

Marienhause Klinikum Mainz  
Klinik für Allgemein-, Viszeral- und Gefäßchirurgie

**Ergebnisse der cruralen und pedalen Bypasschirurgie beim  
diabetischen Fußsyndrom**

Dissertation  
zur Erlangung des Doktorgrades der Medizin  
der Universitätsmedizin  
der Johannes-Gutenberg-Universität Mainz  
vorgelegt von

**Elena Pinhas**

2022

Wissenschaftlicher Vorstand:

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Tag der Promotion: 12.07.2022

**Für meine Familie**

# Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis .....	I
Abkürzungsverzeichnis .....	III
Abbildungs- und Tabellenverzeichnis .....	IV
Abbildungsverzeichnis .....	IV
Tabellenverzeichnis .....	V
1    Einleitung .....	1
1.1    Epidemiologie .....	3
1.2    Amputation und Lebenserwartung .....	3
1.3    Pathogenese .....	5
1.4    Definitionen: DFS, PAVK, CLI .....	6
1.5    Stadieneinteilung .....	8
1.6    Diagnosestellung .....	9
1.7    Therapie .....	10
1.7.1    Konservativ .....	11
1.7.2    Perkutane endovaskuläre Therapie .....	11
1.7.3    Operative Therapie .....	13
2    Material und Methoden .....	15
2.1    Patientenkollektiv .....	15
2.2    Präoperative Vorbereitung .....	15
2.3    Datenerhebung .....	16
2.4    Zusammenarbeit mit den Hausärzten .....	16
2.5    Statistische Methoden .....	18
2.6    Auswahl der Operationstechnik .....	18
3    Ergebnisse .....	22
3.1    Demographie des Kollektivs .....	22
3.2    Diabetes Mellitus als Risikofaktor .....	23
3.3    PAVK-Stadien .....	25
3.4    Vorbehandlung .....	27
3.5    Bypass .....	28
3.5.1    Bypassart und Diabetes .....	29
3.5.2    Bypassmaterial .....	29
3.5.3    Crurale Bypässe .....	32
3.5.4    Pedale Bypässe .....	33
3.6    Revisionen .....	35
3.7    Amputationen .....	36
3.7.1    Minoramputation .....	36
3.7.2    Majoramputation .....	36

3.8	Mortalität.....	38
3.9	Offenheitsraten .....	39
3.9.1	Primäre Offenheitsrate .....	39
3.9.2	Sekundäre Offenheitsrate .....	47
3.9.3	Amputationsfreies Überleben .....	55
3.9.4	Beinerhaltungsrate .....	59
4	Diskussion .....	63
4.1	Ergebnisse der endovaskulären Therapie bei kritischer Ischämie.....	63
4.2	Vergleich Bypasschirurgie vs. Endovaskuläre Therapie .....	65
4.3	Diskussion eigene Ergebnisse .....	66
4.3.1	Primäre und sekundäre Offenheitsrate .....	67
4.3.2	Amputationsfreies Überleben und Beinerhalt.....	70
4.3.3	Diabetiker und Nichtdiabetiker .....	71
4.3.4	Eigene Ergebnisse der Bypasschirurgie im Literaturvergleich.....	71
5	Zusammenfassung .....	72
6	Literaturverzeichnis .....	74
7	Danksagung .....	79
8	Tabellarischer Lebenslauf .....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>

## **Abkürzungsverzeichnis**

ABI	ankle-brachial-index
ADP	Arteria dorsalis pedis
AFC	Arteria femoralis communis
AFS	Arteria femoralis superficialis
AK	above knee
AP	Arteria poplitea
ATA	Arteria tibialis anterior
ATP	Arteria tibialis posterior
AV	Arteriovenös
BK	below knee
ce-MRA	Kontrastmittelunterstützte Magnetresonanzangiographie
CLI	Critical Limb Ischemia
CLTI	Chronic limb threatening ischemia
CT	Computertomographie
CT-A	Computertomographische Angiographie
DCB	Drug coated balloon
DEB	Drug Eluting Balloons
DFS	Diabetisches Fußsyndrom
DM	Diabetes Mellitus
DSA	Digitale Subtraktionsangiographie
FKDS	Farbkodierte Duplexsonographie
IDDM	Insulin dependent diabetes mellitus
IDF	International Diabetes Foundation
IWGDF	International Working Group on the Diabetic Foot
LDL	Low density Lipoprotein
MKM	Marienhause Klinikum Mainz
MRT	Magnetresonanztomographie
PAVK	Periphere arterielle Verschlusskrankheit
PDGF	Platelet-derived growth factor
PTA	Perkutane transluminale Angioplastie
PTFE	Polytetrafluorethylen
SMC	Smooth Muscle Cells
TASC	Trans-Atlantic Intersociety Consensus on the management of peripheral arterial disease
TEA	Thrombendarteriektomie
TOBA	Tack Optimized Balloon Angioplasty
VSM	Vena saphena magna
VSP	Vena saphena parva
WHO	World Health Organization

## Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1:</b> Diabetisches Fußsyndrom und PAVK im Stadium IV nach Fontaine .....	4
<b>Abbildung 2:</b> Z.n. Anlage eines pedalen Bypasses auf die A. dorsalis pedis und Minoramputation ....	5
<b>Abbildung 3:</b> Verschluss der Unterschenkelarterien .....	7
<b>Abbildung 4:</b> teilweise erhaltene Fußarterien .....	7
<b>Abbildung 5:</b> Algorithmus zur Diagnostik der peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (PAVK). ABI=Knöchel-Arm-Index, FKDS=farbkodierte Duplexsonographie, ce-MRA=kontrastmittelunterstützte Magnetresonanztomographie, CT-A=computertomographische Angiographie, PTA=perkutane transluminale Angioplastie (50) .....	10
<b>Abbildung 6:</b> TASC II - Klassifikation der femoro-poplitealen Läsionen (28, 57) .....	12
<b>Abbildung 7:</b> DFS im PAVK-Stadium IV nach Fontaine .....	14
<b>Abbildung 8:</b> Z.n. Anlage eines Bypasses auf die A. tibialis anterior und Vorfußnachamputation. ....	15
<b>Abbildung 9:</b> Fragebogen an die Hausärzte .....	17
<b>Abbildung 10:</b> Anlage eines pedalen Bypasses auf die A. dorsalis pedis .....	19
<b>Abbildung 11:</b> Anlage eines Bypasses auf die A. plantaris .....	19
<b>Abbildung 12:</b> Intraoperatives Bild bei Anlage eines kurzen cruro-pedalen Bypasses .....	20
<b>Abbildung 13:</b> Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Operation und Aufteilung nach Geschlecht (n=198) .....	22
<b>Abbildung 14:</b> Diabeteserkrankung und Geschlechterverteilung. $p = 0,0001$ (n=198) .....	23
<b>Abbildung 15:</b> Altersverteilung bei Diabetikern (n=198) .....	24
<b>Abbildung 16:</b> Altersverteilung bei Nichtdiabetikern (n=198) .....	25
<b>Abbildung 17:</b> PAVK Stadieneinteilung bei Diabetikern und Nichtdiabetikern (n=198) .....	26
<b>Abbildung 18:</b> Vorbehandlungen aufgeteilt nach Vorbehandlungsart. (n=85) .....	28
<b>Abbildung 19:</b> Bypassart und dabei verwendetes Material (n=198) .....	30
<b>Abbildung 20:</b> Majoramputationen bei Diabetikern und Nichtdiabetikern (n=23) .....	36
<b>Abbildung 21:</b> Kumulative primäre Offenheitsrate. Vergleich von pedalem und cruralem Bypass (n=178) .....	39
<b>Abbildung 22:</b> Kumulative primäre Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich des Bypassmaterials (n=91) .....	40
<b>Abbildung 23:</b> Kumulative primäre Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart (n=80) .....	41
<b>Abbildung 24:</b> Kumulative primäre Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich der distalen Anschlüsse (n=91), (Truncus=Truncus tibiofibularis, ATP=A. tibialis posterior, ATA=A. tibialis anterior, AFib=A. fibularis) .....	42
<b>Abbildung 25:</b> Kumulative primäre Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich des Bypassmaterials (n=86) .....	43
<b>Abbildung 26:</b> Kumulative primäre Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart (n=84) .....	44

<b>Abbildung 27:</b> Kumulative primäre Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich der distalen Anschlüsse (n=85), (ADP=A. dorsalis pedis, Plantaris=A. plantaris, ATP=A. tibialis posterior) .....	45
<b>Abbildung 28:</b> Kumulative sekundäre Offenheitsrate bei cruralem und pedalem Bypass (n=178).....	47
<b>Abbildung 29:</b> Kumulative sekundäre Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich des Bypassmaterials (n=91).....	48
<b>Abbildung 30:</b> Kumulative sekundäre Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart (n=79).....	49
<b>Abbildung 31:</b> Kumulative sekundäre Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich der distalen Anschlüsse (n=91), (Truncus=Truncus tibiofibularis, ATP=A. tibialis posterior, ATA=A. tibialis anterior, AFib=A. fibularis) .....	50
<b>Abbildung 32:</b> Kumulative sekundäre Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich des Bypassmaterials (n=85).....	51
<b>Abbildung 33:</b> Kumulative sekundäre Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart (n=84).....	52
<b>Abbildung 34:</b> Kumulative sekundäre Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich der distalen Anschlüsse (n=85), (ADP=A. dorsalis pedis, Plantaris=A. plantaris, ATP=A. tibialis posterior) .....	53
<b>Abbildung 35:</b> Kumulative amputationsfreie Überlebensrate bei cruralem und pedalem Bypass (n=190) .....	55
<b>Abbildung 36:</b> Kumulative amputationsfreie Überlebensrate bei cruralem und pedalem Bypass. Vergleich des Bypassmaterials (n=190).....	56
<b>Abbildung 37:</b> Kumulative amputationsfreie Überlebensrate bei cruralem und pedalem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart (n=175).....	57
<b>Abbildung 38:</b> Kumulative Beinerhaltungsrate. Vergleich von cruralem und pedalem Bypass (n=190) .....	59
<b>Abbildung 39:</b> Kumulative Beinerhaltungsrate bei cruralem und pedalem Bypass. Vergleich des Bypassmaterials (n=190).....	60
<b>Abbildung 40:</b> Kumulative Beinerhaltungsrate bei cruralem und pedalem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart (n=176) .....	61
<b>Abbildung 41:</b> Kumulative Beinerhaltungsrate bei cruralem und pedalem Bypass. Vergleich der Diabetiker und Nichtdiabetiker (n=190) .....	62

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1:</b> Klassifikation der PAVK nach Fontaine-Stadien und Rutherford-Kategorien.....	8
<b>Tabelle 2:</b> Ankle-brachial-Index, ABI .....	9
<b>Tabelle 3:</b> Stadieneinteilung der PAVK (n=198).....	25
<b>Tabelle 4:</b> Verteilung der Vorbehandlungen (n=198) .....	27
<b>Tabelle 5:</b> Zusammenhang zwischen der Bypassart und Diabetes (n=198).....	29
<b>Tabelle 6:</b> Ort der Venengewinnung (n=184) .....	31
<b>Tabelle 7:</b> Technik der Venenverwendung bei cruralen und pedalen Bypässen (n=198) .....	31
<b>Tabelle 8:</b> distaler Anschluss bei cruralem Bypass mit dem Ursprungsort am Oberschenkel (n=70), (AFS=A. femoralis superficialis, AFC=A. femoralis communis, Truncus=Truncus tibiofibularis, ATA=A. tibialis anterior, ATP=A. tibialis posterior, AFib=A. fibularis) .....	32



<b>Tabelle 9:</b> distaler Anschluss bei cruralem Bypass mit dem Ursprungsort im Kniebereich (n=27), (POP I=A. poplitea im Segment 1, POP III=A. poplitea im Segment 3, Truncus= Truncus tibiofibularis, ATA=A. tibialis anterior, ATP=A. tibialis posterior, AFib=A. fibularis) .....	32
<b>Tabelle 10:</b> distaler Anschluss bei pedalen Bypass mit dem Ursprungsort am Oberschenkel (n=18), (AFS=A. femoralis superficialis, AFC=A. femoralis communis, ADP=A. dorsalis pedis, ATP=A. tibialis posterior, Plantaris=A. plantaris) .....	33
<b>Tabelle 11:</b> distaler Anschluss bei pedalen Bypass mit dem Ursprungsort im Kniebereich (n=67), (POP I=A. poplitea im Segment 1, POP III=A. poplitea im Segment 3, Truncus=Truncus tibiofibularis, ADP=A. dorsalis pedis, ATP=A. tibialis posterior, Plantaris=A. plantaris, ATA=A. tibialis anterior) .....	34
<b>Tabelle 12:</b> distaler Anschluss bei pedalen Bypass mit sonstigem Ursprungsort (n=8), (ATP=A. tibialis posterior, ATA=A. tibialis anterior, BP=Bypass, ADP=A. dorsalis pedis, Plantaris=A. plantaris) .....	34
<b>Tabelle 13:</b> Revisionen aufgeteilt nach Bypassart (n=49), (BP=Bypass, AV=Arteriovenös) .....	35
Tabelle 14: Vergleich der Majoramputationen in Abhängigkeit von Geschlecht und Diabetes (n=23) .	37
<b>Tabelle 15:</b> Majoramputationen in Abhängigkeit von der Bypassart (n=23) .....	37
<b>Tabelle 16:</b> Sterblichkeit in Abhängigkeit von Diabetes Mellitus (n=194), $p = 0,024$ .....	38
<b>Tabelle 17:</b> Ergebnisse der primären Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich v distalen Anschlussort (Truncus=Truncus tibiofibularis, ATP=A. tibialis posterior, ATA=A. tibialis anterior, AFib=A. fibularis) .....	42
<b>Tabelle 18:</b> Ergebnisse der kumulativen primären Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart .....	44
<b>Tabelle 19:</b> Ergebnisse der primären Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich der distalen Anschlüsse .....	45
<b>Tabelle 20:</b> Primäre Offenheitsrate. Zusammenfassung der Ergebnisse .....	46
<b>Tabelle 21:</b> Ergebnisse der sekundären Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich der distalen Anschlüsse .....	50
<b>Tabelle 22:</b> Ergebnisse der kumulativen sekundären Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich der distalen Anschlüsse .....	53
<b>Tabelle 23:</b> Sekundäre Offenheitsrate. Zusammenfassung der Ergebnisse .....	54
<b>Tabelle 24:</b> Amputationsfreies Überleben. Zusammenfassung der Ergebnisse .....	58

## 1 Einleitung

Noch vor 100 Jahren war Diabetes Mellitus (DM) unheilbar und ein sicheres Todesurteil. Erst am 27.07.1921 haben Branting und Best nach unzähligen Experimenten Insulin entdeckt (1). Das war die Rettung für viele Erkrankte, denn durch die Therapie stieg die Lebenserwartung. Mittlerweile leben weltweit 537 Millionen Erwachsene (20-79 Jahre) mit Diabetes mellitus und diese Zahlen steigen weiterhin (2). Solch hohe Zahlen der Erkrankten belasten das Gesundheitswesen enorm. Die Kosten der Behandlung der Diabetiker beliefen sich im Jahr 2021 weltweit auf 966 Milliarden US-Dollar und in Europa auf 189 Milliarden US-Dollar (2). Laut statistischem Bundesamt beträgt die aktuelle Bevölkerungszahl in Deutschland 83,1 Millionen (3). Im Jahr 2019 lag die DM-Prävalenz in Deutschland bei 10,4 %, das sind über 8,3 Millionen Menschen (4). Diese hohe Prävalenz in Verbindung mit höherer allgemeiner Lebenserwartung führt zu einer Zunahme der diabetischen Spätschäden (5). Eine der gravierendsten Spätfolgen des DM ist das diabetische Fußsyndrom (DFS), das zu einer hohen Amputationszahl an der unteren Extremität führen kann (5, 6). Dies könnte man damit erklären, dass mehr als die Hälfte der Patienten mit DM auch an einer peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (PAVK) leiden (7). Diabetiker weisen häufig auch ein besonderes Verschlussmuster der Gefäße auf. Bei ihnen sind die Unterschenkelarterien betroffen, während die Arterien im Becken, Oberschenkel und Fuß nur wenig betroffen sind (8). Wegen des herabgesetzten Schmerzempfindens bemerken die Patienten kleine Wunden und Nekrosen zu spät (9). Bei Fortschreiten der PAVK kommt es zur kritischen Extremitätenischämie (CLI „Critical Limb Ischemia“), die eine Störung der Wundheilung verursacht (10). Ohne Behandlung bleibt oft nur die Amputation. Im Jahr 1989 wurde im italienischen St. Vincent nach einer von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und „International Diabetes Federation“ (IDF) organisierten Konferenz eine Deklaration zur Reduktion der diabetischen Spätfolgen unterschrieben. Dabei wurde beschlossen, in den nächsten fünf Jahren unter anderem die Amputationsrate bei Diabetikern um die Hälfte zu reduzieren (11, 12). Dieses Ziel ist bis heute noch nicht erreicht (13).

Unter der Berücksichtigung des Verschlussmusters der Gefäße bei PAVK der Diabetiker steht die distale gefäßchirurgische Revaskularisation mittels eines Bypasses zur Verfügung. Diese operative Technik wurde schon in den 1950er-Jahren

mit dem Anlegen der ersten Anastomose unterhalb des Knies durch Morris beschrieben (14, 15).

Eine andere Methode zur Revaskularisation ist die endovaskuläre Therapie von Gefäßstenosen und -verschlüssen. Sie hat ihren Beginn im Jahr 1964, als Dotter die Gefäßdilatation vorstellte (16). In den letzten Jahren hat sie einen enormen Aufschwung erlebt und damit eine neue Dimension der Gefäßtherapie hervorgerufen (17). Die Methode der PTA (perkutane transluminale Angioplastie), zunächst angewendet in der Gefäßmedizin an großen Becken- und Oberschenkelarterien und in der Kardiologie an den Koronararterien, wird nun nach anfänglichen Misserfolgen seit zehn Jahren auch vermehrt an den kleinen (ähnlich den Koronararterien) Unterschenkelarterien angewendet. Diese Methode ist bei den Therapeuten, die da sind Radiologen, Kardiologen, Angiologen und Gefäßchirurgen, sehr beliebt und zudem in unserem Gesundheitssystem einträglich und wesentlich einfacher anzuwenden als eine vier bis fünf Stunden dauernde subtile Bypass-Operation an cruralen und pedalen Arterien (17). Allerdings sind die Erfolge, auch mit Hilfe von DEB (Drug Eluting Balloons) und Stents in diesen, ähnlich den Koronarien kaliberschwachen (1,5 - 2,5 mm) Arterien, selten zufriedenstellend bei nur kurzzeitig erzielbaren Offenheitsraten, die dann zur Abheilung von Ulcera oder Nekrosen im Stadium IV eben nicht ausreichen (18). Auch die Komplikationen, die bei perkutanen Interventionen auftreten können, sollte man beachten, denn sie sind mit einer Rate von 2,4 % bis 18,1 % teilweise sehr hoch (19). Deshalb soll in dieser Arbeit untersucht werden, ob die subtile periphere Bypasschirurgie geeigneter ist als die endovaskuläre Therapie, ein Stadium III oder IV der PAVK zu therapieren und den Extremitätenverlust abzuwenden.

### **Fragestellung:**

Im Rahmen einer retrospektiven Studie soll untersucht werden:

- Inwieweit kann eine offen-chirurgische operative Versorgung mittels Bypassanlage eine Majoramputation (Ober-/Unterschenkelamputation) verhindern?
- Bestehen Unterschiede bei der Verwendung des Bypassmaterials?
- Liefert die immer häufiger angewendete endovaskuläre Therapie vergleichbare Ergebnisse?

## **1.1 Epidemiologie**

Laut der IDF-Statistik aus dem Jahr 2021 leben in Europa 61 Millionen Menschen (20-79 Jahre), die an DM erkrankt sind. Über 8,3 Millionen sind es allein in Deutschland und die Zahlen steigen weltweit weiterhin (2-4, 20). Die DM-Prävalenz in Deutschland ist mit 10,4 % sehr hoch und belegt den siebten Platz in der statistischen Reihenfolge, die USA ist auf Platz vier mit 10,8 % und in Mexiko, dem Land, das den ersten Platz erreicht hat, liegt die DM-Prävalenz mit 13,5 % am höchsten (4). Auch die Prävalenz der PAVK steigt und liegt bei 3-10 %, bei über 70-Jährigen liegt die Prävalenz bei mehr als 15 % (21-23). Das Risiko, eine PAVK zu entwickeln, liegt bei Diabetikern nicht nur zwei- bis vierfach höher als bei Nichtdiabetikern, sondern sie entwickeln die PAVK früher und erreichen schneller die hohen PAVK-Stadien, die dann in CLI übergehen (24, 25). Mehr als 50 % der Patienten mit PAVK sind Diabetiker (7). Die Therapie von Patienten, die an PAVK leiden, ist sehr kostenintensiv und die Kosten steigen mit Zunahme der Stadien der PAVK (26).

## **1.2 Amputation und Lebenserwartung**

Eine Amputation über der Knöchelregion wird als Majoramputation und eine Amputation unterhalb der Knöchelregion als Minoramputation bezeichnet (13). „Majoramputationen werden von Patienten mit diabetischem Fußsyndrom mehr gefürchtet als der Tod oder die Dialysepflichtigkeit“ (27). In der letzten Zeit sind Majoramputationen bei Diabetikern im Vergleich zur Gesamtzahl der durchgeführten Amputationen in den Jahren von 2005 bis 2014 von 70,2 auf 63,7% gesunken (13). Bei der Betrachtung der Gesamtzahl der Amputationen, die zwischen den Jahren 2005 und 2014 durchgeführt wurden, stellt man einen Anstieg von 55.689 auf 57.637 (+3,5 %) fest. Dabei waren die Amputationen, die durch PAVK oder DM verursacht wurden, von 48.043 auf 48.561 (+1,1%) nur minimal angestiegen. In der Aufteilung dieser Amputationen auf Major- und Minoramputationen konnten Kröger et al. feststellen, dass die Anzahl der Majoramputationen von 19.189 im Jahr 2005 auf 13.048 (30,9 %) im Jahr 2014 gesunken war. Gleichzeitig nahm aber die Anzahl der Minoramputationen von 28.854 auf 35.513 (25,4 %) zu. Dieser Anstieg der Minoramputationen ist durch die erhöhte Anzahl der Minoramputationen bei Männern in der achten Lebensdekade zu erklären (13). Die Patienten, die an CLI leiden, haben die schlechteste Prognose. Nur 45 % dieser Patienten überleben das erste Jahr ohne

ein kardiovaskuläres Ereignis oder ohne eine Majoramputation (28, 29). Obwohl bei diesen Patienten die Möglichkeit zur Revaskularisation besteht, ist die Prognose nicht günstig. Denn bereits nach einem Jahr sind 25 % der Patienten wegen kardiovaskulärer Komorbidität verstorben, 30 % der Patienten sind innerhalb dieses Zeitraums amputiert worden, 20 % der Patienten leiden weiterhin an einer kritischen Extremitätenischämie und nur 25 % konnten erfolgreich behandelt werden (30). Eine große Studie aus England zeigte, dass Diabetiker dreimal häufiger an einer Amputation verstarben als Nichtdiabetiker (31). Die Amputation der unteren Extremitäten bei Diabetikern führt auch zu einer verminderten Lebensqualität. Darüber hinaus hat die Amputation auch wirtschaftliche Konsequenzen, denn sie ist mit erhöhten Gesundheitskosten verbunden (32).



**Abbildung 1:** Diabetisches Fußsyndrom und PAVK im Stadium IV nach Fontaine



**Abbildung 2:** Z.n. Anlage eines pedalen Bypasses auf die A. dorsalis pedis und Minoramputation

### 1.3 Pathogenese

Die Annahme, dass die Arteriosklerose eine Erkrankung der Zivilisation ist, konnte in den Untersuchungen der Mumien aus verschiedenen Kontinenten und Populationsschichten widerlegt werden. Schon vor 4.000 Jahren litten die Menschen an Gefäßablagerungen und Verkalkungen (33, 34). Die Arteriosklerose ist gekennzeichnet durch die Versteifung und den Elastizitätsverlust der Gefäßwand. Die Ursache dafür liegt nicht nur in der zunehmenden Einlagerung von Lipiden, Cholesterin- und/oder Kalkkristallen, sondern auch im Verlust der elastischen Fasern in der Gefäßwand (33). Die klinisch bedeutendste Form der Arteriosklerose ist die Atherosklerose (33, 35). Bei dieser Form der Arteriosklerose entstehen Plaques, die durch die von Ross entwickelte Response-to-injury-Hypothese zu erklären sind (36). Sie besagt, dass die Verletzungen des Endothels zu einer chronischen Entzündung führen, die wiederum unterschiedliche Reparaturprozesse in Gang setzt (33, 36). Am Anfang steht die Verletzung des Endothels, die zur endothelialen Dysfunktion führt. Sie ist auch durch die erhöhte Permeabilität gekennzeichnet. Dies führt zu Thrombozyten-Adhäsion und Migration der Monozyten und glatten Muskelzellen („smooth muscle cells“, SMC) in die Intima. Sie sezernieren Zytokine, also

Wachstumsfaktoren wie z.B. PDGF („Platelet-derived growth factor“), die erneute Rekrutierung und Migration der Zellen verursacht. Die Monozyten differenzieren sich zu Makrophagen und phagozytieren zusammen mit SMC oxidiertes und in der Intima abgelagertes LDL-Cholesterin („low-density lipoprotein“). Dadurch werden sie zu Schaumzellen und lagern sich in der Intima ab. Dies ist ein chronischer Prozess, der am Ende zur Plaque-Bildung führt (33). „Als Plaque wird definiert eine intraarterielle Formation von größer als 0,5 mm oder wenn diese Plaque mindestens 50 % der umgebenden Intima-Media-Dicke ausmacht oder eine Dicke > 1,5 mm hat, gemessen von der Media-Adventitia-Grenze bis zum Gefäßlumen“ (37). Die Arteriosklerose wird mittlerweile als chronisch entzündliche Erkrankung der Gefäßwand bezeichnet. Der Hauptgrund dafür sind die entzündlichen Veränderungen des Endothels (38). Eine andere Form der Arteriosklerose, die für die Gefäßchirurgie von Bedeutung ist, ist die fibromuskuläre Intimahyperplasie. Sie entstehen bei mechanischen Verletzungen, wie z.B. Stentimplantation (33). Durch die Aufdehnung der Gefäßwand kommt es zur Verletzung der Media und Adventitia und zur Proliferation von Endothelzellen und Mediamyozyten. Dadurch kann es zur Lumeneinengung im Gefäß kommen (38).

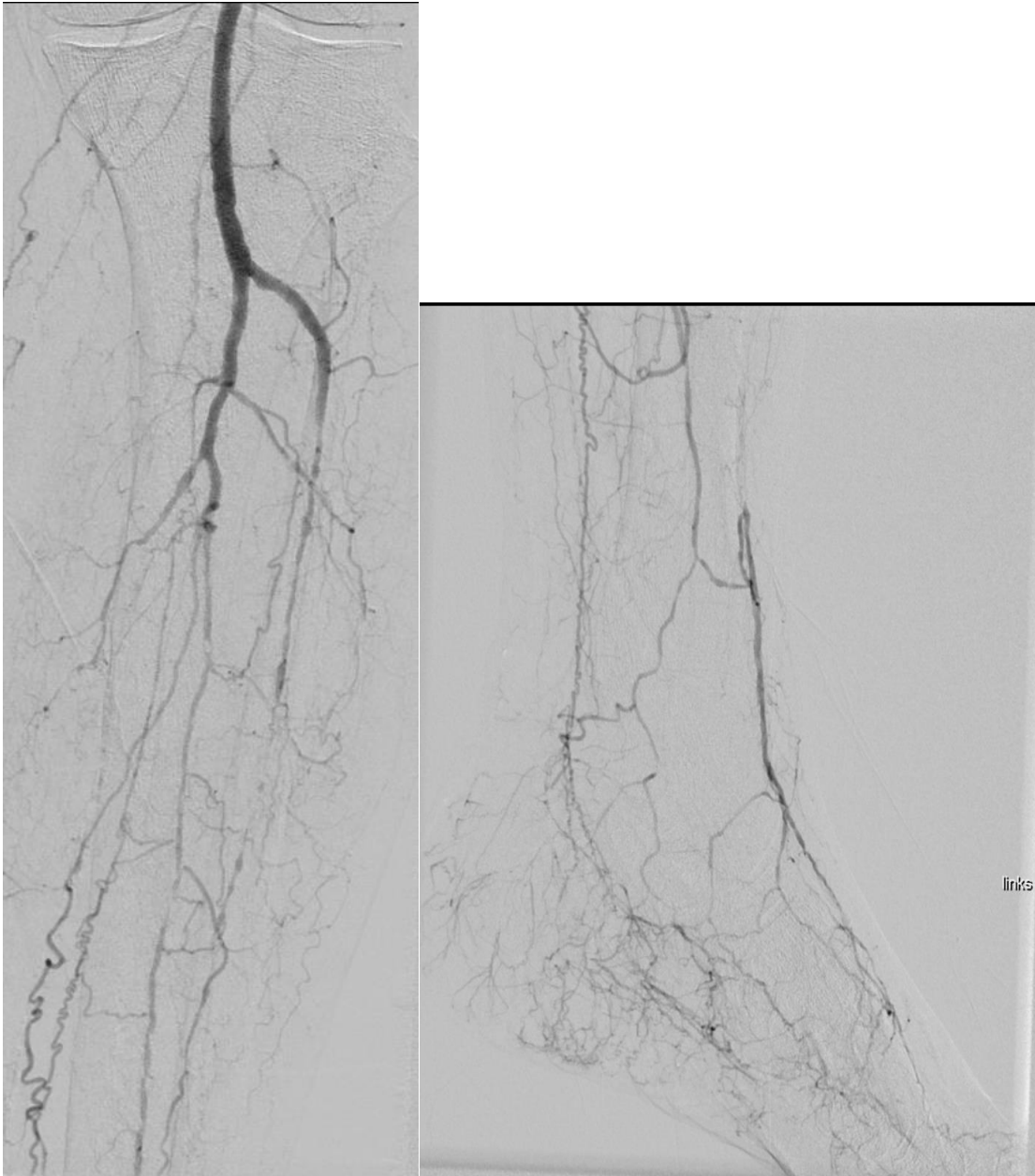
#### **1.4 Definitionen: DFS, PAVK, CLI**

In der IWGDF (International Working Group on the Diabetic Foot) - Leitlinie wird das DFS als „Infektion, Ulzeration oder Gewebeerstörung am Fuß eines Menschen mit Diabetes mellitus in Verbindung mit neurologischen Störungen und/oder einer PAVK“ definiert (10, 39, 40). In Deutschland gehören auch die Vorstufen eines Ulkus wie z. B. Hornhautschwielen oder die trockene, schuppige Haut dazu (41).

