlung. Liegt eine Shuntinsuffizienz vor, ist die Eignung des Shunts zur Dialysebehandlung eingeschränkt oder gar nicht gegeben. Um die Entstehung der Shuntinsuffizienz besser verstehen zu können, müssen die speziellen pathophysiologischen Aspekte näher betrachtet werden. Mit der Anlage eines arterio-venösen Shunts wird ein Prozess eingeleitet, der durch spezifische Wandveränderungen der Shuntgefäße bzw. bei Gefäßersatzshunts der Anschlussgefäße charakterisiert ist (Tabelle 1.1).

Arterie	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abbau der Media sowie der Tunica elastica interna;</li> <li>• Arterie "latscht" aus; sie nimmt venösen Charakter an;</li> <li>• Deutliche Kaliberzunahme (Innenkaliberzunahme).</li> </ul>
Vene	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Im arteriellen Einstromgebiet: Intimahyperplasie (Zunahme des bindegewebigen Anteils); geringe Kaliberzunahme (meist keine Innenkaliberzunahme); Wandsklerosierung.</li> <li>• Anastomosenfern: deutliche Kaliberzunahme; Arterialisierung der Wand mit Muskelzellvermehrung der Media;</li> <li>• Relativ kurzstreckige Stenosen im Bereich von Klappentrabekeln.</li> </ul>

**Tabelle 1.1:** Gefäßveränderungen durch Nutzung als Shuntgefäß [7].

Bei einer Funktionsstörung des Dialyseshunt wird grundsätzlich zwischen einer primären und einer sekundären Shuntinsuffizienz unterschieden. Die primäre Shuntinsuffizienz betrifft die chirurgische Shuntanlage: der Shunt kann zu keiner Zeit für eine adäquate Hämodialyse genutzt werden. Die primäre Insuffizienz kann in den meisten Fällen nur durch einen erneuten chirurgischen Eingriff behoben werden. Bei der sekundären Shuntinsuffizienz ist der Shunt nach der Anlage einige Zeit bis zum Eintritt der Insuffizienz zu nutzen. Die Prognose der sekundären Insuffizienz ist in einem hohen Maße von dem Erfolg einer rekanalisierenden Intervention abhängig. [8].

### 1.3.3. Diagnostik der Shuntinsuffizienz

Die Shuntinsuffizienz kann durch Inspektion, Palpation oder durch Veränderungen der Dialyseparameter festgestellt werden. Klinische Kriterien, die für eine Shuntinsuffizienz sprechen und ihre Diagnostik sind:

Inspektion:

- Arterialisierung von Handvenen,
- Ausbildung von Kollateralvenen / -kreisläufen,
- segmentale oder langstreckige Kaliberabnahme der Shuntvene.

Palpation:

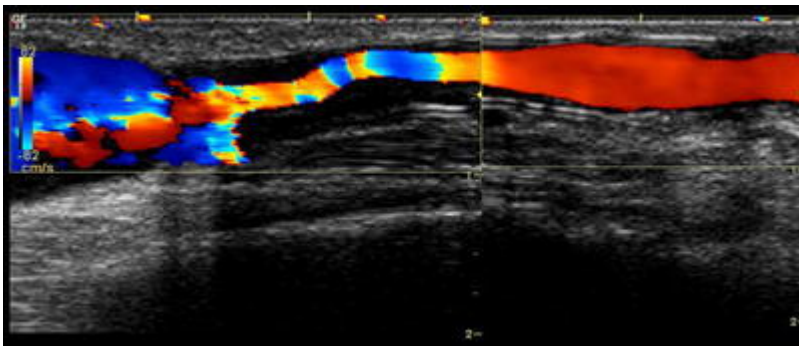
- Abnahme des Shunt-Schwirrens und Zunahme des Shunt-Klopfens,
- Stenotische Segmente palpatorisch als „Leere“.

Während der Dialyse:

- Erhöhung des venösen Druckes,
- Ansaugen der Nadel mit nachfolgendem Gerätealarm,
- Reduzierung des Shuntsvolumens und Verlängerung der Dialysedauer,
- Mehrmalige frustrane Shuntpunktion,
- Ineffektivität der Dialyse mit vermehrter Mischblut-Bildung [9].

Ein weiteres unkompliziertes Verfahren zur Shuntdiagnostik ist die Duplexsonographie, die zur Kontrolle der Shuntfunktion eingesetzt wird und morphologische sowie funktionelle Informationen über den Shunt liefern kann. Die Duplexsonographie ist eine etablierte Technik der Shuntdiagnostik und ermöglicht eine nichtinvasive Flussbeurteilung der Gefäße. Möglichst frühzeitig sollten stenosierende Gefäßwandveränderungen eines Dialyseshunt erkannt werden, um einen thrombotischen Verschluss zu vermeiden. Hierbei rechtfertigen hohe Verschlussraten bei vermindertem Volumenfluss von bis zu 45% innerhalb eines Jahres regelmäßige sonographische Verlaufsuntersuchungen mit der farbkodierten Duplexsonographie (FKDS). Mit der FKDS gelingt dann auch eine Beurteilung der Gefäßwandmorphologie bei veränderter Hämodynamik. Das Risiko für hämodynamisch relevante Shuntstenosen wird durch häufige Punktionen und perkutane Interventionen gesteigert. Komplikationen wie die Ausbildung einer Shuntvenenstenose, eine Thrombose der Shuntvenen oder ein venöses Aneurysma lassen sich mittels

der FKDS sicher und genau diagnostizieren. Die quantitative Beurteilung von Anastomosenstenosen ist jedoch nur eingeschränkt möglich. Meist gelingt eine direkte Flussbeurteilung der AV-Fistel innerhalb einer hochgradigen Stenose nicht, da Vibrationsartefakte deutliche Gefäßüberzeichnungen verursachen. Nur bedingt gelingt es, durch Anpassung der Pulsrepetitionsfrequenz (PRF), des Colorgain und des Wandfilters an hohe Flussraten bei der Flussdarstellung mit der FKDS eine Gefäßüberzeichnung, Bloomingartefakte und Aliasing zu vermeiden (Abbildung 1.1).



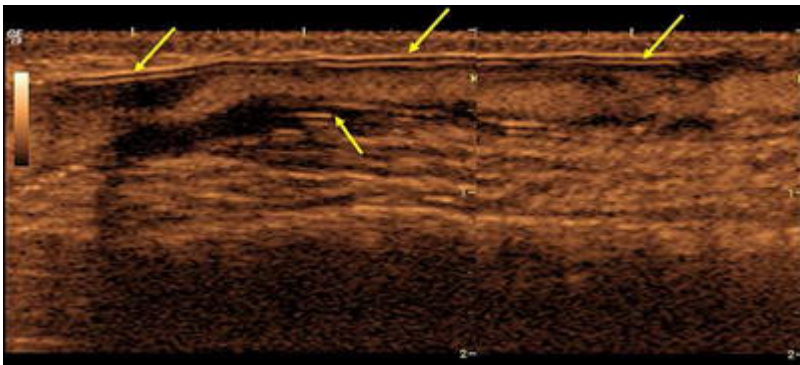
**Abbildung 1.1:** Flussdarstellung einer Interponatstenose mit der FKDS bei radialem Shunt. Trotz hoher Pulsrepetitionsfrequenz (PRF) treten Gefäßüberzeichnung und Aliasing Artefakte auf.

Hämodynamische Parameter, wie z.B. die maximale systolische Spitzengeschwindigkeit, sind zur Beurteilung der Shuntfunktion nur bedingt geeignet. Die Bestimmung des Widerstandsindex (RI), des Pulsalitätsindex (PI) und des Flussvolumens sind ergänzende hämodynamische Parameter. Das Shuntvolumen liegt normalerweise bei 400–600 ml/min. Werte unter 300 ml/min weisen auf ein Durchflusshindernis hin.

Der B-Flow ist ein vom Dopplereffekt unabhängiges Verfahren zur Blutflussvisualisierung. Es beruht auf einer Subtraktionstechnik: bis zu 4 digital kodierte Ultraschallpulse werden in einem definierten Zeitintervall in das Untersuchungsvolumen gesendet. Nur kodierte reflektierte Echos, d.h. solche, die von sich bewegenden Strukturen reflektiert werden, werden ausgewertet, nichtkodierte stationäre Störechos hingegen eliminiert. Durch eine Pulskompression wird eine ausreichende Signalstärke erreicht. Die Echosignale

einer Bildlinie werden voneinander subtrahiert, so dass nur das Amplitudensignal eines Reflektors im Zeitintervall zwischen 2 Pulsen dargestellt wird. Der Blutfluss wird als Grauwert dargestellt: eine höhere Blutflussgeschwindigkeit führt zu einer höheren Signalstärke und damit zu einer helleren Darstellung.

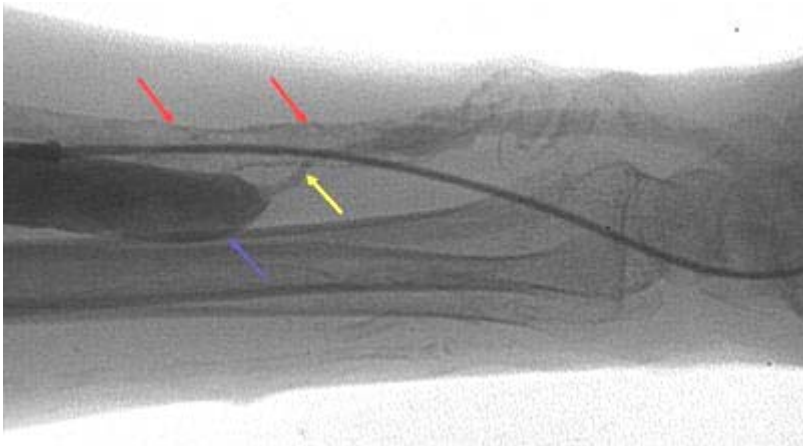
Aufgrund der geringen Winkelabhängigkeit und der gegenüber den Farbduplexverfahren verbesserten Ortsauflösung kann mit dem B-Flow der intra- und poststenotische Fluss bei Shuntstenosen ohne Gefäßwandüberzeichnungen oder Dopplerartefakte untersucht werden (Abbildung 1.2).



**Abbildung 1.2:** Radialer Brescia-Cimino-Shunt mit Kunststoffinterponat aus Polytetrafluoroethylen (PTFE) mit Flussdarstellung in der B-flow-Technik ohne Gefäßwandüberzeichnung (Pfeile).

Eine frühzeitige Erkennung relevanter Shunt dysfunktionen verbessert die Erfolgchance einer erfolgreichen endovaskulären Behandlung [10]. Shunt-Stenosen lassen sich grundsätzlich anhand spezifischer klinischer Parameter und Laborwerte erkennen. Die Farbdoppler-Sonographie ist jedoch empfindlicher [11]. Dopplerultraschalltechniken und Duplexsonographie sind deshalb inzwischen etablierte Techniken der Shunt diagnostik und ermöglichen eine nichtinvasive Flussbeurteilung der Gefäße. Der Stenosegrad kann allerdings nicht immer zuverlässig sonographisch beurteilt werden, so dass dann eine Diagnostik mittels Röntgen-Angiographie notwendig ist [12].

Im Gegensatz zu nichtinvasiven Diagnoseverfahren stellt die Röntgen-Angiographie ein invasives Verfahren dar. Anders als alle vorgenannten Methoden ermöglicht sie eine komplette und exakte Darstellung der Shunt-Perfusionsverhältnisse einschließlich der zu- und abführenden Gefäße unter physiologischen Bedingungen. Dies ist Voraussetzung für eine Interventionsplanung *lege artis*. Die angiographische Darstellung von Hämodialyseshuntis wird heute regelhaft in Form einer digitalen Subtraktionsangiographie (DSA) durchgeführt. Hauptnachteile der DSA sind die relative Invasivität, die potenzielle Kontrastmittelunverträglichkeit sowie die mögliche Kontrastmittelinduzierte Schilddrüsenfunktionsstörung. Anders als die Sonographie ist die DSA eine Luminographie, bei der die Gefäßwand nicht dargestellt wird. Die speziellen Vorteile der DSA liegen in der Beurteilung des zentralen Abstroms und der Möglichkeit, unmittelbar im Anschluss an die diagnostische Prozedur eine therapeutische Maßnahme vorzunehmen (Abbildung 1.3).

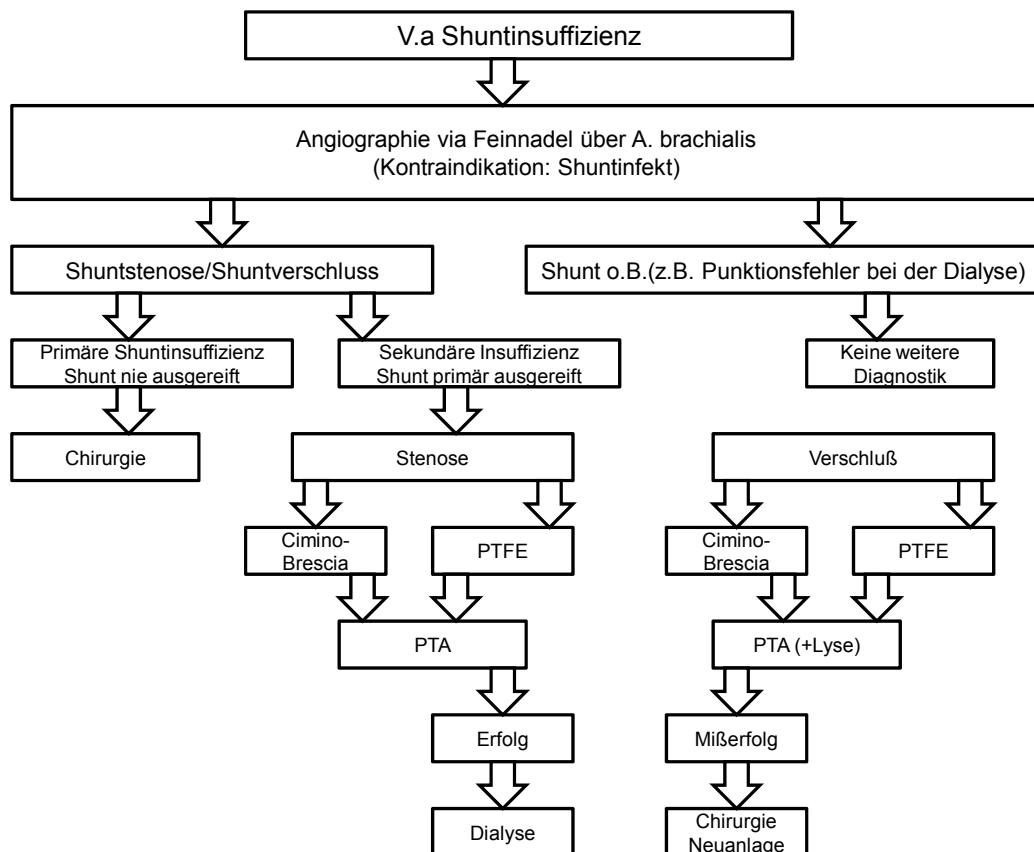


**Abbildung 1.3:** DSA eines Dialyseshunts (gleicher Patient wie in Abbildung 1.1 und 1.2.). Hochgradige Interponatstenose (gelber Pfeil) mit zuführender Arterie (rote Pfeile) und venösem Schenkel (blauer Pfeil).

## 1.4. Interventionell radiologische Shuntbehandlung

Seit den 60er Jahren hat sich innerhalb der diagnostischen Radiologie die interventionelle Radiologie entwickelt, die inzwischen zahlreiche minimal invasive therapeutische Verfahren für sehr unterschiedliche klinische Situationen zur Verfügung hält. Eine wichtige Anwendung liegt in der perkutanen Rekanalisation von insuffizienten Hämodialysehunts sowie in der perkutanen Implantation von zentral-venösen Zugangssystemen [13].

Radiologisch endovaskulären Interventionen kommt heute bereits eine wesentliche Bedeutung bei der Behandlung insuffizienter Dialysehunts zu (Abbildung 1.4).



**Abbildung 1.4:** Interventionsschema bei Shuntinsuffizienz nach Rinast [14]

### **1.4.1. Punktion**

Zur diagnostischen Angiographie können mehrere Punktionszugänge gewählt werden: arteriell antegrad, arteriell retrograd, venös antegrad oder venös retrograd. Therapeutisch kann eine Direktpunktion des Shunts bzw. einer drainierenden Armvene in retrograder Technik oder die Punktion der Prothese in retrograder Richtung bei anastomosennaher bzw. distaler Läsion sowie eine Punktion der Prothese in antegrader Technik bei proximalen Läsionen durchgeführt werden. Bei unklaren Situationen ohne Anhaltspunkte für die Lokalisation der pathologischen Veränderungen wird über eine Punktion der A. brachialis zunächst eine diagnostische Shuntangiographie durchgeführt, um die Pathologie festzustellen. Bei bekannter Stenosenlokalisierung wird die venöse Shuntstrecke antegrad oder retrograd punktiert. Für die Punktion verwendet man Nadeln mit einem Durchmesser von 16 Gauge (G), das sind 1,63 mm.

### **1.4.2. Katheter und Führungsdrähte**

Bei Shuntinterventionen werden vorzugsweise hydrophil beschichtete, steuerbare Führungsdrähte mit einer Stärke von 0,014 bis 0,035 inches (Terumo®, Tokyo, Japan) verwendet. Führungsdrähte dienen als Leitschienen zur Positionierung von Kathetern. Der Vorteil hydrophil beschichteter Drähte gegenüber konventionellen Drähten besteht darin, dass sie leichter durch das Gefäß und auch über Stenosen hinweg gleiten.

Katheter und Führungsdrähte werden in das Gefäßsystem über primär eingelegte Schleusen eingeführt, um das Körpergewebe und das Kathetermaterial während der Positionierungsmanöver und bei eventuellem Materialwechsel zu schonen. Schleusen sind mit einer als Ventil fungierenden Gummimembran ausgestattet, durch die ein Blutverlust verhindert wird, wenn Katheter oder Führungsdrähte im Gefäß liegen oder ausgewechselt werden.



### **1.4.3. Diagnostische Angiographie**

Für angiographische Darstellungen der kompletten Shuntperfusionsverhältnisse hat es sich als effektiv erwiesen, die A. brachialis wenige Zentimeter oberhalb des Ellenbogengelenkes in ihrem Verlauf unter der Aponeurose des Muskulus biceps mittels einer feinen 22-Coretex-Shunt-Punktionsnadel mit Kunststoffhülse in Seldinger-Technik retrograd zu punktieren. Nach erfolgreicher Punktion und korrekter Positionierung der dünnen Kunststoffnadel können mittels einzelner manueller Bolus-Injektionen einer verdünnten nicht-ionischen Kontrastmittel-Lösung der gesamte Shuntverlauf und lange Strecken der A. brachialis als Gegenstromangiographie in digitaler Subtraktionsangiographie-Technik dargestellt werden. Die Darstellung des anastomosennahen Bereiches bei einem perfundierten Shunt erfolgt meist mit einer Bildfrequenz von zwei Bildern pro Sekunde. Bei verschlossenem Shunt und zur Darstellung der zentralen Abflussverhältnisse hingegen ist eine Aufnahmefrequenz von einem Bild pro Sekunde ausreichend [15].

### **1.4.4. Perkutane transluminäre Angioplastie (PTA)**

Die PTA ist eine Behandlungsmethode, die zur Aufweitung stenosierter bzw. okkludierter Blutgefäße eingesetzt wird. Die Methode der perkutanen Gefäßrekanalisation wurde im Jahr 1964 von Dotter und Judkins initiiert und 1974 von Grüntzig durch die Entwicklung des Ballonkatheters erweitert. Heute ist sie die wichtigste Therapieform der interventionellen Radiologie und macht bis zu 80% aller Eingriffe einschließlich der Interventionen an Hämodialyseshunt aus [16].

Zur Ballondilatation wird ein Ballonkatheter über den Führungsdraht in das Gefäß vorgeführt und in der Stenose hydraulisch manuell und evtl. unter Zuhilfenahme eines Manometers bis zu einem Druck von 8-25 atm. inflatiert. Auf diese Weise wird das stenosierende Material in die Gefäßwand gepresst und die Gefäßwand dilatiert. Die Größe des verwendeten Ballons richtet sich

nach der Länge und dem Grad der Stenose sowie dem regulären Gefäßdurchmesser. Die Länge des Ballons sollte so gewählt werden, dass im Überlappungsbereich nur ein minimaler Anteil der gesunden Gefäßwand mit gedehnt wird.

Zur Dilatation sehr rigider, z.B. narbiger Stenosen an mehrfach voroperierten Shunts steht ein besonderer Ballonkatheter zur Verfügung, der 3,5 F Cutting balloon® Katheter (Boston Scientific). Dieser enthält 3 Mikroklingen, die radiär um den Ballon montiert sind. Die Klingen schneiden bei der Balloninflation die Intima des stenosierten Gefäßabschnitts kontrolliert ein und erleichtern so die Dilatation der Stenose.

Die Durchführung einer PTA erfordert zur Verhinderung eines Frühverschlusses eine Vollheparinisierung des Patienten.

#### **1.4.5. Pharmakologische Thrombolyse**

Als Fibrinolytika, die bei Stenosen oder Verschlüssen von Hämodialyseshunts verwendet werden, stehen Urokinase, Plasminaktivator (rt-PA) und die weniger häufig eingesetzte Streptokinase zur Verfügung.

Es werden folgende Applikationstechniken zur pharmakologischen Lysetherapie unterschieden:

- Transkutane Direktinjektion des Fibrinolytikums in den Thrombus,
- Katheterlyse nach perkutaner Punktion und mechanische Thrombusbearbeitung durch Katheter und Führungsdraht,
- Infiltrationslyse mittels Sprüh-Lyse-Technik [17].

Bei transcutaner Direktinjektion wird ein Lysekatheter über einen Terumo-Draht mit der Spitze in den Thrombus platziert. Besonders geeignet erscheint dieses Verfahren für kleine thrombotische Mengen. Auch werden nur geringe Dosen des Lysemittels benötigt [18].

Bei der perkutanen Katheterlyse wird ein Angiographiekatheter nach retrograder Punktion im Bereich des venösen Segmentes durch den verschlossenen Abschnitt vorgeschoben [19]. Anschließend wird ein hochkonzentriertes Fibrinolytikum über den liegenden Katheter in das verschlossene Segment eingebracht und die Thromben dieses Abschnittes mittels Ballonkatheter oder anderen Dilatatoren mazeriert. Nach dieser mechanischen Thrombektomie werden verbliebene Thrombenreste mit einer niedrig dosierten lokalen Lyse aufgelöst.

Bei der Infiltrationslyse wird nach Passage des thrombotischen oder auch embolischen Verschlusses mit dem Führungsdraht ein spezieller Lysekatheter mit multiplen Seitenlöchern so platziert, dass die Spitze zwei Zentimeter proximal des distalen Verschlussendes liegt. Mittels eines zusätzlichen Drahtes mit endständiger Kugel wird die Katheterspitze verschlossen. Anschließend wird das Fibrinolytikum unter hohem Druck in den Thrombus gespritzt. Überlappend wird durch das Verschieben des Katheters das gesamte Segment rekanalisiert. Die Pulsrate beträgt zwei pro Minute für die ersten 100.000 bis 150.000 IE Urokinase, danach wird die Pulsrate auf einmal pro Minute gesenkt.

Von der Transatlantic Inter-Society Consensus (TASC) Working Group wurde eine Liste von Kontraindikationen aufgestellt, die bei der Thrombolyse zu beachten sind (Tabelle 1.2).

Absolute Kontraindikationen	Relative Kontraindikationen	Minor Kontraindikationen
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zerebrovaskuläre Ereignisse <math>\leq 2</math> Mo</li> <li>• Neurochirurgische Eingriffe (intrakraniell, spinal) <math>\leq 3</math> Monate</li> <li>• Gastrointestinale Blutung <math>\leq 10</math> Tage</li> <li>• Akute Blutungsdiathese</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kardiopulmonale Reanimation <math>\leq 10</math> Tage</li> <li>• Große Operationen, Augenoperationen, Unfälle <math>\leq 10</math> Tage</li> <li>• Intrakranieller Tumor</li> <li>• Unkontrollierte arterielle Hypertonie</li> <li>• Punktion nicht komprimierbarer Gefäße</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Schwangerschaft</li> <li>• Bakterielle Endokarditis</li> <li>• Hämorrhagische diabetische Retinopathie</li> <li>• Leberfunktionsstörungen</li> </ul>

**Tabelle 1.2:** Kontraindikationen zur Fibrinolyse (gemäß TASC)

#### 1.4.6. Stentimplantation

Grundsätzlich werden ballonexpandierbare und selbst expandierende Stents unterschieden. Ballonexpandierbare Stents werden manuell oder maschinell auf einen nicht dilatierten Ballonkatheter montiert, der in der Gefäßstenose aufgedehnt wird. Ihr Vorteil liegt in einer hohen Radialkraft bei geringer Flexibilität. Im Gegensatz zu selbstexpandierenden Stents verkürzen sie sich kaum und ermöglichen eine genauere Platzierung in der Stenose. Daher kommen sie vor allem bei kurzstreckigen, harten, geradlinig verlaufenden Gefäßstenosen zum Einsatz.

Selbstexpandierende Stents sind ebenfalls auf Katheter montiert. Sie bestehen z.B. aus den Materialien Eligiloy und Nitinol. Der Stent ist in eine dünne

Schutzmembran eingehüllt. Durch Zurückziehen der Membran wird der Stent in der Gefäßläsion freigesetzt und nimmt seine vorbestimmte Form im Gefäßlumen an. Aufgrund ihrer Flexibilität ist der Einsatz selbstexpandierender Stents bei Stenosen in gewundenen Gefäßverläufen von Vorteil.

Bei elastischen Stenosen im Dialyseshunt bzw. im Bereich der drainierenden Venen und auch bei Komplikationen nach PTA (Dissektion, Perforation) kann über den liegenden Führungsdraht ein Stent zur Ergebnisoptimierung eingebracht werden. Grundsätzlich können hierfür sowohl selbst- und ballonexpandierbare Stents eingesetzt werden. Meist werden jedoch selbstexpandierende Stents wie z.B. der Wallstent oder der Memotherm-Stent bevorzugt. Sie bieten die Vorteile einer hohen Flexibilität und Anpassungsfähigkeit an anatomische Verhältnisse bei guter Wandspannung bzw. Aufstellkraft. Grundsätzlich ist eine Kontrolle während der Stentimplantation z. B. mittels Nadelangiographie der Shuntvene oder auch der A. brachialis zu empfehlen.

Stentlänge und Durchmesser sind bei Dialyseshunts ebenso wie auch bei anderen Gefäßregionen entsprechend der Gefäßsituation anzupassen. Stents, die unmittelbar im Punktionsbereich des Dialyseshunts platziert werden müssen, sollten möglichst kurz sein. Sie werden in der Regel mit einem max. 7-French Besteck eingebracht. Die Maßnahme ist unbedingt mit dem behandelnden Dialysezentrum abzustimmen, um spätere Punktionsprobleme oder Shuntläsionen zu vermeiden.

Bei Stentimplantation im Bereich der drainierenden Oberarmvene mit einem Gefäßdurchmesser von mehr als 10 mm wird ein transfemorales venöses Vorgehen empfohlen, um Gefäß- oder Shuntläsion durch die Verwendung großlumiger Stentbestecke (mehr als 7 French) zu vermeiden.

Bei besonders rigiden Läsionen sollte der Stent nicht zu knapp bemessen sein und eine möglichst mittige Platzierung in der Stenose beachtet werden, da beim Entfalten des Stents sonst das Risiko besteht, dass der Stent durch seine Eigenspannung aus der Stenose heraus disloziert wird.

### 1.4.7. Komplikationen

Komplikationen werden gemäß den Richtlinien des „Society of Interventional Radiology Standards of Practice Committee“ in Minor- und Major-Komplikationen eingeteilt. Minor-Komplikationen bedürfen keiner oder einer konservativen Therapie. Major-Komplikationen erfordern einen invasiven Eingriff (operativ oder endovaskulär rekonstruktiv) oder führen zum endgültigen Funktionsverlust des Shunts. Komplikationen bei der endovaskulären Behandlung von Dialyseshunts betreffen weit überwiegend mittelbar oder unmittelbar die Punktionsstelle. Hierzu gehören Hämatome, Pseudoaneurysmen, arterio-venöse Fisteln, Dissektionen, Spasmen, akute Thrombosen, Arterienperforationen und -embolien, Infektionen und neurologische Komplikationen durch Verletzung bzw. Kompression von Nerven.

Komplikationen treten bei der Ballondilatation von Hämodialyseshunts relativ selten auf. Hauptkomplikation ist eine venöse Ruptur mit einer Häufigkeit von 2%, die mit einer ausgeprägten Blut-Extravasation verbunden sein kann, wenn größere Venen betroffen sind. Trotz des arterialisierten Flusses führt eine solche Ruptur in den oberarm- oder schulternahen Venen selten zu größeren Hämatomen und sistiert i.d.R. spontan. Die Behandlung der Ruptur besteht in einem Abbrechen der Intervention und Beobachtung. Bei insuffizientem Therapieergebnis der Shunt Dysfunktion kann ein weiterer Behandlungsversuch nach einigen Tagen angeschlossen werden, ggf. ist dann eine Stentimplantation notwendig. Tritt eine venöse Ruptur an den Unterarmvenen auf, ist sie häufig mit der Entwicklung eines schmerzhaften Hämatoms verbunden. Dieses kann bei den kleineren Unterarmvenen zur Kompression der Vene mit konsekutivem Shuntverschluss führen. Selten führt eine venöse Ruptur zur Ausbildung von venösen Pseudoaneurysmen. Schwere flussreduzierende Dissektionen sind selten. Die Häufigkeit von Shunt- oder Allgemeininfektionen als Folge einer PTA ist unbekannt. Aufgrund des speziellen Risikoprofils dialysepflichtiger Patienten ist die Möglichkeit einer solchen Komplikation jedoch ernst zu nehmen und eine genaue Einhaltung antiseptischer Arbeitsbedingungen zu beachten.

## **1.5. Fragenstellung der vorliegenden Arbeit**

### **1.5.1. Aktuelle Situation**

Die Überlebenszeit chronisch niereninsuffizienter Patienten nimmt aufgrund der wesentlich verbesserten Behandlungs- und Dialysemethoden erheblich zu. Damit gewinnt die langfristige Funktionstüchtigkeit eines dauerhaften Gefäßzuganges zur Dialyse eine zunehmende Bedeutung. Entsprechende Bedeutung haben inzwischen auch Verfahren zur Wiederherstellung einer gestörten Shuntfunktion erlangt. Die perkutane interventionelle Radiologie kann diese Aufgabe auf minimal invasive und damit patientenschonende Weise erfüllen. Wie effektiv ist diese Behandlungsmethode jedoch und welche Faktoren beeinflussen die Nachhaltigkeit ihrer Wirkung? Diese Fragen sind aufgrund der unzureichenden publizierten Datenlage derzeit nicht ausreichend valide zu beantworten.

### **1.5.2. Fragestellungen**

- Wie nachhaltig ist die Wirkung der perkutanen radiologischen Intervention zur Behandlung bei der Dysfunktion von Dialyseshunts?
  
- Welche Faktoren beeinflussen die Nachhaltigkeit?

## **2. Material und Methodik**

### **2.1. Datenerhebung**

Anhand von EDV-Abfragen wurde eine Liste sämtlicher perkutaner transluminaler Angioplastien an Hämodialyseseshunts erstellt, die in der Abteilung Radiologie der Klinik am Eichert in Göppingen zwischen Januar 2001 und Juni 2004 durchgeführt wurden. Die Bilddokumente aller Interventionen wurden an einer PACS Workstation aufgerufen und hinsichtlich der Anzahl der Stenosen, dem Grad der Stenosen, der Länge der Stenosen und deren Lokalisation ausgewertet. Die Befunde wurden um zusätzliche, in den ursprünglichen Befundberichten enthaltene klinische Informationen ergänzt und tabellarisch registriert. Folgende Datenquellen wurden genutzt:

- PACS und RIS-Abfrage: Bilddokumente der interventionell-radiologischen Prozeduren, deren schriftliche Befundberichte.
- KIS-Abfrage (Carecenter): Patientendaten, klinische Diagnosen, Dialyседaten, Verlauf.
- Recherche bei externen Behandlern (i.e.: Dialyse-Zentren).

### **2.2. Patienten und Behandlungsverläufe**

Die retrospektive Studie beinhaltet alle Patienten, die im Zeitraum vom 01.01.2001 bis 31.12.03 der Abteilung Radiologie der Klinik am Eichert in Göppingen zur ersten nach chirurgischer Shuntanlage erforderlichen endovaskulären Diagnostik und ggfs. Behandlung einer insuffizienten Shuntfunktion mittels radiologischer Intervention zugewiesen wurden.

Die nachfolgenden Verläufe wurden bis zum Stichtag 30.06.04 beobachtet. Die Verlaufsbeobachtung endete vor Erreichen des genannten Stichtags, wenn Shuntverschlüsse nicht durch PTA behandelt werden konnten, sondern einen chirurgischen Eingriff benötigten. Auch eine Shunt-Anlage am kontralateralen Arm, eine Nierentransplantation oder das Versterben eines Patienten führte zu



einer vorzeitigen Beendigung des Nachbeobachtungszeitraums. PTAs nach einer zwischenzeitlichen chirurgischen Revision eines zuvor perkutan-transluminal dilatierten Shunts wurden grundsätzlich von der Auswertung ausgeschlossen.

Alle Patienten wurden zeitgerecht über die Prozedere der anstehenden Untersuchungen aufgeklärt. Ein schriftliches Einverständnis des Patienten zur jeweiligen interventionellen Angiographie lag vor.

Zur Analyse der Patienten und Behandlungsverläufe wurden folgende Daten registriert:

- Demographische Daten: Patientenidentifikation; Geschlecht; Alter zum Zeitpunkt der ersten Intervention;
- Klinische Daten: Grunderkrankung; Hämodialyseshunt-daten; Ursache der Shuntinsuffizienz; endovaskuläre Interventionsmethoden.

## **2.3. Shunts**

### **2.3.1. Material, Form und Lokalisation**

In der Untersuchung werden dem Shuntmaterial entsprechend zwei Shunttypen differenziert betrachtet: autologe Shunts (AV-Shunt) und Kunststoffshunts (PTFE-Shunt). Letztere können entweder als Schleife (Loop) oder mit einem geraden Interponat (Straight-Shunt) angelegt sein.

### **2.3.2. Shunt-Komplikationen**

Als mögliche Ursachen eines Funktionsverlustes der Shunts wurden hämodynamisch relevante Stenosen, akute Thrombosierungen, Steal-Phänomene, Shunt-Aneurysmen oder multiple Kollateralgefäße registriert.

Bezüglich der Stenosenlänge wurde zwischen kurzstreckigen (< 1cm Länge), mittelstreckigen (1-3 cm Länge) und langstreckigen Stenosen (> 3cm Länge) differenziert.

Bei der Lokalisation der Verschlüsse wurde zwischen Stenosen am Unterarm, am Oberarm, im arteriellen Schenkel des Shunts, im Anastomosensbereich, im venösen Schenkel des Shunts, zentral venösen Stenosen (in der proximalen V. cephalica oder der V. subclavia) und Stenosen innerhalb eines PTFE-Interponats unterschieden.

## **2.4. Radiologisch-interventionelle Therapie bei Shunt Dysfunktion**

### **2.4.1. Indikationsstellung**

Alle Interventionen wurden von in den Behandlungsverfahren erfahrenen Radiologen der Klinik am Eichert durchgeführt. Die Indikation zur Shunt-Behandlung erfolgte im Rahmen der standardgemäßen klinischen Versorgung unter Berücksichtigung der Informationen der zuweisenden Ärzte und der vorausgehenden diagnostischen Maßnahmen.

### **2.4.2. Prätherapeutische Gefäß-Diagnostik**

Die Methode der Wahl zur angiographischen Shunt-Diagnostik war die intraarterielle digitale Subtraktionsangiographie (i.a. DSA) über die ipsilaterale A. brachialis. Mittels Feinnadel-Angiographie der A. brachialis wurden sämtliche Shuntsegmente einschließlich der zuführenden Arterie und des zentralvenösen Abstroms über die V. subclavia und V. brachiocephalica dargestellt.

Die Shuntangiographie mittels i.a. DSA wurde unter sterilen, aseptischen Bedingungen durchgeführt. Bei der Mehrzahl der autologen Shunts sowie auch bei Interponatshunts wurde bei klinischen bzw. duplexsonographischen Zeichen einer Shunt Dysfunktion oder eines unzureichenden Refluxes in der Shuntvene zunächst eine Feinnadelpunktion der A. brachialis wenige Zentimeter oberhalb des Ellenbogengelenks durchgeführt. Nach manueller i.a.-Injektion von nichtionischem, 1:2 oder 1:3 verdünntem Kontrastmittel (KM) erfolgte die Shunt Darstellung in DSA-Technik. Zur Darstellung der komplexen Topographie des Shunt-Bereiches wurden 4 bis 6 ml KM-Menge pro Bildserie benötigt. Die Darstellung des zentralvenösen Abstroms erfolgte mit 10 bis 15 ml KM und einer Injektionsgeschwindigkeit von 2 bis 5 ml/s [20]. Wichtig war dabei die vollständige Darstellung des zentralvenösen Abstroms bis zur V. cava superior, da zentralvenöse Stenosen eine wichtige Rolle bei der Entstehung shuntnaher Thrombosen oder Aneurysmen spielen können [21,22].

#### **2.4.3. Endovaskuläre Shunt-Intervention**

Voraussetzung für die Indikation zu einer PTA war der Nachweis von hämodynamisch wirksamen Stenosen. Es wurden in einer Sitzung auch mehrere Stenosen dilatiert, sofern diese über den gleichen Katheterzugang erreichbar waren. Zur Durchführung der Ballondilatation erfolgte nach ausreichender Infiltration von Lokalanästhetikum eine Punktion im Bereich des venösen Schenkels. Es wurde darauf geachtet, die Punktionsstelle möglichst mindestens zehn Zentimeter von der Stenose entfernt zu platzieren. In Abhängigkeit von der Lokalisation der Stenose lag die Punktionsstelle distal oder proximal hiervon. Bei PTFE-Shunts sollte die Punktion immer im Schleifenverlauf erfolgen, wobei die Stichrichtung wiederum davon abhing, ob sich die Stenose im arteriellen oder im venösen Schenkel oder in den drainierenden Oberarmvenen befand. Proximale arterielle Stenosen wurden auch über einen Zugangsweg durch Punktion der A. brachialis dilatiert.

Nach Gefäßpunktion mit einer Kunststoffkanüle von ca. 17 G bis 18 G in Richtung Stenose wurde ein Führungsdraht durch die Kunststoffkanüle in den Shunt vorgeschoben. Die Kunststoffkanüle wurde dann entfernt und der Angiographiekatheter (4 bis 5 French Außendurchmesser mit leicht abgewinkelter Spitze) in Seldinger-Technik über den liegenden Draht in den Shunt eingeführt. Anschließend wurde die Stenose mit Führungsdraht und Katheter sondiert und möglichst weit bis in die zuführende Arterie vorgeschoben. Der Führungsdraht blieb für die gesamte Dauer der Intervention unverändert im Gefäß liegen [14]. Anschließend wurde der Angiographie-Katheter entfernt und durch einen geeigneten Ballonkatheter ersetzt.

Bei der untersuchten Patientengruppe kamen 3,6 F Katheter „JOCATH®O.P.E.R.A“ (JOMED AG, Beringen, CH), 5 F Ballonkatheter „Fox“ (JOMED AG, Beringen, CH) und 5 F Ballonkatheter „Smash“ (Boston Scientific, Waterton, USA) in den jeweils erforderlichen Abmessungen zum Einsatz. Zur Dilatation sehr rigider Stenosen, z.B. narbiger Stenosen an mehrfach voroperierten Shunts, wurde ein 3,5 F „Cutting balloon®“ Katheter (Boston Scientific, Waterton, USA) verwendet. Bei diesem befinden sich 3 Mikroklingen, die radiär um den Ballon herum angeordnet sind. Die Klingen schneiden bei der Balloninflation die Gefäßintima im Stenosenbereich kontrolliert ein und erleichtern so eine Gefäßdilatation.

Für Stenosen im venösen Shuntschenkel wurden Ballonlängen von 4 cm und Ballondurchmesser von 5 oder 6 mm gewählt. Stenosen im Anastomosenbereich wurden in der Regel mit 4 mm Ballondurchmesser, Stenosen im arteriellen Schenkel mit 3 mm Durchmesser dilatiert. Zur PTA wurde der Ballon in den stenosierten Gefäßabschnitt geschoben und vorsichtig unter ständiger Durchleuchtung dilatiert. Bei einigen Shuntstenosen waren sehr hohe Ballondrucke nötig, um die rigiden Stenosen ausreichend zu dilatieren. Der einzusetzende Minimaldruck betrug üblicherweise 6 bis 8 atm, in Einzelfällen waren sogar Drucke bis 25 atm notwendig. Hatte der aufgedehnte Ballon die Stenose beseitigt, wurde sofort über den arteriellen Zugang eine Kontrollangiographie durchgeführt, um das Dilatationsergebnis zu dokumentieren. Zeigte sich das Ergebnis noch nicht zufriedenstellend, wurde

mit demselben Ballon oder einem Ballon mit größerem Außendurchmesser nachdilatiert.