Die periphere arterielle Verschlusskrankheit (PAVK) bezeichnet eine Durchblutungsstörung der Arterien (42).

„Die kritische Extremitätenischämie (CLI; „critical limb ischemia“) stellt den Oberbegriff der Stadien der PAVK dar, in denen die Patienten entweder Ruheschmerzen (Stadium III nach Fontaine) oder einen Gewebeuntergang im Sinne eines Ulkus oder eines Gangrängs (Stadium IV nach Fontaine) über einen Zeitraum von mehr als zwei Wochen aufweisen“ (30). Während bei den Patienten ohne DM die PAVK vorwiegend in dem Becken-Bein-Bereich ihre Ausprägung hat, dominieren die Stenosen oder die Verschlüsse an den Gefäßen bei Diabetikern eher im Unterschenkelbereich. Die Fußarterien sind meist noch perfundiert (5, 8). In der Abbildung 3 ist für die Diabetiker

typisches Verschlussmuster dargestellt, nämlich ein sog. Unterschenkelarterien-Querschnittverschluss, das heißt, keine von den drei Unterschenkelarterien ist durchgängig zum Fuß. Fuji et al. konnten feststellen, dass auch die Rezidivrate der Wiederentstehung der Wunden bei Diabetikern signifikant höher ist als bei Nichtdiabetikern (43).



**Abbildung 3:** Verschluss der Unterschenkelarterien

**Abbildung 4:** teilweise erhaltene Fußarterien

Im Gegensatz zu den Nichtdiabetikern empfinden Diabetiker wenig bis keine Schmerzen. Dadurch bemerken die Patienten Wunden, Infektionen und



Durchblutungsstörungen an den Füßen viel zu spät (9). Diabetiker haben ein hohes Risiko von 30-40 % innerhalb eines Jahres erneut ein Ulkus zu entwickeln (44, 45). Auch die Stoffwechsellage spielt bei Diabetikern eine große Rolle in Bezug auf die PAVK, denn eine Erhöhung des HbA1c-Wertes um 1 % steigert das Risiko, eine PAVK zu entwickeln um 26 % (37).

### 1.5 Stadieneinteilung

In Deutschland wird die klinische Symptomatik bei PAVK nach Fontaine klassifiziert. International erfolgt diese Klassifizierung nach Rutherford (Tab. 1). Beide Klassifikationssysteme beschreiben Schmerzintensität und Gewebsuntergang (46). Bei den Patienten mit DFS kommt es häufig nicht nur zu einer Ischämie, sondern auch als zusätzliche Komplikation zu einer Infektion. Auch Schmerzen sind aufgrund der häufig vorhandenen Neuropathie wenig vorhanden. Daher ist es üblich, bei diesen Patienten eine weitere Klassifikation zur Beschreibung der Wundsituation, nämlich die Wagner-Armstrong-Klassifikation zu verwenden (47).

Fontaine		Rutherford		
Stadium	Klinisches Bild	Grad	Kategorie	Klinisches Bild
I	asymptomatisch	0	0	asymptomatisch
II a	Gehstrecke < 200 m	I	1	leichte Claudicatio intermittens
II b	Gehstrecke < 200 m	I	2	mäßige Claudicatio intermittens
		I	3	schwere Claudicatio intermittens
III	ischämischer Ruheschmerz	II	4	ischämischer Ruheschmerz
IV	Ulkus, Gangrän	III	5	kleinflächige Nekrose
		III	6	großflächige Nekrose

**Tabelle 1:** Klassifikation der PAVK nach Fontaine-Stadien und Rutherford-Kategorien (46)

## 1.6 Diagnosestellung

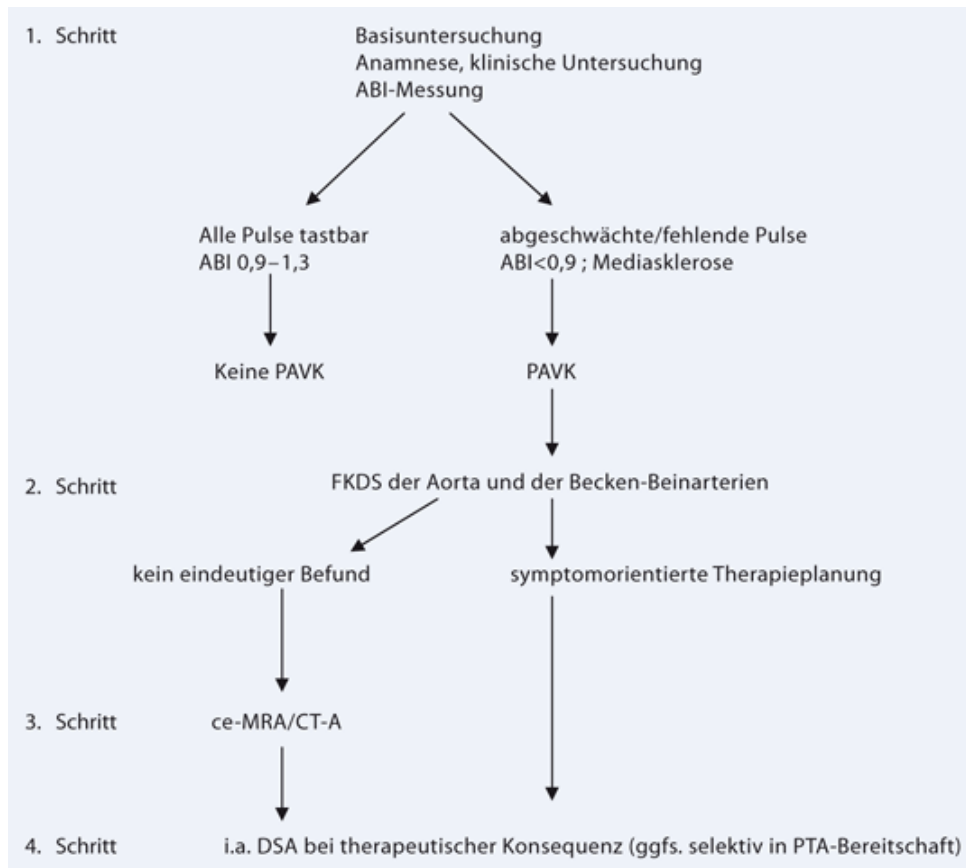
Als erstes sollen die Patienten zunächst klinisch untersucht werden. Dazu gehören gründliche Anamnese, beidseitige Untersuchung der Füße, überprüfen der Berührungssensibilität und Pulsstaterhebung (41). Dabei ist zu beachten, dass tastbare Pulse eine PAVK nicht ausschließen (48). Daher müssen zusätzliche Untersuchungen wie die Dopplerverschlussdruckmessung und Erhebung des Knöchel-Arm-Index (ankle-brachial-index, ABI) erfolgen. Der ABI wird aus dem Quotienten (systolischer Blutdruck Knöchel/systolischer Blutdruck Arm) berechnet. Der systolische Blutdruck am Bein bezieht sich auf die Fußarterien A. tibialis posterior und die A. dorsalis pedis (49). Die erniedrigten ABI-Werte sind maßgeblich für die Diagnosestellung einer PAVK ( Tab. 2. ) (50).

ABI	Klinische Bedeutung
>1,3	Mediasklerose
0,9-1,3	Normal
0,5-<0,9	Periphere arterielle Verschlusskrankheit
<0,5	Kritische Extremitätenischämie

**Table 2:** Ankle-brachial-Index, ABI (50)

Bei Menschen mit Diabetes Mellitus ist die Aussagekraft der ABI-Werte aufgrund häufig bestehender Mediasklerose nicht verlässlich (51). Bei Mediasklerose können die Arterien durch die Manschette nicht vollständig okkludiert werden. Insofern werden falsche hohe Werte gemessen. Bei diesen Patienten können andere Tests wie z.B. der Pole-Test zur Rate gezogen werden und bei der Beurteilung der arteriellen Durchblutung helfen und damit auf eine PAVK hindeuten (50, 52). „Pole-Test: Anheben des Beins beim liegenden Patienten über Herzniveau und gleichzeitige Dopplersignableitung (Höhe des Beins bei Erlöschen des Dopplersignals in cm  $\times$  0,78 entspricht Knöcheldruck in mmHg) (53)“. Wenn der Verdacht einer PAVK vorliegt, geht es darum, die Ausprägung der Durchblutungsstörung und die evtl. vorhandene Engstellen oder sogar Verschlüsse in den Gefäßen festzustellen (46). Dabei ist die farbkodierte Duplexsonographie die Methode der Wahl (25, 46). „ Sind die duplexsonographische Befunde nicht eindeutig, sind zusätzliche bildgebende Verfahren notwendig (CT-MRT, CT-Angiographie, DSA) (25)“. Die Abbildung 1 zeigt

schrittweises Vorgehen bei der Diagnosestellung der PAVK. Bei der Notwendigkeit einer Revaskularisation kann aus der schon durchgeführten Diagnostik eine Therapieplanung erfolgen.



**Abbildung 5:** Algorithmus zur Diagnostik der peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (PAVK). ABI=Knöchel-Arm-Index, FKDS=farbkodierte Duplexsonographie, ce-MRA=kontrastmittelunterstützte Magnetresonanztomographie, CT-A=computertomographische Angiographie, PTA=perkutane transluminale Angioplastie (50)

## 1.7 Therapie

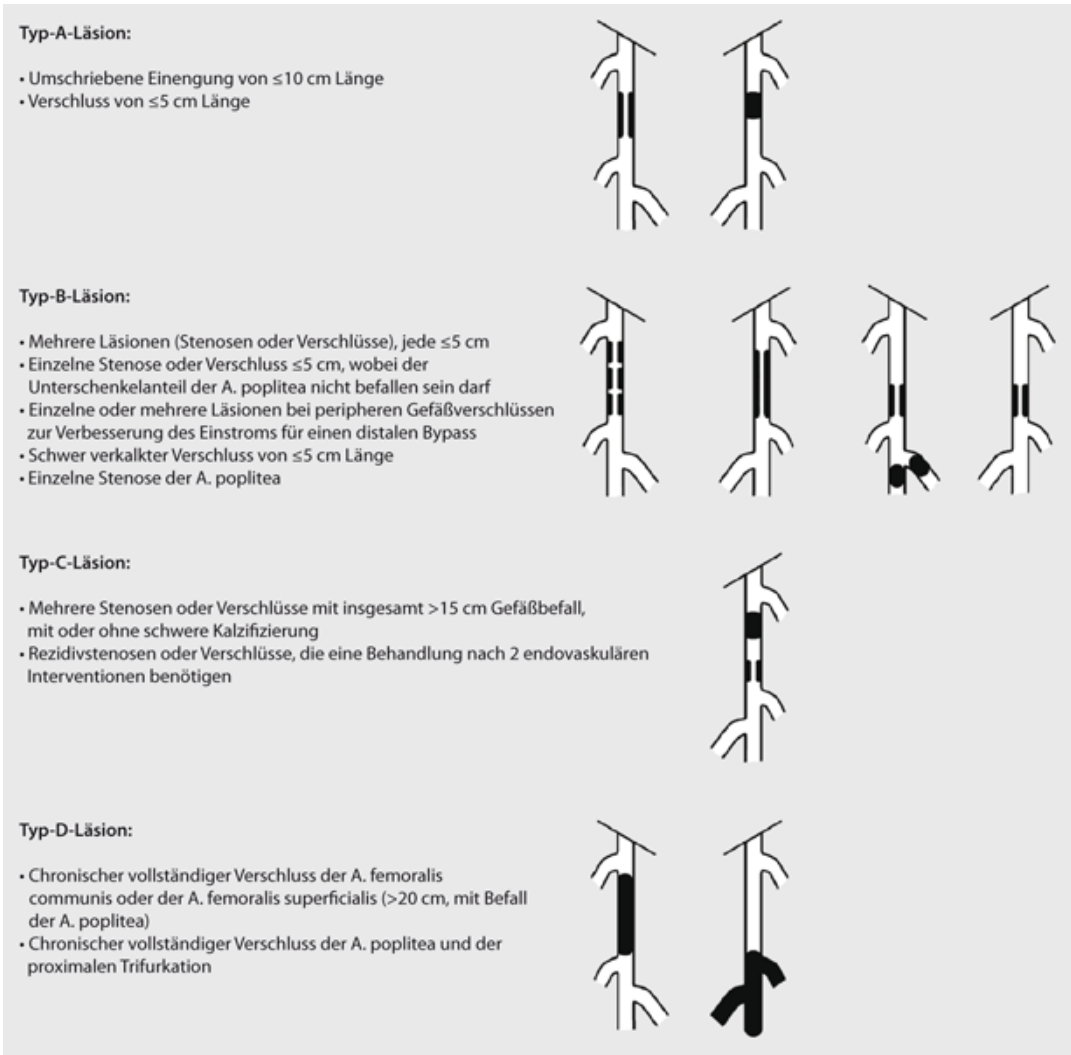
Zunächst sollen äußere Einflüsse auf die kardiovaskulären Faktoren reduziert oder eliminiert werden. Dann soll eine medikamentöse Therapie der systemischen Risikofaktoren wie Hypertonie, Hypercholesterinämie und DM eingeleitet oder optimiert werden. Auch die Gabe von Thrombozytenfunktionshemmern wird empfohlen (25, 54). Die weitere Therapie richtet sich nach den Stadien der PAVK, dem Leidensdruck und der allgemeinen Verfassung des Patienten. Denn „nicht alles, was technisch möglich ist, ist medizinisch auch sinnvoll“ (54).

### **1.7.1 Konservativ**

In den symptomatischen Stadien der Claudicatio IIa - IIb wird ein Gehtraining empfohlen (25). Wenn der Leidensdruck hoch ist oder schlechte Voraussetzungen (z. B. Mehretagenverschluss) für ein Gehtraining vorliegen, kann eine Revaskularisation schon in den frühen Stadien von Vorteil sein (22, 25). In den fortgerittenen Stadien der PAVK sollte eine Revaskularisation erfolgen, es sei denn die Patienten sind multimorbide und dadurch nicht operabel. Dann erfolgt die medikamentöse Therapie mit z.B. Prostaglandin E und lokaler Wundbehandlung (55).

### **1.7.2 Perkutane endovaskuläre Therapie**

Die Therapiewahl (endovaskulär oder offen-chirurgisch) richtet sich nach dem in TASC II klassifizierten Läsionsmuster der Gefäße (30). Als Ergebnis der Zusammenarbeit aller relevanten internationalen Fachgemeinschaften zur Diagnostik und Therapie der PAVK wurde im Jahr 2000 das TASC Dokument (Transatlantic Inter-Society Consensus Document on Management of Peripheral Arterial Disease) präsentiert (28, 56). Sieben Jahre später folgte wegen unaufhaltsam fortschreitender Entwicklung in der Gefäßmedizin die überarbeitete Version von TASC, nämlich TASC II (28). Die Klassifikation ist in der Abbildung 6 zu sehen.



**Abbildung 6:** TASC II - Klassifikation der femoro-poplitealen Läsionen (28, 57).

Zur Verfügung stehen mehrere Methoden der endovaskulären Versorgung. Da wären PTA (perkutane transluminale Angioplastie), DEB (Drug Eluting Balloons), DCB („drug-coated balloon“), Atherektomie und Stent-Implantation. Zimmermann et al. stellten fest, dass bei alleiniger Betrachtung nur einer Region mit Gefäßläsionen bis zu 70 % der Extremitäten in CLI Stadium endovaskulär versorgt werden könnten. Da in diesem fortgeschrittenen Stadium mehrere Etagen mit Läsionen betroffen sind, reduziert sich der endovaskulär zu versorgende Anteil der Extremitäten auf 41 % (58). Eine optimale Lösung in der endovaskulären Therapie der TASC-II C und D Läsionen konnte bis heute noch nicht präsentiert werden und ist eine Herausforderung für die Therapeuten (17).

### 1.7.3 Operative Therapie

Prothesen wurden in den siebziger Jahren von Jörg Vollmar (1923-2008) entwickelt (59). Die Geschichte der Gefäßchirurgie begann etwa 700 v. Chr. als der indische Arzt Sushruta eine Gefäßligatur in seinem Buch beschrieben hat (59, 60). Erst im 20. Jahrhundert kam es zu bedeutenden Fortschritten in der Gefäßchirurgie. Den entscheidenden Impuls für die Bypasschirurgie brachte Raynaldo dos Santos (Lissabon) mit der Erfindung der Angiographie. So konnte erstmals die Lokalisation der Obstruktion und damit der Weg für die Umgehung, d.h. den Bypass, erkannt werden. Der erste femoro-popliteale Bypass wurde von Jean Kunlin 1948 durchgeführt. Dabei hat er körpereigenes Material verwendet, die V. saphena magna (59). Im Jahr 1959 folgte die Vorstellung eines distalen cruralen Bypasses durch Morris (14, 15). Bei Mangel an autologem Gefäßmaterial wurde nach Ersatz mit homologen, xenogenen Materialien und schließlich alloplastischem Gefäßersatz, also Kunststoff-Gefäßprothesen, geforscht. Einen Durchbruch erreichte Voorhees im Jahr 1952 durch die Verwendung von Gefäßprothesen aus Vinyon „N“. Dadurch ist eine florierende Produktion von Gefäßprothesen entstanden, die auch in den kaliberstarken Gefäßregionen wertvolle Dienste geleistet hat (59, 61). Im Kleinkaliber-Bereich ist die Anwendung dieser Gefäßprothesen allerdings wegen der hohen Thromboserate wenig sinnvoll und nur noch als Ultima Ratio gerechtfertigt.

In der peripheren Bypasschirurgie hat der Operateur häufig nur begrenzte Auswahl an brauchbaren Anschlussgefäßen. Meist steht nur eine Arterie zur Verfügung. Bei den Diabetikern ist es häufig die A. dorsalis pedis. Ein Vorteil dieser Arterie ist, dass auch die Wunden in der Fersenregion, die eigentlich durch die A. tibialis posterior versorgt werden, bis zu 90 % abheilen, wenn man einen pedalen Bypass an dieses Gefäß anschließt (14, 62). Auch das Bypassmaterial ist von entscheidender Bedeutung (63). Bei dem körpereigenen Ersatzmaterial für die Bypässe, also Venen, liegt der Vorteil in der Infekteresistenz des Transplantats und der antithrombogenen Eigenschaft des vitalen Endothels (64). Am häufigsten wird die Vena saphena magna (VSM), und zwar in 70-80 % der Fälle, verwendet, gefolgt von den alternativen Gefäßen, wie Armvenen oder Vena saphena parva (VSP) (14). In der Studie von Okazaki et al. wurde gezeigt, dass die direkte Anwendung der operativen Versorgung ohne endovaskuläre Vortherapie die Wundheilungszeiten kürzer und die wundfreie Zeit länger sind (65). Auch Darling et al. konnten ähnliche Ergebnisse erzielen, allerdings waren die

Operationen mit längerem Krankenhausaufenthalt und Wundinfektionen verbunden (18). Daher wird versucht, bei mobilen Patienten mit einer Lebenserwartung von über zwei Jahren, zunächst eine Bypassanlage durchzuführen, erst recht, wenn geeignetes Bypassmaterial, also die VSM, zur Verfügung steht. Bei schwerkranken, multimorbiden, wenig mobilen oder sogar bettlägerigen Patienten sollte als erstes die endovaskuläre Versorgung erfolgen (18, 66). Der Zeitpunkt der Revaskularisation ist ebenfalls zu beachten, denn die zu späte Bypassanlage, auch wenn erfolgreich durchgeführt, kann den Patienten die Extremität kosten (67). In der Abbildung 7 ist ein DFS in Stadium IV mit feuchter Gangrän zusehen. Die Abbildung 8 zeigt einen postoperativen Befund nach einer Anlage eines pedalen Bypasses und einer Vorfußnachamputation.



**Abbildung 7:** DFS im PAVK-Stadium IV nach Fontaine



**Abbildung 8:** Z.n. Anlage eines Bypasses auf die A. tibialis anterior und Vorfußnachamputation.

## **2 Material und Methoden**

### **2.1 Patientenkollektiv**

Untersucht wurden Patienten, die in den Jahren von 2009 bis 2017 im Marienhaus Klinikum Mainz (MKM, ehemals Katholisches Klinikum Mainz) einen cruralen oder einen pedalen Bypass erhalten haben. Da manche Patienten Bypässe an beiden Beinen bekommen haben, also einen rechts und einen links oder bei Verschluss eines Bypasses eine Bypassneuanlage, wurde die Anzahl der operierten Beine, im Weiteren dann Fälle genannt, für die Arbeit benutzt. Insgesamt konnten Daten von 168 Patienten erhoben werden, die aber 198 operierten Beinen entsprechen.

### **2.2 Präoperative Vorbereitung**

Alle operierten Patienten haben präoperativ eine bildgebende Diagnostik bekommen. Das war in den meisten Fällen eine DSA, bei den Patienten mit einer schweren Niereninsuffizienz wurde eine CT- oder MR-Angiographie, bei der kein jodhaltiges Kontrastmittel verwendet wurde, angefertigt. Alle Patienten befanden sich im CLI - Stadium, hatten also entweder Ruheschmerzen oder es waren schon Läsionen an den Füßen vorhanden. Mittels Duplexsonographie wurde eine geeignete Vene ausgesucht



und markiert. Bei Nichtvorhandensein einer geeigneten Vene wurde für den Bypass eine Prothese (Omniflow II) verwendet.

### **2.3 Datenerhebung**

Zunächst wurde eine schriftliche Erlaubnis der Geschäftsführung zur Datenerhebung im MKM eingeholt. Es wurden Daten aus den teilweise digitalen Akten und teilweise noch aus dem Aktenarchiv gesammelt. In der Nachsorge, die nach drei, sechs und zwölf Monaten routinemäßig stattfand, wurde die Funktionalität des Bypasses überprüft. Dabei wurde die Extremität klinisch und duplexsonographisch untersucht und der ABI-Wert erhoben. Auch die suffiziente Antikoagulation wurde überprüft.

Die erhobenen Daten wurden in eine Excel-Tabelle (Microsoft Office Professional Plus 2016) eingetragen und für die Auswertung mit den Statistik-Programmen IBM SPSS Statistics Version 23, Statsdirect Version 3.3.5 genutzt.

Der Beobachtungszeitraum war von 02.01.2009 bis 10.06.2020. Die Beobachtung wurde frühzeitig beendet, wenn der Patient verstorben war, eine Majoramputation erfolgte oder der Patient in der Nachsorge nicht mehr erreicht werden konnte. Trotz intensiver Versuche, die noch fehlenden Daten in der Nachsorge in den Patientenakten oder auch bei den Hausärzten zu erlangen, ist dies nicht immer gelungen. Daher besteht ein Lost-to-follow-up in 20 Fällen. Das komplette Follow-up berücksichtigt 178 Fälle. In der Auswertung wurde die Fallzahl als n = angegeben.

### **2.4 Zusammenarbeit mit den Hausärzten**

In den ausgearbeiteten Akten konnte man die Krankengeschichte der Patienten verfolgen. Es gab jedoch Patienten, die sich nicht mehr in der gefäßchirurgischen Sprechstunde zur Nachkontrolle vorgestellt haben. Um aussagekräftige Daten zu bekommen, wurden die Hausärzte der Patienten, die nicht mehr in der Nachsorge waren, angeschrieben. Im Anschreiben wurde die Wichtigkeit der Zusammenarbeit erklärt und die Bitte geäußert, einen zuvor erstellten Fragebogen, der in der Abbildung 9 zu sehen ist, auszufüllen. Bezüglich des Datenschutzes wurde im Brief folgender Hinweis eingeführt.

*„Im Hinblick auf die ärztliche Verschwiegenheitspflicht und den Datenschutz teile ich mit, dass nach § 27 Abs. 1 Bundesdatenschutzgesetz die Verarbeitung personenbezogener Daten auch ohne die Einwilligung der betroffenen Person*

*für wissenschaftliche Zwecke zulässig ist. Ich sichere hiermit ausdrücklich zu, dass ich die vom Gesetz (§ 22 Abs. 2 S. 2 Bundesdatenschutzgesetz) geforderten Maßnahme ergreife, um den Datenschutz zu gewährleisten“.*

### **Fragebogen zur Dissertation**

#### **„Ergebnisse der cruralen und pedalen Bypasschirurgie beim diabetischen Fußsyndrom“**

Name des Patienten:

Geburtsdatum:

Ist der ....Bypass vom ..... durchgängig? Ja  Nein

Wenn nein, wann hat sich der Bypass verschlossen? Datum: \_\_\_\_\_

Wann war der Bypass zuletzt offen? Datum: \_\_\_\_\_

Erfolgte zwischenzeitlich eine Amputation? Ja  Nein

Wann? Datum: \_\_\_\_\_

Wenn ja, in welcher Höhe wurde amputiert? \_\_\_\_\_

Ist der Patient zwischenzeitlich verstorben? Ja  Nein

Falls verstorben, wann? Datum \_\_\_\_\_

Bemerkungen:

**Abbildung 9:** Fragebogen an die Hausärzte

## 2.5 Statistische Methoden

Zur statistischen Auswertung für Offenheitsraten (Patency rate), amputationsfreien Überleben und Beinerhaltungsraten wurde die Kaplan-Meier Methode herangezogen. Die graphische Darstellung erfolgte mittels Kaplan-Meier-Kurven. Um zwei oder mehrere Gruppen in den Kaplan-Meier-Kurven zu vergleichen wurde der Log-rank-Test angewandt.

Die p-Werte wurden mittels Chi-Quadrat Test berechnet. Dabei galt der Unterschied als signifikant, wenn der p-Wert  $\leq 0,05$  war (68, 69).

Die Offenheit (Patency), also die Funktionalität des Bypasses wird nach Rutherford (70) anhand verschiedener Kriterien bestimmt. An der ersten Stelle steht die bildgebende Diagnostik, z.B. die nicht-invasive Duplexsonographie oder MR-, CT-Angiographie. Weiterhin soll der ABI-Wert dokumentiert werden. Dabei muss der gemessene ABI-Wert mindestens 0,10 über dem präoperativen ABI-Wert liegen und nicht weniger als 0,10 unter dem maximalem postoperativen ABI-Wert.

Als primäre Offenheit beschreibt Rutherford die Funktionalität, also die Durchgängigkeit des Bypasses, die ohne operative oder endovaskuläre Interventionen erhalten bleibt (70).

Wenn der Bypass nicht mehr durchgängig war und chirurgische oder endovaskuläre Maßnahmen erforderlich waren, um die Funktionalität wieder herzustellen, wird dies als sekundäre Offenheitsrate bezeichnet (70).