Bei zentralen Stenosen der V. cephalica oder V. subclavia war häufig zusätzlich zur PTA eine Stent-Implantation sinnvoll. Stenosen dieser Lokalisation waren zwar eher selten, führten dann aber zur massiven Behinderung der Shuntfunktion. Zur Dilatation wurden großlumige Ballons von 12 bis 16 mm Weite verwendet.

Bei verschlossenen Hämodialysehunts wurde eine Aspirationsthrombektomie versucht, bei der zunächst eine Destruktion und anschließend eine Absaugung des Thrombus erfolgte. Die hierbei verwendeten hydrodynamischen Kathetersysteme besitzen drei Lumina: eines für den Führungsdraht, eines für den Hochdruck- Flüssigkeitseinstrom und eines für den Flüssigkeitsausstrom. Durch den distal um 180° gebogenen Hochdruckkanal wird heparinisierte Kochsalzlösung unter einem Druck von 40 atm in das System gepumpt, tritt aus einer distalen Öffnung aus, passiert eine wenige Millimeter lange seitliche Öffnung zum Gefäßlumen und wird in einem kaliberstarken Lumen mit den aspirierten Thrombusfragmenten nach extrakorporal abgesaugt, ohne direkt mit der Gefäßwand in Kontakt zu treten. Aufgrund des Venturi-Effekts entsteht ein starker Sog in der Umgebung der seitlichen Katheteröffnung. Durch diesen wird weiches Thrombusmaterial fragmentiert, in den Katheter gesaugt und entfernt.

Bei manuellen Aspirationsmanövern wurden 7-F-oder 8-F-Aspirationskatheter mit einer 60-ml Aspirationsspritze verwendet.

Nach erfolgter Intervention und vollständiger Entfernung aller Katheter und Drähte aus dem Gefäßsystem wurden die Punktionsstellen 10-15 Minuten bis zum Sistieren spontaner Blutungen manuell komprimiert und anschließend mit Pflasterverband versorgt. Der Patient konnte anschließend sofort zur Dialysebehandlung weitergeleitet werden.

## **2.5. Kriterien für den Behandlungserfolg**

Das primäre Erfolgsziel einer Shunt-PTA ist es, suffiziente Flussverhältnisse für eine reguläre Hämodialysebehandlung wiederherzustellen. Zur Beurteilung des Behandlungserfolges wurden sowohl klinische als auch angiographisch basierte bildmorphologische Kriterien herangezogen. Primäre Endpunkte der vorliegenden Studie waren die Bestimmung der primären und sekundären Offenheitsraten der Dialyse-Shunts nach erfolgter Shunt-PTA. Sekundärer Endpunkt der Studie war die Beurteilung des Behandlungserfolgs der radiologischen Intervention.

### **2.5.1. Klinische Kriterien**

Als klinisches Erfolgskriterium wurde unmittelbar nach der Intervention der Nachweis eines palpablen Shuntschwirrens überprüft. Nach einer erfolgreichen PTA erfolgte eine Dialysebehandlung spätestens innerhalb von sieben Tagen. Hierbei wurden die klinischen Parameter einer regelrechten Shuntfunktion überprüft.

### **2.5.2. Angiographische Kriterien**

Bildmorphologische Kriterien wurden anhand von Beurteilungen des Gefäßlumens in Angiogrammen vor, während und nach der Intervention überprüft. Die Besserung einer vorbestehenden Stenose bzw. die Rekanalisation eines Verschlusses wurden sowohl qualitativ als auch quantitativ erfasst. Als quantitatives Kriterium wurde bei Stenosen die prozentuale Verringerung des dargestellten Gefäßdurchmessers im Vergleich zum benachbarten nicht-stenosierte Gefäßabschnitt berechnet. Alle Shunt-Interventionen, bei denen der Stenosegrad auf  $< 30\%$  reduziert werden konnte, wurden technisch erfolgreich gewertet [23].

### 2.5.3. Klassifizierung des Behandlungserfolgs

Der Behandlungserfolg der endovaskulären Shunt-Interventionen wurde in folgende Gruppen unterteilt:

- Technisch erfolgreich
- Klinisch erfolgreich
- Diagnostisch
- Nicht erfolgreich

„Technisch erfolgreich“ war der Eingriff, wenn eine Stenose auf max. 30% Reststenose reduziert werden konnte, ein deutliches Schwirren tastbar war, auch andere klinische Zeichen einer Stenose nicht mehr existierten und im Anschluss an die Intervention wieder problemlos eine Dialyse durchgeführt werden konnte.

Als „klinischer Erfolg“ galt, dass ein insuffizienter Shunt postinterventionell wieder funktionsfähig war und nicht erneut interventionell oder operativ revidiert werden musste.

„Diagnostisch“ war eine Prozedur, bei der mittels DSA zwar die Ursache der Dysfunktion geklärt werden konnte, eine PTA als therapeutische Intervention jedoch nicht erfolgte. Notwendige Bestandteile einer vollständigen diagnostischen Prozedur waren eine erfolgreiche Punktion und eine angiographische Darstellung des Shunts, die eine exakte Diagnose der Ursache der Shunt-dysfunktion und die Planung einer chirurgischen Shunt-Revision ermöglichte.

„Nicht erfolgreich“ war die Intervention, wenn eine Punktion, Katheterisierung oder ausreichende diagnostische angiographische Darstellung nicht möglich war und der Eingriff abgebrochen werden musste, ohne dass die Interventionen einen Nutzen für die weitere Therapie erbringen konnte.

Diese Definition der Erfolgskriterien orientiert sich an Standards für perkutane Interventionen an Dialyseshunt, die 2003 im Journal of Vascular and Interventional Radiology veröffentlicht wurden [24].

#### 2.5.4. Shunt-Offenheit

Die **primäre Shunt-Offenheit** ist definiert als Zeit zwischen der Shuntanlage und der ersten radiologischen Intervention.

Nach erfolgter Shunt-Behandlung beschreibt die **primäre Offenheit (primary patency)** die Periode der ununterbrochenen Offenheit nach der Intervention bis zur nächsten Shunt-dysfunktion oder der nächsten Intervention.

Die **sekundäre Offenheit (secondary patency)** definiert die Periode der Shunt-Offenheit nach der ersten endovaskulären Intervention unter eventueller Anwendung weiterer endovaskulärer Interventionen bis zum Zeitpunkt einer chirurgischen Thrombektomie, einer anderen operativen Revision, einer Shunt-Aufgabe wegen irreparabler Funktionsstörung oder Nierentransplantation oder dem Ausscheiden aus dem Beobachtungszeitraum.

Die **kumulative Shunt-Offenheitsrate (cumulative patency)** umfasst den gesamten Zeitraum zwischen Anlage und Aufgabe des Shunts.

#### 2.6. Statistische Analyse

Die Berechnung von Mittelwerten und Standardabweichungen sowie die grafische Darstellung der Ergebnisse erfolgte mit MS Excel 2007 (Microsoft, Richmond, USA) und mit JMP 5.01 (SAS Institute, USA). Die box-and-whisker Grafiken stellen mit der Box den Median sowie die 25% und die 75% Perzentile dar, die Whiskers reichen mit dem Anderthalbfachen des Interperzentilenabstands über die beiden Perzentilen hinaus.

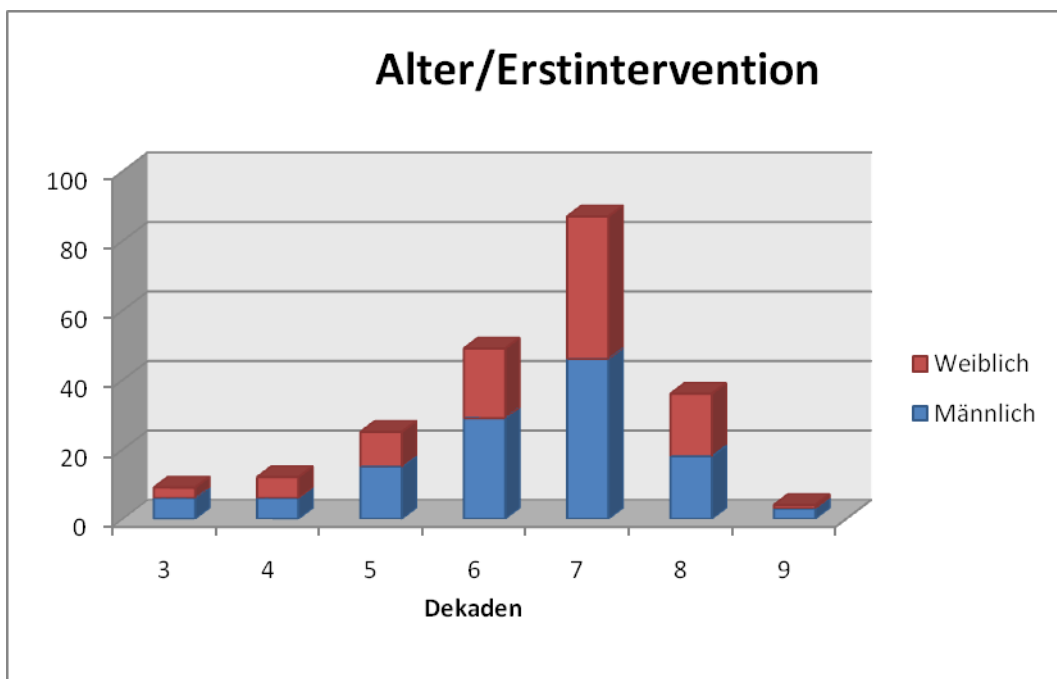
Die Berechnung von Kontingenztafeln und die Überprüfung statistischer Signifikanzen erfolgte mit der Software JMP 5.01 (SAS Institute, USA). Bei allen Tests wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von 5% zur Erkennung signifikanter Unterschiede zugrunde gelegt.



### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Patientenkollektiv

222 Patienten (123 Männer, 99 Frauen) erfüllten die Einschlusskriterien der Studie. Das Durchschnittsalter der Patienten bei Durchführung der ersten Shuntangiographie betrug im Mittel 68,7 Jahre (minimal 32, maximal 92 Jahre; Abbildung 3.1).



**Abbildung 3.1:** Alters- und Geschlechtsverteilung der Patientengruppe zum Zeitpunkt der ersten Shunt-Intervention

Die Patienten wiesen ein breites Spektrum an Grunderkrankungen als Ursache für die manifesten dialysepflichtigen Niereninsuffizienzen auf (Abbildung 3.2). Überwiegend lagen ein Diabetes mellitus, eine chronische Glomerulonephritis oder eine Hypertonie zugrunde. Aber auch medikamentöse Schädigungen oder genetische Erkrankungen wie die polyzystische Nephropathie waren mehrfach Auslöser einer chronischen Niereninsuffizienz. Bei zahlreichen Patienten blieb die Genese für die terminale Niereninsuffizienz allerdings unbekannt.



**Abbildung 3.2:** Anteilige Häufigkeit der renalen Erkrankungen als Ursachen für die dialysepflichtige Niereinsuffizienz

Bei 17 der 222 Patienten ergab die diagnostische Darstellung der Shunt-Gefäße mittels DSA keine relevante Stenose, so dass aufgrund fehlender Indikation eine dilatierende oder andere interventionell-therapeutische Maßnahme nicht durchgeführt wurde. Bei weiteren 25 Patienten war zwar eine relevante Stenose oder ein Gefäßverschluss nachweisbar und lokalisierbar, eine versuchte therapeutische Intervention führte jedoch nicht zu einer Verbesserung. Vier dieser Patienten hatten bereits chirurgische Vorbehandlungen an den insuffizienten Shunts.

Insgesamt konnte bei 180 der 222 Patienten eine interventionell-radiologische Behandlung primär technisch erfolgreich durchgeführt werden.

Der Nachbeobachtungszeitraum der 222 Patienten betrug im Mittel 485 Tage (Standardabweichung 344 Tage; Minimum 1 Tag, Maximum 1.263 Tage). Bei 42 Patienten (20%) wurde in dem Zeitraum wegen einer irreparablen Shunt Dysfunktion ein neuer Shunt angelegt. Bei 8 (3,6%) Patienten erfolgte eine Nierentransplantation, so dass der bis dahin regulär funktionierende Shunt nicht mehr benötigt wurde. 51 (23%) Patienten verstarben bei funktionierendem Shunt innerhalb des Zeitraums.

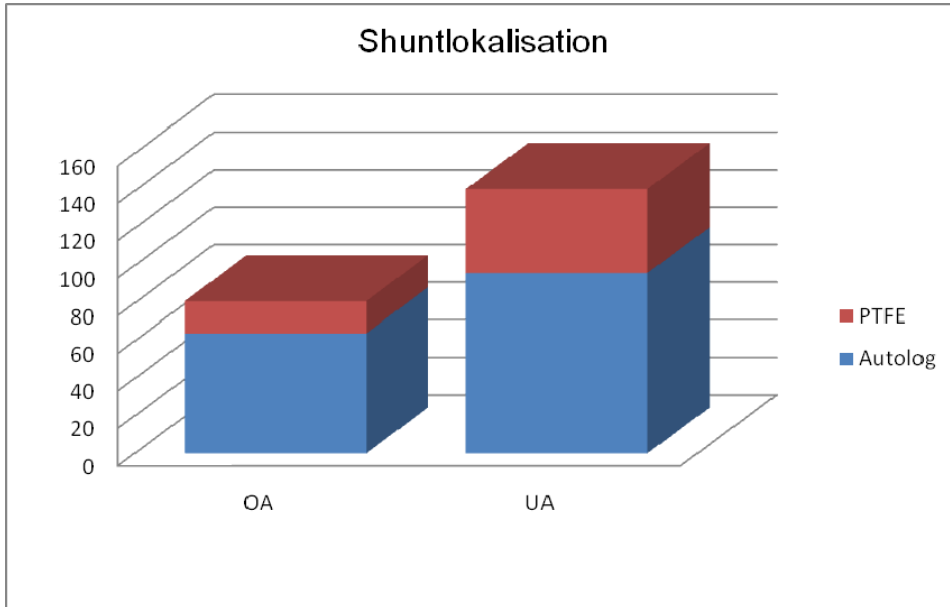
### **3.2. Shunts**

Alle operativen Shuntanlagen bzw. chirurgischen Revisionen erfolgten in der Chirurgischen Abteilung der Klinik am Eichert, Göppingen.

#### **3.2.1. Material, Form und Lokalisation**

160 (72,1%) der 222 behandelten Patienten wurden mittels autologen AV-Shunts dialysiert. Bei den übrigen 62 Patienten waren PTFE-Shunts implantiert, und zwar bei 58 Patienten in „Loop“- und bei 4 Patienten in „Straight“-Konfiguration.

In der Studiengruppe war knapp 2/3 der Dialyseshunt am Unterarm lokalisiert (Abbildung 3.3) mit deutlicher Bevorzugung des linken Unterarms (46,8%) im Vergleich zum rechten (16,7%). Auch die Oberarm-Shunts (36,5 %) lagen meist links.



**Abbildung 3.3:** Anzahl der behandelten autologen und PTFE-Shunts, die am Oberarm (OA) bzw. Unterarm (UA) lokalisiert waren.

### 3.2.2. Klinische Indikationen zur radiologischen Intervention

Die klinische Indikation wurde für jede der erfassten 459 radiologischen Shuntinterventionen anhand der vorliegenden Patientendokumente ermittelt (Tabelle 3.1). Bei wiederholten Interventionen an einem Dialysehunt konnten unterschiedliche Ursachen zugrunde liegen.

Die häufigsten klinischen Zeichen einer Shunt Dysfunktion, die zu einer angiographischen Abklärung und ggf. Behandlung führten, waren in 67,5 % der Fälle eine Flussproblematik (z.B. eine hohe Rezirkulation, eine dopplersonographisch ermittelte reduzierte Flussgeschwindigkeit oder pathologische Flussbeschleunigung), in 3,7% Armschwellung und Schmerzen, in 7,6% Punktionsprobleme und in 20,5 % eine ineffektive Dialyse. Bei einem Patienten war die Perfusion der oberen Extremität eingeschränkt, bei 2 Patienten lagen Shuntaneurysmen vor.

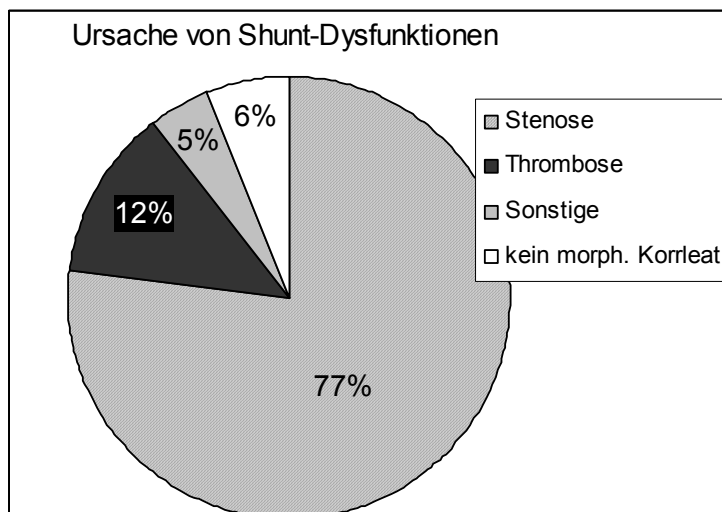
Klinische Indikation	Anzahl
Hohe Rezirkulation	202
Ineffektive Dialyse	94
Schlechter Fluss	101
Mehrmalige frustrane Shuntpunktion	35
Armschwellung und Schmerzen	17
Flussbeschleunigung im Doppler-Sono	7
Eingeschränkte Perfusion des Armes	1
Tastbare pulsierende Struktur	2

**Tabelle 3.1:** Klinischen Indikationen zur radiologischen Intervention (n=459)

### 3.2.3. Ursachen der Shundysfunktionen

Die DSA-Untersuchungen zeigten bei den 459 erfassten Shundysfunktionen am häufigsten Stenosen (n=353) oder thrombotische Verschlüsse (n=57) (Abbildung 3.4). Zu den sonstigen Ursachen (n=21) gehörten u. a. Shunt-Aneurysmen, multiple Kollateralgefäße und das so genannte Steal-Syndrom (Tabelle 3.2). Bei letzterem leidet der Patient an Schmerzen bei Belastung der Shunthand, in der weiteren Folge an Ruheschmerzen, sensiblen Ausfällen an der Hand und trophischen Störungen. Die Ursache liegt in einer Verminderung des Perfusionsdruckes durch eine Verschiebung des Druckgradienten distal der Anastomose zwischen Vene und Arterie. Aufgrund einer Umkehr der Flussrichtung des Blutes im Gefäßabschnitt peripher der A-V Fistel entwickelt sich eine Minderperfusion der betroffenen Hand. Das Steal-Syndrom trat gehäuft bei arteriovenösen-Shunts auf (5 bei AV-Shunts, 1 bei PTFE-Shunt), wobei 5 von 6 Patienten an Diabetes mellitus erkrankt waren.

28 Shunt-Darstellungen zeigten keine Stenose, keine hämodynamisch relevante Stenose oder ein anderes morphologisches Korrelat für die Shunt-Symptomatik.



**Abbildung 3.4:** Ursachen der Shuntstörungen (n=459)

Sonstige Ursache	Anzahl
Steal-Phänomen	6
Aneurysmen	1
multiple Kollateralgefäße	6
Stenose der V.cephalica durch eingebrachten PM	2
Knickstenose, Aneurysma	1
Ektasie des arteriellen und venösen Systems	1
Ektasie der A. brachialis	1
Kompression des Gefäßes von außen (Hämatom)	1
Bewegungsabhängige Abknickung der A. brachialis	2

**Tabelle 3.2:** Sonstige Ursachen der Shuntstörungen (n=21)

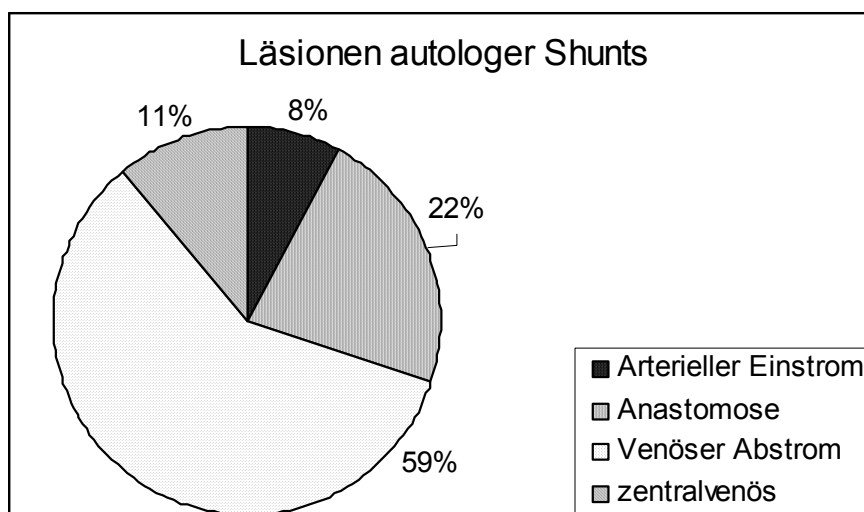
### 3.2.4. Lokalisation der detektierten Läsionen

Die 424 DSA-Untersuchungen mit Indikationen für eine radiologische Intervention zeigten insgesamt 756 relevante Läsionen.