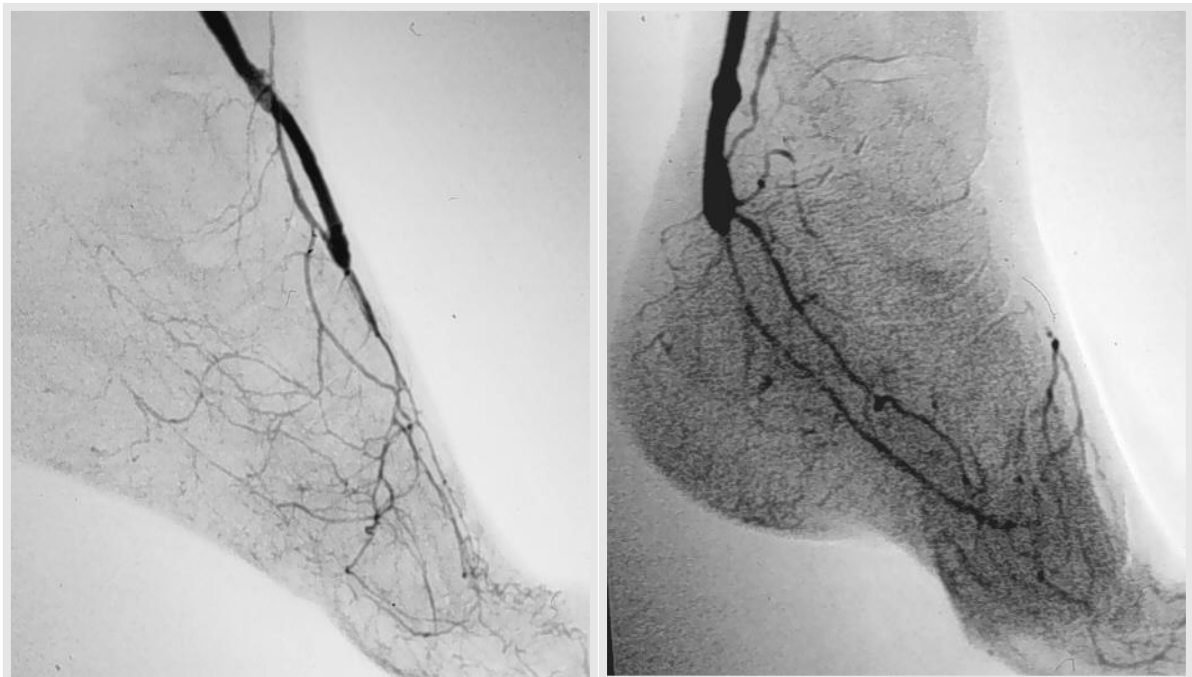
Wenn eine Extremität durch eine Bypass-Anlage gerettet werden kann, also eine Majoramputation verhindert wird, dann wird dies als Beinerhalt beschrieben (70).

Beim amputationsfreien Überleben ist entscheidend, wie lange ein Patient nach einer Revaskularisation ohne eine Amputation überlebt hat oder ohne eine Amputation verstorben war.

## 2.6 Auswahl der Operationstechnik

Bei der CLI ist nach Versagen von konservativer Therapie und interventionellen Techniken bzw. Unmöglichkeit der radiologischen Intervention die Bypasschirurgie die letzte verbleibende Möglichkeit der Extremitätenrettung. Bypasschirurgie bedeutet die Überbrückung einer durch Arteriosklerose verschlossenen Gefäßstrecke, die durch

interventionelle Kathedertechniken nicht eröffnet werden konnte bzw. diesen Techniken nicht zugänglich war aufgrund der Lage des Verschlusses. Dabei handelt es sich z. B. nicht um die gängigen Techniken einer Überbrückung des häufig vorkommenden Verschlusses der Oberschenkelarterie A. femoralis superficialis (AFS) zur Kniekehlenarterie, A. poplitea (AP) oberhalb und unterhalb des Kniegelenkspalts (AK=above knee, BK=below knee), sondern um eine anspruchsvolle, diffizile Chirurgie zum Bypassanschluss an Unterschenkel- und Fußarterien. Die Abbildungen 10 und 11 zeigen die angiologische Darstellung der distalen Bypass-Anastomosen.



**Abbildung 10:** Anlage eines pedalen Bypasses auf die A. dorsalis pedis

**Abbildung 11:** Anlage eines Bypasses auf die A. plantaris

Im hier untersuchten Patientengut (die Patienten befanden sich in den Stadien IIb, III und IV nach Fontaine) handelt es sich um Stenosen und Verschlüsse der infrapoplitealen Arterien. Insofern kommen Bypass-Operationen zu dem Unterschenkel, also crurale Bypässe und zu den Fussarterien, also pedale Bypässe in Betracht. Der Ursprung des Bypasses liegt bei cruralen und pedalen Bypässen entweder im Bereich der Leisten- und/oder Oberschenkelgefäßen, also der A. femoralis communis (AFC), AFS, A. profunda femoris oder in der Kniekehle, also AP. Bei pedalen Bypässen kann der Ursprung auch an Unterschenkelarterien sein (55).

Dabei gilt es, den Bypass möglichst kurz zu halten, denn je länger ein Bypass ist, desto größer ist die Gefahr einer Thrombosierung. Hier bietet sich auch die Technik des sog. distal origin Bypass an. Dabei ist ein Bypass von unter 40 cm Länge gemeint. Mit entferntem Ursprung, z. B. von der distalen AFS, AP oder sogar Unterschenkelarterien (5, 63, 71). Die Abbildung 12 zeigt einen solchen kurzen cruro-pedalen Bypass.



**Abbildung 12:** Intraoperatives Bild bei Anlage eines kurzen cruro-pedalen Bypasses

Von entscheidender Bedeutung für eine erfolgreiche crurale und pedale Bypasschirurgie ist das Bypassmaterial. Das ideale Bypassmaterial ist die körpereigene Vene, die Vena saphena magna. Ist diese nicht mehr vorhanden, weil sie z.B. durch eine Krampfader-OP entfernt wurde oder nicht geeignet, weil varikös verändert oder zu kaliberschwach (Durchmesser < 3,5 mm), kann man sich mit alternativen Venen behelfen, z.B. der Vena saphena parva, Armvenen, also Vena cephalica oder Vena basilica. Da diese Venen meist zu kurz sind, müssen sie ggf. zusammengesetzt (spliced) werden, um einen ausreichend langen Bypass herzustellen. Als letztes körpereigenes Material kann auf die „tiefe Vene“, die Vena femoralis zurückgegriffen werden. Diese ist aber sehr aufwändig zu präparieren und kann nur vom Adduktorenkanal bis zur Einmündung der Vena profunda femoris in die Vena femoralis comm. entnommen werden, um eine noch ausreichende venöse Drainage des Beins zu gewährleisten (55, 63). Die am häufigsten verwendete Vena

saphena magna kann in verschiedenen Formen benutzt werden, wobei hier die Venenklappen berücksichtigt werden müssen:

- als umgedrehte Vene (reversed) (72) (die Venenklappen behindern nicht den Fluss),
- als orthograde Vene (nonreversed) (73),
- als in situ belassenen Vene.

Bei den zwei letztgenannten Formen müssen die Venenklappen mit einem Valvulotom zerstört werden. Beim in situ Bypass, also einer Vene, die nur im Ursprung und am Zielgefäß zur Arterie hin präpariert wird, ansonsten aber in ihrem „Bett“ bleibt, müssen sowohl die Klappen zerstört werden, da sie sonst den Strom in der nun umgekehrten Richtung behindern würden als auch die Seitenäste verschlossen, unterbunden oder geklippt werden, da sonst aktive arteriovenöse Fisteln entstehen können, die dann keine ausreichende Perfusion mehr in die Zielarterie zulassen (74, 75).

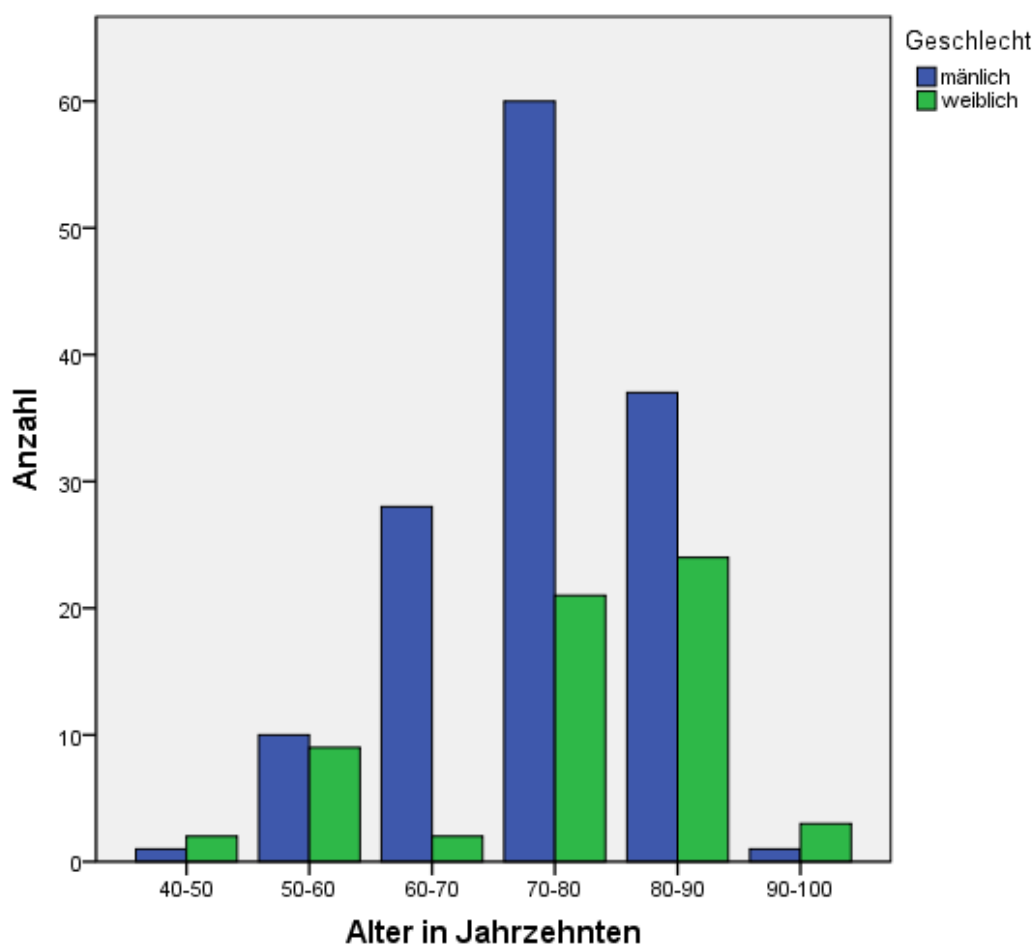
Als Gefäßersatz-Material, also als Gefäßprothesen, sind zurzeit nur eine biologische-biosynthetische Prothese die Omniflow II Prothese gefertigt aus Schafskollagen und einem Skelett aus Polyestergerewebe (76) oder PTFE Kunststoffprothesen verfügbar. Diese Prothesen können in Kombination mit Restvenen als Composit Graft oder direkt mit der Zielarterie anastomosiert werden (77, 78). Zur Erleichterung der Anastomose dieser eher klobigen Prothesen mit der winzigen Unterschenkel- oder Fußarterie können Venenreste als sog. Cuffs zwischengeschaltet werden (63).

Eine Sonderform ist der „Brückenbypass“ nach Deutsch (63, 79). Hier werden, wenn man noch ein paar cm Vene zur Verfügung hat, zwei Unterschenkel/Fußarterien miteinander verbunden und auf diese Venenbrücke eine Gefäßprothese aufgesetzt, sodass man distal zwei Gefäßregionen mit Vene anastomosiert hat und der Zustrom auf diese zwei Regionen mit einer Gefäßprothese erfolgt. Das hat einen höheren Zufluss zur Folge und damit eine geringere Thromboseneigung. Mit dieser Methode kann auch durch Anastomosierung einer Unterschenkelarterie mit einer Begleitvene eine AV-Fistel erzeugt werden, was wiederum einen vermehrten Fluss zur Folge hat.

### 3 Ergebnisse

#### 3.1 Demographie des Kollektivs

Insgesamt konnten Daten von 198 Fällen (Beinen) gewonnen werden. Davon gehörten 137 (69,2 %) operierte Beine männlichen Patienten und 61 (30,8 %) operierte Beine weiblichen Patienten. Zum Zeitpunkt der Operation lag das Durchschnittsalter bei 75 Jahren. Der jüngste Patient war 42 Jahre und der älteste Patient war 95 Jahre alt (Median 75 Jahre, Mittelwert 74,52 Jahre).

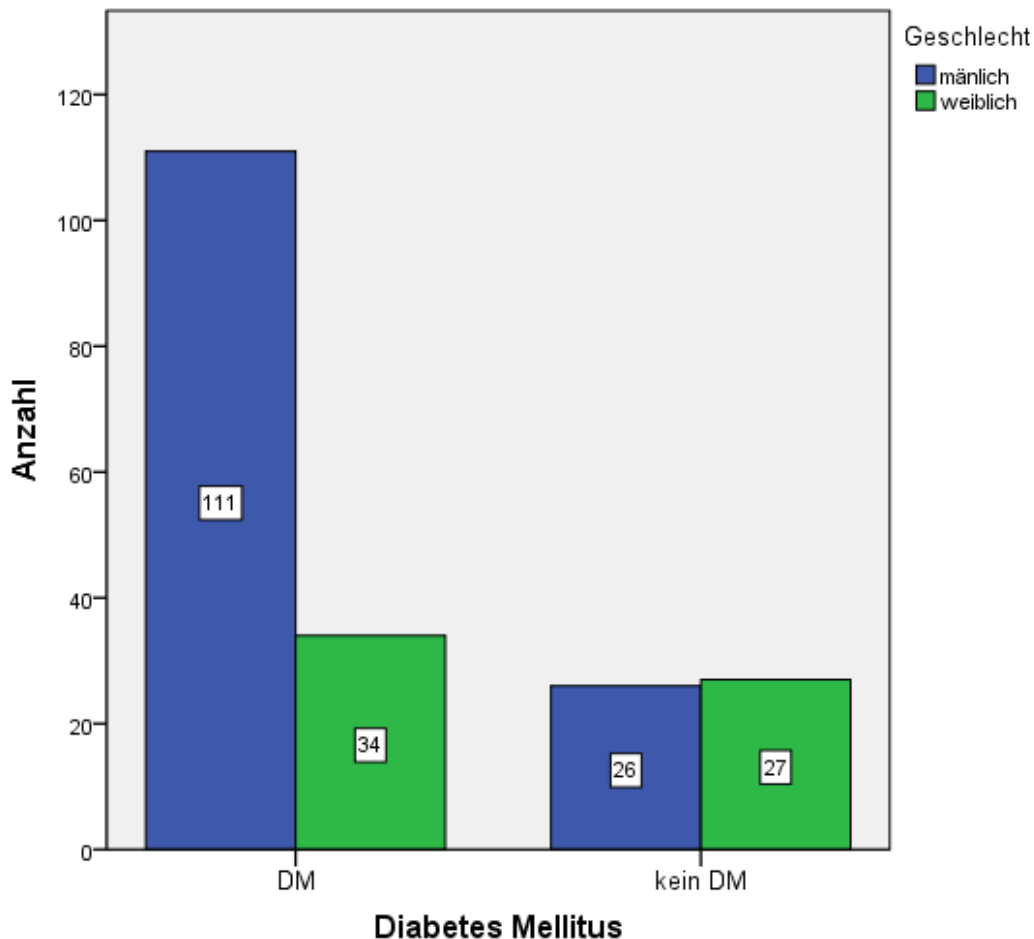


**Abbildung 13:** Alter der Patienten zum Zeitpunkt der Operation und Aufteilung nach Geschlecht (n=198)

In der Abbildung 13 sieht man, dass das männliche Geschlecht in den Dekaden zwischen 50 und 90 Lebensjahren dominiert hat, dagegen in den jüngeren Jahren sowie im deutlich fortgeschrittenen Alter war die Anzahl der weiblichen Patienten minimal höher. Es stand 1:2 in der vierten Dekade und 1:3 in der neunten Dekade. Das Altersgipfel der männlichen Patienten, die eine gefäßchirurgische Intervention

gebraucht haben, lag zehn Jahre früher, also in der siebten Dekade, als bei den Frauen. Der Altersgipfel der Frauen hatte das Maximum erst in der achten Dekade erreicht.

### 3.2 Diabetes Mellitus als Risikofaktor

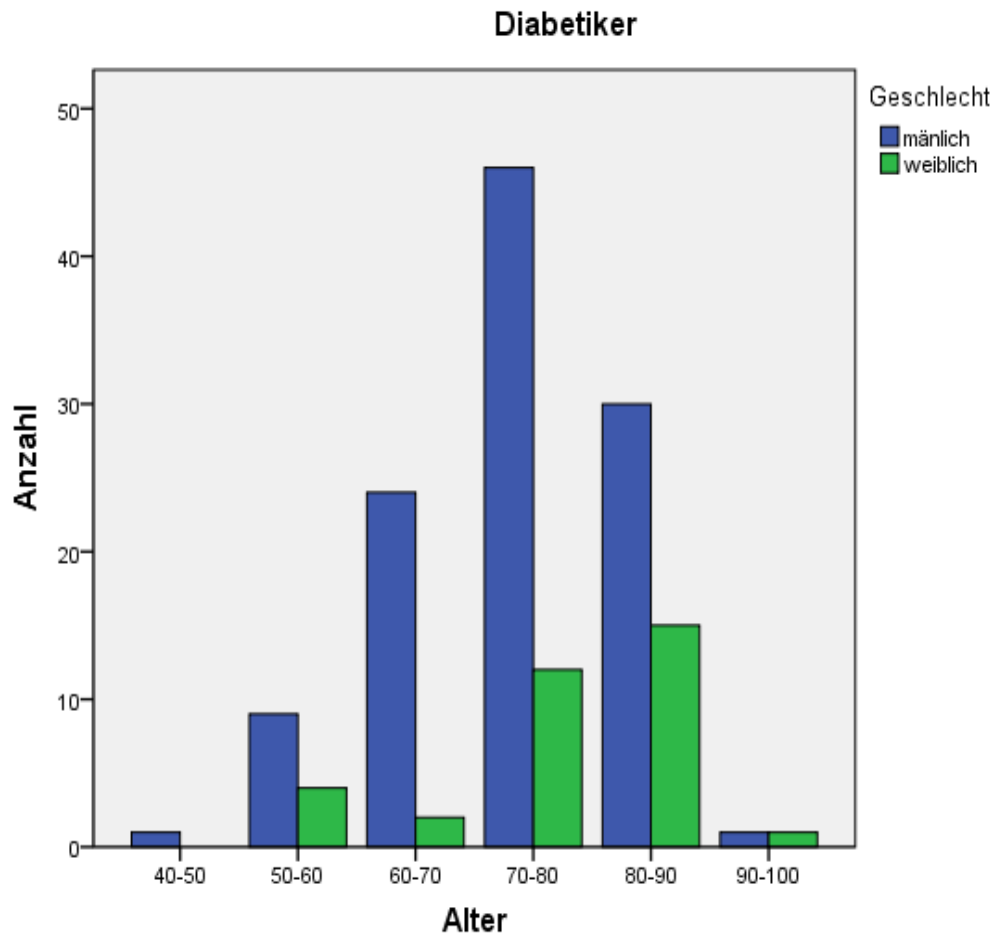


**Abbildung 14:** Diabeteserkrankung und Geschlechterverteilung.  $p = 0,0001 (n=198)$

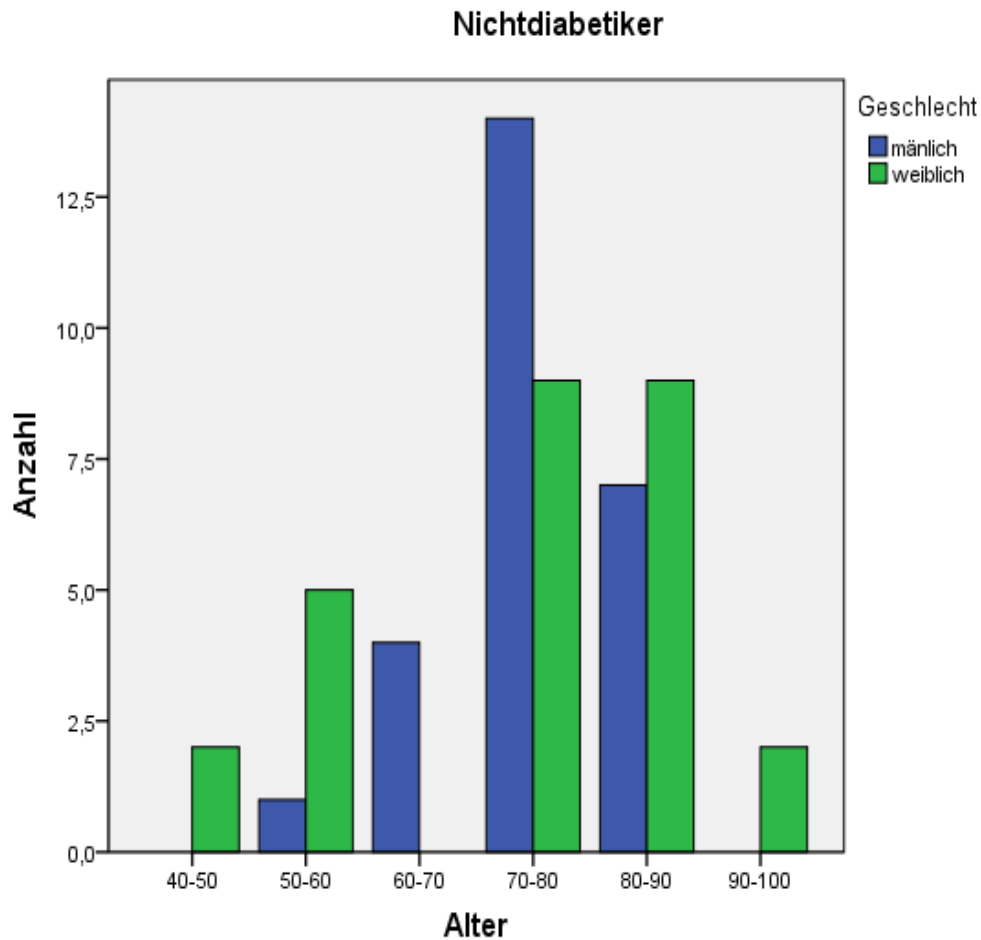
Das Histogramm in der Abbildung 13 zeigt, dass von insgesamt 145 Fällen (73,2%) in der Diabetiker-Gruppe 111 männlich (76,6%) und nur 34 weiblich (23,4 %) waren. In der Gruppe der Nichtdiabetiker 53 (26,8%) waren die Fälle annähernd gleich verteilt. In 26 Fällen (49,1%) waren es männliche und in 27 Fällen (50,9%) waren es weibliche Extremitäten. Der mit dem Chi-Quadrat-Test ermittelte p-Wert bei der Geschlechterverteilung lag bei 0,0001. Damit waren in der Diabetiker-Gruppe signifikant mehr Männer betroffen als Frauen. Die Altersverteilung bei den Diabetikern (siehe Abbildung 15) war ähnlich dem gesamten Patientengut. Jedoch in der Nichtdiabetiker-Gruppe (siehe Abbildung 16) war die Anzahl der Frauen in der siebten



Dekade sprunghaft angestiegen und deutlich höher als in der Diabetiker-Gruppe. Die Anzahl der Frauen war in der achten Dekade gleichgeblieben und war damit sogar höher als die Anzahl der Männer.



**Abbildung 15:** Altersverteilung bei Diabetikern (n=198)



**Abbildung 16:** Altersverteilung bei Nichtdiabetikern (n=198)

### 3.3 PAVK-Stadien

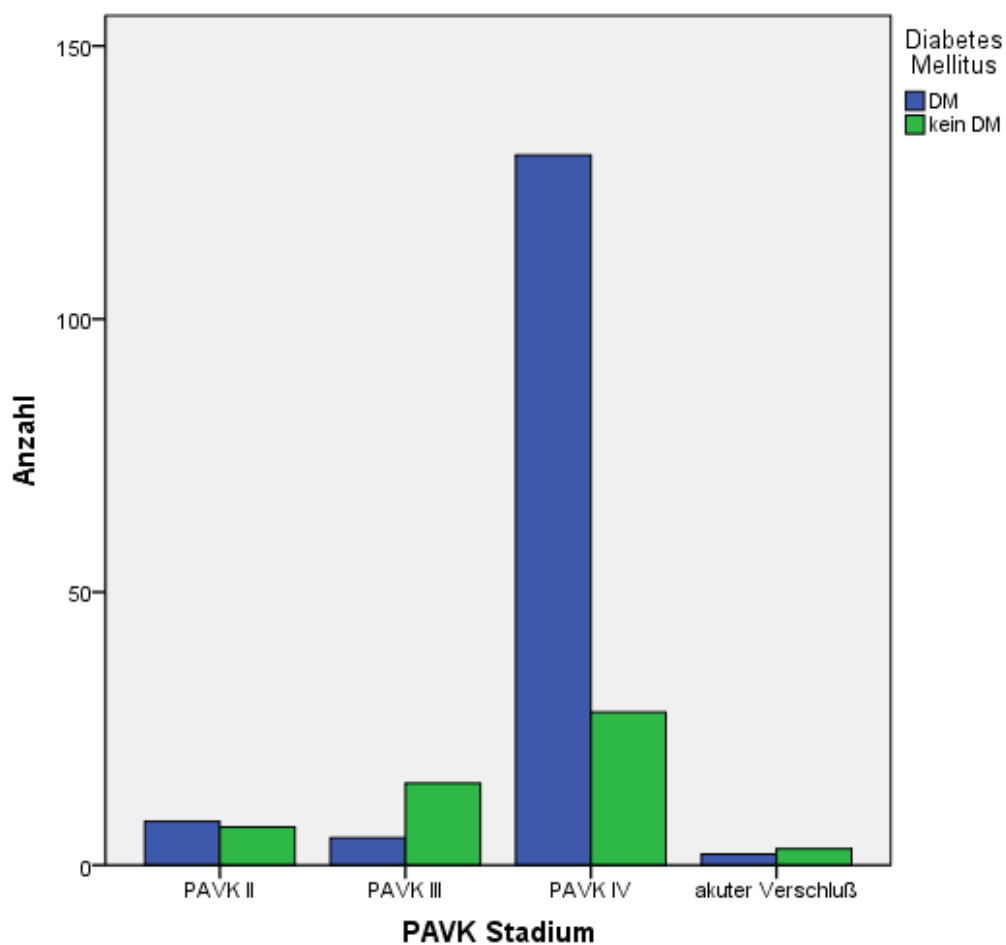
Die überwiegende Zahl der Patienten, die einen cruralen oder pedalen Bypass erhalten haben, befanden sich in den PAVK-Stadien III und IV nach Fontaine, einige wenige im Stadium II oder hatten einen akuten Verschluss. Die Tabelle 3 zeigt die genaue Aufteilung der Patienten nach Stadien.

#### PAVK-Stadium

	Häufigkeit	Prozent
PAVK II	15	7,6
PAVK III	20	10,1
PAVK IV	158	79,8
akuter Verschluss	5	2,5
Gesamt	198	100,0

**Tabelle 3:** Stadieneinteilung der PAVK (n=198)

Wenn man die PAVK-Stadien nach Diabetiker- und Nichtdiabetiker-Gruppen aufteilt, (siehe Abbildung 17) kann man sehen, dass im Stadium II sich annähernd die gleiche Anzahl der Fälle in der Gruppe der Diabetiker, nämlich 8 (53,3%) und Nichtdiabetiker, nämlich 7 (46,7%) befanden. Im Stadium III befanden sich in der Gruppe der Diabetiker 5 Fälle (25%) und in der Gruppe der Nichtdiabetiker 15 Fälle (75%), weil Diabetiker in diesem Stadium wegen der Neuropathie häufig keine Schmerzen empfinden. Im Stadium IV, bei dem es schon zum Gewebsuntergang kam und die Patienten Wunden an der unteren Extremität entwickelt haben, waren die Diabetiker mit 130 (82,3%) deutlich in der Überzahl gegenüber den Nichtdiabetikern mit 28 (17%).



**Abbildung 17:** PAVK Stadieneinteilung bei Diabetikern und Nichtdiabetikern (n=198)

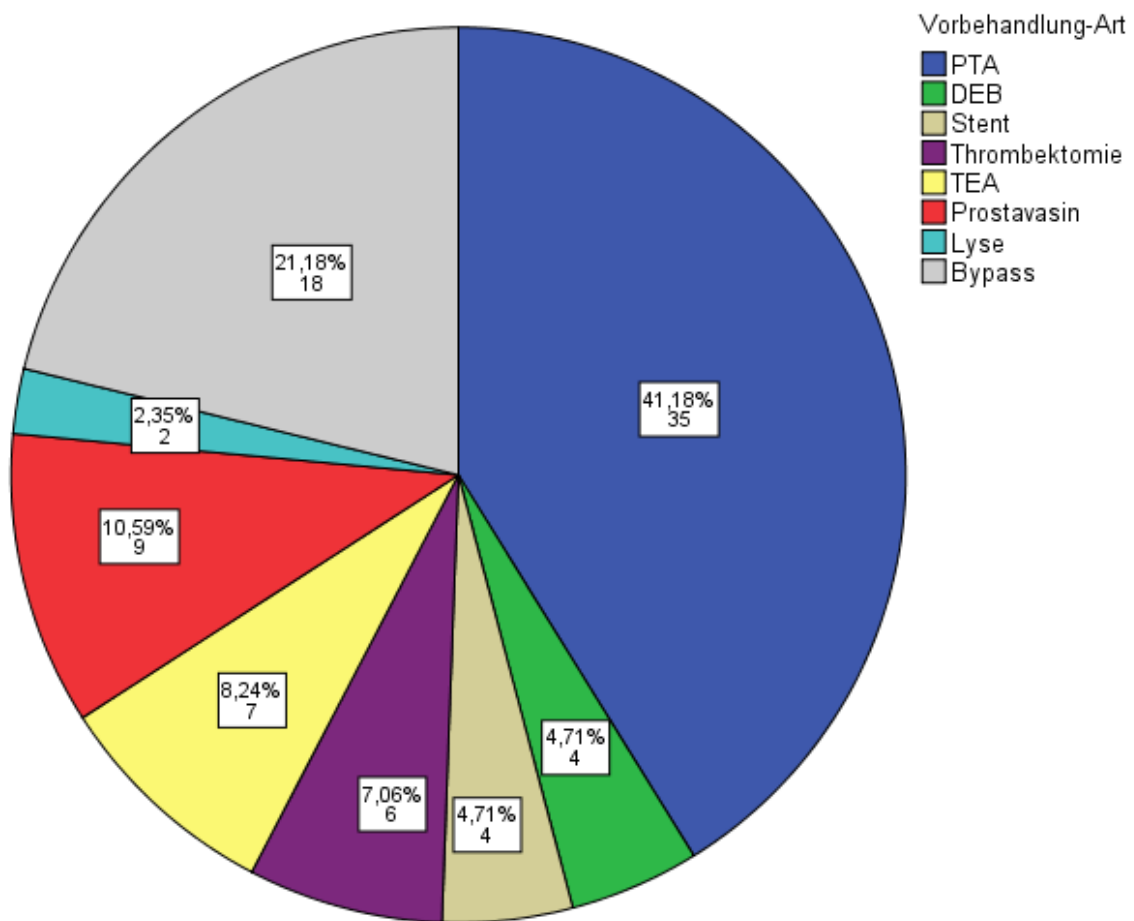
### 3.4 Vorbehandlung

Eine gefäßchirurgische Intervention ist manchmal unumgänglich und die einzige Möglichkeit, die untere Extremität vor einer Amputation zu retten. In schwierigen Fällen kommt es daher schon mal vor, dass es zuvor schon Versuche gab, die Durchblutung wiederherzustellen. Von insgesamt 198 Fällen waren 113 (57,1 %) präoperativ nicht vorbehandelt. Die anderen 85 (42,9%) haben unterschiedliche Vorbehandlungen erfahren. Davon waren 48 Fälle (24,2%) sogar mehrfach vorbehandelt. Am häufigsten wurde die PTA 35 (41,2%) durchgeführt. Die Verteilung der Vorbehandlungen ist aus der Tabelle 4 und Abbildung 18 zu entnehmen.

	Häufigkeit	Prozent
PTA	35	17,7
DEB	4	2,0
Stent	4	2,0
Thrombektomie	6	3,0
TEA	7	3,5
Prostvasin	9	4,5
Lyse	2	1,0
Bypass	18	9,1
Gesamt	85	42,9
keine Vorbehandlung	113	57,1
Gesamt	198	100,0

**Tabelle 4:** Verteilung der Vorbehandlungen (n=198)

Hinsichtlich der Vorbehandlungen in Abhängigkeit von der Bypassart gab es keine wesentlichen Unterschiede. Die Patienten, die einen cruralen Bypass erhalten haben, waren in 19 Fällen (18,4%) vorbehandelt gegenüber 17 Fällen (18,3%), die einen pedalen Bypass erhalten haben. Multiple Vorbehandlungen haben Patienten mit einem cruralen Bypass in 23 Fällen (22,3 %) bekommen, mit einem pedalen Bypass waren es 25 Fälle (26,9%). Die Vorbehandlung bei den Patienten, die beide Arten der Bypässe erhalten haben, war genau gleich verteilt.



**Abbildung 18:** Vorbehandlungen aufgeteilt nach Vorbehandlungsart. (n=85)

### 3.5 Bypass

Es wurden 103 (52%) crurale und 93 (47%) pedale Bypässe miteinander verglichen. In zwei Fällen (1%) haben die Patienten eine Kombination aus cruralem und pedalem Bypass erhalten.

### 3.5.1 Bypassart und Diabetes

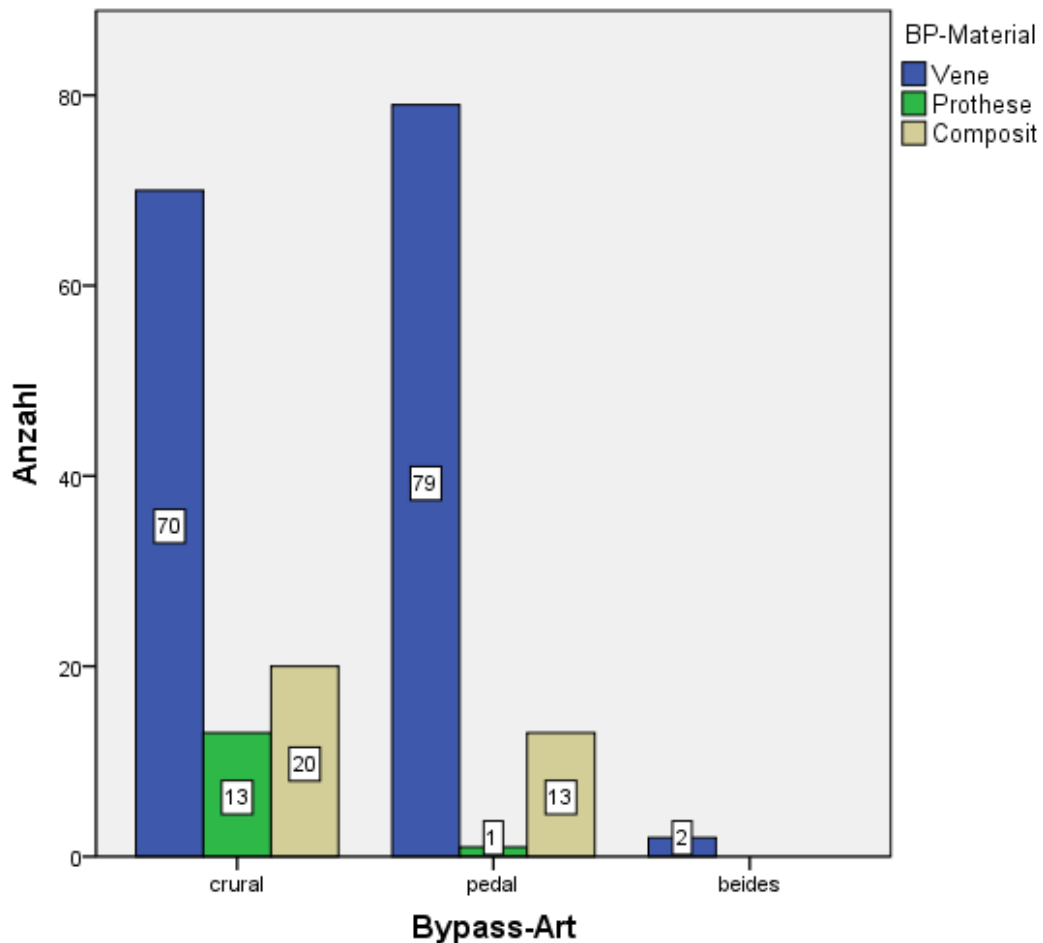
So wie das Gefäßverschlussmuster bei den Diabetikern vermuten lässt, wurde ein pedaler Bypass deutlich häufiger in der Diabetiker-Gruppe angewandt. Auch der crurale Bypass wurde bei den Diabetikern häufiger angewandt. Nichtdiabetiker haben häufiger einen cruralen Bypass als einen pedalen Bypass erhalten. Die Tabelle 5 zeigt den Zusammenhang zwischen der Bypassart und Diabetes Mellitus.

			Diabetes Mellitus		Gesamt
			DM	kein DM	
<b>Bypassart</b>	crural	Anzahl	67	36	103
		%	65,0%	35,0%	100,0%
	pedal	Anzahl	77	16	93
		%	82,8%	17,2%	100,0%
	beides	Anzahl	1	1	2
		%	50,0%	50,0%	100,0%
<b>Gesamt</b>	Anzahl	145	53	198	
	%	73,2%	26,8%	100,0%	

*Tabelle 5: Zusammenhang zwischen der Bypassart und Diabetes (n=198)*

### 3.5.2 Bypassmaterial

Das beste Material in der cruralen und der pedalen Bypasschirurgie ist die autologe Vene. Erst wenn nicht mehr genügend Venenmaterial zur Verfügung steht, muss auf Prothesen zurückgegriffen werden. Die dritte Möglichkeit, einen Bypass anzulegen, ist die Verwendung von Vene und Prothese, was man als Composit bezeichnet (siehe auch Abschnitt 2.7. Auswahl der Operationstechnik). Insgesamt wurde die Vene in 151 Fällen (76,3 %) als Bypass verwendet, gefolgt von Composit-Rekonstruktionen in 33 Fällen (16,7 %). Am seltensten, nämlich in 14 Fällen (7,1 %) wurden für die Bypassanlage Prothesen verwendet. Die Abbildung 19 zeigt die Bypassart und das dabei verwendete Material.



**Abbildung 19:** Bypassart und dabei verwendetes Material (n=198)

Die Vene wurde als Bypassmaterial am häufigsten benutzt. Bei cruralen Bypässen war eine Vene in 70 Fällen (68%) und bei pedalen Bypässen in 79 Fällen (84,9%) verwendet worden, gefolgt vom Composit-Bypass. Diese Bypassart war bei cruralen Bypässen in 20 Fällen (19,4%) und pedalen Bypässen in 13 Fällen (14%) vertreten. Eine Prothese wurde als ultima Ratio gewählt, wenn es keine weiteren Optionen zur Rettung der Extremität gab. Bei cruraler Bypassanlage fand die Prothese in 13 Fällen (12,6%) und bei pedaler Bypassanlage nur in einem Fall (1,1%) Anwendung.

### 3.5.2.1 Venen für den Bypassverwendung und Entnahmeort.

Um eine Vene für den Bypass zu gewinnen, bietet sich im Idealfall die Vena saphena magna am zu operierenden Bein an. Wenn diese Vene zu schmalkalibrig oder varikös verändert war, schon entfernt wurde oder für eine andere Bypassversorgung verwendet wurde, muss man auf alternative Venen zurückgreifen, die Vena saphena parva, die Vena saphena magna auf der kontralateralen Seite, eine Armvene oder die Kombination aus beiden Venen (siehe Tabelle 6).

	Häufigkeit	Prozent
Arm	14	7,1
Bein	168	84,8
Arm und Bein	2	1,0
Gesamt	184	92,9

**Tabelle 6:** Ort der Venengewinnung (n=184)

Die für den Bypass entnommenen Venen wurden am häufigsten in der non reversed Technik (47,5 %) verwendet, gefolgt von in situ Bypässen (32,8 %). Seltener wurde die Vene in der reversed-Technik (12,6 %) verwendet. Die Aufteilung zeigt die Tabelle 7.

	Bypassart				Gesamt
	reversed	non reversed	in situ	Prothese	
crural	16	38	36	13	103
pedal	9	55	28	1	93
beide	0	1	1	0	2
Gesamt	25	94	65	14	198

**Tabelle 7:** Technik der Venenverwendung bei cruralen und pedalen Bypässen (n=198)



### 3.5.3 Crurale Bypässe

#### 3.5.3.1 Ursprung und Anschluss

Die cruralen Bypässe hatten ihren Ursprung am Oberschenkel in 70 Fällen (67,3%) an den Gefäßen AFC, AFS und der Arteria profunda femoris. Im Kniebereich waren es 27 (26 %) an der Arteria poplitea in den Segmenten I und III sowie am Truncus tibiofibularis. Es gab auch sieben Fälle (6,7%), bei denen der Ursprung an als „sonstigen“ bezeichneten Orten lag. Dazu gehörten als Ursprung bereits vorhandene Venen- und Prothesenbypässe in jeweils drei Fällen, in einem Fall war der Ursprung an der A. tibialis posterior und in einem Fall war der Ursprung an der A. iliaca externa. In den Tabellen 8 und 9 sieht man die Verteilung der Ursprungs- und Anschlussorte bei cruralem Bypass. Am häufigsten wurde mit Ursprung am Oberschenkel die Verbindung für einen Bypass zwischen AFS und AF, also in 14 Fällen, verwendet. Direkt dahinter lag die Verbindung zwischen der AFC und ATA in elf Fällen. Am häufigsten wurde distal an die Arteria fibularis in 27 Fällen angeschlossen, gefolgt von ATA-Anschlüssen.

		Distaler Anschluss (crural)				Gesamt
		Truncus	ATA	ATP	AFib	
<b>Ursprungsort</b>	AFS	2	10	9	14	35
<b>OS</b>	AFC	4	11	5	10	30
	A. profunda	0	2	0	3	5
<b>Gesamt</b>		6	23	14	27	70

**Tabelle 8:** distaler Anschluss bei cruralem Bypass mit dem Ursprungsort am Oberschenkel (n=70), (AFS=A. femoralis superficialis, AFC=A. femoralis communis, Truncus=Truncus tibiofibularis, ATA=A. tibialis anterior, ATP=A. tibialis posterior, AFib=A. fibularis)

		Distaler Anschluss (crural)				Gesamt
		Truncus	ATA	ATP	AFib	
<b>Ursprungsort</b>	POP I	1	2	2	4	9
<b>Knie</b>	POP III	0	6	6	4	16
	Truncus	0	1	0	1	2
<b>Gesamt</b>		1	9	8	9	27

**Tabelle 9:** distaler Anschluss bei cruralem Bypass mit dem Ursprungsort im Kniebereich (n=27), (POP I=A. poplitea im Segment 1, POP III=A. poplitea im Segment 3, Truncus= Truncus tibiofibularis, ATA=A. tibialis anterior, ATP=A. tibialis posterior, AFib=A. fibularis)

Vom Knie aus hatte der Bypass am häufigsten seinen Ursprung am dritten Segment der A. poplitea mit distalem Anschluss an ATA oder ATP. Insgesamt hatten 16 Bypässe ihren Ursprung an AP im Segment III. Distal wurde der Bypass gleich häufig in neun Fällen an ATA und AFib angeschlossen.

### 3.5.4 Pedale Bypässe

#### 3.5.4.1 Ursprung und Anschluss

Die Ursprungsorte waren bei den pedalen Bypässen anders verteilt als bei den cruralen Bypässen. Am Oberschenkel hatten ihren Ursprung nur 18 (19,3 %) Bypässe. Die meisten der pedalen Bypässe, nämlich 67 (72 %), hatten ihren Ursprung im Kniebereich. An der A. poplitea in Segment I entsprangen nur drei Bypässe, im Segment III waren es 63. Nur ein Bypass wurde am Truncus tibiofibularis angeschlossen, der seiner Lage nach zum Segment III zählen könnte. Es gab auch acht Fälle (8,6 %), bei denen der Ursprung an als „sonstigen“ bezeichneten Orten lag. Dazu gehörten als Ursprung bereits vorhandene Venen- und Prothesenbypässe in jeweils einem Fall, in vier Fällen war der Ursprung an der A. tibialis anterior und in zwei Fällen war der Ursprung an der A. tibialis posterior. In der Tabellen 10, 11 und 12 sieht man die Verteilung der Ursprungs- und Anschlussorte bei pedalem Bypass. Die Verbindung zwischen Oberschenkel Gefäßen und der ADP am Fuß war mit elf von insgesamt 18 Fällen am häufigsten. Dabei waren die AFS und AFC mit jeweils fünf Fällen und einem Fall an der A. profunda vertreten. Auch am Knie als Ursprungsort war die Verbindung zur ADP mit 43 Fällen von 67 am häufigsten.

		Distaler Anschluss (pedal)				Gesamt
		ADP	ATP	Plantaris	V. saphena magna	
<b>Ursprungsort OS</b>	AFS	5	0	3	1	9
	AFC	5	2	1	0	8
	A. profunda	1	0	0	0	1
<b>Gesamt</b>		11	2	4	1	18

**Tabelle 10:** distaler Anschluss bei pedalen Bypass mit dem Ursprungsort am Oberschenkel (n=18), (AFS=A. femoralis superficialis, AFC=A. femoralis communis, ADP=A. dorsalis pedis, ATP=A. tibialis posterior, Plantaris=A. plantaris)

		Distaler Anschluss (pedal)					Gesamt
		ADP	ATP	Plantaris	V. saphena magna	ATA	
<b>Ursprungsort</b>	POP I	2	0	0	0	1	3
<b>Ursprungsort</b>	POP III	40	9	13	1	0	63
	Truncus	1	0	0	0	0	1
<b>Gesamt</b>		43	9	13	1	1	67

**Tabelle 11:** distaler Anschluss bei pedalen Bypass mit dem Ursprungsort im Kniebereich (n=67), (POP I=A. poplitea im Segment 1, POP III=A. poplitea im Segment 3, Truncus=Truncus tibiofibularis, ADP=A. dorsalis pedis, ATP=A. tibialis posterior, Plantaris=A. plantaris, ATA=A. tibialis anterior)

		Distaler Anschluss (pedal)			Gesamt
		ADP	ATP	Plantaris	
<b>Ursprungsort</b>	ATP	0	0	2	2
<b>sonstige</b>	ATA	4	0	0	4
	Venen-BP	0	1	0	1
	Prothesen-BP	0	0	1	1
<b>Gesamt</b>		4	1	3	8

**Tabelle 12:** distaler Anschluss bei pedalen Bypass mit sonstigem Ursprungsort (n=8), (ATP=A. tibialis posterior, ATA=A. tibialis anterior, BP=Bypass, ADP=A. dorsalis pedis, Plantaris=A. plantaris)

### 3.6 Revisionen

Auch wenn die aufwändige Bypassanlage erfolgreich durchgeführt wurde kann es im Verlauf noch zu Komplikationen kommen, die eine Revision notwendig machen. Insgesamt wurden 49 (24,7 %) Revisionen notwendig. Am häufigsten wurde eine Thrombektomie bei Bypassverschluss in 22 Fällen (11,1 %) durchgeführt, gefolgt von Hämatomausräumung bei Nachblutung in 16 Fällen (8,1 %). Ein AV-Fistelverschluss bei in situ Bypässen war in sechs Fällen (3 %) dokumentiert. Eine neue Anastomose war in zwei Fällen (1%) notwendig. Es wurde jeweils ein Fall (0,5 %) von Bypassneuanlage, Bypass-Patch und Faszienpaltung bei Kompartment-Syndrom festgehalten. Ohne eine Revision wurden 149 Fälle (75,3 %) registriert. Die Tabelle 12 zeigt die Verteilung der Revisionen in Abhängigkeit von der Bypassart.

		Bypassart			Gesamt
		crural	pedal	beides	
<b>Art der Revision</b>	Hämatomausräumung	6	9	1	16
	Thrombektomie	12	10	0	22
	BP-Neuanlage	0	1	0	1
	AV-Fistelverschluss	3	3	0	6
	BP-Patch	1	0	0	1
	Faszienpaltung	0	1	0	1
	Neuanlage der Anastomose	1	1	0	2
<b>Gesamt</b>		23	25	1	49

**Tabelle 13:** Revisionen aufgeteilt nach Bypassart (n=49), (BP=Bypass, AV=Arteriovenös)

Hinsichtlich der Revisionen konnte kein signifikanter Unterschied ( $p = 0,92$ ) zwischen cruralen und pedalen Bypässen verzeichnet werden. Von den 49 Revisionen waren in den ersten 30 postoperativen Tagen 39 Revisionen notwendig. Am häufigsten (in acht Fällen) wurde am ersten postoperativen Tag revidiert. In sechs Fällen war eine Thrombektomie zur Rettung des Bypasses erforderlich und jeweils ein Fall von Bypass-Neuanlage und Hämatomausräumung. In den zehn Tagen nach der Operation wurden schon 28 Revisionen durchgeführt.

### 3.7 Amputationen

#### 3.7.1 Minoramputation

Insgesamt wurden an 86 (43,4%) Extremitäten eine Minoramputation durchgeführt. Davon musste in 33 Fällen nachreseziert werden. In 15 von 86 Fällen musste nach Minoramputation später eine Majoramputation durchgeführt werden.

#### 3.7.2 Majoramputation

Eine Majoramputation war insgesamt an 23 Extremitäten (11,6 %) erforderlich. In zwei Fällen musste bei Nichtabheilung der Wunde nachamputiert werden. Also aus einer Unterschenkelamputation wurde in einem Fall eine Oberschenkelamputation und in einem Fall eine Kniegelenksexartikulation. Umgekehrt bedeutet das aber, dass in 176 Fällen (88,4%) die Extremität gerettet werden konnte.

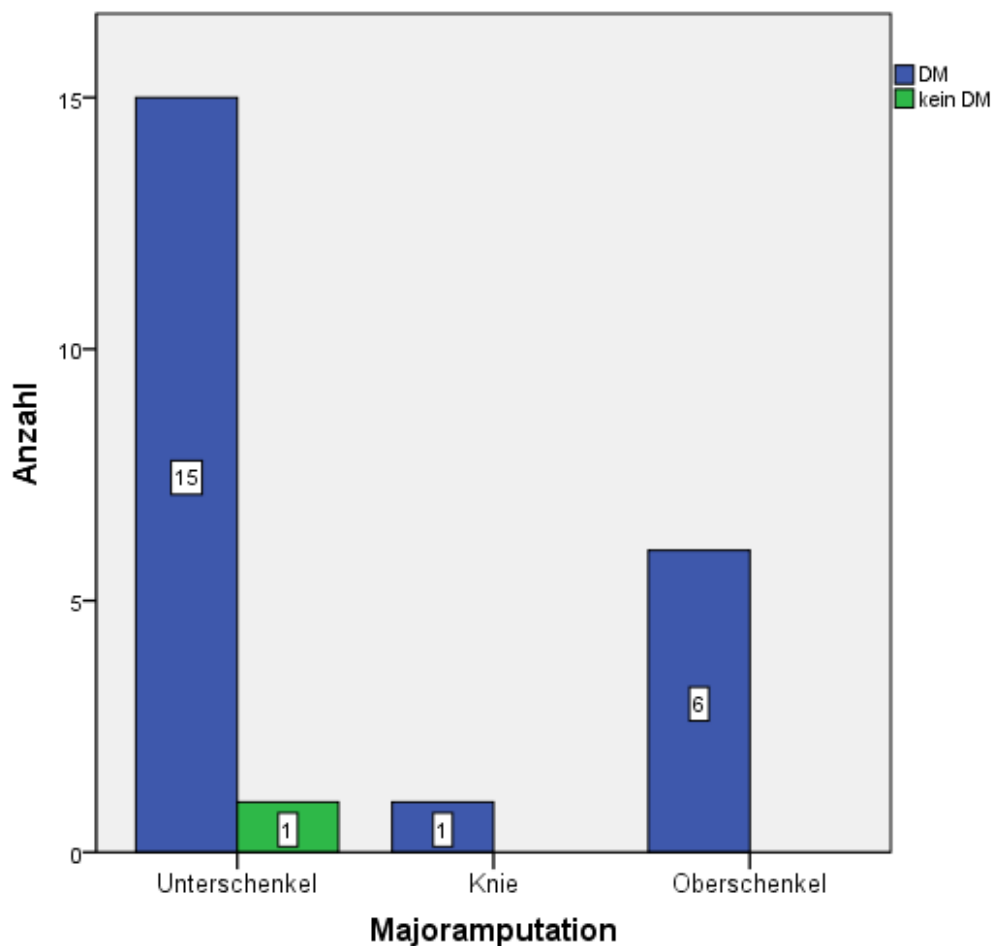


Abbildung 20: Majoramputationen bei Diabetikern und Nichtdiabetikern (n=23)

Die Abbildung 20 zeigt, dass in dieser Studie von einer Oberschenkelamputation ausschließlich Diabetiker betroffen waren. Es wurden insgesamt sechs Oberschenkelamputationen (26,09%) durchgeführt. Die Unterschenkelamputationen waren in 15 Fällen (65,22%) in der Diabetikergruppe unausweichlich, hingegen gab es bei Nichtdiabetikern nur eine Unterschenkelamputation (4,35%). In einem Fall (4,35%) wurde eine Knieexartikulation bei einem Diabetiker durchgeführt.

Bei der Geschlechterverteilung waren die Männer (n=20) deutlich häufiger von einer Majoramputation betroffen als Frauen (n=3). Die Verteilung ist aus der Tabelle 14 zu entnehmen.

		Majoramputation			Gesamt
		Unterschenkel	Knie	Oberschenkel	
männlich	DM	13	1	5	19
	kein DM	1	0	0	1
	Gesamt	14	1	5	20
weiblich	DM	2		1	3
	Gesamt	2		1	3

*Tabelle 14: Vergleich der Majoramputationen in Abhängigkeit von Geschlecht und Diabetes (n=23)*

Die Tabelle 15 zeigt die Verteilung der Majoramputationen in Abhängigkeit von der Bypassanlage. Nach der Anlage eines cruralen Bypasses mussten insgesamt zwölf Majoramputationen durchgeführt werden, hingegen waren bei pedalen Bypässen elf Majoramputationen notwendig.

		Majoramputation			Gesamt
		Unterschenkel	Knie	Oberschenkel	
Bypass-Art	crural	8	0	4	12
	pedal	8	1	2	11
Gesamt		16	1	6	23

*Tabelle 15: Majoramputationen in Abhängigkeit von der Bypassart (n=23)*

### 3.8 Mortalität

Von insgesamt 198 Fällen waren 128 Fälle (64,6 %) in Beobachtungszeitraum von elf Jahren als verstorben dokumentiert, 71 Fälle (35,4 %) waren bis zum Schluss noch in der Nachsorge. Im ersten postoperativen Monat waren neun Fälle (4,5%) als verstorben dokumentiert. Die maximale Überlebenszeit lag in einem Fall bei 87 Monaten. Damit lag der Mittelwert der Überlebenszeit bei 24,25 Monaten und der Median bei 16 Monaten. In der Tabelle 14 sieht man, dass am Ende der Beobachtungszeit 101 Fälle (71,1%) in der Gruppe der Diabetiker verstorben waren. Bei Nichtdiabetikern waren 28 Fälle (53,8%) als verstorben und 24 Fälle (46,2%) als lebend registriert. Damit ist in der Gruppe der Diabetiker die Sterblichkeit signifikant ( $p = 0,024$ ) höher als in der Gruppe der Nichtdiabetiker.