Bei 178 (42%) der 424 Shunts lag nur eine relevante Läsion vor, bei weiteren 176 Shunts (42%) lagen simultan 2 relevante Läsionen vor, bei den übrigen 70 Shunts (17%) waren es 3 oder mehr simultane Läsionen.

Die Lokalisation der Läsionen, die zur Shundysfunktion führten, wurde folgenden anatomisch-funktionellen Abschnitten des Dialyseshunts zugeordnet: dem arteriellen Einstrom, dem Bereich der AV-Anastomose, dem venösen Abstrom sowie dem zentralvenösen Abfluss. Bei PTFE-Shunts wurden zusätzlich die Abschnitte der arteriellen Anastomose, des künstlichen Interponats selbst und der venösen Anastomose differenziert.

Bei den 160 behandelten autologen Shunts wurden 260 radiologische Interventionen an 381 Läsionen durchgeführt. Überwiegend waren diese Läsionen im venösen Abstrom lokalisiert (Abbildung 3.5).



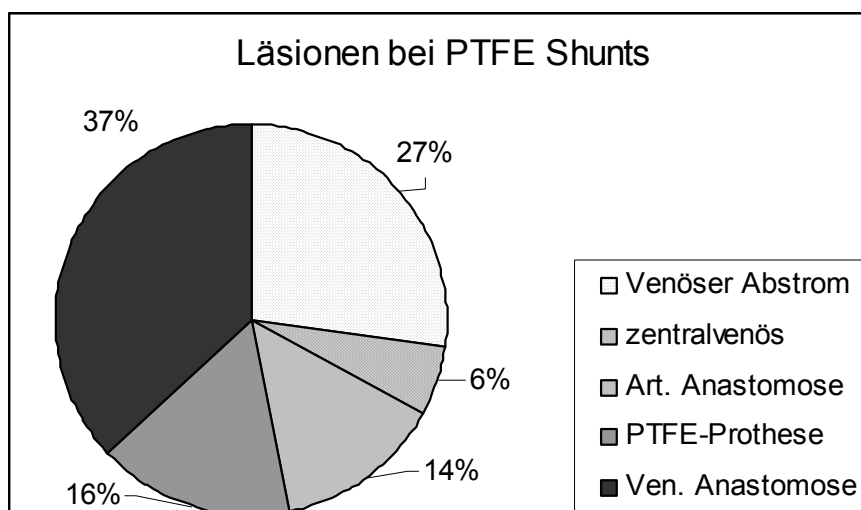
**Abbildung 3.5:** Lokalisation der Ursachen von Dysfunktionen bei autologen Shunts (n=381 Läsionen)

Als Ursache der Dysfunktionen lagen Stenosen in annähernd gleicher Häufigkeit bei Shunts am Oberarm und am Unterarm vor (Tabelle 3.3). Thrombotische Verschlüsse waren vergleichsweise selten.

Autologe Shunts	Oberarm		Unterarm		Summe
	Stenose	Thrombose	Stenose	Thrombose	
Summe Läsionen	135	12	213	12	372
Läsionen pro Shunt:	2,1	0,2	2,2	0,1	
Arterieller Einstrom	5	0	20	1	26
Anastomose	27	2	52	3	84
Venöser Abstrom	79	9	124	8	220
zentralvenös	24	1	17	0	42

**Tabelle 3.3:** Lokalisation und Art der Dysfunktionen bei autologen Shunts am Oberarm (n=64 Shunts) und am Unterarm (n=96 Shunts)

Bei den 62 behandelten PTFE-Shunts wurden 164 radiologische Interventionen an 375 Läsionen durchgeführt. Fast alle Läsionen waren in der Prothese bzw. deren Anastomosen und im venösen Abstrom lokalisiert (Abbildung 3.6).



**Abbildung 3.6:** Lokalisation der Ursachen von Dysfunktionen bei PTFE-Shunts (n=375 Läsionen)



Auch bei den PTFE-Shunts waren Stenosen die häufigste Ursache der Dysfunktion und thrombotische Verschlüsse deutlich seltener (Tabelle 3.4). Im Vergleich zu autologen Shunts traten Thrombosen jedoch ca. zehnmal häufiger, Stenosen ca. doppelt so häufig auf.

PTFE-Shunts	Oberarm		Unterarm		Summe
	Stenose	Thrombose	Stenose	Thrombose	
Summe Läsionen	93	27	165	80	365
Läsionen pro Shunt:	5,5	1,6	3,7	1,8	
Arterieller Einstrom	0	0	0	0	0
Anastomose	0	0	2	0	2
Venöser Abstrom	22	8	50	17	97
zentralvenös	16	2	3	0	21
Arterielle Anastomose	10	5	23	14	52
PTFE-Prothese	8	5	24	21	58
Venöse Anastomose	37	7	63	28	135

**Tabelle 3.4:** Lokalisation und Art der Dysfunktionen bei PTFE-Shunts am Oberarm (n=17 Shunts) und am Unterarm (n=45 Shunts)

### 3.2.5. Länge und Graduierung der Stenosen

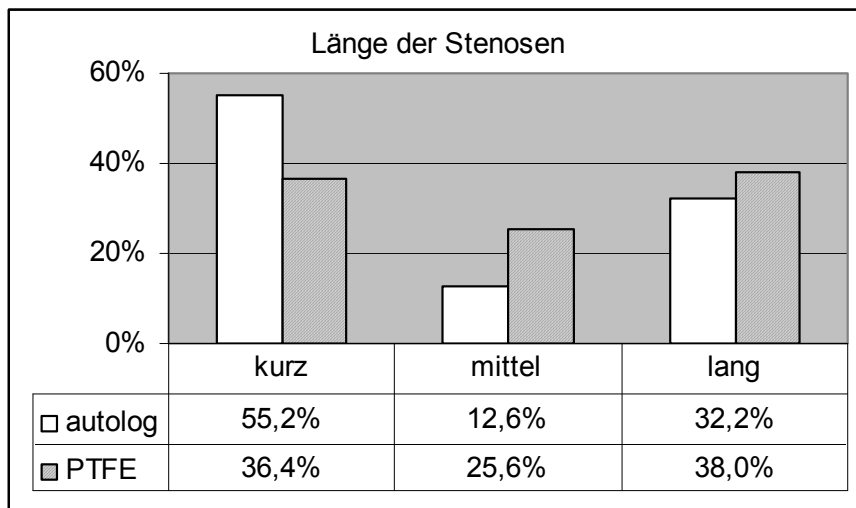
Bei Stenosen wurde die Länge in kurzstreckig (<4 cm), mittelstreckig (4-8cm) und langstreckig (>8cm) sowie die Graduierung in geringgradig (<30% Gefäßdurchmesser), mittelgradig (30-70%) und hochgradig (>70%) eingeteilt.

Die insgesamt 606 Stenosen waren überwiegend kurzstreckig (n=286; 47,2%) oder langstreckig (n=210; 34,7%) (Tabelle 3.5; Abbildung 3.7). Während Stenosen im Bereich des venösen Abstroms, zentralvenös und bei autologen Shunts an der AV-Anastomose deutlich vorwiegend kurzstreckig waren, dehnten sich Stenosen im PTFE-Shunt und an dessen arterieller Anastomose

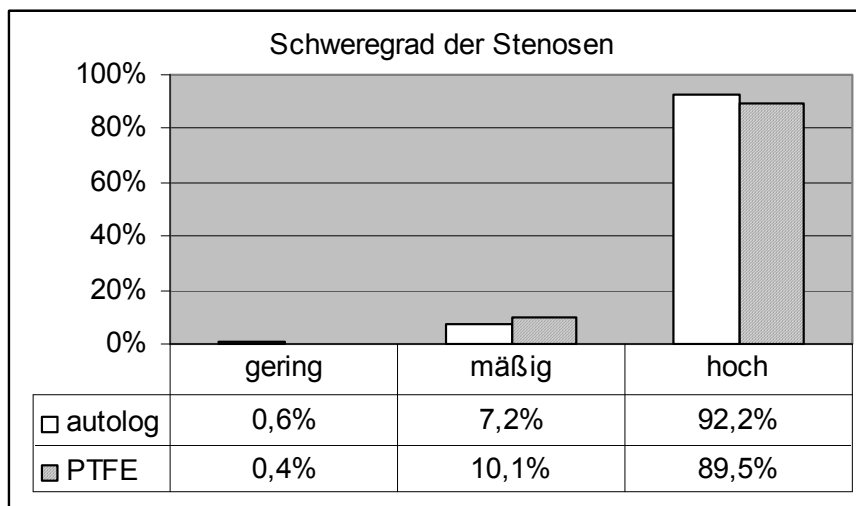
meist länger als 8 cm aus (Tabelle 3.5). Mittelstreckige Stenosen fanden sich 110 Mal (18,2%). Sowohl bei autologen als auch bei PTFE-Shunts wurde der Stenosegrad meist als hochgradig, bisweilen als mittelgradig und nur in Ausnahmefällen als geringgradig eingestuft (Tabelle 3.5; Abbildung 3.8).

<b>Lokalisation</b>	<b>Länge kurz (&lt;4 cm)</b>	<b>Länge mittel (4-8 cm)</b>	<b>Länge lang (&gt;8 cm)</b>	<b>Graduierung gering (&lt;30%)</b>	<b>Graduierung mittel (30%-70%)</b>	<b>Graduierung hoch (&gt;70%)</b>
Arterieller Einstrom	5	6	14	0	1	24
AV-Anastomose	50	9	22	1	6	74
Venöser Abstrom	149	42	84	2	25	248
Zentralvenös	27	16	17	0	2	58
Arterielle Anastomose	8	8	17	0	5	28
Künstliches Interponat	7	6	19	0	5	27
Venöse Anastomose	40	23	37	0	7	93

**Tabelle 3.5:** Länge und Graduierung der 606 Stenosen aufgegliedert nach der Lokalisation



**Abbildung 3.7:** Prozentuale Häufigkeit der Stenose-Längen bei autologen und PTFE-Shunts

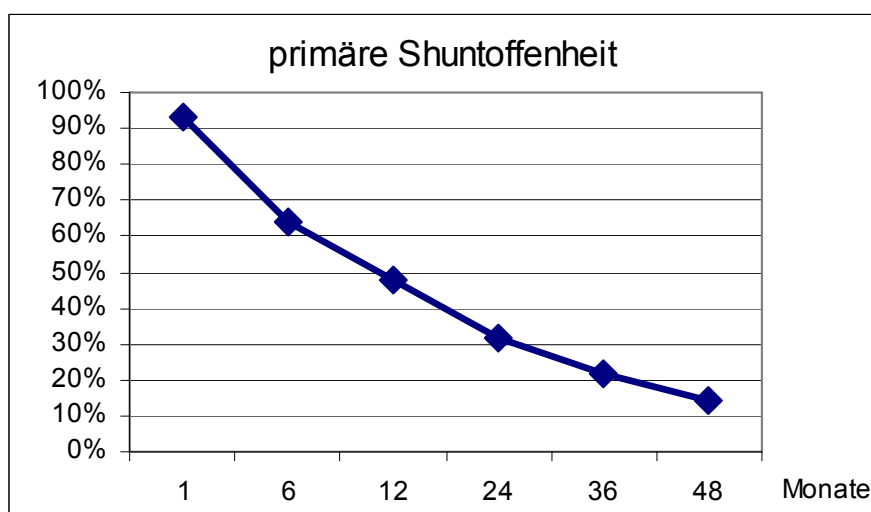


**Abbildung 3.8:** Prozentuale Häufigkeit der Stenose-Schweregrade bei autologen und PTFE-Shunts

### 3.3. Primäre Shunt-Offenheit

Die primäre Shunt-Offenheit bezeichnet den Zeitraum der ununterbrochenen Offenheit des Hämodialysehunts von der Anlage bis zur ersten chirurgischen oder radiologischen Intervention.

Bei 52% der 205 Patienten mit interventionspflichtiger Shunt Dysfunktion trat diese innerhalb der ersten 12 Monate nach Shunt-Anlage ein, bei 78% innerhalb der ersten 1,5 Jahre (Abbildung 3.9). Die primäre Shunt-Offenheit betrug im Median 299 Tage bei autologen Shunts (n=145) und 374 Tage bei PTFE-Shunts (n=60). Die 75% Quantile war bei den autologen Shunts nach 1.090 Tagen (ca. 3 Jahren), bei den PTFE-Shunts nach 782 Tagen (ca. 2 Jahren) erreicht. Der Unterschied der primären Shunt-Offenheit der beiden Shunt-Typen (Tabelle 3.6) ist jedoch statistisch nicht signifikant.



**Abbildung 3.9:** Primäre Shunt-Offenheit der 205 Patienten mit interventionspflichtiger Shuntinsuffizienz

	<b>Autolog</b>	<b>PTFE</b>
1 Monat	94,4%	89,7%
6 Monate	63,4%	65,5%
12 Monate	46,5%	51,7%
24 Monate	32,4%	29,3%
36 Monate	24,6%	13,8%
48 Monate	16,2%	10,3%

**Tabelle 3.6:** Primäre Shunt-Offenheit der autologen und PTFE-Shunts

### **3.4. Shunt-Intervention**

Bei den 222 Patienten der Studiengruppe wurden 459 DSA-Untersuchungen wegen einer klinischen Shunt Dysfunktion durchgeführt. Von diesen zeigten 28 Untersuchungen keine relevante Stenose. Weitere 7 Untersuchungen wurden gezielt zur Diagnostik bei symptomatischen Steal-Phänomenen zur Abschätzung des therapeutischen Effekts einer Shunt-Venenligatur oder einer Shunt-Reduktion oder mit anderen diagnostischen Fragestellungen durchgeführt. Somit führten die verbleibenden 424 DSA-Untersuchungen bei 205 Patienten zu einer unmittelbar anschließenden endovaskulären Intervention. Bei diesen Patienten wurden im Beobachtungszeitraum zusätzlich 151 gefäßchirurgische Eingriffe und somit insgesamt 610 interventionelle Gefäßbehandlungen durchgeführt.

Pro Jahr waren durchschnittlich 2,10 Shuntbehandlungen erforderlich, davon 1,64 endovaskuläre Interventionen. PTFE-Shunts mussten durchschnittlich 2,65 Mal (endovaskulär 1,82 Mal), autologe Shunts dagegen nur 1,81 Mal (endovaskulär 1,54 Mal) pro Jahr behandelt werden.

Bei 187 Patienten erfolgte als erste therapeutische Maßnahme eine radiologische Intervention, bei den übrigen 18 Patienten eine gefäßchirurgische operative Maßnahme.

#### **3.4.1. Gefäßchirurgische Shunt-Interventionen**

Gefäßchirurgische Eingriffe erfolgten zusätzlich zu radiologisch-endovaskulären Behandlungen bei 74 (36%) der 205 behandelten Patienten. Bei 19 dieser Patienten war ein solcher Eingriff die erste interventionelle Maßnahme an einem insuffizienten Shunt, bei weiteren 16 Patienten war es die erste interventionelle Maßnahme nach erfolglosem PTA-Versuch als Initialtherapie. Bei 58 Patienten kam ein chirurgischer Eingriff als Sekundärmaßnahme bei Rezidiv-Insuffizienzen zur Anwendung.

26 chirurgische Maßnahmen erfolgten innerhalb eines 2 Wochen Intervalls nach erfolgreicher PTA. In diesen Fällen handelte es sich um kurzfristig rezidierte thrombotische Shuntverschlüsse.

Bei 74 (36%) der 205 behandelten Patienten war im Beobachtungszeitraum lediglich eine therapeutische Intervention erforderlich, 31 Patienten (15%) benötigten 5 oder mehr Behandlungen (Tabelle 3.10).

### 3.4.2. Radiologische endovaskuläre Shunt-Interventionen

Bei 186 Patienten (91%) war die endovaskuläre Intervention der erste Eingriff an einem insuffizienten Shunt. 131 (64%) der 205 Patienten mit interventionspflichtigen Shuntläsionen wurden im Beobachtungszeitraum auch bei eventuellen Rezidiven der Shuntinsuffizienz ausschließlich radiologisch endovaskulär behandelt, die übrigen in Verbindung mit operativen Prozeduren.

Entsprechend den Befunden der vorgeschalteten diagnostischen DSA wurden autologe Shunts insgesamt 260 Mal und PTFE-Shunts 164 Mal einer radiologischen Behandlung unterzogen. Bei PTFE-Shunts erfolgte somit eine Intervention ca. anderthalb Mal häufiger als bei autologen Shunts (Tabelle 3.7).

Shunttyp	Interventionshäufigkeit	
	endovaskulär	endovaskulär und chirurgisch
Autologe Shunts (n=145)	1,79	2,28
PTFE-Shunts (n=60)	2,73	4,08

**Tabelle 3.7:** Durchschnittliche Anzahl der Interventionen bei endovaskulär und fallweise zusätzlich gefäßchirurgisch behandelten Dialyse-Shunts.

98 (48%) der 205 behandelten Patienten erhielten im Beobachtungszeitraum nur eine endovaskuläre Behandlung, bei 12 (6%) Patienten wurden im Verlauf 5 oder mehr radiologische Behandlungen durchgeführt (Tabelle 3.8).

Anzahl der Interventionen pro Patient	Behandlungsmethode	
	endovaskulär	endovaskulär oder chirurgisch
1	98	74
2	53	46
3	26	36
4	16	20
5	4	13
6	3	2
7	2	4
8	1	4
9	2	2
10	0	3
11	0	1
12	0	1
13	0	1

**Tabelle 3.8:** Anzahl der Patienten, bei denen im Beobachtungszeitraum eine oder mehrfache interventionelle Behandlungen des Dialyseshunt durchgeföhrt wurden.

Bei 9 Patienten wurde im Rahmen der endovaskulären Behandlung jeweils ein Stent implantiert (4 bei autologen Shunts, 5 bei PTFE Shunts). Bei 2 dieser Patienten wurde der Stent während der ersten PTA implantiert, bei den übrigen bei der zweiten bis sechsten PTA.

### 3.4.3. Komplikationen bei radiologischen Shunt-Interventionen

Komplikationen sind bei 13 endovaskulären Interventionen dokumentiert (Tabelle 3.9).

Bei 8 Patienten kam es zu Minor-Komplikationen in Form eines Pseudoaneurysmas (n=2), einer Paravasatbildung (n=4), eines Hämatoms (n=1), eines Spasmus der A. radialis (n=1). In diesen Fällen normalisierte sich die Symptomatik ohne spezifische Therapie.

Bei 5 Patienten wurden Major-Komplikationen dokumentiert. Hierzu zählten eine Thrombus-Embolie der A. radialis (n=1), ein Verschluss der A. radialis (n=1), eine Gefäßdissektion (n=2), eine langstreckige komplette Thrombosierung des venösen Shuntschenkels (n=1). Die thrombotische Embolie der A. radialis konnte umgehend radiologisch endovaskulär mit rt-PA vollständig lysiert werden. Alle anderen Fälle führten mit Hilfe chirurgischer Maßnahmen zur vollständigen Restitution.

Die Komplikationsrate bei den beobachteten 424 endovaskulären Shuntbehandlungen lag damit insgesamt bei 3,07% (autologe Shunts: 3,85%; PTFE-Shunts: 1,83%), für Minor-Komplikationen bei 1,89% (autologe Shunts: 2,69%; PTFE-Shunts: 0,61%) und für Major-Komplikationen bei 1,18% (autologe Shunts: 1,15%; PTFE-Shunts: 1,22%).

Shunttyp	Major	Minor
Autolog	3	7
PTFE	2	1

**Tabelle 3.9:** Anzahl der Komplikationen bei 424 endovaskulären Shuntbehandlungen (260 bei autologen Shunts, 164 bei PTFE-Shunts).



### 3.4.4. Technische Erfolgsrate

377 (88,9%) der 424 indizierten endovaskulären Shuntbehandlungen bei 180 von 205 Patienten waren technisch durchführbar. Nur bei 8 (2,1%) Behandlungen (5 thrombotischen Verschlüssen und 3 langstreckigen, hochgradigen Stenosen) verblieb ein relevanter Restbefund (Tabelle 3.10). Die übrigen 97,9% Behandlungen führten zu einer vollständigen Befundnormalisierung (n=269, 71,4%) oder zu einer Besserung mit hämodynamisch nicht relevantem Restbefund (n=100; 26,5%).

Indikation	Radiologische Behandlungsmethoden					
	PTA			PTA + Stent		
	Ohne Reststenose	Rest-stenose	Ohne Erfolg	Ohne Reststenose	Rest-stenose	Ohne Erfolg
<b>Autolog</b>						
Einfachstenose	84	26	3	0	1	0
Mehrfachstenose	65	34	0	3	0	0
Verschlüsse	3	4	2	0	0	0
<b>PTFE</b>						
Einfachstenose	20	5	0	0	0	0
Mehrfachstenose	71	22	0	4	1	0
Verschlüsse	19	12	3	0	0	0

**Tabelle 3.10:** Technisches Resultat der endovaskulär-interventionellen Shuntbehandlungen

Bei 47 (11,1%) der 424 therapiepflichtigen Shuntsituationen konnte aus technischen Gründen eine endovaskuläre Shuntbehandlung nicht wie vorgesehen durchgeführt werden. In 34 Fällen handelte es sich um hochgradige, meist langstreckige (n=25) Stenosen mit oder ohne

thrombotischen Verschluss, bei denen eine Rekanalisation nicht gelang. In den übrigen Fällen fanden sich pathologische Situationen, die den Mitteln einer endovaskulären Behandlung nicht zugänglich waren (Steal-Phänomen, multiple Kollateralen, venöse Stenosen durch Schrittmacher-Kabel, Aneurysmata und externe Gefäßkompression).

### 3.5. Klinische Erfolgsrate

366 (97,1%) der 377 vollständigen endovaskulären Shuntbehandlungen führten zu einer klinisch relevanten Verbesserung der Shuntfunktion, so dass unmittelbar nach der Behandlung eine reguläre Hämodialyse durchgeführt werden konnte (Tabelle 3.11). Bei den übrigen 11 endovaskulären Maßnahmen, von denen 8 bereits angiographisch eine relevante Restläsion zeigten, blieb die reduzierte Shuntfunktion unverändert. Eine Verschlechterung infolge einer endovaskulären Intervention trat nicht auf.

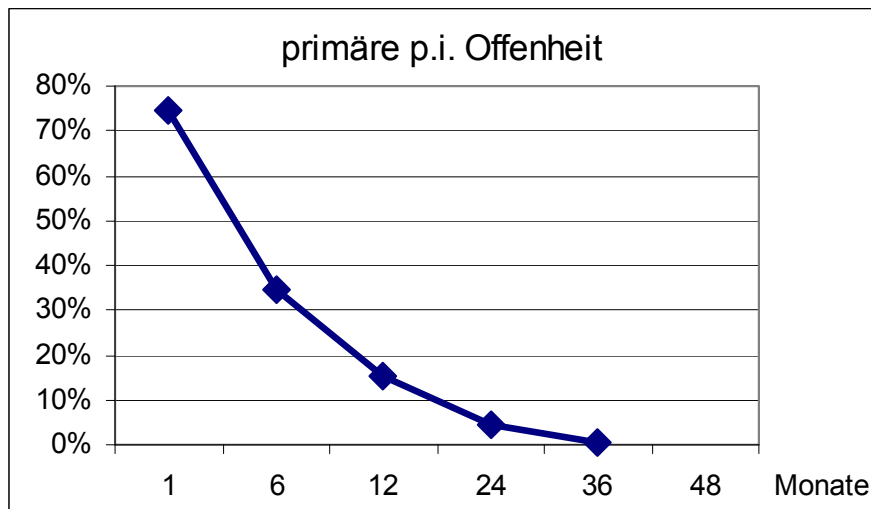
Angiographisch		Klinisch	
		unverändert	Besserung/Normalisierung
Stenose oder Thrombose	Normalisierung	1	268
	Besserung	2	98
	persistierende Läsion	8	0
	Summe	11	366

**Tabelle 3.11:** Angiographischer und klinischer Erfolg der 377 technisch durchführbaren endovaskulären Shuntbehandlungen.

### 3.6. Primäre postinterventionelle Offenheit

Die primäre postinterventionelle Offenheit konnte bei 522 der 610 Gefäßinterventionen (198 Patienten) bzw. 375 der 424 radiologischen endovaskulären Interventionen (123 Patienten) bestimmt werden. Der überwiegende Anteil der 522 Offenheitsperioden war durch erneute therapiepflichtige Shuntläsionen begrenzt (66,4% der radiologischen, 70,3% aller Interventionen), der übrige Anteil bei funktionierendem Shunt infolge Erreichen des Stichtags (22,4% bzw. 19,5% der radiologischen bzw. aller Interventionen), einer Nierentransplantation (1,3% bzw. 1,1%) oder des Versterbens des Patienten (9,9% bzw. 9,0%).

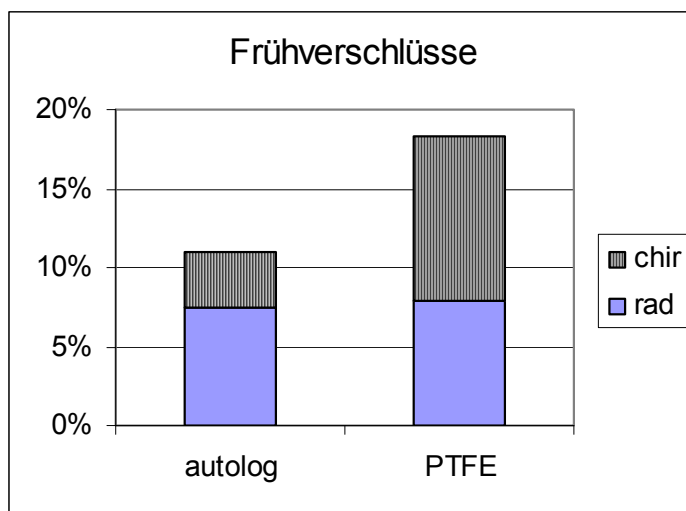
Nach 6 Monaten war die primäre postinterventionelle Offenheitsperiode bei 65,3% der Shuntbehandlungen beendet, nach 12 Monaten waren es bereits 84,9% (Abbildung 3.10).



**Abbildung 3.10:** Primäre postinterventionelle Offenheit bei 522 chirurgischen oder radiologischen Interventionen

### 3.6.1. Frühverschlüsse

Nach Haage et al. gilt ein erneuter Shuntverschluss innerhalb von sieben Tagen nach erfolgter Intervention als Frühverschluss [25,26]. Im Beobachtungszeitraum traten bei 74 (14,2%) der 522 Interventionen Frühverschlüsse auf. Diese beinhalten 40 (10,7%) der 375 radiologisch-endovaskulären und 34 (23,1%) der 147 chirurgischen Interventionen. PTFE-Shunts waren mit 42 (18,3%) von 230 Interventionen gegenüber autologen Shunts (32 von 292; 11,0%) deutlich häufiger betroffen, insbesondere bei chirurgischen Interventionen (Abbildung 3.11).

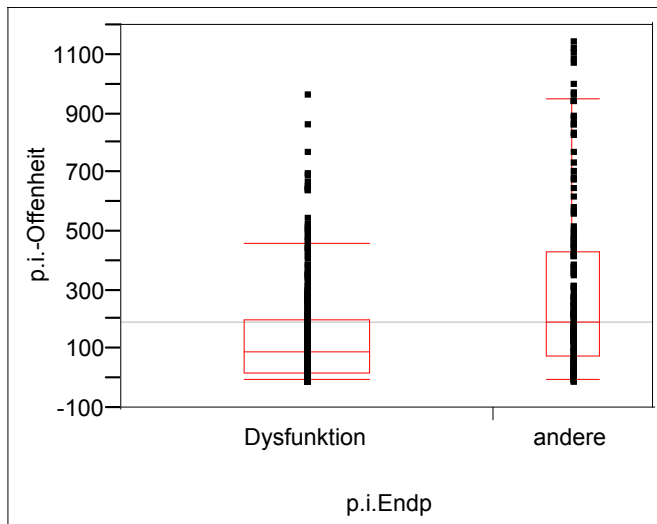


**Abbildung 3.11:** Rate der Frühverschlüsse bei autologen und PTFE-Shunts nach chirurgischer (chir) oder radiologischer (rad) Intervention

### 3.6.2. Einfluss Endpunkt

Die primäre Offenheitsperiode für Rezidive einer Shunt Dysfunktion (Shuntneuanlage, Re-Intervention) war signifikant ( $p < 0,0001$ ) kürzer als für andere Endpunkte der Offenheit (Stichtag erreicht, Nierentransplantation, Patient verstorben) (Abbildung 3.12). Radiologische Interventionen, bei denen

es zu einer erneuten Shunt Dysfunktion kam, erreichten eine mediane Offenheit von 92 Tagen (Tabelle 3.12).



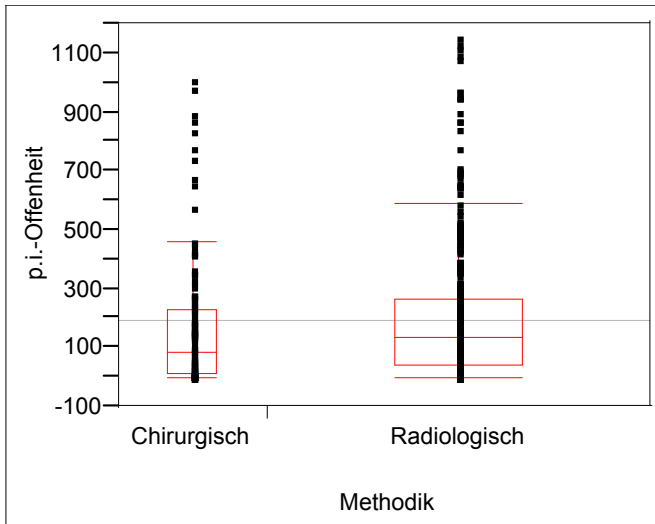
**Abbildung 3.12:** Offenheit in Tagen für alle Shuntinterventionen in Abhängigkeit vom Endpunkt der Offenheitsperiode

Quantil	10%	25%	<b>Median</b>	75%	90%	Maximum
Tage	4	17	<b>92</b>	197	354,2	973

**Tabelle 3.12:** Primäre postinterventionelle Offenheit: Intervall bis zur folgenden Re-Intervention nach endovaskulärer Shuntbehandlung.

### 3.6.3. Einfluss Behandlungsmethode

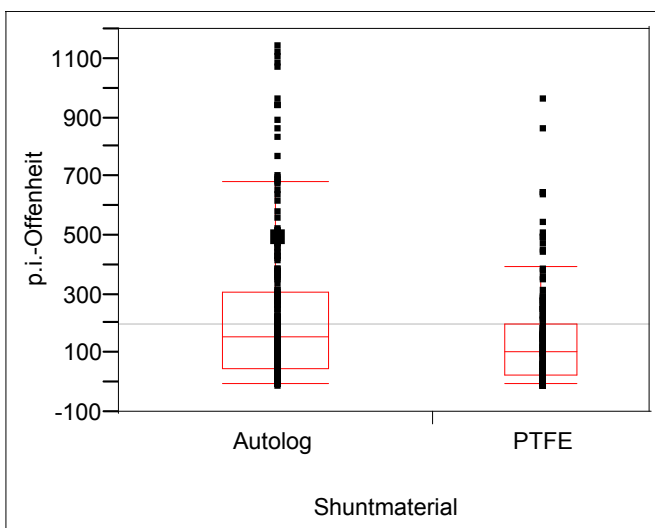
Die primäre Offenheit nach chirurgischen Behandlungen war zwar etwas kürzer als nach endovaskulärer Behandlung (Abbildung 3.13). Der Median für chirurgische Interventionen betrug 86 Tage, der für radiologische Interventionen 133 Tage. Der Unterschied ist jedoch statistisch nicht signifikant ( $p=0,083$ ).



**Abbildung 3.13:** Primäre Offenheit in Tagen nach chirurgischer und radiologisch-endovaskulärer Intervention.

### 3.6.4. Einfluss Shuntmaterial

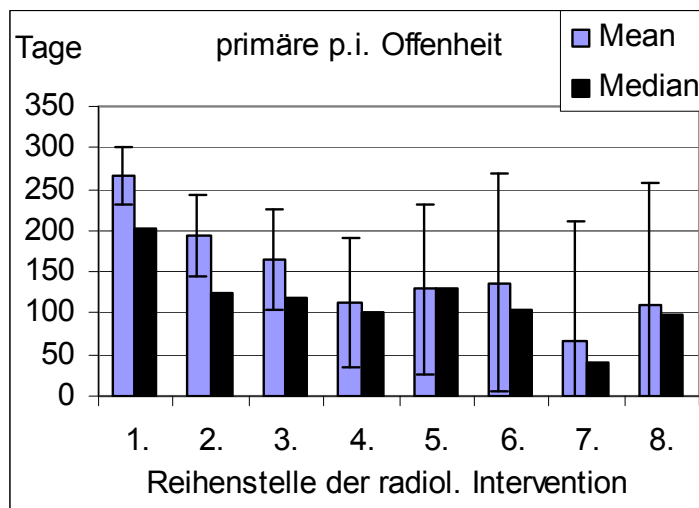
PTFE-Shunts wiesen im Vergleich zu autologen Shunts eine signifikant kürzere primäre Offenheit auf ( $p < 0,0001$ ) (Abbildung 3.14). Radiologische Interventionen erreichten bei PTFE-Shunts eine mediane Offenheit von 109 Tagen, bei autologen Shunts von 143 Tagen.



**Abbildung 3.14:** Primäre Offenheit in Tagen radiologisch-endovaskulärer Intervention bei autologen und PTFE-Shunts.

### 3.6.5. Einfluss Vorbehandlungen

Die Anzahl von Vorbehandlungen hatte ebenfalls einen statistisch signifikanten Einfluss auf die primäre Offenheit ( $p < 0,0001$ ). Dies galt sowohl für die Betrachtung aller Interventionen als auch gesondert für die radiologisch-endovaskulären Interventionen (Abbildung 3.15): wenn die endovaskuläre Intervention die erste Behandlung eines Dialyseshunters war, betrug die primäre Offenheit im Median 202 Tage. Sie sank dann jedoch auf 124, 118 bzw. 102 Tage, wenn der Intervention bereits 1, 2 bzw. 3 Interventionen vorausgingen und auf unter 100 Tage für die 7. und folgende Interventionen.

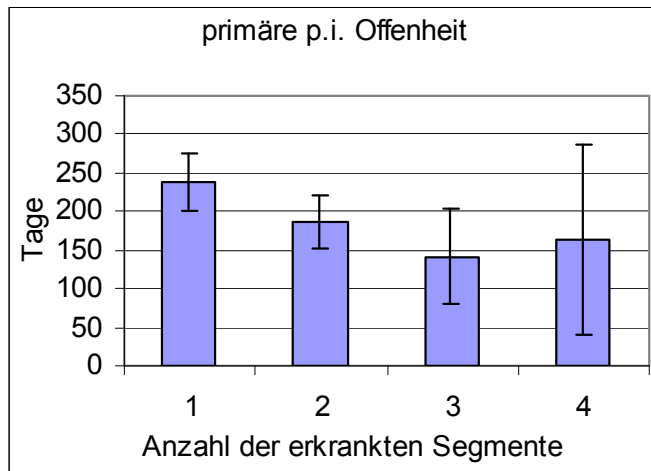


**Abbildung 3.15:** Primäre Offenheit radiologisch-endovaskulärer Interventionen in Abhängigkeit von der Anzahl der Voruntersuchungen (blaue Säulen: Median und 95% Konfidenzintervall).

### 3.6.6. Einfluss Anzahl der betroffenen Segmente

Die Anzahl der pathologisch veränderten Shuntsegmente hatte ebenfalls einen signifikanten Einfluss auf die primäre Offenheit ( $p = 0,0086$ ) (Abbildung 3.16). Die Offenheit lag im Median bei 154 Tagen nach einer endovaskulären

Behandlung einer Ein-Segment-Erkrankung, während bei Erkrankung mehrerer Segmente die mediane Offenheit auf 124 Tage reduziert war.

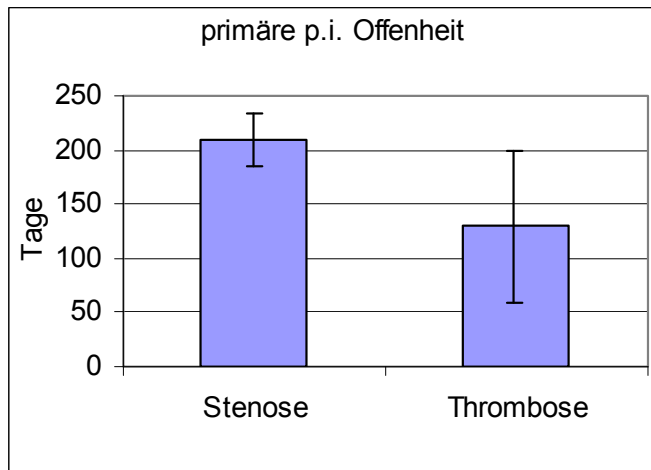


**Abbildung 3.16:** Primäre Offenheit radiologisch-endovaskulärer Interventionen in Abhängigkeit von der Anzahl der pathologisch veränderten Shuntsegmente (Mittelwert und 95% Konfidenzintervall).

### 3.6.7. Einfluss Ursache der Dysfunktion

Die mediane Offenheit nach endovaskulärer Interventionen wegen einer Shunt-Stenose war mit 142 Tagen zwar deutlich länger als bei Shunt-Thrombosen (39 Tage) (Abbildung 3.17). Insgesamt waren die Unterschied jedoch nur schwach signifikant ( $p=0,0358$ ).

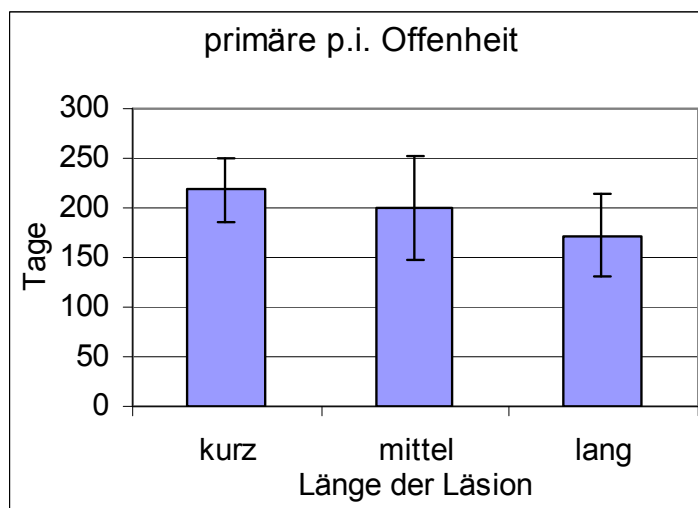




**Abbildung 3.17:** Primäre Offenheit radiologisch-endovaskulärer Interventionen zur Behandlung von Stenosen und Thrombosen als Ursache der Shunt dysfunktion (Mittelwert und 95% Konfidenzintervall).

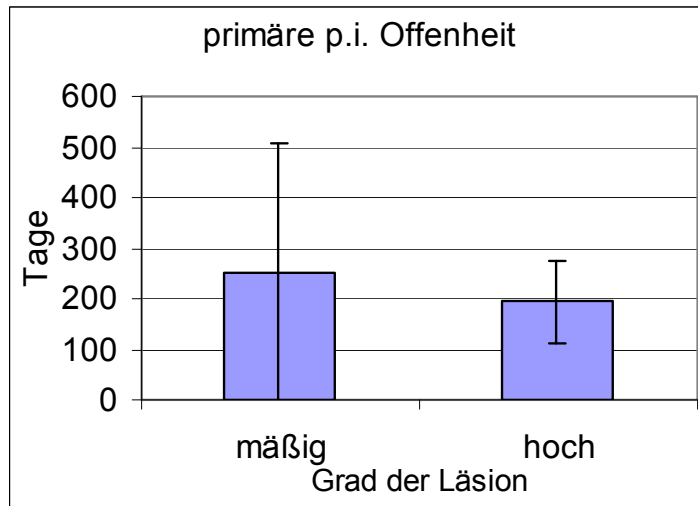
### 3.6.8. Einfluss Länge und Grad der Shuntläsionen

Die mediane Offenheit war bei kurzen Läsionen mit 156 Tagen zwar länger als die von mittleren (133 Tage) oder langen Stenosen (123 Tage) (Abbildung 3.18), die Unterschiede waren jedoch nicht statistisch signifikant ( $p=0,2279$ ).



**Abbildung 3.18:** Primäre Offenheit radiologisch-endovaskulärer Interventionen in Abhängigkeit von der Länge der Läsion (Mittelwert und 95% Konfidenzintervall).