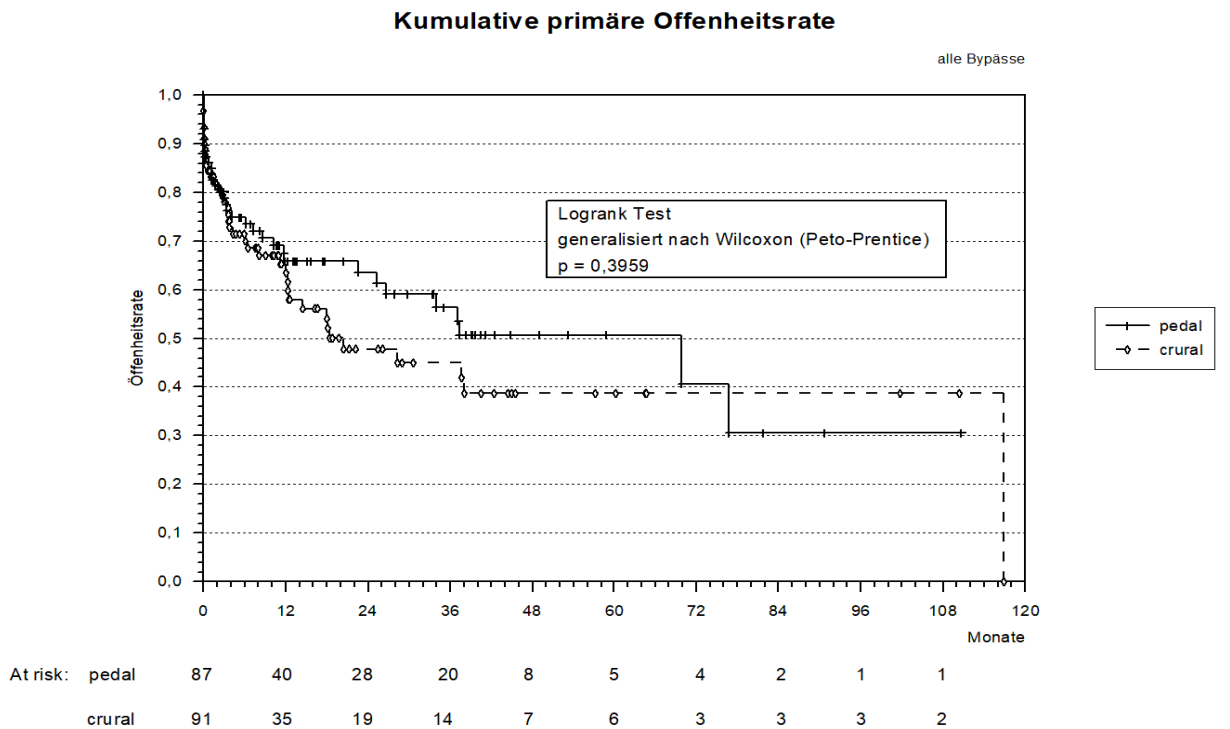
			Mortalität		Gesamt
			verstorben	lebend	
<b>Diabetes Mellitus</b>	DM	Anzahl	101	41	142
		%	71,1%	28,9%	100,0%
	kein DM	Anzahl	28	24	52
		%	53,8%	46,2%	100,0%
Gesamt		Anzahl	129	65	194
		%	66,5%	33,5%	100,0%

**Tabelle 16:** Sterblichkeit in Abhängigkeit von Diabetes Mellitus ( $n=194$ ),  $p = 0,024$

### 3.9 Offenheitsraten

#### 3.9.1 Primäre Offenheitsrate

##### 3.9.1.1 Primäre Offenheitsrate. Vergleich von cruralem und pedalem Bypass

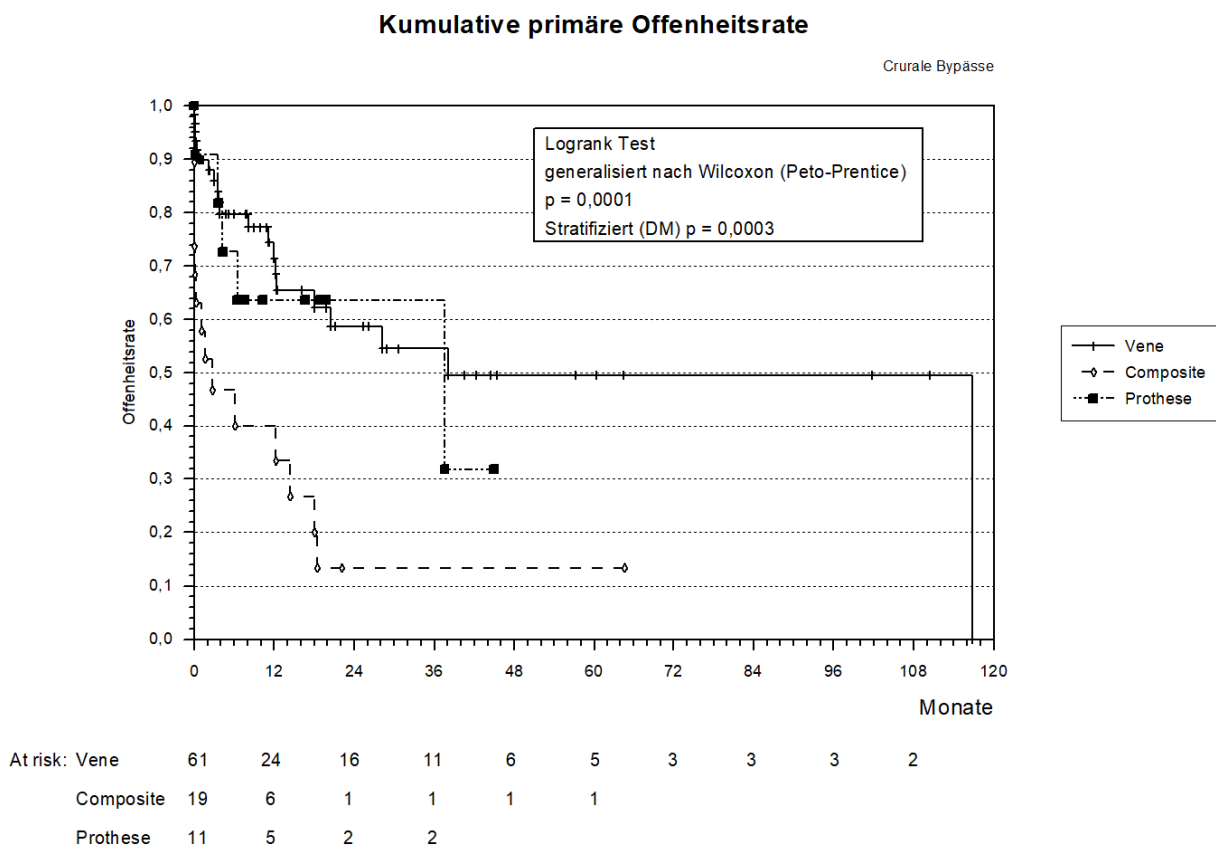


**Abbildung 21:** Kumulative primäre Offenheitsrate. Vergleich von pedalem und cruralem Bypass (n=178)

Im Vergleich der primären Offenheitsrate bei den cruralen und pedalen Bypässen war der Unterschied mit  $p = 0,39$  nicht signifikant. Die cruralen Bypässe waren nach zwölf Monaten noch in 62 % der Fälle offen, nach 24 Monaten in 48 %, nach 36 Monaten in 43 % und nach 60 Monaten in 38 % der Fälle. Wenn man die pedalen Bypässe betrachtet, dann waren nach zwölf Monaten noch 66 % der Bypässe offen, nach 24 Monaten 62 %, nach 36 Monaten 55 % und nach 60 Monaten 50 %.



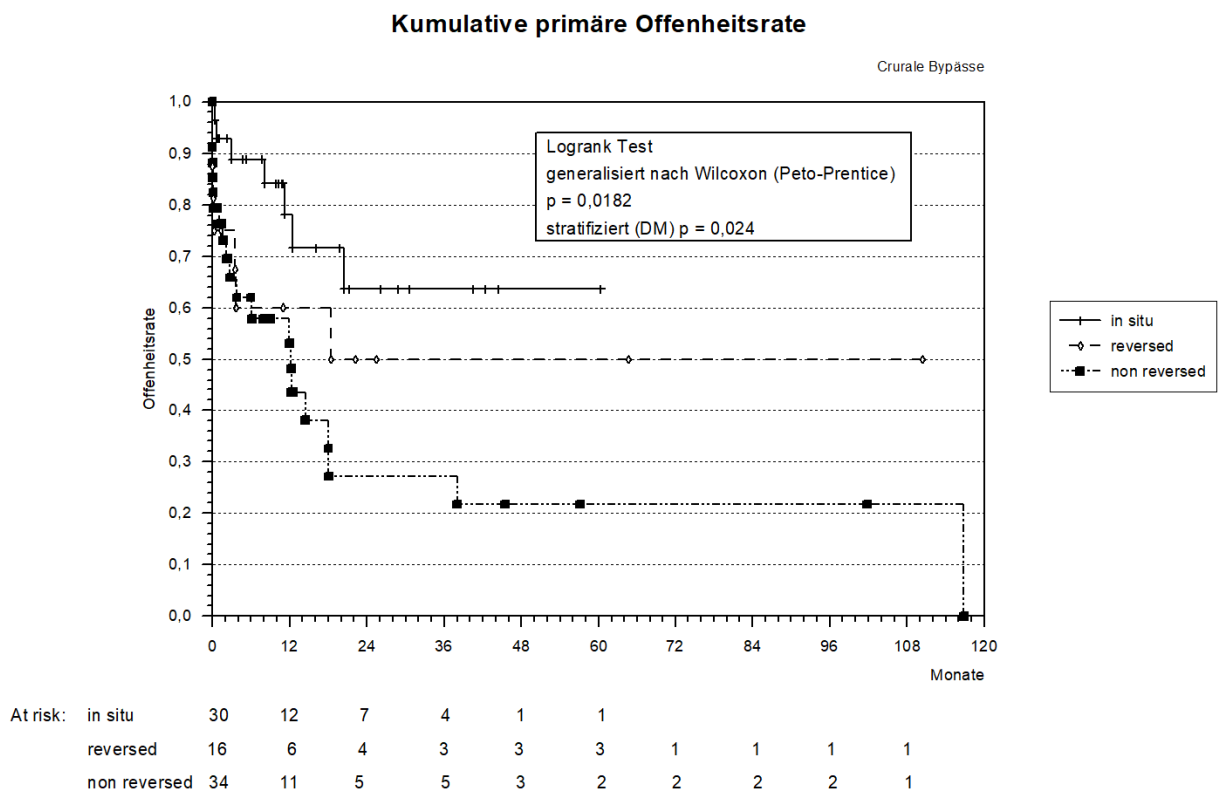
### 3.9.1.2 Primäre Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich des Bypassmaterials



**Abbildung 22:** Kumulative primäre Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich des Bypassmaterials (n=91)

In der Abbildung 22 sieht man deutlich den Unterschied bei dem verwendeten Bypassmaterial, der auch signifikant ist ( $p=0,0001$ ). Damit ist klar, dass die Venenbypässe für die Patienten von Vorteil sind. Nach zwölf Monaten waren noch 71,3 % der Venenbypässe offen, nach 24 Monaten waren es 58 %, nach 36 Monaten 55,3 % und nach 60 Monaten 49,8%. Die Compositebypässe haben die schlechtesten Ergebnisse gezeigt. Nach 12 Monaten waren nur noch 40 % der Bypässe offen, nach 24 Monaten waren nur noch 13,7% offen. Ähnlich schlecht sind auch die Ergebnisse bei Prothesenbypässen. Nach 12 Monaten waren noch 63,7 % der Bypässe offen, nach 36 Monaten allerdings ein drastischer Abfall auf nur noch 32%.

### 3.9.1.3 Primäre Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart

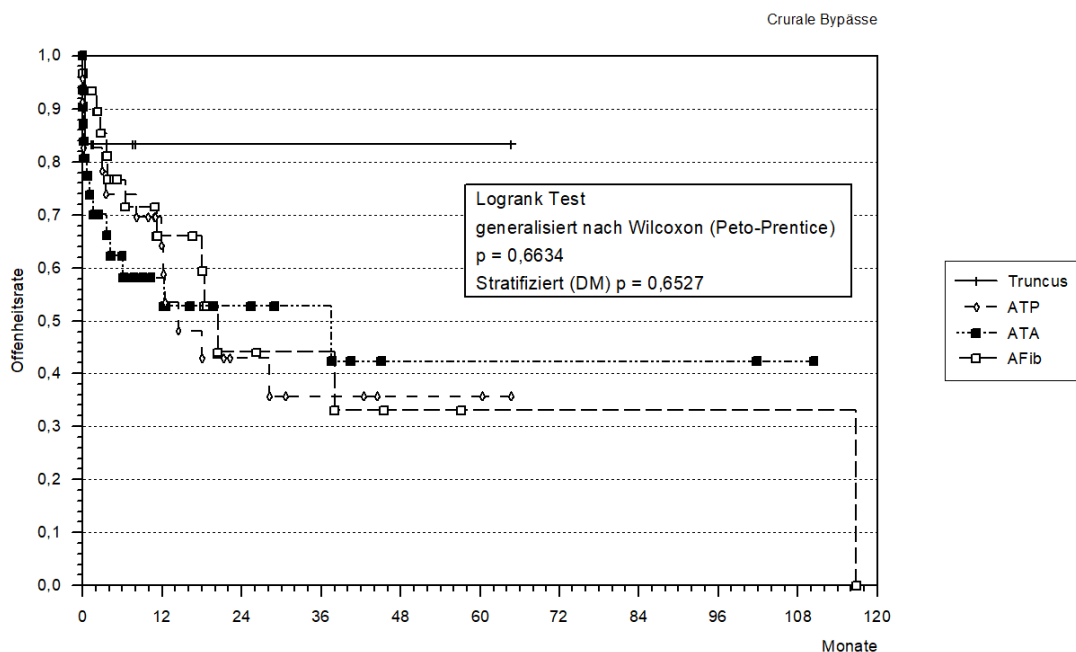


**Abbildung 23:** Kumulative primäre Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart (n=80)

Je nach Verwendung der Vene gibt es unterschiedliche Durchgängigkeitsraten. Für die Patienten ist es von Vorteil, wenn man die Vene in der in situ-Technik verwendet. Nach zwölf Monaten waren noch 71,8% der Bypässe offen, nach 24 Monaten waren es 63,8 %. Danach wurden keine weiteren Verschlüsse verzeichnet. Bei der Verwendung der Vene in der reversed-Technik waren nach zwölf Monaten noch 60 % der Bypässe offen, nach 24 Monaten 50 %, danach gab es keine weiteren Verschlüsse. Bei der Verwendung der Vene in der non-reversed-Technik waren die Ergebnisse nach 12 Monaten ähnlich der reversed-Technik, also 58 % der Bypässe offen. Danach gab es einen signifikanten Abfall der Durchgängigkeitsraten, nach 24 Monaten waren nur noch 28,5 % der Bypässe offen.

### 3.9.1.4 Primäre Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich der distalen Anschlüsse

Kumulative primäre Offenheitsrate



At risk:	Truncus	6	1	1	1	1	1	1	1	1
	ATP	23	12	6	4	2	2	2	2	2
	ATA	31	11	7	5	2	2	2	2	1
	AFib	31	11	5	4	2	1	1	1	1

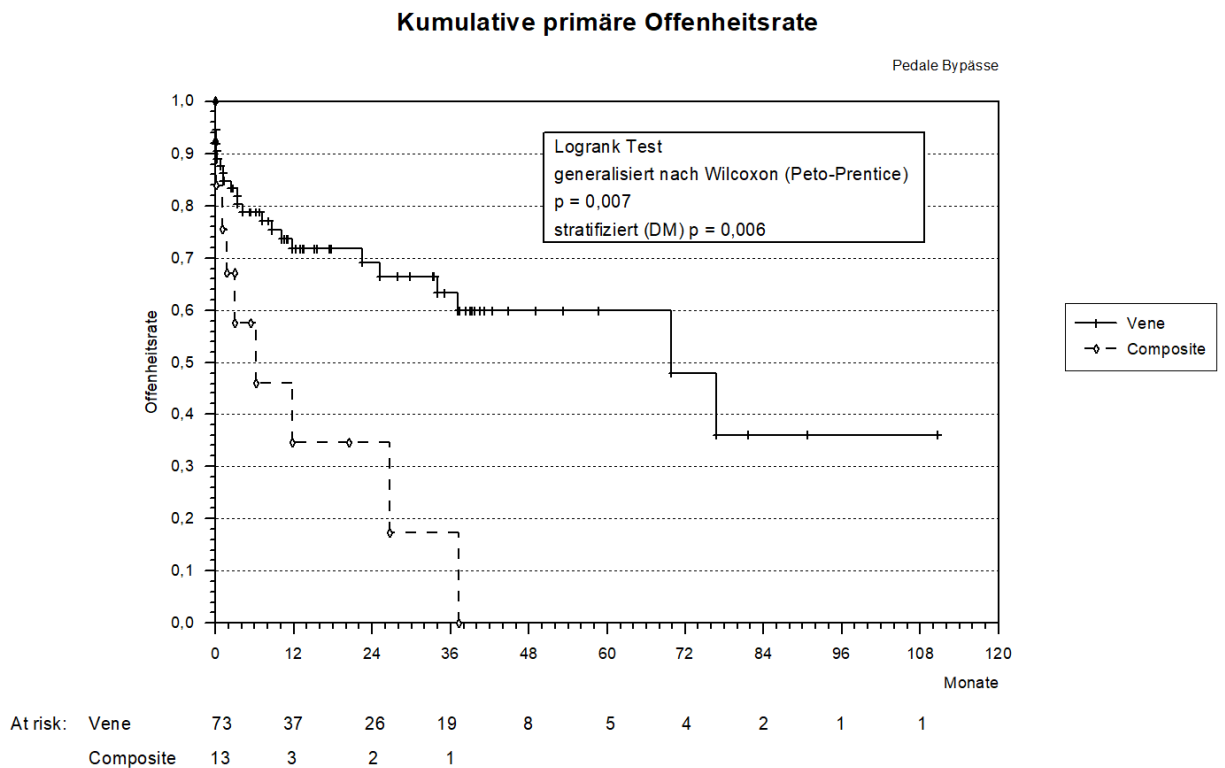
**Abbildung 24:** Kumulative primäre Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich der distalen Anschlüsse (n=91), (Truncus=Truncus tibiofibularis, ATP=A. tibialis posterior, ATA=A. tibialis anterior, AFib=A. fibularis)

Die primäre Offenheitsrate der cruralen Bypässe bei distalem Anschluss (siehe Abbildung 24) zeigt keinen wesentlichen Unterschied und ist mit  $p=0,66$  nicht signifikant. In der Tabelle 17 kann man die primäre Offenheitsrate vergleichen in Abhängigkeit vom distalen Anschluss. Bei wenigen Fällen wurde der Anschluss am Tr. tibiofibularis in die Tabelle nicht aufgenommen.

	12 Monate	24 Monate	36 Monate	60 Monate
<b>ATP</b>	69,8 %	43,2 %	35,8 %	35,8 %
<b>ATA</b>	58,3 %	52,7 %	52,7 %	42 %
<b>AFib</b>	61,1 %	44 %	44 %	32,9 %

**Tabelle 17:** Ergebnisse der primären Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich v distalen Anschlussort (Truncus=Truncus tibiofibularis, ATP=A. tibialis posterior, ATA=A. tibialis anterior, AFib=A. fibularis)

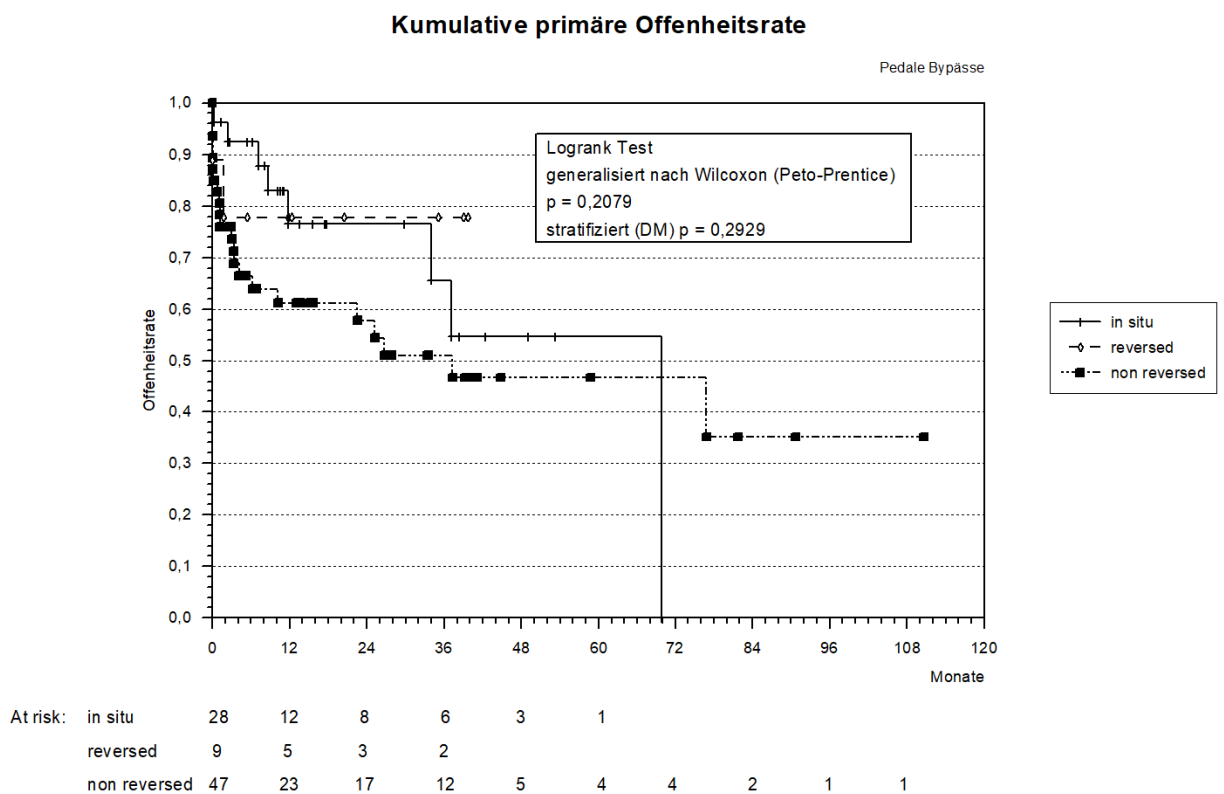
### 3.9.1.5 Primäre Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich des Bypassmaterials



**Abbildung 25:** Kumulative primäre Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich des Bypassmaterials ( $n=86$ )

In der Abbildung 25 sieht man deutlich den Unterschied bei dem verwendeten Bypassmaterial, der auch signifikant ist ( $p=0,007$ ). Bei der Verwendung der Vene als Bypassmaterial waren nach zwölf Monaten noch 72% der Venenbypässe offen, nach 24 Monaten waren es 69,5 %, nach 36 Monaten 63,5 % und nach 60 Monaten 60%. Bei den Compositebypässen waren nach zwölf und 24 Monaten nur noch 34,5 % offen, nach 36 Monaten waren nur noch 17,2 % der Compositebypässe offen.

### 3.9.1.6 Primäre Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart



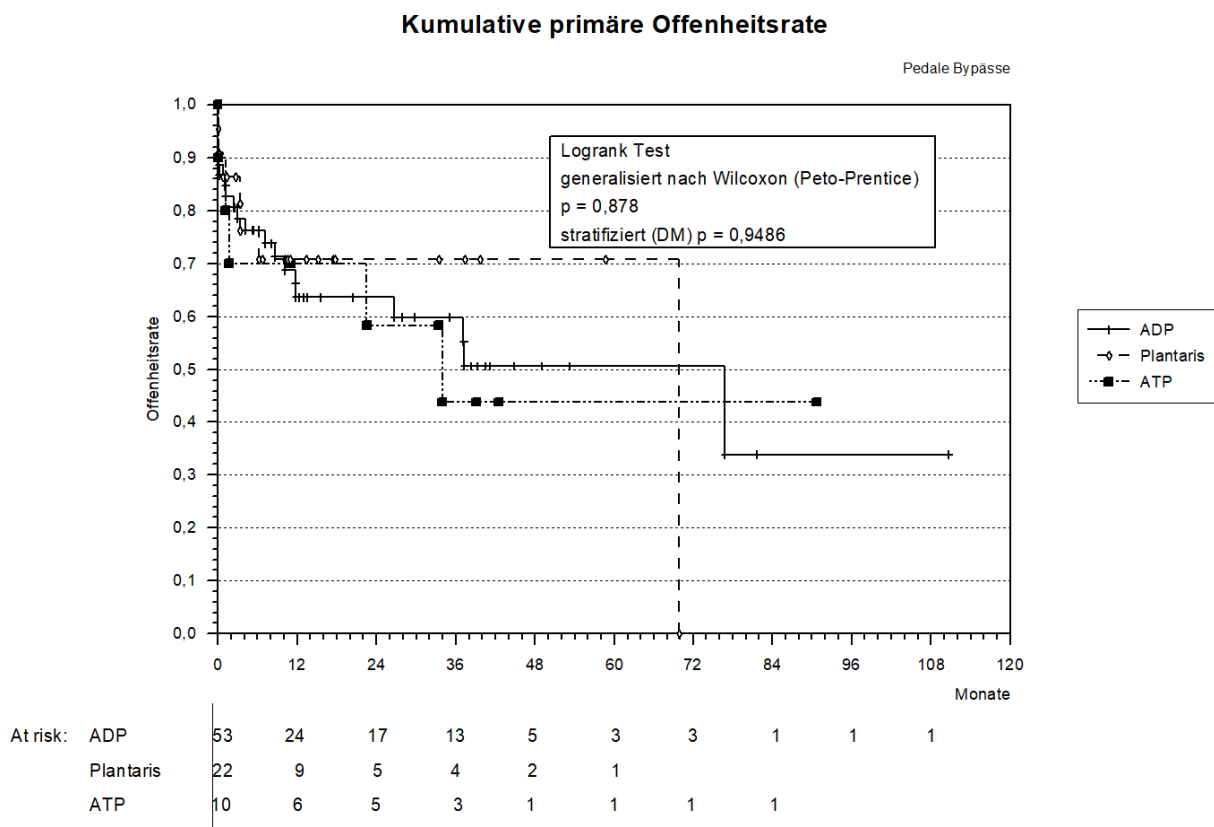
**Abbildung 26:** Kumulative primäre Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart (n=84)

Bei den pedalen Bypässen ist der Unterschied bei der Verwendungsart der Vene mit  $p=0,2$  nicht signifikant. Die Tabelle 16 zeigt

	12 Monate	24 Monate	36 Monate	60 Monate
<b>in situ</b>	77%	77%	65,7%	55%
<b>reversed</b>	78%	78%	51%	47%
<b>non reversed</b>	61%	58%	58%	58%

**Tabelle 18:** Ergebnisse der kumulativen primären Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart

### 3.9.1.7 Primäre Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich der distalen Anschlüsse



**Abbildung 27:** Kumulative primäre Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich der distalen Anschlüsse (n=85), (ADP=A. dorsalis pedis, Plantaris=A. plantaris, ATP=A. tibialis posterior)

Die Abbildung 27 zeigt keinen signifikanten Unterschied (p= 0,89) bei pedalen Bypässen im Vergleich der distalen Anastomose.

	12 Monate	24 Monate	36 Monate	60 Monate
<b>ADP</b>	63,7 %	63,7 %	60 %	50,6 %
<b>Plantaris</b>	71,8 %	71,8 %	71,8 %	71,8 %
<b>ATP</b>	70 %	58,7 %	43,8 %	43,8 %

**Tabelle 19:** Ergebnisse der primären Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich der distalen Anschlüsse

### 3.9.1.8 Primäre Offenheitsrate. Zusammenfassung der Ergebnisse

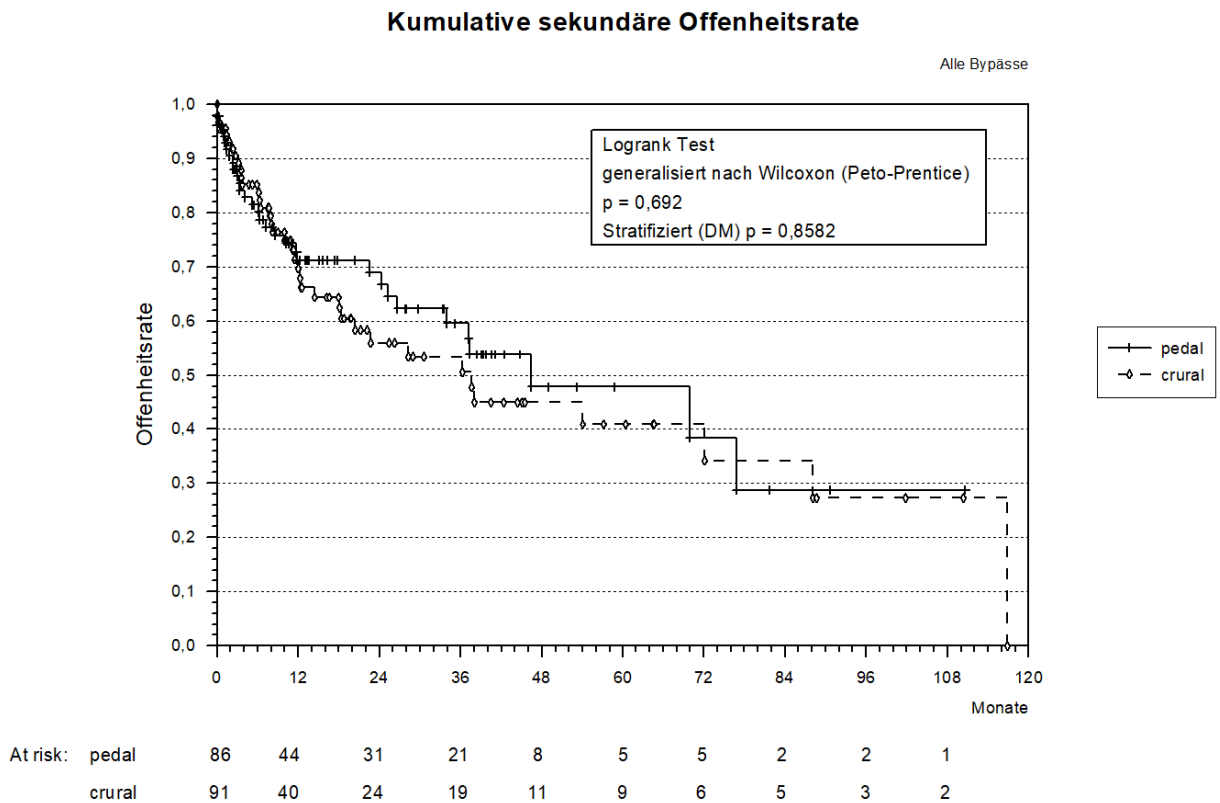
Die Zusammenfassung der Ergebnisse der kumulativen primären Offenheitsraten ist in der Tabelle 18 ersichtlich.