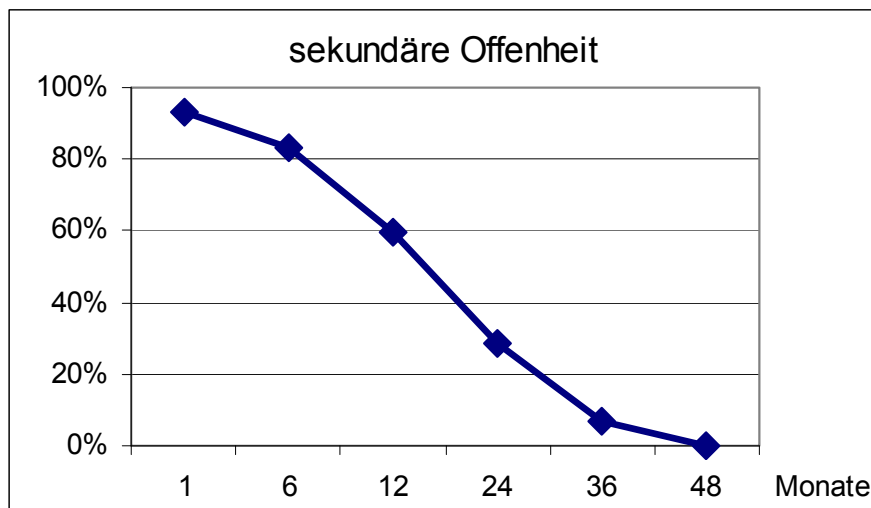
Auch die Unterschiede der primären Offenheit von hochgradigen Läsionen (Median 132 Tage) und mäßiggradigen Stenosen (Median 162 Tage) (Abbildung 3.19) war nur schwach statistisch signifikant ( $p=0,0246$ ).



**Abbildung 3.19:** Primäre Offenheit radiologisch-endovaskulärer Interventionen in Abhängigkeit von der Ausprägung der Stenose (Mittelwert und 95% Konfidenzintervall).

### 3.7. Sekundäre Offenheit

Die sekundäre Offenheit, also die Periode zwischen der ersten Behandlung einer Shunt Dysfunktion bis zum endgültigen Funktionsende des Shunts bzw. Vollendung des Nachbeobachtungszeitraums, konnte bei 180 Patienten mit technisch erfolgreichen endovaskulären Interventionen gemessen werden. 1 Jahr nach der ersten Shuntbehandlung und eventuellen weiteren Behandlungen waren 60% der Shunts funktionsfähig, nach 2 Jahren waren es noch 28% (Abbildung 3.20).



**Abbildung 3.20:** Sekundäre postinterventionelle Offenheit bei 180 Patienten mit technisch erfolgreichen Shunt-Interventionen

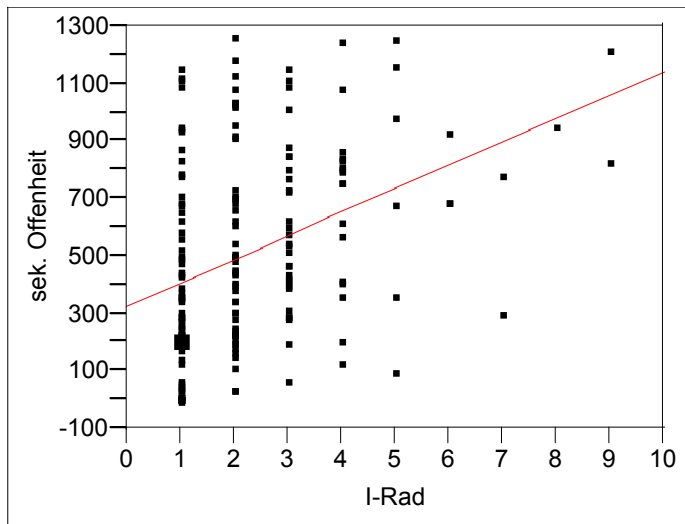
Die mediane sekundäre Offenheit betrug bei autologen Shunts 417 Tage (13,7 Monate), bei PTFE-Shunts 513 Tage (16,9 Monate). Die Unterschiede zwischen den beiden Shunt-Typen (Tabelle 3.13) waren jedoch statistisch nicht signifikant ( $p=0,1084$ ).

	Autolog	PTFE
1 Monat	91,8%	97,6%
6 Monate	79,5%	95,6%
12 Monate	52,5%	70,7%
24 Monate	22,1%	29,3%
36 Monate	8,2%	7,3%

**Tabelle 3.13:** Sekundäre Offenheitsrate in Abhängigkeit vom Shunttyp

Die Anzahl der Interventionen, die zum Erhalt der Shuntfunktion erforderlich war, korreliert signifikant mit der sekundären Offenheit ( $p>0,0001$ ), unabhängig

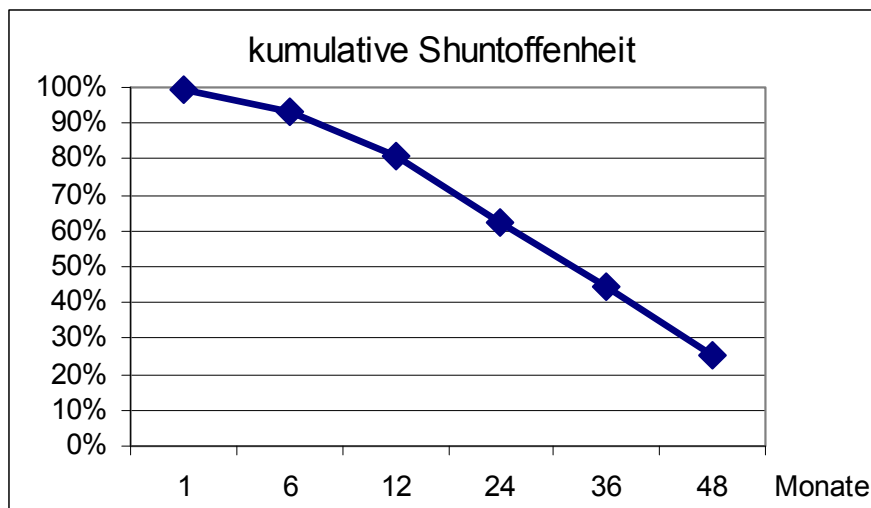
ob nur die radiologischen Interventionen (Abbildung 3.21) oder zusätzlich auch die chirurgischen Interventionen berücksichtigt werden.



**Abbildung 3.21:** Sekundäre Offenheitsrate in Abhängigkeit von der Anzahl der pro Shunt durchgeführten radiologischen Interventionen (i-Rad).

### 3.8. Kumulative Shunt-Offenheit

163 der 205 behandelten Patienten erreichten das Beobachtungsende mit funktionsfähigem Shunt, bei 63 Patienten war der Shunt bei Beobachtungsende irreparabel funktionsuntüchtig, so dass ein neuer Shunt angelegt werden musste. Bei 19% der 205 Patienten war das Beobachtungsende innerhalb von 12 Monaten nach Shuntanlage erreicht, bei 56% der Patienten innerhalb von 1,5 Jahren (Abbildung 3.22). Die kumulative Shunt-Offenheit betrug im Median 889 Tage (2,4 Jahre) bei autologen Shunts (n=145) und 1.042 Tage (2,9 Jahre) bei PTFE-Shunts (n=60). Die 75% Quantile war bei den autologen Shunts nach 1.562 Tagen (4,3 Jahren), bei den PTFE-Shunts nach 1.322 Tagen (3,6 Jahren) erreicht. Im Vergleich der beiden Shunt-Typen wies die kumulative Shunt-Offenheit insgesamt jedoch keinen signifikanten Unterschied auf ( $p=0,9254$ ) (Tabelle 3.14).

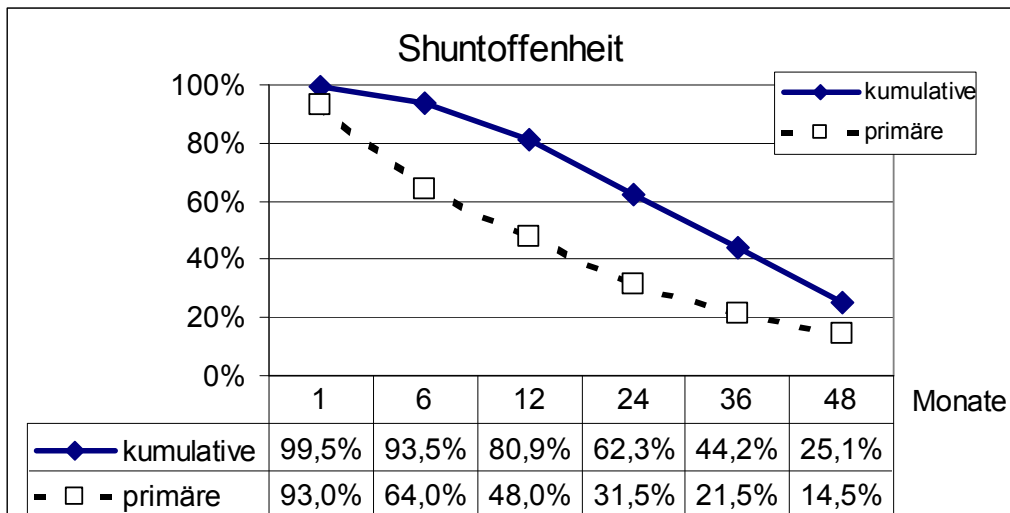


**Abbildung 3.22:** Kumulative Shunt-Offenheit der 205 Patienten

	<b>Autolog</b>	<b>PTFE</b>
1 Monat	99,3%	100,0%
6 Monate	93,6%	93,1%
12 Monate	79,4%	84,5%
24 Monate	60,3%	67,2%
36 Monate	44,7%	43,1%
48 Monate	27,0%	20,7%

**Tabelle 3.14:** Kumulative Shunt-Offenheit der autologen und PTFE-Shunts

Mit Hilfe der interventionellen Behandlungen konnte über die gesamt beobachtete Zeitspanne von maximal 4 Jahren die Funktionsdauer der Dialysehunts im Durchschnitt um das 5fache verlängert werden (95% Vertrauensbereich: Faktor 6,2 bis Faktor 3,7). Während die primäre Shunt-Offenheitsrate nach 1 Jahr nur 48% betrug, lag die kumulative Offenheitsrate bei 80% (Abbildung 3.23). Somit lag die kumulative Offenheitsrate ca. doppelt so hoch wie die primäre Shunt-Offenheit.



**Abbildung 3.23:** Vergleich der primären und der kumulativen Offenheitsraten

## **4. Diskussion**

Bei ca. 2/3 der dialysepflichtigen Patienten ist der Verlauf unkompliziert, d. h. die Dialyse-Shunts bieten bei regulärer Nutzung eine ausreichende Funktion [15]. Bei 1/3 der Patienten kommt es jedoch zu interventionspflichtigen Funktionsstörungen. Eine Shunt-dysfunktion stellt nämlich für Patienten mit dialysepflichtiger Niereninsuffizienz eine ernsthafte Komplikation dar. Die endovaskulär-interventionelle Behandlung insuffizienter Hämodialyseshuntis mittels PTA hat in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung gewonnen. Die PTA hat das Ziel, die Funktionsdauer solcher problematischer Hämodialyseshuntis zu verlängern oder zumindest die Notwendigkeit einer chirurgischen Shuntrevision bzw. Neuanlage hinauszögern.

### **4.1. Chirurgische vs. endovaskuläre Behandlung**

Gefäßchirurgische Verfahren sind nicht nur zur Neuanlage von Hämodialyseshuntis etabliert, sondern ermöglichen auch die Beseitigung von Ursachen einer im Verlauf auftretenden Funktionsstörung des Shunts. Mit Ausnahme der alleinigen Thrombektomie und der Patchplastik sind chirurgische Eingriffe allerdings mit dem Verlust von Shunt- oder Venenstrecke verbunden. Zudem wird der Shunt bei einem solchen Eingriff nach proximal verlagert, so dass die Möglichkeit für eine spätere Neuanlage eines Gefäßzugangs an dieser Extremität verringert wird. Nach Thrombektomie mit oder ohne Neuanastomosierung der Shuntgefäße kommt es häufig zur Rethrombosierung. Aus diesem Grund sollte die Dialysebehandlung während der akuten postoperativen Phase (ca. 8 bis 10 Tage) mittels Venenkatheter durchgeführt werden [7].

Im Vergleich zur chirurgischen Behandlung hat die endovaskuläre Intervention die Vorteile des minimal-invasiven, weniger traumatisierenden Vorgehens und der sofortigen Dialysierbarkeit mit Erhalt der Shuntvene [27,28]. In vielen Fällen

gelingt die Beseitigung von Stenosen oder die Shunt-Rekanalisation ohne Änderung der Shunt-Topographie [9]. Bei begrenzter venöser Reserve chronisch hämodialysepflichtiger Patienten ist dies ein entscheidender Vorteil der Methode.

Als endovaskuläre Therapieform hat sich die PTA mittels Ballondilatation durchgesetzt. Im Gegensatz zur operativen Behandlung sind eine Narkose und die entsprechenden medizinischen Voraussetzungen sowie der hiermit verbundene Aufwand nicht erforderlich. Die Behandlung kann üblicherweise von einem radiologischen Angiographie-Team (ein ärztliches Mitglied, 1-2 MTRA-Mitglieder) in einem DSA-Raum kostengünstig durchgeführt werden. Zu den Kontraindikationen der endoluminalen Intervention zählen allerdings eine Shunt-Infektion, eine frische Shuntanlage (unter 6 Wochen), eine stark aneurysmatische Shuntveränderung sowie ein primär nicht ausgebildetes Shuntsystem [15].

Als wichtigste Kriterien für die Auswahl der Therapie bei einer Shuntinsuffizienz gelten der bestmögliche Erhalt der Punktionsstrecke und der schnellstmögliche Termin zur Fortsetzung einer regulären Dialyse [29]. Weitere wichtige Vorteile der radiologischen Intervention liegen in der Wiederholbarkeit der Behandlung und der Erhalt der Punktionsstrecke des Shunts. Chirurgische Maßnahmen wie Shuntverkürzung und Neuanlage werden hinausgezögert, ohne die langfristige Nutzung dieser Methode zu verhindern [30]. Burger et al. konnten zeigen, dass bei Stenosen im Shuntabschnitt die Anzahl der notwendigen Operationen um 50% reduziert werden kann [31].

## **4.2. Patientenkollektiv**

Die vorliegende Studie umfasst Shuntstörungen bei 222 Patienten. Das Geschlechterverhältnis war weitgehend ausgeglichen. Das durchschnittliche Lebensalter der Patienten am Tag der ersten Intervention betrug 68,7 Jahre und lag damit vergleichsweise hoch. Ein Großteil der Patienten (43,5 %) litt an



Diabetes mellitus. Andere große klinische Studien zu dem Thema wiesen ähnliche Charakteristika des untersuchten Patientenkollektivs auf (Tabelle 4.1 ).

Studien	Anzahl der Patienten	Geschlechtsverteilung, m/w	Lebensalter (Mittelwert $\pm$ Standardabweichung; Spanne)	Anteil Pat. mit Diabetes mellitus
Eigene Daten	222	123 / 99	68,7 $\pm$ 12,5 (32-92)	43,2%
Rajan [32]	140	104 / 36	62,4 $\pm$ 15,6	
Schaefer [33]	120	53 / 67	63,1 $\pm$ 11,4 (24-91)	
Beathard [34]	285	140 / 145	54,4	41%
Kantermann [35]	90	30 / 60	69,4 (23-87)	53%
Vorwerk [36]	65	29 / 36	57,6 $\pm$ 12,5 (25-79)	

**Tabelle 4.1:** Patientenkollektive vergleichbarer Studien

### 4.3. Shunts

In den USA werden mehrheitlich synthetische Gefäßinterponate verwendet. In Europa dagegen werden in 70-90% der Fälle native arterio-venöse Fisteln angelegt [37]. Auch in unserer Studie überwog mit 72% der Anteil der AV-Shunts gegenüber den PTFE-Shunts.

Als Indikation für die Anlage eines PTFE-Shunts gilt in Europa, wenn der vorliegende Venenstatus des Patienten effektive Shuntformen aus körpereigenen Gefäßen nicht oder nicht mehr zulässt. Allerdings kann ein PTFE-Shunt als Primärshunt sinnvoll sein, wenn die Eignung der vorliegenden Hautvenen des Patienten als Shuntgefäße fraglich erscheint [7].

In Deutschland wird der Prothesen-Shunt im Allgemeinen als Loop zwischen A. cubitalis und V. cubitalis/basilica angelegt, jedoch sind auch atypische Lokalisationen wie beim Femoralis- und Subklavia-Shunt möglich [9].

#### **4.3.1. Primäre Shunt-Offenheit**

In der vorliegenden Studie lag die primäre Shunt-Offenheit nach 12 Monaten bei insgesamt 48% und damit im mittleren Bereich der von anderen Gruppen publizierten Ergebnisse (Tabelle 4.2). Lediglich Rajan et al. [38] berichten eine deutlich ungünstigere Quote. Passend zu den übrigen genannten Studien traten zahlreiche Stenosen bzw. Verschlüsse auch in unserer Gruppe bereits in den ersten 6 Monaten auf, während sich die Quote der primären Shunt-Offenheit im weiteren Verlauf allmählich stabilisierte. Allerdings war bei den von uns beobachteten Verläufen langfristig, d.h. nach 24 bzw. 36 Monaten, nur noch jeder dritte bzw. vierte AV-Shunt primär offen, während die Quote bei anderen Studien mit ähnlich langer Beobachtungszeit teils doppel so hoch lag. Für PTFE-Shunts sind in der aktuellen Literatur keine vergleichbaren Angaben zu finden.

Studien	Anzahl Pat.	6 Monate AV / PTFE / n.s.	12 Monate AV / PTFE / n.s.	24 Monate AV / PTFE / n.s.	36 Monate AV / PTFE / n.s.
Eigene Daten	205	63,4/65,5/-	46,5/51,7/-	32,4/29,3/-	24,6/13,8/-
Lay [39]	31	77/-/-	64/-/-	39/-/-	-/-/-
Rinast [14]	164	79/-/-	66/-/-	62/-/-	53/-/-
Manninen [40]	53	58/-/-	44/-/-	40/-/-	32/-/-
Rajan [38]	24	28/-/-	24/-/-	-/-/-	-/-/-

**Tabelle 4.2:** Primäre Shunt-Offenheit: prozentualer Anteil offener Shunts in Abhängigkeit vom Shunttyp (AV = autologer Shunt; PTFE = PTFE-Shunt; n.s. = nicht spezifiziert) und dem Intervall nach Shuntbehandlung

#### 4.3.2. Shuntläsionen

Bisherige Publikationen haben aufgezeigt, dass bei den AV-Shunts Stenosen vorwiegend anastomosennah lokalisiert sind (64%-66% [41,42]). In der vorliegenden Arbeit traten anastomosennahe Stenosen mit 22% vergleichsweise seltener auf, am häufigsten dagegen im venösen Abstrom (59%). Bei PTFE-Shunts ist als häufigste Region der venöse Ausflusstrakt zwischen Prothese und autochtoner Vene betroffen. In unserer Studie waren es 37% der Läsion, in der Literatur wird eine etwas höhere Rate von 47%-81% angegeben [42, 35]. In Übereinstimmung mit publizierten Daten traten in unserer Gruppe zentralvenöse Stenosen in 11% bei AV-Shunts (4%-30% bei Rajan et al. [41]) und in 6% bei PTFE-Shunts auf (9% bei Utzig et al. [43]).

## **4.4. Shunt-Interventionen**

Ähnlich wie bei anderen Arbeitsgruppen [44, 45] erfolgte eine Shunt-Intervention bei der von uns beobachteten Patientengruppe bei insgesamt in 3 von 4 Behandlungen als endovaskuläre Intervention. Eine endovaskuläre Intervention war insbesondere bei 91% aller Erstbehandlungen insuffizienter Dialyseshunts die Methode der Wahl.

### **4.4.1. Interventionshäufigkeit**

In der vorliegenden Studie erfolgte bei 36% der beobachteten Dialyseshunts nur eine Behandlung. Entsprechend wurden 64% der Patienten mehrfach behandelt, wobei 15% der Patienten sogar 5 oder mehr endovaskuläre Behandlungen erhielten. Bei Manninen et al. erfolgte eine mehrfache interventionell-radiologische Behandlung dagegen nur bei 38 % der Patienten [46].

In unserer Studiengruppe mussten AV-Shunts durchschnittlich jährlich 1,81mal wegen einer Shuntsdysfunktion behandelt werden, PTFE-Shunts sogar 2,65mal jährlich. Haage berichtet von einer durchschnittlichen Interventionshäufigkeit von 1,4 pro Jahr [47]. Bei Arnold et al. [28] lag die durchschnittliche Interventionshäufigkeit bei 1,15-mal jährlich. Andere Autoren berichten eine jährliche Interventionshäufigkeit bei AV-Shunts von 0,41-0,77 [32] und 0,38 [46] (Tabelle 4.3).

Ein Grund für die in unserer Studie höhere Interventionsfrequenz kann in Unterschieden des Studiendesigns und der Studiendauer liegen. Einige Studien beschränkten sich nur auf Cimino-Shunts, andere nur auf verschlossene Shunts. In weiteren Studien wurden diese Unterschiede wiederum nicht getrennt analysiert. Außerdem wurden teilweise unterschiedliche Varianten der endovaskulären Behandlung angewendet, beispielsweise die alleinige PTA, die Durchführung einer lokoregionalen Lysetherapie oder die PTA mit Stent-Implantation. Weitere Faktoren mögen auch in einer unterschiedlichen

Verfügbarkeit und einer unterschiedlichen Indikationsschwelle für repetitive endovaskuläre Behandlungen liegen, die somit auch zu einer frühzeitigeren Aufgabe des Dialyseshuntis bzw. zum Wechsel zu einer chirurgischen Maßnahme führen. Die Bedeutung dieser Faktoren ist allerdings mangels klarer Indikationsdefinitionen für repetitive endovaskuläre Behandlungen nicht abzuschätzen.

Studien	Anzahl der Interventionen	Durchschnittliche Interventionshäufigkeit pro Jahr	Beobachtungszeitraum (Monate)
Eigene Daten	459	1,81	42
Haage [25]	81	1,4	13
Arnold [28]	2.862	1,15	27
Rajan [41]	303	0,41-0,77	60
Manninen [46]	103	0,38	48

**Tabelle 4.3:** Durchschnittliche Interventionshäufigkeiten pro Jahr bei anderen Arbeitsgruppen.

#### 4.4.2. Komplikationen

Zur Beschreibung von Komplikation bei der Behandlung von Dialyseshuntis finden international die Richtlinien der Society of Cardiovascular und Interventional Radiology Verwendung [24]. Diese Richtlinien unterscheiden Minor- und Major-Komplikationen. Bei den endovaskulären Interventionen an Dialyseshuntis, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit untersucht wurden, lag die Komplikationsrate für Minor-Komplikationen bei 1,9% und für Major-Komplikationen bei 1,2%, insgesamt somit bei 3,1%. Die Komplikationsrate liegt

damit im gleichen Bereich wie die publizierten Daten anderer Arbeitsgruppen. (Tabelle 4.4).

<b>Studien</b>	<b>Komplikationen gesamt Anzahl, (%Rate), Anzahl der Interventionen</b>	<b>Major- Komplikationen Anzahl (%Rate)</b>	<b>Minor- Komplikationen Anzahl (%Rate)</b>
Eigene Daten	13 (3,1%), 424	5 (1,2%)	8 (1,9%)
Rajan [41]	7 (2,3%), 303	2 (0,7%)	5 (1,7%)
Manninen [40]	16 (15,6%), 103	4 (3,9%)	12 (11,7%)
Overbosch [48]	10 (15,4%), 65	3 (4,6%)	7 (10,8%)
Vesely [49]	31 (3,3%), 935	19 (2,0%)	12 (1,3%)

**Tabelle 4.4:** Komplikationsraten bei endovaskulären Interventionen bei Shunt dysfunktionen

In einigen Publikationen werden Komplikationsraten von 12 bis 15,4 % genannt. Hier werden allerdings sämtliche Komplikationen, auch nicht weiter relevante Komplikationen aufgeführt [40,48]. In Übereinstimmung mit den publizierten Daten lag die Komplikationsrate für Major-Komplikationen bei PTFE-Shunts etwas höher als bei AV-Shunts [50].

#### **4.5. Technische und klinische Erfolgsrate**

In den letzten Jahren haben sich zunehmend standardisierte Definitionskriterien für Erfolgsraten und Funktionszeiten bei radiologisch-interventionell behandelten Dialyseshunt durchgesetzt [24]. Neben der gesonderten Betrachtung von AV-Shunts und PTFE-Shunts wurde dabei in letzter Zeit auch die spezielle Lokalisation der Stenosen sowie deren Länge und Anzahl berücksichtigt [33,41].

Bei uns zeigten sich eine klinische Erfolgsrate von 97,1% und eine technische Erfolgsrate von 88,9%. In 11% der Shunt dysfunktionen war keine endovaskuläre Therapie möglich und bei 2% verblieb ein unzureichendes klinisches Ergebnis mit relevanten Reststenosen. Damit liegen unsere Ergebnisse im Bereich der publizierten Daten (Tabelle 4.5): in den zwischen 1994 und 1997 publizierten Studien mit kleinen Fallzahlen (9-32 Shunts) werden technische Erfolgsraten nach perkutanen Interventionen an Cimino-Shunts zwischen 83% und 100% sowie klinische Erfolgsraten zwischen 75% und 100% beschrieben [36,39,51]. In den später zwischen 1997 und 2004 durchgeführten Studien mit größeren Patientengruppen lagen die Erfolgsraten ebenfalls zwischen 75% und 98% [39,41,46,52].

<b>Studien</b>	<b>Endovaskuläre Behandlungsmethode</b>	<b>Technischer Erfolg [%]</b>	<b>Klinischer Erfolg [%]</b>
Eigene Daten	PTA, Stent	89	97
Vorwerk [36]	PTA, Hydrodynamische Thrombektomie	89	89
Turmel-Rodrigues [51]	PTA, Stent	100	ND
Lay [39]	PTA, Stent, Atherektomiekatheter	90	90
Manninen [46]	PTA, Atherektomiekatheter pharmakologische Thrombolyse	92	n.a.
Clark [52]	PTA, Stent	94	n.a.
Rajan [41]	PTA, Stent	n.a.	98

**Tabelle 4.5:** Technische und klinische Erfolgsraten nach endovaskulären Interventionen verschiedener Studien bei Shunt dysfunktionen (n.a. – nicht angegeben)

Einige Autoren haben zusätzlich zur klinischen und/oder technischen Erfolgsrate auch eine anatomische Erfolgsrate angegeben. Als Erfolg war hierbei eine postinterventionelle Reststenose von <30% definiert. Die anatomische Erfolgsrate lag bei Manninen bei 76% und bei Rajan bei 89,4% [41,46]. Clark et al. fanden allerdings bezüglich der Langzeitfunktionsdauer keine Unterschiede zwischen Shunts mit anatomischen Reststenosen >30% und solchen mit Reststenosen <30% [52].

## **4.6. Offenheitsraten**

### **4.6.1. Primäre postinterventionelle Offenheit**

Sechs Monate nach einer Shuntbehandlung war in unserer Untersuchungsgruppe bereits bei 2 von 3 Dialyseshunts eine erneute behandlungspflichtige Dysfunktion aufgetreten. Eine primäre postinterventionelle Offenheit von 2 Jahren konnte nicht einmal jede zehnte Shuntbehandlung erreichen. Diese Ergebnisse liegen deutlich unter den publizierten Resultaten anderer Arbeitsgruppen (Tabelle 4.6).

Ursachen für diese Diskrepanz könnten zum einen der hohe Anteil nicht shuntbedingter Beobachtungsendpunkte und zum anderen der begrenzte Beobachtungszeitraum bei funktionierenden Shunts im Rahmen der vorliegenden Studie sein. Immerhin trat nur bei 20% der Patienten im Beobachtungszeitraum ein endgültiger Funktionsverlust des Shunts auf, der eine Shunt-Neuanlage erforderte. 27% der Patienten erhielten während des Beobachtungszeitraums eine Nierentransplantation oder verstarben, so dass eine eventuelle weitere Funktionsfähigkeit des Shunts nicht beurteilbar ist.

Bei 53% der Patienten war das Ende der Beobachtung durch den Stichtag bedingt und die Nachbeobachtungsperiode nach der letzten Intervention im Median auf 8,4 Monate begrenzt (25% Quartile 4,6 Monate, 75% Quartile 16,9 Monate). Die darüber hinaus reichende Funktionsdauer der Shunts wurde damit nicht erfasst. Entsprechend ergeben sich in unserer Studie zu geringe Werte



sowohl für die primäre postinterventionelle Offenheit bei 102 (20%) der 522 erfassten Interventionen als auch für die sekundäre und die kumulative Offenheit der Shunts bei den betroffenen Patienten. Der Effekt wirkt sich besonders deutlich auf Beobachtungsintervalle jenseits eines dreiviertel Jahres aus, da hier nicht einmal mehr die Hälfte aller Patienten mit funktionierenden Shunts erfasst sind.

Studien	Anzahl der Patienten	6 Monate AV / PTFE / n.s.	12 Monate AV / PTFE / n.s.	24 Monate AV / PTFE / n.s.	36 Monate AV / PTFE / n.s.
Eigene Daten	222	- / - / 65	- / - / 85		
Rajan [32]	140	51 / - / -	39 / - / -		
Kanterman [35]	90	- / 63 / -	- / 40 / -		
Manninen [40]	51	58 / - / -	44 / - / -	40 / - / -	32 / - / -
Turmel-Rodrigues [42]	59		62 / 25 / -	40 / 20 / -	
Haage [47]	54	52 / - / -	27 / - / -		

**Tabelle 4.6:** Primäre Offenheit: prozentualer Anteil offener Shunts in Abhängigkeit vom Shunttyp (AV = autologer Shunt; PTFE = PTFE-Shunt; n.s. = nicht spezifiziert) und dem Intervall nach Shuntbehandlung

Radiologische Interventionen erreichten im Rahmen unserer Studie bei PTFE-Shunts eine deutliche, signifikant kürzere mediane Offenheit (109 Tage) im Vergleich zu autologen Shunts (143 Tage). Auch Hodges et al. erreichten bei AV-Shunts deutlich bessere Offenheitsraten als bei PTFE-Shunts: während die primäre Offenheit bei AV-Shunts nach 1 Jahr (bzw. 2 Jahren) bei 90% (85%) lag, betrug sie bei PTFE-Shunts lediglich 60% (40%) [53]. Als Konsequenz enthalten auch die Empfehlungen der deutschen Fachgesellschaften eine bevorzugte Indikation für eine endovaskuläre Intervention bei AV-Shunts im

Vergleich zu Prothesenshunts (Evidenzlevel III) [29]: nachteilig bei der endovaskulären Behandlung insuffizienter PTFE-Shunts sei die hohe Rate von Frühverschlüssen und die mangelnde Reifung, die gewöhnlich durch patienteneigene Faktoren wie Alter, Diabetes mellitus und kardiovaskuläre Erkrankungen beeinflusst werde.

Die Rate der Frühverschlüsse lag in unserer Studie bei 11% nach endovaskulärer und bei 23% nach chirurgischer Intervention. PTFE-Shunts waren mit 18% häufiger als AV-Shunts 11% betroffen. In der Literatur liegt die Frühverschlussrate bei 5–30% [25,54]. Haage et al. berichten von 11,1% Re-Verschlüssen innerhalb von 14 Tagen bei distalen Shunt-Interventionen, beobachteten hingegen nur 2% Frühverschlüsse innerhalb von sieben Tagen bei Wallstentplatzierungen aufgrund von zentralen Shuntstenosen [25,47].

Die primäre postinterventionelle Offenheitsrate reduzierte sich im Rahmen unserer Studie bei wiederholten Behandlungen kontinuierlich bis zur 4. Intervention auf die Hälfte (Median von 202 Tagen bei der ersten Intervention auf <100 Tage bei repetitiven Interventionen). Maninnen et al. berichteten für die erste Intervention einen ähnlichen Wert der medianen Offenheit (273 Tage), verzeichneten für Wiederholungsbehandlungen jedoch einen deutlich geringeren Rückgang der primären postinterventionellen Offenheit (Median 207 Tage) [46].

In unserer Studie war die mediane primäre Offenheit nach endovaskulärer Interventionen wegen einer Shunt-Stenose mit 142 Tagen zwar deutlich länger als bei einer Shunt-Thrombose (39 Tage). Insgesamt waren die Unterschiede jedoch nur schwach signifikant ( $p=0,0358$ ). Zu einem ähnlichen Ergebnis kamen auch Bohndorf et al. [44]: die primäre Offenheitsrate nach der ersten endovaskulären Intervention bei Hämodialyseshunts, bei denen eine oder mehrere Stenosen vorlagen, lag nach einem Jahr mit 46,3% etwas höher als bei Shunt-Verschlüssen (40,4%). Dieser Unterschied war statistisch nicht signifikant ( $p=0,12$ ).

Manninen et al. [46] untersuchten die Offenheitsraten nach endovaskulären Shuntbehandlungen gesondert für Stenosen im Anastomosenbereich, in der

zuführenden Vene, sowie in der V. cephalica und der V. antebrachii. Die Anastomosenstenosen zeigten hierbei die schlechtesten Langzeitergebnisse, die sich statistisch signifikant von den anderen Lokalisationen unterschieden. Die Autoren empfahlen die PTA dennoch auch bei Anastomosenstenosen als Therapie der Wahl, da in der Studie bei keiner der Anastomosenstenosen eine spätere chirurgische Rekonstruktion notwendig wurde.

#### **4.6.2. Sekundäre Offenheit**

Die Funktionsdauer der behandlungspflichtigen Dialyseshuntis wurde im Rahmen unserer Untersuchung durch ggf. wiederholte interventionelle Maßnahmen im Median insgesamt um 13,7 Monate bei autologen Shunts und um 16,9 Monate bei PTFE-Shunts nach Auftreten der ersten Dysfunktion verlängert. Unsere Daten für die sekundäre Offenheitsrate nach 6 Monaten liegen damit in gleicher Höhe wie die publizierten Daten anderer Arbeitsgruppen (Tabelle 4.7). Ähnlich jedoch wie die primäre postinterventionelle Offenheit liegen auch die sekundären Offenheitsraten in unserer Untersuchung nach 12, 24 und 36 Monaten erheblich unter den Raten der anderen Gruppen.

Eine mögliche Erklärung kann ebenso wie bei den Werten der primären postinterventionellen Offenheit die begrenzte Nachbeobachtungszeit unserer Studie bei Patienten mit ungestörter Shuntfunktion sein. Auch hier wirkt sich der Effekt besonders für Nachbeobachtungszeiträume jenseits eines dreiviertel Jahres aus.

Studien	Anzahl der Patienten	6 Monate AV / PTFE	12 Monate AV / PTFE	24 Monate AV / PTFE	36 Monate AV / PTFE
Eigene Daten	222	80 / 96	53 / 71	22 / 29	8 / 7
Rajan [41]	140	89 / -	85 / -		
Lay [39]	31	85 / -	81 / -	79 / -	79 / -
Manninen [40]	51	90 / -	85 / -	79 / -	79 / -
Turmel-Rodrigues [42]	59	- / -	82 / 61	76 / 49	66 / 40

**Tabelle 4.7:** Sekundäre Offenheitsdauer in % (AV = autologer Shunt; PTFE = PTFE-Shunt)

#### 4.6.3. Kumulative Shunt Offenheit

Die kumulative Offenheit der Shunts der in der vorliegenden Arbeit untersuchten Patienten betrug bei den autologen Shunts im Median 2,4 Jahre und bei den PTFE-Shunts 2,9 Jahre. Andere Arbeitsgruppen berichteten mit 5,9 bzw. 6,7 Jahren deutlich höhere Werte [14], [9]. In diesen Studien wurden allerdings chirurgische Thrombektomien und operative Revisionen einschließlich Neuanastomosierungen in die Gesamtfunktionsdauer einkalkuliert. Im Vergleich zur Mehrzahl anderer Arbeitsgruppen liegen die Ergebnisse unserer Studie jedoch im Bereich der publizierten Daten (Tabelle 4.8).

Studien	Anzahl der Patienten	6 Monate AV / PTFE	12 Monate AV / PTFE	24 Monate AV / PTFE	36 Monate AV / PTFE
Eigene Daten	222	94 / 93	80 / 85	60 / 67	45 / 43
Vorwerk [55]	65	88 / -	86 / -	77 / -	
Burger [56]	259		79 / -	68 / -	59 / -
Manninen [46]	51	88 / -	82 / -	77 / -	
Haage [26]	54	65 / -	51 / -	22 / -	

**Tabelle 4.8:** Kumulative Offenheitsdauer in % (AV = autologer Shunt; PTFE = PTFE-Shunt)

Die insgesamt inhomogene Datenlage zur kumulativen Offenheitsdauer interventionell behandelter Dialyseshuntis kann zumindest teilweise durch das unterschiedliche Spektrum der angewendeten Behandlungsmethoden bedingt sein. So wurden im Rahmen der radiologisch-endovaskulären Interventionen zusätzlich zur PTA in einigen Studien zusätzliche Behandlungsvarianten wie z.B. die Lysetherapie, die AspirationseMBOLektomie bei thrombosierten Shunts, die Stentimplantation oder eine endovaskuläre Brachytherapie bei Shuntsstenosen angewendet [42,46,57].

Zusammenfassend ist festzustellen, dass mit Hilfe perkutan endovaskulärer Shunt-Interventionen die Funktionsdauer funktionsgestörter Shunts auf die Funktionsdauer störungsfrei funktionierender Dialyseshuntis angehoben werden kann [9].

#### 4.7. Fazit

Die vorliegende Studie hat das Ziel, die klinische Effizienz endovaskulärer Verfahren mit Methoden der interventionellen Radiologie zur Behandlung von Funktionsstörungen bei Dialyseshuntis zu beschreiben. Die Resultate der Studie

beruhen auf einer retrospektiven Recherche und systematischen Analyse von Daten einer großen klinischen Patientengruppe. In Verbindung mit publizierten Daten erlaubt die Studie folgendes Resümee:

Die interventionell-radiologische, endovaskuläre Intervention ist ein wirkungsvolles und schonendes Behandlungsverfahren bei Funktionsstörungen von Dialysehunts. In der vital bedrohlichen Situation einer Shunt Dysfunktion profitieren Patienten zudem von der geringen Belastung und der sehr geringen Komplikationsrate des Verfahrens. Die hohe technische und klinische Erfolgsrate ermöglicht bei fast allen Behandlungen eine anschließend sofortige Verfügbarkeit des Shunts zur Hämodialyse. Diese Charakteristika empfehlen die endovaskuläre Intervention als Methode der ersten Wahl bei der Behandlung von Shunt-Insuffizienzen nach Ausschluss der gültigen Kontraindikationen.

Autologe Shunts und PTFA-Shunts unterscheiden sich bei Shunt Dysfunktionen konstruktionsbedingt zwar hinsichtlich der bevorzugten Art und Lokalisation der zugrunde liegenden Läsionen. Auch ist bei PTFE-Shunts mit einem etwas höheren Komplikationsrisiko und einer geringeren primären Offenheitsrate zu rechnen. Hinsichtlich der sekundären und der kumulativen Offenheit sind endovaskuläre Interventionen jedoch bei beiden Shunttypen gleichermaßen effektiv.

Die endovaskuläre Intervention kann mehrfach angewandt werden, auch in Kombination mit gefäßchirurgischen Interventionen. Die primäre postinterventionelle Offenheit als Maß der Nachhaltigkeit der Interventionen verringert sich zwar mit der Anzahl der Vorbehandlungen. Dennoch kann mit Hilfe mehrfacher Interventionen die Lebensdauer eines Dialysehunts signifikant und auch klinisch relevant verlängert werden. Neben dem medizinischen Aspekt ist dies für Patienten, die zusätzlich zu ihrer eventuellen chronischen Grunderkrankung und ihrer Dialysepflicht auch durch Shunt Dysfunktionen belastet sind, ein wichtiger Aspekt der Lebensqualität.

Die technische Versagerquote der endovaskulären Intervention ist zwar gering und die Offenheitsrate technisch erfolgreicher endovaskulärer Intervention ist

gleichwertig zu einer gefäßchirurgischen Intervention. Dennoch wäre eine Verbesserung der Resultate lohnenswert.

Zur Verbesserung der technischen Erfolgsquote werden neue Katheter entwickelt, mit denen hochgradige und langstreckige Stenosen oder Verschlüsse besser rekanalisierbar und wirkungsvoller dilatierbar sein sollen [58,59]. Mit dem Ziel einer Verbesserung der Offenheitsdauer kann bei der endovaskulären Intervention im Anschluss an die Angioplastie zusätzlich eine Gefäßendoprothese (Stent) im Stenosenbereich implantiert werden. In der Regel werden hierbei ballonexpandierbare Stents verwendet. Bezüglich der Langzeiterfolgsrate ist die Datenlage jedoch noch uneinheitlich. Beispielsweise sehen Zwaan et al. [60] ein verstärktes Auftreten von Intimahyperplasien bei Stentimplantationen in Dialyseshunt. Bei zentralen Stenosen ziehen sie deshalb eine wiederholte PTA einer Stent-Implantation vor. Erfahrungen mit medikamentenbeschichteten Stents, die eine Intimahyperplasie verringern sollen, liegen für die Anwendung bei Dialyseshunts noch nicht vor.