	<b>1 Jahr</b>	<b>2 Jahre</b>	<b>3 Jahre/5 Jahre</b>
<b>Cruraler BP</b>	62%	48%	43% / 38%
<b>Pedaler BP</b>	66%	62%	55% / 50%
<b>Cruraler BP</b>			
<b>in situ</b>	71,8%	63,8 %	55,3% / 49,8%
<b>reversed</b>	60%	50%	-
<b>non reversed</b>	58%	28,5	28,5% / 22%
<b>Vene</b>	71,3 %	58 %	-
<b>Composite</b>	40%	13,7%	-
<b>Prothese</b>	63,7%	-	-
<b>Pedaler BP</b>			
<b>in situ</b>	77%	77%	65,7% / 55%
<b>reversed</b>	78%	78%	51% / 47%
<b>non reversed</b>	61%	58%	58% / 58 %
<b>Vene</b>	72%	69,5%	63,5% / 60 %
<b>Composite</b>	34,5%	34,5%	17,2%

*Tabelle 20: Primäre Offenheitsrate. Zusammenfassung der Ergebnisse*

### 3.9.2 Sekundäre Offenheitsrate

#### 3.9.2.1 Sekundäre Offenheitsrate bei cruralem und pedalem Bypass

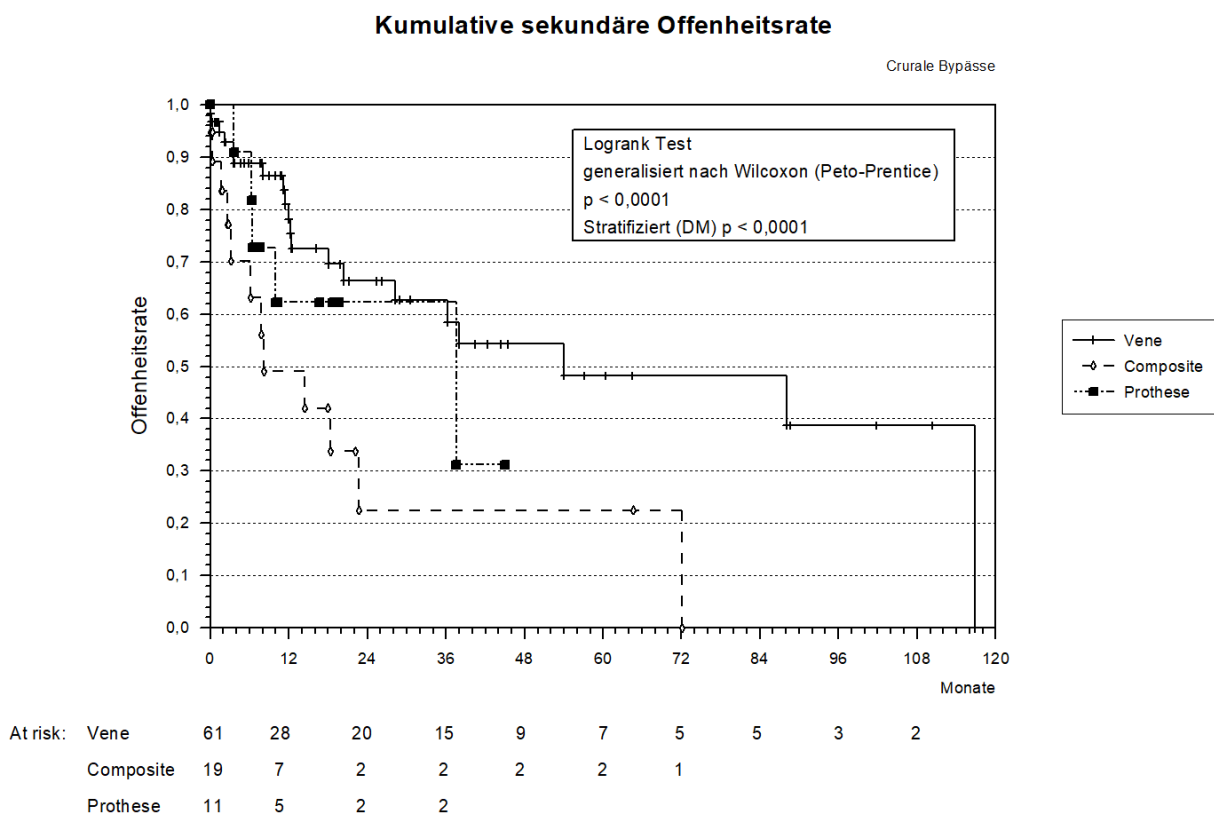


**Abbildung 28:** Kumulative sekundäre Offenheitsrate bei cruralem und pedalem Bypass (n=178)

Die Abbildung 28 zeigt die sekundäre Offenheitsrate bei cruralen und pedalen Bypässen. Der Unterschied ist dabei nicht signifikant ( $p=0,69$ ). Die cruralen Bypässe waren nach zwölf Monaten noch in 74% der Fälle offen, nach 24 Monaten in 56 %, in 36 Monaten in 50,5 % und nach 60 Monaten in 41 %. Die pedalen Bypässe waren nach zwölf Monaten in 73 % der Fälle offen, nach 24 Monaten in 67 %, nach 36 Monaten in 59,8 % und nach 60 Monaten in 48 %.



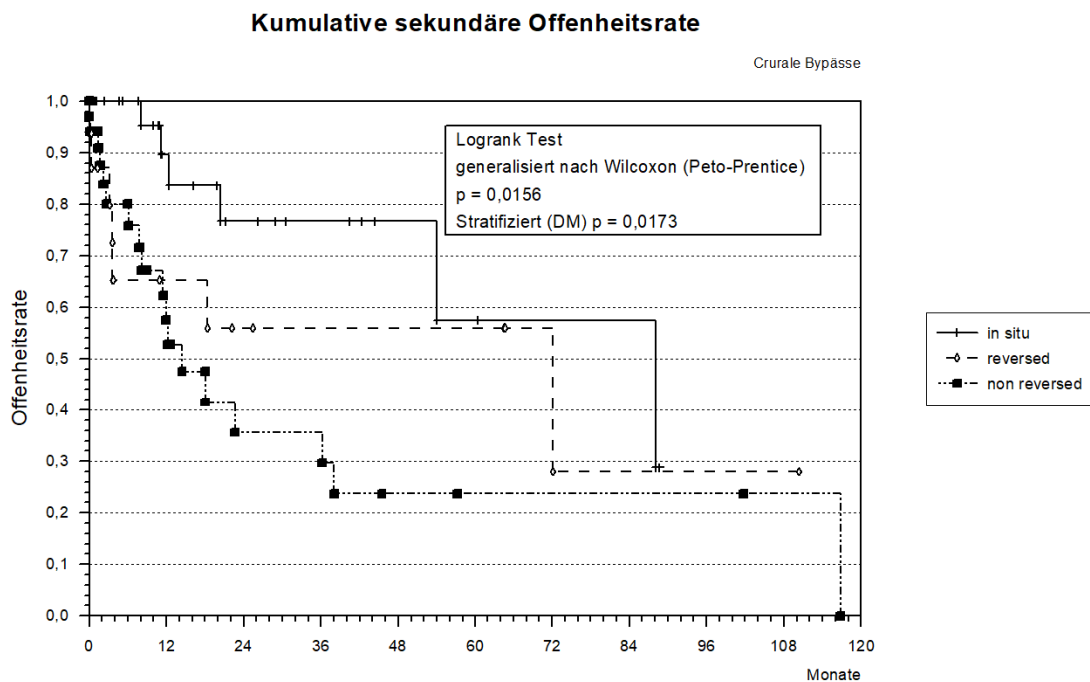
### 3.9.2.2 Sekundäre Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich des Bypassmaterials



**Abbildung 29:** Kumulative sekundäre Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich des Bypassmaterials (n=91)

In der Abbildung 29 sieht man auch bei der sekundären Offenheitsrate den Unterschied bei dem verwendeten Bypassmaterial, der auch signifikant ist ( $p=0,0001$ ). Nach zwölf Monaten waren noch 81% der Venenbypässe offen, nach 24 Monaten waren es 66,5 %, nach 36 Monaten 63 % und nach 60 Monaten 48,5%. Die Compositebypässe haben die schlechtesten Ergebnisse gezeigt. Nach zwölf Monaten waren nur noch 49,5 % der Bypässe offen. Nach 24 Monaten waren nur noch 23 % offen. Danach gab es hier keine weiteren Veränderungen. Die Prothesenbypässe waren nach zwölf Monaten noch in 62,5 % der Fälle offen, nach 24 Monaten waren es 61 % und nach 36 Monaten waren nur noch 31 % der Bypässe offen.

### 3.9.2.3 Sekundäre Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart

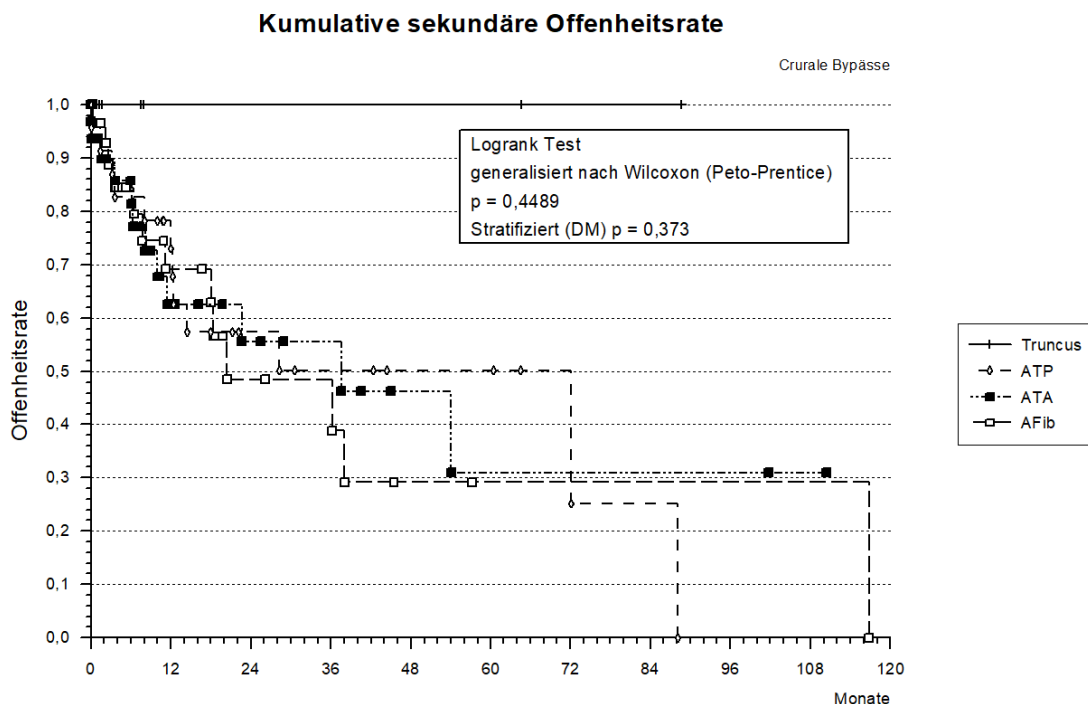


At risk:	in situ	29	15	10	7	4	3	2	2		
	reversed	16	7	5	4	4	4	2	1	1	1
	non-reversed	34	12	6	6	3	2	2	2	2	1

**Abbildung 30:** Kumulative sekundäre Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart (n=79)

Die Abbildung 30 zeigt die sekundäre Offenheitsrate bei cruralen Bypässen. Bei der Verwendungsart der Vene kann man einen signifikanten Unterschied ( $p=0,015$ ) sehen. Bei der Anwendung der in situ-Technik waren nach zwölf Monaten noch 90 % der Bypässe offen, nach 24 Monaten waren es 77 %, nach 36 Monaten waren immer noch 77 % offen und nach 60 Monaten waren 57 % der Bypässe offen. Bei der Verwendung der Vene in der reversed-Technik, waren nach zwölf Monaten noch 66 % der Bypässe offen, nach 24 Monaten 56 %, nach 60 Monaten waren immer noch 56 % der Bypässe offen. Bei der Verwendung der Vene in non-reversed-Technik waren die Ergebnisse nach zwölf Monaten etwas schlechter als bei der reversed-Technik, also 53 % der Bypässe waren offen. Danach gab es einen zunehmenden Unterschied. Nach 24 Monaten waren 35,5 % der Bypässe noch offen, nach 36 Monaten waren es noch 30 % und nach 60 Monaten waren nur noch 24 % der Bypässe offen.

### 3.9.2.4 Sekundäre Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich der distalen Anschlüsse



At risk:	Truncus	6	2	2	2	2	2	1	1	
	ATP	23	14	8	6	4	4	2	1	
	ATA	31	12	8	6	3	2	2	2	1
	AFib	31	12	6	5	2	1	1	1	1

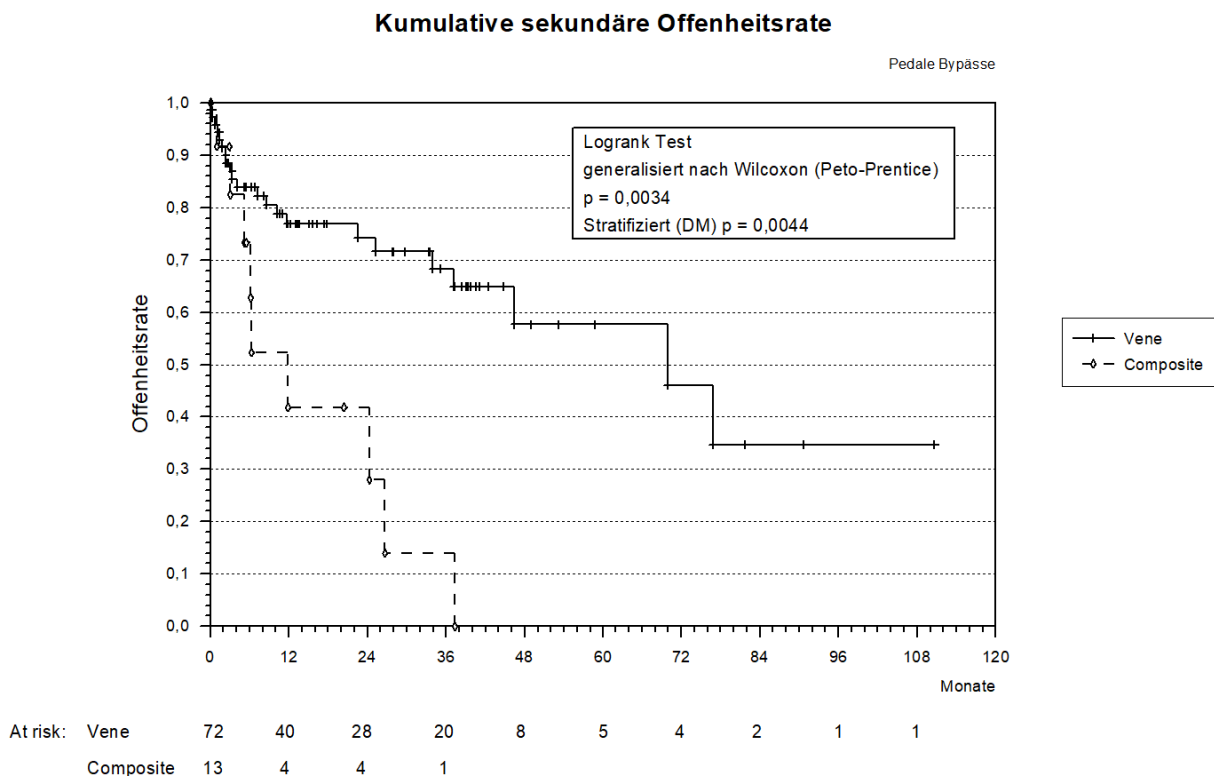
**Abbildung 31:** Kumulative sekundäre Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich der distalen Anschlüsse (n=91), (Truncus=Truncus tibiofibularis, ATP=A. tibialis posterior, ATA=A. tibialis anterior, AFib=A. fibularis)

Die Abbildung 31 zeigt, dass auch in der sekundären Offenheitsrate es keinen signifikanten Unterschied ( $p=0,44$ ) im Vergleich der distalen Anschlüsse gibt. Bei wenigen Fällen wurde der Anschluss am Truncus tibiofibularis in die Tabelle nicht aufgenommen.

	12 Monate	24 Monate	36 Monate	60 Monate
<b>ATP</b>	78,3 %	57,7 %	50,2 %	50,2 %
<b>ATA</b>	62,8 %	55,5 %	55,5 %	31,2 %
<b>AFib</b>	69 %	48,7 %	48,7 %	29,4 %

**Tabelle 21:** Ergebnisse der sekundären Offenheitsrate bei cruralem Bypass. Vergleich der distalen Anschlüsse

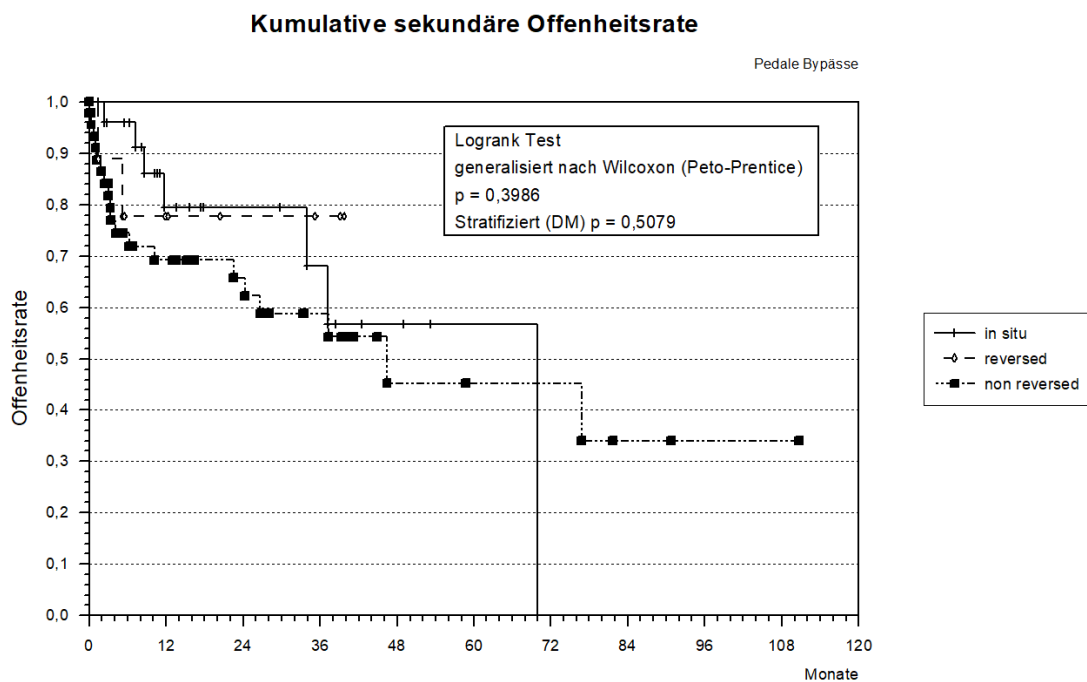
### 3.9.2.5 Sekundäre Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich des Bypassmaterials



**Abbildung 32:** Kumulative sekundäre Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich des Bypassmaterials (n=85)

In der Abbildung 32 sieht man auch bei der sekundären Offenheitsrate den Unterschied bei dem verwendeten Bypassmaterial, der auch signifikant ist ( $p=0,003$ ). Nach zwölf Monaten waren noch 77 % der Venenbypässe offen, nach 24 Monaten waren es 74 %, nach 36 Monaten 68 % und nach 60 Monaten 58 %. Die Compositebypässe waren im Ergebnis schlechter als die Venenbypässe. Nach zwölf Monaten waren nur noch 42 % der Bypässe offen. Nach 24 Monaten waren immer noch 42 % offen, nach 36 Monaten waren nur noch 24 % der Compositebypässe offen.

### 3.9.2.6 Sekundäre Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart



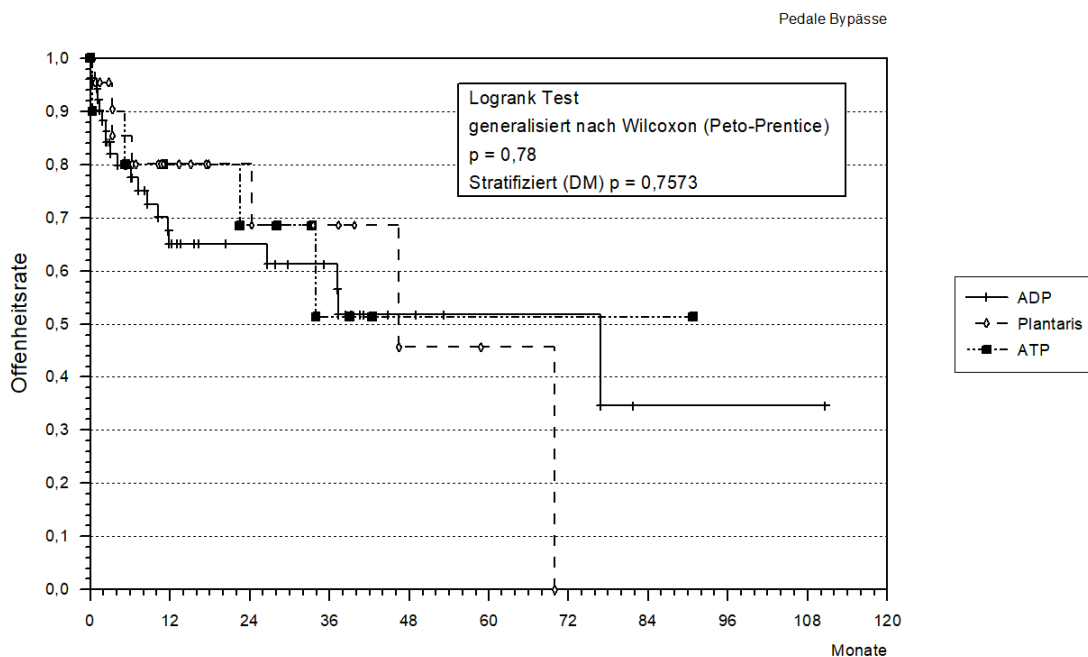
At risk:	in situ	27	12	8	6	3	1			
	reversed	9	5	3	2					
	non reversed	46	26	19	13	5	4	4	2	1

**Abbildung 33:** Kumulative sekundäre Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart (n=84)

Die Abbildung 33 zeigt die sekundäre Offenheitsrate bei pedalen Bypässen. Bei der Verwendungsart der Vene kann man keinen signifikanten Unterschied ( $p=0,39$ ) sehen. Bei der Anwendung der in situ-Technik waren nach zwölf Monaten noch 80 % der Bypässe offen, nach 24 Monaten waren ebenfalls 80 % offen, nach 36 Monaten waren immer noch 68 % offen und nach 60 Monaten waren 57 % der Bypässe offen. Bei der Verwendung der Vene in der reversed-Technik waren nach 12, 24, 36 Monaten noch 78 % der Bypässe offen, danach sind keine Verschlüsse dokumentiert. Bei der Verwendung der Vene in non reversed-Technik waren die Ergebnisse nach zwölf Monaten etwas schlechter als bei der reversed-Technik, also 69,8 % der Bypässe waren offen. Nach 24 Monaten waren noch 63 % der Bypässe offen, nach 36 Monaten waren es noch 59 % und nach 60 Monaten waren nur noch 45 % der Bypässe offen.

### 3.9.2.7 Sekundäre Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich der distalen Anschlüsse

Kumulative sekundäre Offenheitsrate



At risk:	ADP	53	25	17	13	5	3	3	1	1	1
	Plantaris	22	11	7	5	2	1				
	ATP	10	7	6	3	1	1	1	1		

**Abbildung 34:** Kumulative sekundäre Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich der distalen Anschlüsse (n=85), (ADP=A. dorsalis pedis, Plantaris=A. plantaris, ATP=A. tibialis posterior)

In der sekundären Offenheitsrate der pedalen Bypässe im Vergleich der distalen Anschlüsse ist der Unterschied auch hier nicht signifikant (p=0,78)

	12 Monate	24 Monate	36 Monate	60 Monate
<b>ADP</b>	65,2 %	65,2 %	61,5 %	51,8 %
<b>Plantaris</b>	80,1 %	80,1 %	69 %	45,8 %
<b>ATP</b>	80 %	69 %	51,3 %	51,3 %

**Tabelle 22:** Ergebnisse der kumulativen sekundären Offenheitsrate bei pedalem Bypass. Vergleich der distalen Anschlüsse

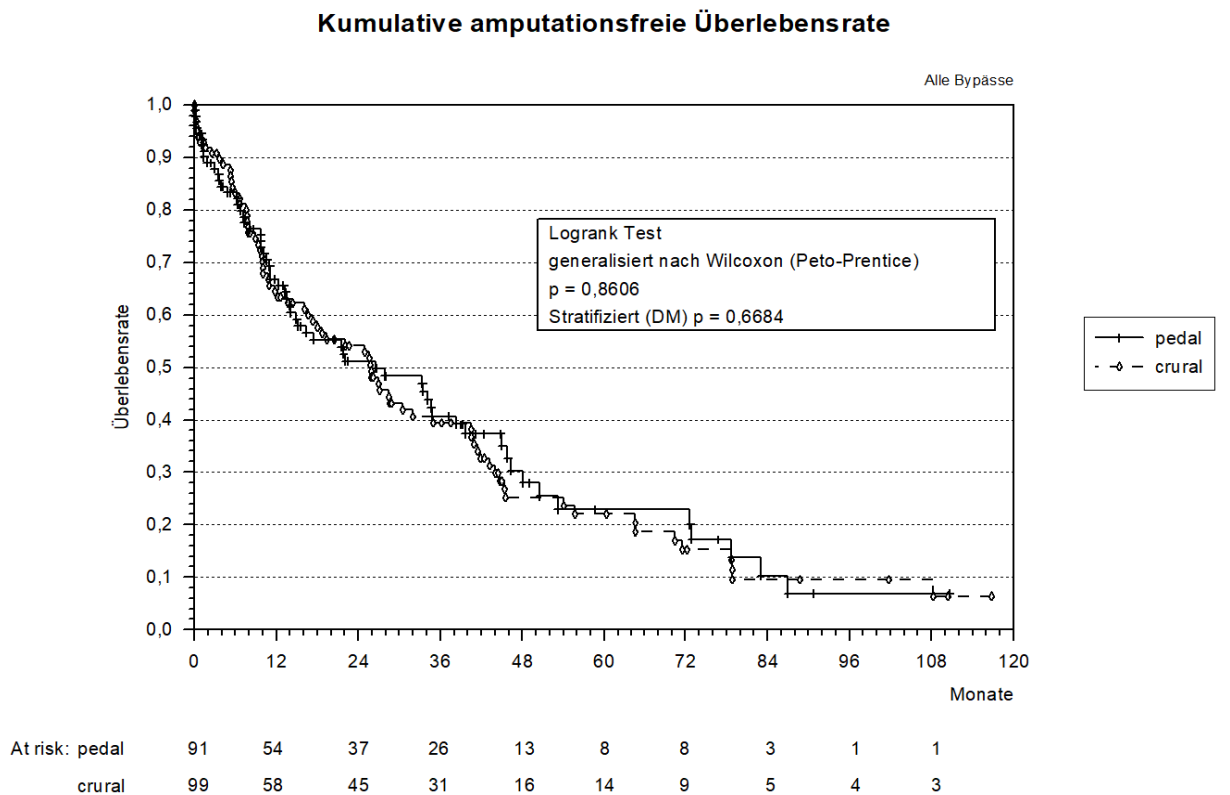
### 3.9.2.8 Sekundäre Offenheitsrate. Zusammenfassung der Ergebnisse

	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre/ 5 Jahre
<b>Cruraler BP</b>	74%	56%	50,5% / 41%
<b>Pedaler BP</b>	73%	67%	59,8% / 48 %
<b>Cruraler BP</b>			
<b>in situ</b>	90%	77%	77% / 57%
<b>reversed</b>	66%	56%	56% / 56 %
<b>non reversed</b>	53%	35,5%	30% / 24%
<b>Vene</b>	81%	66,5%	63% / 48%
<b>Composite</b>	49,5%	23%	-
<b>Prothese</b>	62,5%	61%	31% / -
<b>Pedaler BP</b>			
<b>in situ</b>	80%	80%	68% / 57%
<b>reversed</b>	78%	78 %	78% / -
<b>non reversed</b>	69,8%	63%	59 %/ 45 %
<b>Vene</b>	77%	74%	68% / 58%
<b>Composite</b>	42%	42%	24% / -

*Tabelle 23: Sekundäre Offenheitsrate. Zusammenfassung der Ergebnisse*

### 3.9.3 Amputationsfreies Überleben

#### 3.9.3.1 Amputationsfreies Überleben bei cruralem und pedalem Bypass



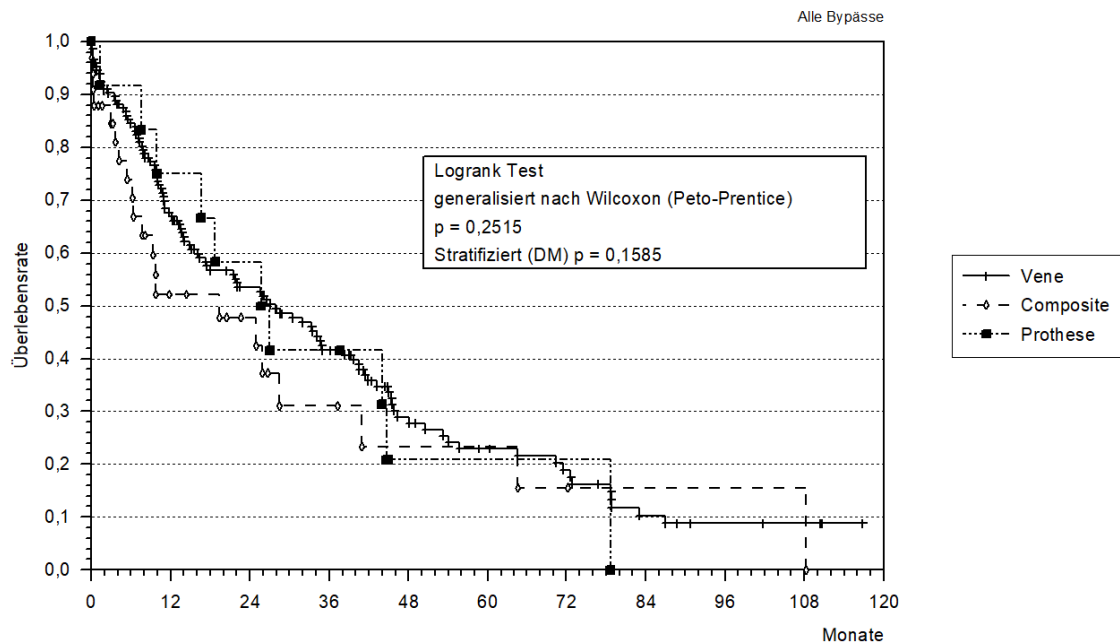
**Abbildung 35:** Kumulative amputationsfreie Überlebensrate bei cruralem und pedalem Bypass (n=190)

Im amputationsfreien Überleben gibt es keinen signifikanten Unterschied ( $p=0,86$ ) zwischen cruralen und pedalen Bypässen. Nach zwölf Monaten waren 66 % der cruralen und 67 % der pedalen Bypässe offen. Nach 24 Monaten waren 54 % crurale und 51% pedale Bypässe, nach 36 Monaten 40 % crurale und 41 % pedale Bypässe offen. Nach 60 Monaten waren 22% crurale und 23 % pedale Bypässe noch offen.