## 5. Zusammenfassung

### Einführung

Die Überlebenszeit chronisch niereninsuffizienter Patienten nimmt aufgrund der wesentlich verbesserten Behandlungs- und Dialysemethoden erheblich zu. Eine zentrale Bedeutung kommt hierbei der langfristigen Funktionstüchtigkeit eines dauerhaften Gefäßzuganges in Form eines Dialysehunts zu. Bei etwa jedem dritten Patienten kommt es allerdings im Verlauf zu einer Funktionsstörung des Dialysehunts und damit zu einer vital bedrohlichen Situation. Verfahren zur Wiederherstellung einer gestörten Shuntfunktion haben deshalb eine hohe klinische Relevanz. Perkutan-endovaskuläre Diagnose- und Behandlungsverfahren werden als Methoden der interventionellen Radiologie seit einigen Jahren zunehmend eingesetzt, um Funktionsstörungen von Dialysehunts auf minimal invasive und damit patientenschonende Weise zu behandeln.

### Fragestellung

Wie nachhaltig ist die Wirkung der perkutanen radiologischen Intervention zur Behandlung bei der Dysfunktion von Dialysehunts? Welche Faktoren beeinflussen die Nachhaltigkeit?

### Material und Methode

In einer retrospektiven Studie wurden 459 perkutan-radiologische Maßnahmen an insuffizienten Hämodialysehunts bei 222 dialysepflichtigen Patienten analysiert, die in der Zeit zwischen dem 01.01.01 und dem 31.12.03 der Abteilung Radiologie der in der Klinik am Eichert, Göppingen, zugewiesen wurden. Neben patientenspezifischen Merkmalen (Alter, Geschlecht, nierenrelevante Grunderkrankung) und Shunt-Merkmalen (Zeitpunkt der Anlage, Lokalisation, Material, Lokalisation und Art der Funktionsstörung, Indikation zur radiologischen Intervention) wurde insbesondere die Art und Nachhaltigkeit der radiologisch-endovaskulären Maßnahme registriert. Hierzu



wurden die primäre technische und klinische Erfolgsrate, die Komplikationsrate und die postinterventionellen Offenheitsraten berechnet. Die kumulative Offenheitsrate beinhaltete auch eventuelle im Verlauf erfolgte gefäßchirurgische Maßnahmen. Als Endpunkte der Beobachtung wurden ein nicht behandelbarer Shuntverschluss, ein Ende des Shuntsbedarfs oder das Erreichen des 30.06.2004 als Stichtag definiert.

## Ergebnisse

In der Gruppe der 222 Patienten überwog mit 55% gering der Anteil der Männer. Das mittlere Alter betrug knapp 69 Jahre (Spanne: 32-92 Jahre). Die Ursache der Niereninsuffizienz war vorwiegend ein Diabetes mellitus, eine entzündliche Erkrankung oder unbekannt. 72% der Dialyseshunts waren als autologe AV-Shunts, die übrigen als PTFE-Shunts angelegt und bei 2 von 3 Patienten am Unterarm lokalisiert.

In der Beobachtungszeit wurden die 222 Dialyseshunts insgesamt 459mal angiographisch untersucht. Als Ursache der Shunt Dysfunktion wurden in 77% eine Stenose und in 12% eine Thrombose des Dialyseshunts oder der funktionell zugehörigen Gefäßstrecken gefunden. Bei autologen Shunts war die Läsion überwiegend (59%) im Bereich des venösen Abstroms, bei PTFE-Shunts dagegen überwiegend (37%) an der venösen Anastomose lokalisiert.

Bei 52% der 205 Patienten mit interventionspflichtiger Shunt Dysfunktion trat diese innerhalb der ersten 12 Monate nach Shunt-Anlage ein, bei 78% innerhalb der ersten 1,5 Jahre. Die 424 endovaskulären Shuntbehandlungen mittels PTA, die in 9 Fällen durch eine Stent-Implantation ergänzt wurden, waren in 98% technisch und in 97% klinisch erfolgreich, so dass sofort anschließend eine reguläre Dialyse erfolgen konnte. Die Komplikationsrate der endovaskulären Behandlungen lag bei 1,9% Minor- und 1,2% Major-Komplikationen.

Die primäre postinterventionelle Offenheit endete bei 65% der Shuntbehandlungen nach 6 Monaten, bei 85% nach 12 Monaten. Ursache hierfür war allerdings nur in 66% eine erneute Shunt Dysfunktion, in den übrigen Fällen das Ende der definierten Nachbeobachtungszeit, eine

Nierentransplantation oder ein Versterben des Patienten. Statistisch signifikanten Einfluss auf die primäre Offenheit hatten das Shuntmaterial, die Anzahl der interventionellen Vorbehandlungen, die Anzahl der betroffenen Shunt-Segmente und die Ursache der Shunt-dysfunktion, nicht jedoch Länge oder Grad der Läsion und die Behandlungsmethode (chirurgisch vs. endovaskulär).

Die sekundäre Offenheitsrate der behandelten Shunts betrug 1 Jahr nach der ersten Shuntbehandlung 60%, nach 2 Jahren 28%. Die kumulative Offenheitsrate 1 Jahr nach Shuntanlage betrug 81% lag damit doppelt so hoch wie die primäre Shunt-Offenheit der komplikationsbehafteten Dialyseshunt. Nach 2 Jahren lag die Rate bei 63%, nach 3 Jahren noch bei 44%. Allerdings war bei 163 der 205 (80%) behandelten Patienten das Ende der Beobachtungszeit nicht durch einen definitiven Funktionsverlust des Dialyseshunts, sondern durch andere Gründe erreicht.

#### Diskussion

Autologe Shunts und PTFE-Shunts unterscheiden sich bei Shunt-dysfunktionen konstruktionsbedingt zwar hinsichtlich der bevorzugten Art und Lokalisation der zugrunde liegenden Läsionen. Hinsichtlich der sekundären und der kumulativen Offenheit sind endovaskuläre Interventionen jedoch bei beiden Shunttypen gleichermaßen effektiv.

Die endovaskuläre Intervention kann mehrfach angewandt werden, auch in Kombination mit gefäßchirurgischen Interventionen. Die primäre postinterventionelle Offenheit verringert sich zwar mit der Anzahl der Vorbehandlungen. Dennoch kann mit Hilfe mehrfacher Interventionen die Lebensdauer eines Dialyseshunts signifikant und auch klinisch relevant verlängert werden.

#### Schlussfolgerung

Die interventionell-radiologische, endovaskuläre Intervention ist ein wirkungsvolles und schonendes Behandlungsverfahren in der vital bedrohlichen Situation einer Shunt-dysfunktion. Die hohe technische und klinische Erfolgsrate

ermöglicht bei fast allen Behandlungen eine anschließend sofortige Verfügbarkeit des Shunts zur Hämodialyse. Diese Charakteristika empfehlen die endovaskuläre Intervention als Methode der ersten Wahl bei der Behandlung von Shunt-Insuffizienzen nach Ausschluss der gültigen Kontraindikationen.

## 6. Literaturverzeichnis

1. Frei U, Schober-Hastenberg HJ. Nierenersatztherapie in Deutschland: Bericht über Nierenbehandlung und Nierentransplantation in Deutschland. Quasi-Niere gGmbH.Berlin. 2001.
2. Nikolay J, Alexander H, Hein C. Historische Entwicklung der Nierenersatzverfahren. 2000.
3. Kolff WJ, Berk HT, ter WM, van der LEY AJ, van Dijk EC, van NJ. The artificial kidney: a dialyser with a great area. 1944. J Am Soc Nephrol 1997; 8: 1959-1965.
4. Drukker W. Haemodialysis: a historical review. Drukker W, Parsons FM, Maher JF. Replacement of renal function by dialysis. textbook of dialysis , 1984: 21-73.
5. May J, Tiller D, Johnson J, Stewart J, Sheil AG. Saphenous-vein arteriovenous fistula in regular dialysis treatment. N Engl J Med 1969; 280: 770.
6. Glickman MH, Stokes GK, Ross JR, Schuman ED, Sternbergh WC, III, Lindberg JS, Money SM et al. Multicenter evaluation of a polytetrafluoroethylene vascular access graft as compared with the expanded polytetrafluoroethylene vascular access graft in hemodialysis applications. J Vasc Surg 2001; 34: 465-472.
7. Brittinger WD, Twittenhoff WD. Anschlussverfahren an die künstliche Niere: Dialyseshunt: Operationsverfahren, Punktion, Komplikationsmanagement. 2005.
8. Clevert DA, Jung EM, Kubale R, Waggerhauser T, Stickel M, Schulte-Altdorneburg G, Kopp R et al. Formen und Komplikationen des Hamodialyseshunt - Stellenwert der Sonographie. Radiologe 2008; 48: 272-280.
9. Lorch H. Interventionen bei Hämodialyse-Shunts. Radiologe 2000; 40: 754-766.
10. Dumars MC, Thompson WE, Bluth EI, Lindberg JS, Yoselevitz M, Merritt CR. Management of suspected hemodialysis graft dysfunction: usefulness of diagnostic US. Radiology 2002; 222: 103-107.
11. Older RA, Gizienski TA, Wilkowski MJ, Angle JF, Cote DA. Hemodialysis access stenosis: early detection with color Doppler US. Radiology 1998; 207: 161-164.

12. Jung EM, Clevert DA, Rupp N. B-Flow und Color-Coded-B-Flow zur sonographischen Diagnostik der filiformen Stenose der A. carotis interna. *Röfo* 2003; 175: 1251-1258.
13. Haage P, Gunther RW. Radiological intervention to maintain vascular access. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2006; 32: 84-89.
14. Rinast E, Zwaan M. Interventionelle Therapie bei Hämodialyse-Shunts. 1998.
15. Lorch H. Interventionen bei Hämodialyse-Shunts. *Radiologe* 2000; 40: 754-766.
16. Güntzig A, Mahler F, Kumpe D, Brunner U, Meier W. Die Erfahrung mit der perkutanen Rekanalisation chronischer arterieller Verschlüsse nach Dotter. *Schweiz Med Wochenschr* 1976; 106: 422-424.
17. Valji K, Bookstein JJ, Roberts AC, Davis GB. Pharmacomechanical thrombolysis and angioplasty in the management of clotted hemodialysis grafts: early and late clinical results. *Radiology* 1991; 178: 243-247.
18. Vorwerk D. Percutaneous interventions to support failing hemodialysis fistulas and grafts. *Kidney Blood Press Res* 1997; 20: 145-147.
19. Davis GB, Dowd CF, Bookstein JJ, Maroney TP, Lang EV, Halasz N. Thrombosed dialysis grafts: efficacy of intrathrombic deposition of concentrated urokinase, clot maceration, and angioplasty. *AJR Am J Roentgenol* 1987; 149: 177-181.
20. Schild H, Mödder U. *Angiographie*. Thieme 2. Auflage, 1994.
21. Landwehr P, Tschammler A, Schaefer RM, Lackner K. Wertigkeit der farbkodierten Duplexsonographie des Dialyseshunt. *Röfo* 1990; 153: 185-191.
22. Schumacher KA, Wallner B, Weidenmaier W, Friedrich JM. Shuntferne venöse Okklusionen als Störungsfaktoren bei der Hämodialyse. *Röfo* 1989; 150: 198-201.
23. Aruny JE, Lewis CA, Cardella JF, Cole PE, Davis A, Drooz AT, Grassi CJ et al. Quality improvement guidelines for percutaneous management of the thrombosed or dysfunctional dialysis access. *J Vasc Interv Radiol* 2003; 14: S247-S253.
24. Gray RJ, Sacks D, Martin LG, Trerotola SO. Reporting standards for percutaneous interventions in dialysis access. *J Vasc Interv Radiol* 2003; 14: S433-S442.

25. Haage P, Vorwerk D, Piroth W, Schuermann K, Guenther RW. Treatment of hemodialysis-related central venous stenosis or occlusion: results of primary Wallstent placement and follow-up in 50 patients. *Radiology* 1999; 212: 175-180.
26. Haage P, Vorwerk D, Wildberger JE, Piroth W, Schurmann K, Gunther RW. Percutaneous treatment of thrombosed primary arteriovenous hemodialysis access fistulae. *Kidney Int* 2000; 57: 1169-1175.
27. Trerotola SO, Turmel-Rodrigues LA. Off the beaten path: transbrachial approach for native fistula interventions. *Radiology* 2001; 218: 617-619.
28. Arnold WP. Improvement in hemodialysis vascular access outcomes in a dedicated access center. *Semin Dial* 2000; 13: 359-363.
29. Hollenbeck M. Interdisziplinäre Empfehlungen deutscher Fachgesellschaften zum Gefäßzugang zur Hämodialyse. *Nephrologe* 2009 4, 2009: 158-176.
30. Bohndorf K, Gladziwa U, Kistler D, Kretschmer KH, Vorwerk D, Sieberth HG, Gunther RW. Rekanalisation von stenosierten oder verschlossenen Hämodialysehunts. Ergebnisse der perkutanen Angioplastie und der kombiniert radiologisch-chirurgischen Therapie. *Röfo* 1993; 158: 525-531.
31. Burger H, Zijlstra JJ, Kluchert SA, Scholten AP, Kootstra G. Percutaneous Transluminal Angioplasty Improves Longevity in Fistulae and Shunts for Haemodialysis. 1990.
32. Rajan DK, Bunston S, Misra S, Pinto R, Lok CE. Dysfunctional autogenous hemodialysis fistulas: outcomes after angioplasty--are there clinical predictors of patency? *Radiology* 2004; 232: 508-515.
33. Schaefer PJ, Muller-Hulsbeck S, Schaefer FK, Soehne J, Charalambous N, Heller M, Jahnke T. Verlängert die radiologisch-interventionelle Therapie die Shuntnutzungsdauer bei hämodialysepflichtigen Patienten? *Röfo* 2006; 178: 1121-1127.
34. Beathard GA. Angioplasty for arteriovenous grafts and fistulae. *Semin Nephrol* 2002; 22: 202-210.
35. Kanterman RY, Vesely TM, Pilgram TK, Guy BW, Windus DW, Picus D. Dialysis access grafts: anatomic location of venous stenosis and results of angioplasty. *Radiology* 1995; 195: 135-139.
36. Vorwerk D, Guenther RW, Mann H, Bohndorf K, Keulers P, Alzen G, Sohn M et al. Venous stenosis and occlusion in hemodialysis shunts: follow-up results of stent placement in 65 patients. *Radiology* 1995; 195: 140-146.

37. Trerotola SO, Stavropoulos SW, Shlansky-Goldberg R, Tuite CM, Kobrin S, Rudnick MR. Hemodialysis-related venous stenosis: treatment with ultrahigh-pressure angioplasty balloons. *Radiology* 2004; 231: 259-262.
38. Rajan DK, Clark TW, Simons ME, Kachura JR, Sniderman K. Procedural success and patency after percutaneous treatment of thrombosed autogenous arteriovenous dialysis fistulas. *J Vasc Interv Radiol* 2002; 13: 1211-1218.
39. Lay JP, Ashleigh RJ, Tranconi L, Ackrill P, Al-Khaffaf H. Result of angioplasty of Brescia-Cimino haemodialysis fistulae: medium-term follow-up. *Clin Radiol* 1998; 53: 608-611.
40. Manninen HI, Kaukanen ET, Ikaheimo R, Karhapaa P, Lahtinen T, Matsi P, Lampainen E. Brachial arterial access: endovascular treatment of failing Brescia-Cimino hemodialysis fistulas--initial success and long-term results. *Radiology* 2001; 218: 711-718.
41. Rajan DK, Bunston S, Misra S, Pinto R, Lok CE. Dysfunctional autogenous hemodialysis fistulas: outcomes after angioplasty--are there clinical predictors of patency? *Radiology* 2004; 232: 508-515.
42. Turmel-Rodrigues L, Pengloan J, Blanchier D, Abaza M, Birmele B, Haillet O, Blanchard D. Insufficient dialysis shunts: improved long-term patency rates with close hemodynamic monitoring, repeated percutaneous balloon angioplasty, and stent placement. *Radiology* 1993; 187: 273-278.
43. Utzig MJ, Foitzik T, Dollinger P, Buhr HJ. [Patency of surgically revised ePTFE-dialysis access grafts] Ist die chirurgische Revision von ePTFE-Dialysehunts gerechtfertigt? *Zentralbl Chir* 2002; 127: 123-127.
44. Bohndorf K, Gladziwa U, Kistler D, Kretschmer KH, Vorwerk D, Sieberth HG, Gunther RW. Rekanalisation von stenosierten oder verschlossenen Hämodialysehunts. Ergebnisse der perkutanen Angioplastie und der kombiniert radiologisch-chirurgischen Therapie. *Röfo* 1993; 158: 525-531.
45. Gmelin E, Karnel F. Radiologische Rekanalisation von Venen, Gefäßprothesen und Arterien bei insuffizienten Dialysefisteln. *Röfo* 1990; 153: 432-437.
46. Manninen HI, Kaukanen ET, Ikaheimo R, Karhapaa P, Lahtinen T, Matsi P, Lampainen E. Brachial arterial access: endovascular treatment of failing Brescia-Cimino hemodialysis fistulas--initial success and long-term results. *Radiology* 2001; 218: 711-718.
47. Haage P, Vorwerk D, Wildberger JE, Piroth W, Schurmann K, Gunther RW. Percutaneous treatment of thrombosed primary arteriovenous hemodialysis access fistulae. *Kidney Int* 2000; 57: 1169-1175.

48. Overbosch EH, Pattynama PM, Aarts HJ, Schultze Kool LJ, Hermans J, Reekers JA. Occluded hemodialysis shunts: Dutch multicenter experience with the hydrolyser catheter. *Radiology* 1996; 201: 485-488.
49. Vesely TM. Complications related to percutaneous thrombectomy of hemodialysis grafts. *J Vasc Access* 2002; 3: 49-57.
50. Beathard GA. Strategy for maximizing the use of arteriovenous fistulae. *Semin Dial* 2000; 13: 291-296.
51. Turmel-Rodrigues LA, Blanchard D, Pengloan J, Sapoval M, Baudin S, Testou D, Mouton A et al. Wallstents and Craggstents in hemodialysis grafts and fistulas: results for selective indications. *J Vasc Interv Radiol* 1997; 8: 975-982.
52. Clark TW, Hirsch DA, Jindal KJ, Veugelers PJ, LeBlanc J. Outcome and prognostic factors of restenosis after percutaneous treatment of native hemodialysis fistulas. *J Vasc Interv Radiol* 2002; 13: 51-59.
53. Hodges TC, Fillinger MF, Zwolak RM, Walsh DB, Bech F, Cronenwett JL. Longitudinal comparison of dialysis access methods: risk factors for failure. *J Vasc Surg* 1997; 26: 1009-1019.
54. Rooijens PP, Tordoir JH, Stijnen T, Burgmans JP, Smet de AA, Yo TI. Radiocephalic wrist arteriovenous fistula for hemodialysis: meta-analysis indicates a high primary failure rate. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 2004; 28: 583-589.
55. Vorwerk D, Guenther RW, Mann H, Bohndorf K, Keulers P, Alzen G, Sohn M et al. Venous stenosis and occlusion in hemodialysis shunts: follow-up results of stent placement in 65 patients. *Radiology* 1995; 195: 140-146.
56. Burger H, Kluchert BA, Kootstra G, Kitslaar PJ, Ubbink DT. Survival of arteriovenous fistulas and shunts for haemodialysis. *Eur J Surg* 1995; 161: 327-334.
57. Vorwerk D, Guenther RW, Mann H, Bohndorf K, Keulers P, Alzen G, Sohn M et al. Venous stenosis and occlusion in hemodialysis shunts: follow-up results of stent placement in 65 patients. *Radiology* 1995; 195: 140-146.
58. Wu CC, Wen SC. Cutting balloon angioplasty for resistant venous stenoses of dialysis access: immediate and patency results. *Catheter Cardiovasc Interv* 2008; 71: 250-254.
59. Horita Y, Namura M, Matsumura M. Development of a novel catheter preventing the outflow of debris and thrombus on percutaneous transluminal angioplasty for hemodialysis access fistulas. *Catheter Cardiovasc Interv* 2006; 67: 961-966.



60. Zwaan M, Weiss HD, Gmelin E, Rinast E, Scheu M. Lasergestützte Ballonangioplastie insuffizienter Hämodialysefisteln. Röfo 1993; 159: 456-460.

## **7. Anhang**

### **7.1. Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die durch inhaltliche Unterstützung und konstruktive Kritik zur Entstehung dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein besonderer Dank gilt dabei meinem Doktorvater Herrn Prof. Dr. med. Florian Dammann für die Möglichkeit, diese Arbeit durchzuführen und für seine engagierte, intensive und kritische Betreuung während der gesamten Zeit.

Ich möchte mich beim Herrn Dr. med. Rupp-Heim für seine Hilfsbereitschaft und stets vorhandene Ansprechbarkeit bedanken, die er mit entgegenbrachte.

Mein Dank gilt auch den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Dialysezentren: Göppingen, Kirchheim, Nürtingen, Geislingen an der Steige für ihre freundliche Unterstützung während der Entstehung dieser Arbeit.

Ganz besonders danke ich meinem Mann für das Korrekturlesen sowie meinen Eltern für ihre immerwährende Unterstützung.