### 3.9.3.2 Amputationsfreies Überleben bei cruralem und pedalem Bypass. Vergleich des Bypassmaterials

Kumulative amputationsfreie Überlebensrate



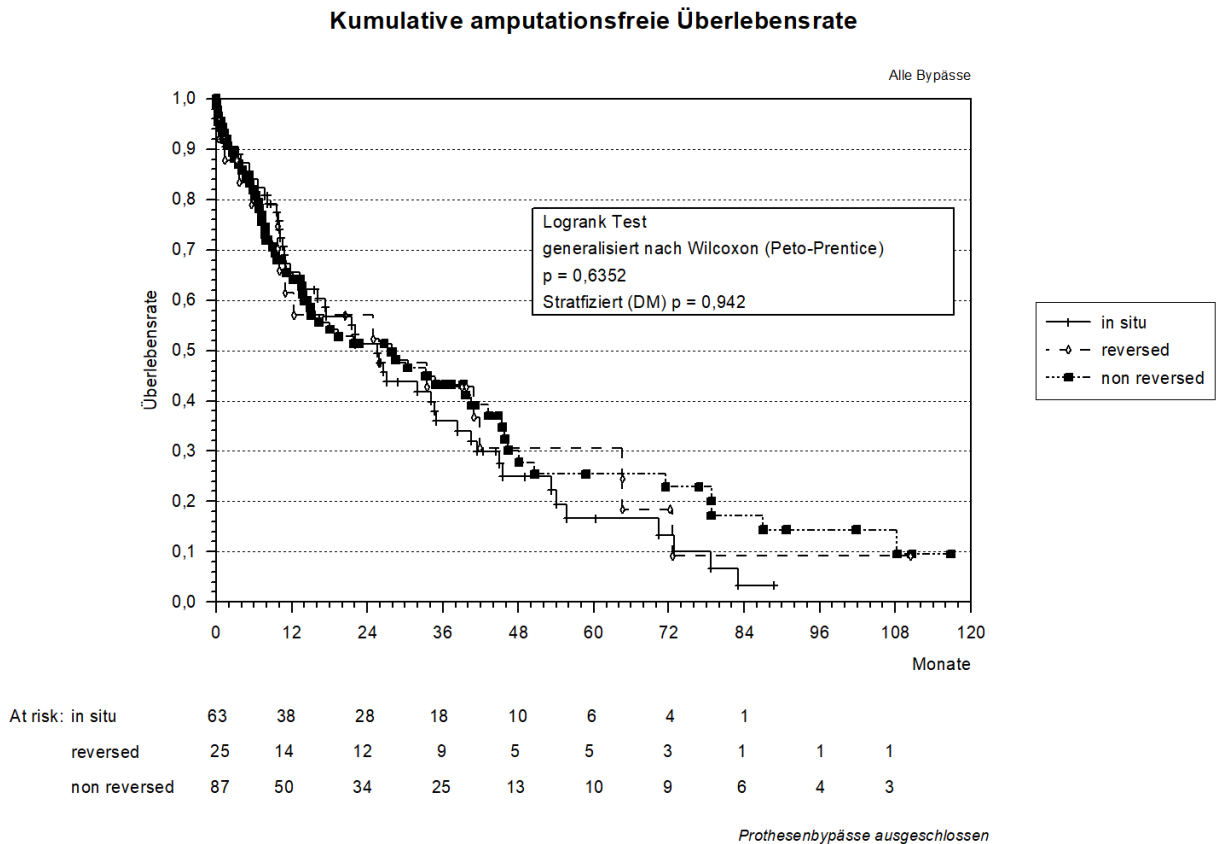
At risk: Vene	145	90	66	47	25	18	14	7	4	3
Composite	33	13	9	5	3	3	2	1	1	1
Prothese	12	9	7	5	1	1	1			

**Abbildung 36:** Kumulative amputationsfreie Überlebensrate bei cruralem und pedalem Bypass. Vergleich des Bypassmaterials (n=190)

Die Abbildung 36 zeigt keinen signifikanten Unterschied ( $p=0,25$ ) in Vergleich von verschiedenen Bypassarten. Nach zwölf Monaten waren 67 % der Patienten mit einem Venenbypass, 52,5 % mit Compositebypass und 75 % mit Prothesenbypass ohne Amputation noch am Leben.

Nach 24 Monaten waren die Überlebensraten 53,5 %, 48 %, 58 %, nach 36 Monaten 42 %, 31 %, 42 % und nach 60 Monaten 23 %, 23 %, 21 %. Somit konnte beim amputationsfreien Überleben durch verschiedene Bypassarten kein signifikanter Unterschied festgestellt werden.

### 3.9.3.3 Amputationsfreies Überleben bei cruralem und pedalem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart



**Abbildung 37:** Kumulative amputationsfreie Überlebensrate bei cruralem und pedalem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart (n=175)

Die kumulative amputationsfreie Überlebensrate unterscheidet sich nicht signifikant ( $p=0,6$ ) bei allen Bypassarten im Vergleich der Venenverwendungsart.

Bei der Operationstechnik in situ zwölf Monate 67 %, 24 Monate 52 %, 36 Monate 36 %, 60 Monate 17 %

Reversed zwölf Monate 65 %, 24 Monate 57 %, 36 Monate 43,5 %, 60 Monate 30,5 %

Non reversed zwölf Monate 66 %, 24 Monate 51,5%, 36 Monate 43,5 %, 60 Monate 25,5 %

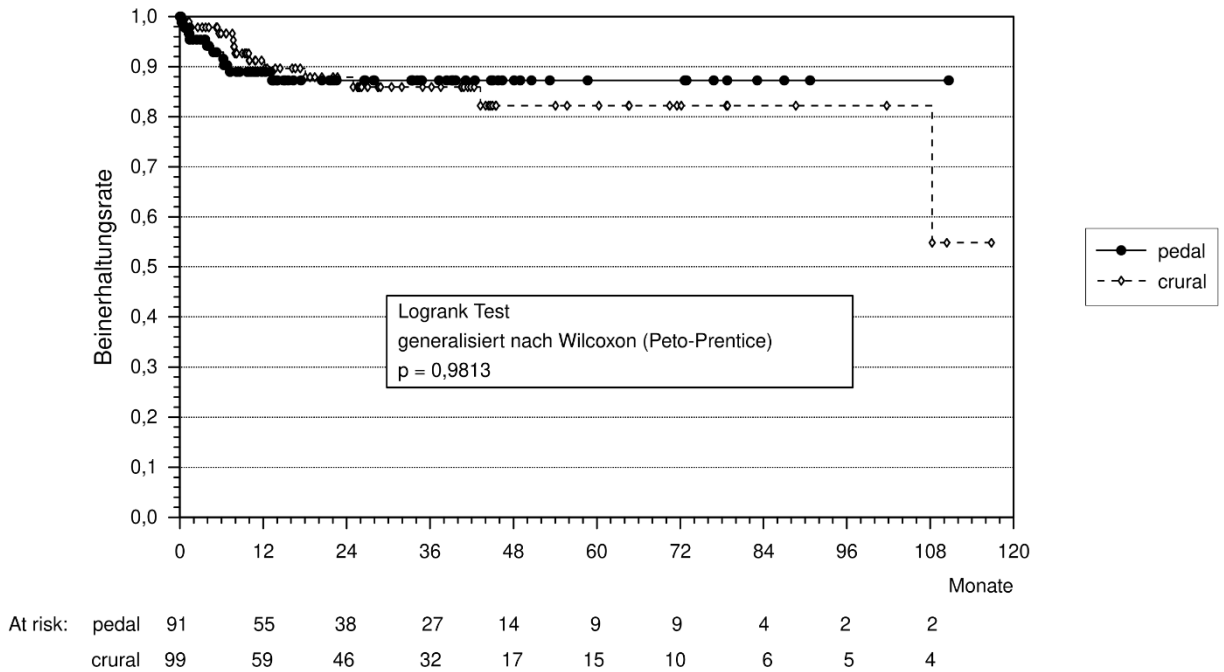
### 3.9.3.4 Amputationsfreies Überleben. Zusammenfassung der Ergebnisse

	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre / 5 Jahre
<b>Amputationsfreies Überleben</b>			
<b>cruraler BP</b>	66%	54%	40% / 22%
<b>pedaler BP</b>	67%	51%	41% / 23%
<b>in situ</b>	67%	52%	38% / 17%
<b>reversed</b>	65%	57%	43,5% / 30,5%
<b>non reversed</b>	66%	51,5	43,5 % / 25,5 %
<b>Vene</b>	67%	53,5%	42% / 23%
<b>Composite</b>	52,5%	48%	31% / 23%
<b>Prothese</b>	75%	58%	42% / 21%

*Tabelle 24: Amputationsfreies Überleben. Zusammenfassung der Ergebnisse*

### 3.9.4 Beinerhaltungsrate

#### 3.9.4.1 Beinerhaltungsrate. Vergleich von cruralem und pedalem Bypass Kumulative Beinerhaltungsrate

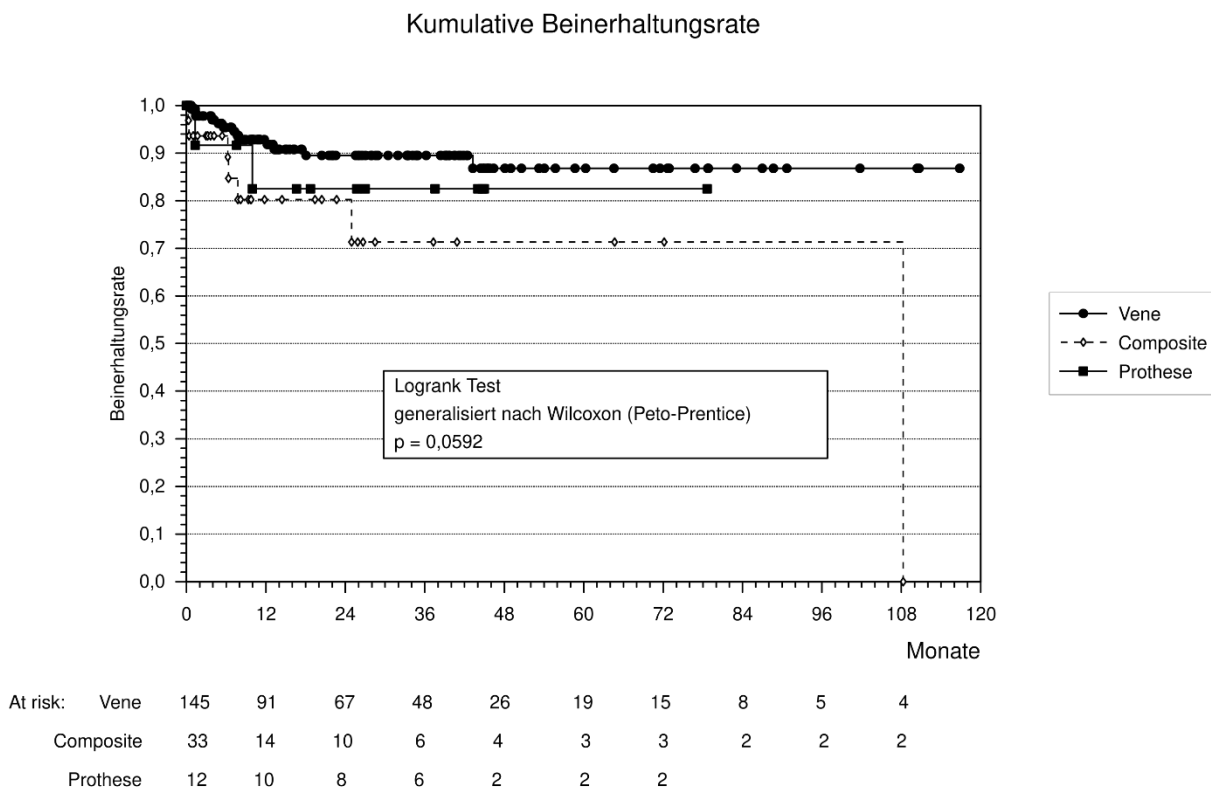


**Abbildung 38:** Kumulative Beinerhaltungsrate. Vergleich von cruralem und pedalem Bypass (n=190)

Der Unterschied zwischen cruralen und pedalen Bypassen mit  $p=0,98$  ist nicht signifikant. Man kann in der Abbildung 38 sehen, dass bei pedalem Bypass nach zwölf Monaten 89% der Beine gerettet werden konnten, nach 24 Monaten waren es noch 87,5 %. Danach gab es keine weiteren Verluste.

Bei cruralem Bypass waren nach 12 Monaten 90 %, nach 24 und 36 Monaten 86% und nach 60 Monaten waren 82 % der Extremitäten erhalten.

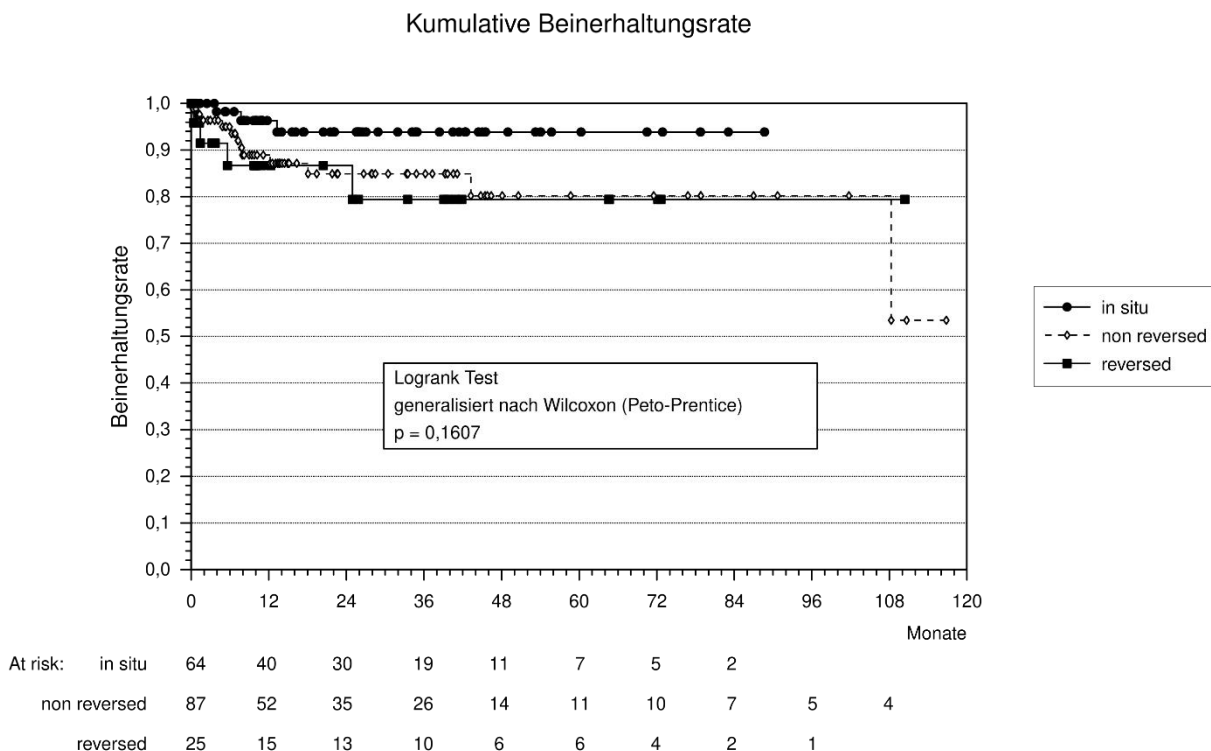
### 3.9.4.2 Beinerhaltungsrate bei cruralem und pedalem Bypass. Vergleich des Bypassmaterials



**Abbildung 39:** Kumulative Beinerhaltungsrate bei cruralem und pedalem Bypass. Vergleich des Bypassmaterials (n=190)

Die Abbildung 39 zeigt die Beinerhaltungsrate bei beiden Bypassarten im Vergleich von Bypassmaterial. Bei einem Venenbypass war die Beinerhaltungsrate nach 12 Monaten am besten mit 92 %, nach 24 und 36 Monaten 89,5% und nach 60 Monaten lag die Beinerhaltungsrate bei 87 %. Beim Compositebypass lag diese nach zwölf Monaten bei 80% und nach 24, 36 und 60 Monaten bei 71%. Beim Prothesenbypass gab es im ersten Jahr den größten Abfall auf 82 %. Der Unterschied in der Beinerhaltungsrate war in Abhängigkeit vom Bypassmaterial mit  $p=0,05$  signifikant. Damit konnte der Vorteil eines Venenbypasses bestätigt werden.

### 3.9.4.3 Beinerhaltungsrate bei cruralem und pedalem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart.



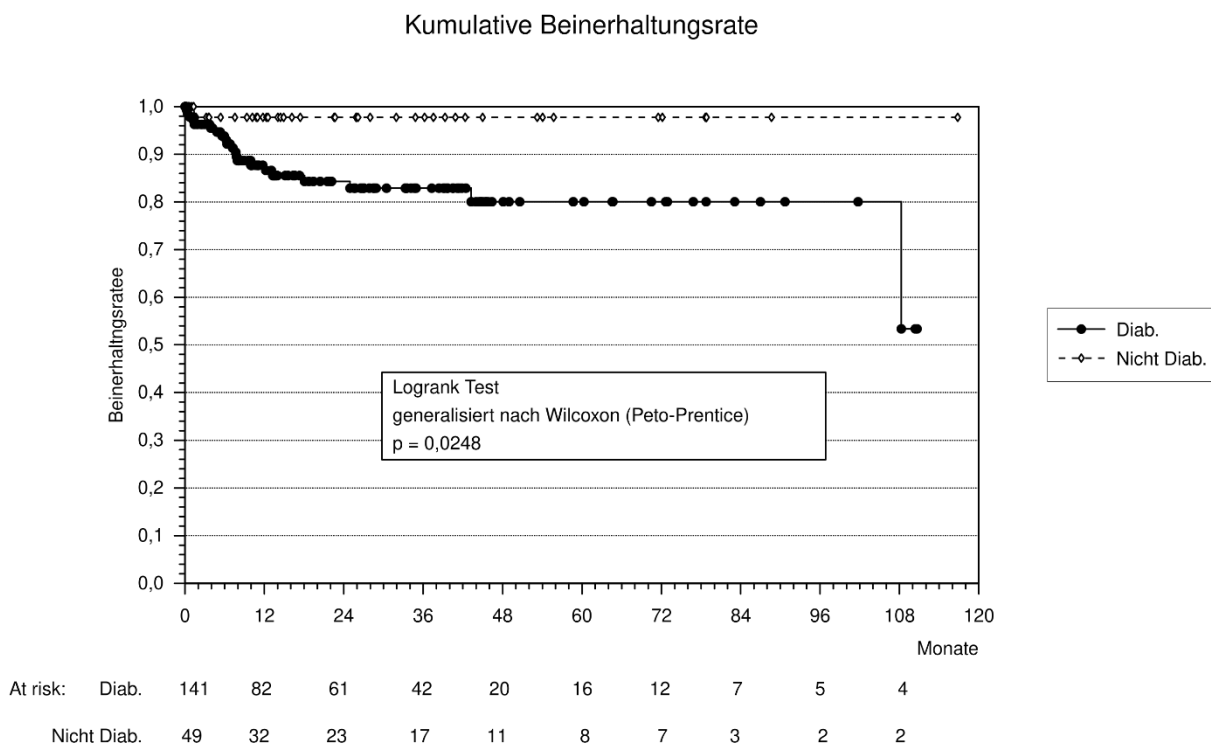
**Abbildung 40:** Kumulative Beinerhaltungsrate bei cruralem und pedalem Bypass. Vergleich der Venenverwendungsart (n=176)

Obwohl der Unterschied bei der Venenverwendungsart mit  $p=0,16$  nicht signifikant war, zeigt die Abbildung 40 eine höhere Beinerhaltungsrate bei einem in situ Bypass. Sie lag nach 12 Monaten bei 96,2% und nach 24 Monaten bei 94 %. Danach wurden bei Extremitäten, die einen in situ Bypass erhalten hatten, keine Amputationen verzeichnet.

Bei der non reversed-Technik lag die Beinerhaltungsrate nach 12, 24, 36 und 60 Monaten bei 89,1%, 84,4 %, 84,4 % und 80 %.

Bei der reversed- Technik lag die Beinerhaltungsrate nach 12, 24, 36 und 60 Monaten bei 86,3 %, 86,3 %, 80% und 80 %.

### 3.9.4.4 Beinerhaltungsrate bei cruralem und pedalem Bypass. Vergleich der Diabetiker und Nichtdiabetiker



**Abbildung 41:** Kumulative Beinerhaltungsrate bei cruralem und pedalem Bypass. Vergleich der Diabetiker und Nichtdiabetiker (n=190)

In der Abbildung 40 kann man sehen, dass bei Diabetikern häufiger eine Amputation durchgeführt wurde als bei Nichtdiabetikern. Der Unterschied ist auch signifikant ( $p=0,024$ ). Nach zwölf Monaten haben 87 % der Diabetiker ihre Extremität behalten, dagegen 98% der Nichtdiabetiker. Nach 24 Monaten waren es bei den Diabetikern schon 83% und nach 60 Monaten 80%. Bei den Nichtdiabetikern fanden nach 12 Monaten keine Amputationen mehr statt.

## 4 Diskussion

Die Diskussion wird sich beschränken auf den in dieser Arbeit untersuchten Gefäßabschnitt unterhalb des Kniegelenks bzw. auf die Revaskularisation der infrapoplitealen Arterien bei CLI-Patienten.

### 4.1 Ergebnisse der endovaskulären Therapie bei kritischer Ischämie

Durch die Errungenschaften in der Anwendung endovaskulärer Eingriffe haben auch die oft multimorbiden Patienten, denen man eine Bypass-OP nicht mehr zumuten möchte, eine Chance, durch einen weniger belastenden Eingriff eine Linderung ihrer Beschwerden oder auch die Extremität zu erhalten.

Die Anfänge der endovaskulären Therapie mit Dilatation von Arterien sind mit den Namen Charles Dotter (1960) und Ballonangioplastie durch Andreas Grüntzig (1970) verbunden. Nach der Ballondilatation kamen weitere Entwicklungen dazu, so die Anwendung von Stents (Palmaz), dann Drug eluting Stents und Drug eluting Balloons, die Atherektomie = intraarterielle Fräse, die subintimale Rekanalisation (Bolia) und schließlich auch bioresorbierbare Stents und sog. Scaffolds (16, 30, 80-82).

Diese Methoden waren zunächst auf größere Arterien wie die Becken- und Oberschenkelarterien beschränkt, bis Kardiologen hier die Möglichkeit sahen, auch schmalkalibrige Koronararterien aufzuweiten. Es war dann nur noch ein kleiner Schritt, Dilatationskatheter und Stents für Koronararterien auch in den ähnlich schmalkalibrigen Unterschenkelarterien zu applizieren. Bei diesen winzigen Arterien sind allerdings Komplikationen häufig. So wurden nach der Angioplastie von Unterschenkelarterien eine postdilataive Dissektion in 47-88% der Fälle gesehen und mehr als 50% der behandelten Fälle entwickelten nach drei bis sechs Monaten eine Restenose (83).

In der Literatur finden sich seit ca. 30 Jahren Berichte über die Entwicklung von Methoden der endovaskulären Therapie.

Ruby C. Lo et al. konnten in einer Gruppe von 413 Patienten mit kritischer Ischämie durch Angioplastie eine primäre Durchgängigkeit in ein und fünf Jahren mit 57 bzw. 38% erreichen, einen Beinerhalt von 84 bzw. 81%, allerdings nur bei kurzstreckigen, also TASC A, B und C-Stenosen und Verschlüssen (84). Längerstreckige TASC D - Stenosen und Verschlüsse der Trifurkation und der Unterschenkelarterien



infrapopliteal konnten nicht erfolgreich behandelt werden und mussten entweder durch Bypass versorgt werden oder führten letztlich zur Majoramputation.

Nakama unterteilte 253 Patienten mit Erkrankung der Unterschenkelarterien und Fußarterien in zwei Gruppen, von denen eine zusätzlich zur Revaskularisation der Unterschenkelarterien auch eine Angioplastie der Fußarterien erhielt. Nach zwölf Monaten kam es bei 59,3% der zusätzlich durch Angioplastie der Fußarterien behandelten Patienten zur Abheilung der Wunden, in der anderen Gruppe nur bei 38,1% (85).

In einer Gruppe von 238 Patienten mit CLI und nur einer oder keiner mehr offenen Fußarterie wurde mit der sog. Pedal Plantar Loop Technik versucht, die Fußarterien wieder zu eröffnen. Dies gelang bei 141 Patienten (60,9%) und diese wurden nun der Gruppe ohne erfolgreiche Fußrevaskularisation gegenübergestellt. Dabei fand sich eine rasche Wundheilung bei 76% gegenüber 67% und ein höheres amputationsfreies Überleben (86).

Die beiden letzteren Publikationen zeigen, wie wichtig es ist, für eine Revaskularisation, ob endovaskulär oder chirurgisch, auch die Fußarterien einzubeziehen.

Inzwischen gibt es auch Publikationen über neue Formen der endovaskulären Reparaturen bei den ja häufig auftretenden Dissektionen in Unterschenkelarterien nach extensiver Anwendung der PTA.

Bei 233 Patienten, 117 im Rutherford Stadium 5, 78 im Rutherford Stadium 4 wurden bei der PTA der A. poplitea und der Unterschenkelarterien als Komplikation insgesamt 341 Dissektionen erzeugt, diese dann mit kleinen Stents des sog. Tack Endovascular System (Intact Vascular, Wayne, Pa) repariert, d. h. die dissezierte Plaque wieder an die Gefäßwand angelegt. Von 341 Dissektionen konnten immerhin 301 repariert werden und von diesen blieben 247 offen, was einer Offenheitsrate von 82,1 % und einem Extremitätenerhalt von 98,5 % entspricht. Eine Besserung der Wundsituation und Wundheilung fand sich bei ca. 73%. Das sind respektable Ergebnisse, wobei es sich hier lediglich um eine Nachbeobachtung von sechs Monaten handelt (87).

Brodmann berichtet über Zwölfmonats-Ergebnisse nach TOBA (Tack Optimized Balloon Angioplasty) bei 35 Patienten. Sie konnte eine Offenheitsrate von 77,4%, eine Besserung der Wundheilung und eine Freiheit von weiteren rekonstruierenden

Eingriffen in 93,5% erzielen. Auch das sind beachtliche Ergebnisse, allerdings bei kleiner Fallzahl aus sieben Gefäßzentren und kurzer Nachbeobachtung (88).

#### **4.2 Vergleich Bypasschirurgie vs. Endovaskuläre Therapie**

Der direkte Vergleich Bypasschirurgie und Endovaskuläre Therapie ist eigentlich nicht mehr zeitgemäß, da nach dem Motto „Endovascular first“ in praktisch allen Gefäßzentren versucht wird, die Revaskularisation zunächst mit endovaskulären Methoden anzustreben. Dennoch gab es immer wieder Rückschläge und Misserfolge, in denen die Interventionalisten keine Möglichkeit sahen, die gewünschte Revaskularisation wiederherzustellen, sodass hier in Ermangelung von Gefäßchirurgen mit der Expertise der extrem peripheren Bypasschirurgie etliche Extremitäten und Leben geopfert wurden und auch immer noch werden (17).

In einer Multicenter-Studie (First-Line Treatments in Patients with Critical Limb Ischemia (CRITISCH)) wurde bei 1.200 CLI-Patienten die bevorzugte Ersttherapie untersucht, nämlich endovaskuläre Revaskularisation, Bypasschirurgie, Femoralis TEA und Patchplastik, konservativ und primäre Amputation. Das ergab in dieser Reihenfolge 53,4%, 23,7%, 10,5%, 9,8% und 2,5%. Das zeigt den enormen Aufschwung der endovaskulären Methoden, zumindest in vielen der 27 beteiligten Kliniken. Ein direkter Vergleich mit unserem Patientengut ist nicht möglich, da die behandelte Gefäßregion in dieser Multicenter-Studie nicht angegeben ist, bzw. zwischen der Therapie von Oberschenkel- und /Unterschenkel – Läsionen nicht unterschieden worden ist (89).

In der randomisierten BASIL-Studie (Bypass versus Angioplasty In Severe Ischemia oft the Leg) ergaben sich nach zwei Jahren mit 60% in beiden Gruppen keine Unterschiede in amputationsfreiem Überleben. Allerdings hatte nur ein Drittel der 452 Patienten eine OP oder Angioplastie unterhalb des Kniegelenks wie im vorliegend untersuchten Patientengut (90).

In einer Metaanalyse von 44 Studien mit 8.602 CLTI-Patienten (chronic limb-threatening ischemia) konnte mit endovaskulärer Revaskularisation, also Angioplastie und Drug eluting Stents bei infrapoplitealen Arterien eine primäre Patency von 73% nach einem Jahr erzielt werden. Die Länge der Verschlüsse war allerdings nicht angegeben. Es handelte sich also in der Mehrzahl um TASC A und B Läsionen. Bei längeren Verschlüssen, also TASC C und D gelingt die endovaskuläre

Revaskularisation nur selten. Hier ist die Bypasschirurgie mit autogener Vene klar im Vorteil mit einer sekundären Offenheitsrate von 94% nach einem Jahr und 76% nach drei Jahren (91).

In einer Studie der Harvard Medical School Boston wurden 655 Diabetiker (IDDM) in der Zeit von 2005 bis 2014 mit kritischer Ischämie (CLTI) entweder mit einer Bypass-OP (316) oder PTA/Stent (339) versorgt. Vergleichbar mit dieser Arbeit wurde hier die Mehrzahl an Bypassanlagen auf Unterschenkel- und Fußarterien durchgeführt, nämlich 73%. Bei der endovaskulären Revaskularisation mit PTA/Stent wurden in 63% die infrapoplitealen Arterien behandelt. Nach sechs Monaten fand sich in der Bypassgruppe eine deutlich bessere Wundheilung, 51% gegenüber 41 %. Nach fünf Jahren ergab sich zwar kein Unterschied im Extremitätenerhalt und Überleben, aber eine signifikant niedrigere Reinterventionsrate. Bei Betrachtung der Bypassgruppe gegenüber der PTA/Stent Gruppe ergab sich eine operative Reinterventionsrate von 24% gegenüber 18%, aber eine endovaskuläre Reinterventionsrate von 31% gegenüber 51%. Insgesamt hat also die Bypassgruppe eine deutlich geringere Reinterventionsrate. Die Autoren kommen zu dem Schluss, dass ein Diabetiker mit kritischer Ischämie auf längere Sicht von einer Bypass-OP profitiert, sofern er von der Komorbidität her für eine OP geeignet ist (92).

### **4.3 Diskussion eigene Ergebnisse**

Die Mobilität und damit die Selbständigkeit im Alter sind mitunter die wichtigsten Eigenschaften, die man solange wie möglich behalten will. Diese Fähigkeiten sind jedoch bei den Patienten mit einer PAVK bedroht. Auch die jüngeren Patienten sind betroffen. Die Altersspanne lag hier von 42 bis 95 Jahren mit einem Mittelwert von 74,5 Jahren. Das bedeutet, dass die PAVK vorwiegend ältere Patienten betrifft und die Prävalenz im Alter steigt. Das stimmt mit der aktuellen Datenlage überein (21, 22). Die überwiegende Zahl der Patienten befand sich im Stadium IV nach Fontaine (79,8 %) und war Diabetiker (82,3 %) und männlich (76,6 %). Die hohe Zahlen in der Diabetiker-Gruppe mit vorgeschrittenen PAVK-Stadien sind durch die fehlende Schmerzempfindung bei Diabetikern zu erklären (9). Dadurch bemerken sie das schmerzhafte Vorstadium, Stadium III nach Fontaine, nicht und begeben sich erst in Therapie, wenn es zur einer Infektion gekommen und das Gewebe untergegangen ist (10).

Die negativen Auswirkungen der Risikofaktoren wie Hypertonie, Hypercholesterinämie, Übergewicht, Rauchen sind allgemein bekannt und wurden in dieser Studie nicht weiter untersucht. Der Risikofaktor Diabetes Mellitus wurde in diese Arbeit integriert.

Diabetiker entwickeln ein typisches Verschlussmuster der Gefäße. Es sind nicht nur mehrere Etagen betroffen, sondern es kommt vor allem zu einem Unterschenkelarterien-Querschnittverschluss mit Aussparung der Fußarterien (8). Dies eröffnet die Möglichkeit einer distalen Bypassanlage. Bevor es jedoch soweit ist, sollten die vorgeschalteten Stenosen oder Verschlüsse behoben werden. Deswegen sind viele Patienten schon vorbehandelt, endovaskulär oder offen-chirurgisch. Auch die multimorbiden Patienten und die Patienten mit fortschreitender PAVK sind vorbehandelt. In dieser Arbeit hatten 42,9 % der Patienten eine Vorbehandlung hinter sich. In 48 Fällen (24,2%) waren die Patienten sogar mehrfach vorbehandelt. Am häufigsten kam die endovaskuläre Methode PTA (41,2%) zum Einsatz, gefolgt von Bypassanlagen (21,1%). Dafür, dass die Patienten nach einer erfolgreichen PTA-Revaskularisation trotzdem eine Bypassanlage benötigten, waren die Restenosen und der progressive Charakter der PAVK verantwortlich. Schmidt et al stellten fest, dass die Restenoserate nach einer PTA bei 70 % nach drei Monaten liegt (43, 45, 93). Einen signifikanten Unterschied bei cruralem und pedalem Bypass in Bezug auf Vorbehandlungen gab es nicht.

Bei der Beurteilung der Bypassfunktion ist von Bedeutung, dass ein Vergleich diverser Kriterien vielfach nur in den ersten zwei bis drei Jahren sinnvoll ist, da nach zwei Jahren die Patienten fast zur Hälfte verstorben sind, also nicht mehr „at risk“ sind. Das liegt an den fortgeschrittenen PAVK-Stadien der hier untersuchten Patienten. Die Daten zeigen, dass die Patienten im CLI-Stadium ein Risiko von 55 % haben, im ersten Jahr an kardiovaskulären Komplikationen zu versterben oder eine Majoramputation zu erleiden (22, 28, 29). Diese Daten erklären die in dieser Studie festgestellte signifikant hohe Mortalität in der Diabetiker-Gruppe.

#### **4.3.1 Primäre und sekundäre Offenheitsrate**

Die von Rutherford eingeführte Definitionen von primären und der sekundären Offenheitsraten sind vom Vorhandensein einer Revision abhängig (70). Nach der erfolgreichen Bypassanlage kann es im Verlauf zu einem Bypassverschluss kommen.

Um die Funktionalität wieder zu gewährleisten bedarf es meist einer chirurgischen Intervention. Hier dominierte eine Thrombektomie zur Rettung des Bypasses, es gab keine endovaskulären Eingriffe (94)

In der Durchgängigkeitsrate von cruralen und pedalen Bypassen zeigte sich kein signifikanter Unterschied.

#### **4.3.1.1 Cruraler Bypass**

Im Vergleich der Gruppen wurde der crurale Bypass, so wie das Verschlussmuster vermuten lässt, häufiger in der Diabetiker-Gruppe (65 %) angewandt (8). Der Ursprungsort des Bypasses lag in 67,3 % häufiger am Oberschenkel als im Knie Bereich (26 %). Im Kniebereich hat die A. poplitea im Segment III als Ursprungsort deutlich dominiert. Im Gegensatz zu Oberschenkel-Ursprungsorten, wo der Ursprung an der A. femoralis superficialis zahlenmäßig nur gering vor der A. femoralis communis lag. Der distale Anschluss bei Knieursprung war interessanterweise auf die ATA, ATP und AFib fast gleich verteilt, während bei Oberschenkel- Bypass -Anfang die ATA und AFib sich ähnlich verhielten, war die ATP in der Unterzahl. Das könnte bedeuten, dass die ATP bei langstreckigen Verschlüssen häufiger mitbetroffen ist.

Bei der Anwendung der Venentechnik gibt es einen klaren Vorteil für die Vena saphena magna in situ-Technik. Etwas verwunderlich ist das bessere Abschneiden der reversed-Technik gegenüber der non reversed-Technik, weil man für die non reversed-Technik an sich bessere Ergebnisse erwartet (95). Das ist aber erklärbar durch die für einen validen Vergleich einfach zu geringe Fallzahl, also keine repräsentativen Vergleichsgruppen.

Wie zu erwarten, schneidet beim Bypassmaterial die Prothese und der Composite-Graft (aus Vene und Kunststoffprothese) schlechter ab als die Vene und wird auch nicht weiter diskutiert wegen zu geringer Fallzahl.

Die Auswahl bzw. einzige Anschlussmöglichkeit auf die A. tibialis ant., A. fibularis oder A. tibialis post. zeigt keine signifikanten Unterschiede in der Offenheit. Die sehr gute Offenheitsrate bei Anschluss auf den Truncus tibiofibularis von 83% könnte man auf den Vorteil des anatomisch vorgegeben, größeren Durchmesser des Gefäßes zurückführen, ist aber wegen der zu geringen Fallzahl (6 abfallend auf 1) nicht verwertbar.

Auffällig sind die guten Durchgängigkeitsraten für den in situ Bypass von 71,8% bzw. 63,8% nach zwölf und 24 Monaten. Für die reversed- und non reversed-Techniken ist die Rate 10-15% niedriger. Bei Betrachtung der sekundären Offenheitsrate ergeben sich sogar 90% bzw. 77% für diese Beobachtungszeiträume. Insgesamt fallen die Offenheitsraten für alle Bypassarten sekundär um 10-15% höher aus.

#### **4.3.1.2 Pedaler Bypass**

Die Anwendung des pedalen Bypasses fand in der Diabetiker-Gruppe (82,8 %) am häufigsten statt. Nur 19,3 % hatten ihren Ursprung am Oberschenkel. Dies wäre durch das Bestreben, kurze Bypässe (distal original Bypass) zu erstellen, zu erklären. Ascer et al. konnten in ihrer Arbeit die deutlichen Vorteile des kurz gehaltenen Bypasses zeigen (71). Im Kniebereich hatten 94 % der Bypässe an der A. poplitea im Segment III ihren Ursprung, auch deshalb, weil die Beugung im Knie eine Flussbehinderung darstellt und die Funktionalität und Haltbarkeit des Bypasses reduzieren kann (71).

Der distale Anschluss auf die ADP war am häufigsten (64,1 %), sowohl bei Ursprung vom Oberschenkel als auch vom Knie. Der Studienlage nach scheint es bei Diabetikern das am wenigsten von Stenosen und Verschlüssen betroffene Gefäß zu sein. Auch die Wundheilung an der Ferse, die oft durch die unbrauchbare ATP versorgt wird, schreitet durch den distalen ADP-Anschluss schnell voran (62).

Beim pedalen Venenbypass ist schon die primäre Offenheitsrate hoch mit 72 %, 69,5%, 63,5% und 60% nach zwölf, 24, 36 und 60 Monaten. Die Werte für die sekundäre Offenheit ergaben dann gute 77 %, 74 %, 68% und 58%.

Unterschiedliche Venentechniken ergaben beim pedalen Bypass keinen signifikanten Unterschied. Hervorzuheben ist allerdings eine längere Funktionsdauer von in situ Bypässen und non reversed Bypässen bis zu neun Jahren gegenüber der reversed-Technik (drei Jahre), sowohl bei der primären wie sekundären Offenheitsrate. Die sehr guten und stabilen Ergebnisse des in situ Bypasses in der primären Offenheitsrate nach zwölf, 24, 36 Monate zeigten 77 %, 77%, 65,7% und in der sekundären Offenheitsrate sogar 80 %, 80%, 68 %.

In Bezug auf den distalen Anschluss beim pedalen Bypass auf die A. plantaris, A. dorsalis pedis oder A. tibialis post. ergab sich kein Unterschied. Allerdings ist auch hier

die Funktion beim Anschluss auf die ADP und ATP dauerhafter (bis zu neun Jahre) als auf die A. plantaris (fünf Jahre).

Fast alle Compositebypässe (n=13) waren schon nach einem Jahr verschlossen (65,5%).

#### **4.3.2 Amputationsfreies Überleben und Beinerhalt**

Ein sehr wichtiges Kriterium für die Lebensqualität nach einer Bypass-OP ist nicht einfach nur die Überlebenszeit, sondern die Beinerhaltungsrate bzw. noch wertvoller: das amputationsfreie Überleben.

Hier findet sich zwischen cruralen und pedalen Bypässen kein wesentlicher Unterschied mit letztlich einer amputationsfreien Überlebensrate von 66 % für crural und 67 % für pedal nach einem Jahr, von 54% für crural und 51% für pedal nach zwei Jahren und 22% für crural und 23% für pedal nach fünf Jahren. Aktuelle Studien zeigen eine ähnliche amputationsfreie Überlebensrate (96, 97)

Bemerkenswert ist beim pedalen Bypass die amputationsfreie Überlebensrate in Abhängigkeit vom distalen Anschluss. Zum Beispiel ergab sich hier eine Überlebensrate von 61% bei Anschluss auf die ATP gegenüber 23% bei Anschluss auf die ADP, wobei hier grundsätzlich keine Wahlmöglichkeit in Bezug auf den distalen Anschluss bestanden hatte, sondern das eben einzig verfügbare Gefäß angeschlossen worden war.

Das könnte bedeuten, dass die Patienten mit einer anschließbaren ATP bessere Überlebenschancen haben als solche, bei denen nur noch die A. dorsalis pedis anschließbar ist.

Die Beinerhaltungsrate bei Venenbypass nach einem Jahr lag bei 92 % und nach fünf Jahren immer noch bei 87 %. Wenn man bedenkt, dass es sich um multimorbide Patienten mit einer drohenden Majoramputation handelt, ist das ein herausragendes Ergebnis. Eine noch bessere Beinerhaltungsrate zeigte der in situ Bypass. Er erreichte nach einem Jahr 96,2 %, nach zwei Jahren 94 %. Saarinen et al. konnten eine Beinerhaltungsrate bei pedalem Bypass von 78,6 %, 72 % nach einem Jahr und fünf Jahren erreichen (96).

### **4.3.3 Diabetiker und Nichtdiabetiker**

Bei der Beurteilung der Bypasschirurgie der Patienten mit DFS wurde auch ein - allerdings kleiner- Anteil (53 von insgesamt 198) Nichtdiabetiker parallel mitgewertet. Demnach waren die Diabetiker häufiger männlich, waren häufiger von einer Amputation betroffen und hatten eine geringere Überlebensrate. Diese Daten entsprechen den Ergebnissen anderer Arbeitsgruppen (21, 22). Von einer Majoramputation waren praktisch nur Diabetiker betroffen, nämlich 22 gegenüber einem Nichtdiabetiker. Insgesamt ergab sich eine Amputationsrate von 11,6 % bezogen auf alle hier untersuchten Fälle, bei Diabetikern lag die Amputationsrate bei 15,1 %. Wenn man berücksichtigt, dass schon vor der Operation die meisten Extremitäten von einer Amputation bedroht waren, so ist dies ein gutes Ergebnis. Enzmann et al. hatten eine Amputationsrate im gesamten Patientenkollektiv von 14,7 % (97).

### **4.3.4 Eigene Ergebnisse der Bypasschirurgie im Literaturvergleich**

Rutherford et al. haben 1988 bei 119 cruralen Venen-Bypässen eine primäre Offenheitsrate von 85 % nach einem Jahr und 78 % nach drei Jahren erzielen können (98).

Pomposelli et al. haben bei 384 pedalen Bypässen mit Vene, mit den Techniken VSM in situ, reversed und Armvene, eine sekundäre Offenheitsrate von 88 und 82 % nach zwei und fünf Jahren und eine Beinerhaltungsrate von 94% und 87% nach zwei und fünf Jahren erreicht (99).

Saarinen et al. haben 2016 hervorragende Ergebnisse der „ultra-distal revascularisation“ publiziert mit einer primären Offenheitsrate von 71,2%, 59,7%, 49,0 %, nach einem, fünf und zehn Jahren und einer sekundären Offenheitsrate von 81,1 %, 70,7%, 68,4 % nach einem, fünf und zehn Jahren (96).

Schmiedt und Neufang et al. haben bei 124 Patienten mit einem kurzen popliteodistalen Venenbypass bei DFS nach zwei Jahren eine sekundäre Offenheitsrate von 76,4 %, nach fünf Jahren sogar 70 % beschrieben (100).

Gargiulo et al. haben bei der Beinerhaltungsrate nach einer Bypassanlage mit distalem Anschluss am Knöchel und Fußarterien nach einem Jahr bei 76,7 % und nach 36



Monaten bei 70,9 % erreicht. Die primäre Offenheitsrate lag nach einem Jahr und 36 Monaten bei 62,3 % und 52,9 % (101).

Die Gruppe Enzmann, Hölzenbein et al. konnte 2018 zeigen, dass der tibiale Venen-Bypass trotz einer sekundären Offenheitsrate von 59 % nach einem Jahr und 52% nach drei Jahren gute Beinerhaltungsrate und Überleben nach drei Jahren hatten. Sie bewegten sich in den 90%-Bereichen (97).

Somit reihen sich die eigenen Ergebnisse hervorragend in die Ergebnisse anderer namhafter Autoren ein und übertreffen diese sogar teilweise. Damit ist ein weiterer Beweis erbracht für die Bedeutung einer intensiv betriebenen peripheren Bypasschirurgie.

## **5 Zusammenfassung**

In dieser Arbeit wurden die Ergebnisse einer über elf Jahre bei 198 Extremitäten (168 Patienten) angewandten subtilen distalen Bypasschirurgie bei kritischer Ischämie (CLI), also in den Stadien nach Fontaine III und IV beim Diabetischen Fußsyndrom (DFS) ausführlich dargestellt. Die überwiegende Zahl der für die operative Therapie ausgewählten Extremitäten gehörte älteren Männern mit Diabetes Mellitus. Der distale Anschluss war durch das diabetikertypische Verschlussmuster der Arterien bestimmt, wobei sich weder in der primären noch sekundären Offenheitsrate zwischen den cruralen und pedalen Bypässen ein signifikanter Unterschied ergab. Beim pedalen Bypass bot sich häufiger der Anschluss auf die A. dorsalis pedis an, während das Ergebnis der distalen Anastomosierung beim cruralen Bypass gleichmäßig auf die drei Unterschenkelarterien verteilt war. Bemerkenswert ist beim pedalen Bypass die amputationsfreie Überlebensrate in Abhängigkeit vom distalen Anschluss, denn hier ergab sich eine dreimal höhere Überlebensrate bei Anschluss auf die ATP als bei Anschluss auf die ADP. Der Wert eines Anschlusses auf Fußarterien, was vielerorts wegen seiner Kompliziertheit gar nicht in Betracht gezogen wird, konnte in dieser Arbeit überzeugend dargestellt werden.

Die Verwendung des Bypassmaterials spricht eindeutig für die Vene. Ein Vergleich der Venenverwendungsart zeigte die überragende Funktion der Vena saphena magna in-situ-Technik in Bezug auf die Dauerhaftigkeit. Auch die Beinerhaltungsrate war mit 87 % nach fünf Jahren beim Venenbypass und sogar 94 % bei der in-situ-Technik

hervorragend. Die Amputationsrate im gesamten Kollektiv lag bei 11,6 %, die Mortalität bei 66,5 % im gesamten Patientengut und etwas höher bei Diabetikern mit 71,1 %.

Auch konnte hier gezeigt werden, dass die immer häufiger angewendeten und weit verbreiteten endovaskulären Methoden nur eine kurzfristig ausreichende Revaskularisation bei distalen Verschlüssen bewirken, damit auch zur teilweisen Abheilung von Wunden beitragen können, aber an Dauerhaftigkeit neben der chirurgischen Therapie nicht bestehen können.

Die guten Ergebnisse dieser Arbeit müssen dazu führen, die langwierige, komplizierte und subtile distale Bypasschirurgie wieder weit zu verbreiten und an weiteren Gefäßzentren zu etablieren.

## 6 Literaturverzeichnis

1. Schlenger RL, Lenzen-Schulte M. Jahrhundertprojekt Insulinforschung: Lohn der Hartnäckigkeit-als Insulin zum Medikament wurde. Deutsches Ärzteblatt. 2021;118(29-30):B 1166-B70.
2. Federation IID. IDF Atlas 10th edition 2021 [Available from: <https://diabetesatlas.org/>].
3. Bundesamt S. Bevölkerungsstand: Amtliche Einwohnerzahl Deutschlands 2021 2021 [Available from: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/\\_inhalt.html](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Bevoelkerung/Bevoelkerungsstand/_inhalt.html)].
4. Statista. Prävalenz von Diabetes bei zwischen 20- und 79-Jährigen in ausgewählten Ländern weltweit im Jahr 2019 2022 [Available from: <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/182587/umfrage/praevalenz-von-diabetes-in-ausgewaehlten-laendern/#professional>].
5. Neufang A, Kraus O, Dorweiler B, Espinola-Klein C, Schmiedt W, Oelert H. Pedale Bypasschirurgie bei diabetischen Fußsyndrom: Indikation, Technik und Ergebnisse. Medizinische Klinik. 2002;97(4):256-62.
6. Moss SE, Klein R, Klein BEK. The Prevalence and Incidence of Lower Extremity Amputation in a Diabetic Population. Archives of Internal Medicine. 1992;152(3):610-6.
7. Prompers L, Schaper N, Apelqvist J, Edmonds M, Jude E, Mauricio D, et al. Prediction of outcome in individuals with diabetic foot ulcers: focus on the differences between individuals with and without peripheral arterial disease. The EURODIAB Study. Diabetologia. 2008;51(5):747-55.
8. Veith FJ, Gupta SK, Wengerter KR, Goldsmith J, Rivers SP, Bakal CW, et al. Changing arteriosclerotic disease patterns and management strategies in lower-limb-threatening ischemia. Ann Surg. 1990;212(4):402-12; discussion 12-4.
9. Chantelau EA. Nociception at the diabetic foot, an uncharted territory. World J Diabetes. 2015;6(3):391-402.
10. Rümenapf G, Morbach S, Rother U, Uhl C, Görtz H, Böckler D, et al. Diabetisches Fußsyndrom – Teil 1. Der Chirurg. 2021;92(1):81-94.
11. Claessen H, Kvitkina T, Narres M, Icks A. Inzidenzen von Folgeerkrankungen des Diabetes mellitus. Der Diabetologe. 2019;15(2):79-88.
12. The Sant Vincent Declaration on Diabetes care and research in Europe. Acte diabetologia. 1989;10(suppl):143-4.
13. Kröger K, Berg C, Santosa F, Malyar N, Reinecke H. Amputationen der unteren Extremität in Deutschland. Dtsch Arztebl Int. 2017;114:130-6.
14. Kellersmann R. Wo steht der pedale Bypass heute? Gefäßchirurgie. 2018;23(1):13-8.
15. Morris Jr G, De Bakey M, DA C, ES C. Arterial bypass below the knee. Surgery, gynecology & obstetrics. 1959;108(3):321-32.
16. Dotter CT, Judkins MP. Transluminal treatment of arteriosclerotic obstruction: description of a new technic and a preliminary report of its application. Circulation. 1964;30(5):654-70.
17. Teßarek J, Oberhuber A. [Innovations in the endovascular treatment of peripheral arterial disease]. Gefasschirurgie : Zeitschrift fur vaskulare und endovaskulare Chirurgie : Organ der Deutschen und der Osterreichischen Gesellschaft fur Gefasschirurgie unter Mitarbeit der Schweizerischen Gesellschaft fur Gefasschirurgie. 2021:1-12.
18. Darling JD, McCallum JC, Soden PA, Korepta L, Guzman RJ, Wyers MC, et al. Results for primary bypass versus primary angioplasty/stent for lower extremity chronic limb-threatening ischemia. Journal of Vascular Surgery. 2017;66(2):466-75.
19. Heller A, Meisenbacher K, Dovzhanskiy D, Uhl C, Billing A, Böckler D. Lokale und systemische Komplikationen nach perkutanen Interventionen in der Therapie der peripheren arteriellen Verschlusskrankheit. Gefäßchirurgie. 2021;26(3):219-24.
20. Tamayo T, Brinks R, Hoyer A, Kuß O, Rathmann W. The Prevalence and Incidence of Diabetes in Germany: An Analysis of Statutory Health Insurance Data on 65 Million Individuals From the Years 2009 and 2010. Dtsch Arztebl International. 2016;113(11):177-82.
21. Diehm C, Schuster A, Allenberg JR, Darius H, Haberl R, Lange S, et al. High prevalence of peripheral arterial disease and co-morbidity in 6880 primary care patients: cross-sectional study. Atherosclerosis. 2004;172(1):95-105.
22. Espinola-Klein C. Grundlagen der Angiologie bei peripherer arterieller Verschlusskrankheit (pAVK). Herz. 2020;45(2):201-8.
23. Alberts MJ, Bhatt DL, Mas J-L, Ohman EM, Hirsch AT, Röther J, et al. Three-year follow-up and event rates in the international REduction of Atherothrombosis for Continued Health Registry. European Heart Journal. 2009;30(19):2318-26.

24. Balletshofer B, Böckler D, Diener H, Heckenkamp J, Ito W, Katoh M, et al. Positionspapier zur Diagnostik und Therapie der peripheren arteriellen Verschlusskrankheit (pAVK) bei Menschen mit Diabetes mellitus. *Der Diabetologe*. 2021;17(3):283-92.
25. Lawall H, Huppert P, Rümenapf G. S3-Leitlinie zur Diagnostik, Therapie und Nachsorge der peripheren arteriellen Verschlusskrankheit 2015 [Available from: <https://www.awmf.org/leitlinien/detail/II/065-003.html>].
26. Holler D, Claes C, von der Schulenburg J. Treatment costs and quality of life of patients with peripheral arterial occlusive disease- the German perspective. *Vasa*.33(3):145-53.
27. Stiefelhagen P. Majoramputationen sind rückläufig. *MMW-Fortschritte der Medizin*. 2018;160(12):14-.
28. Norgren L, Hiatt WR, Dormandy JA, Nehler MR, Harris KA, Fowkes FGR. Inter-society consensus for the management of peripheral arterial disease (TASC II). *Journal of vascular surgery*. 2007;45(1):S5-S67.
29. Reinecke H, Unrath M, Freisinger E, Bunzemeier H, Meyborg M, Lüders F, et al. Peripheral arterial disease and critical limb ischaemia: still poor outcomes and lack of guideline adherence. *European Heart Journal*. 2015;36(15):932-8.
30. Zimmermann A, Ludwig U, Eckstein HH. Indikationen und Ergebnisse der endovaskulären Therapie der kritischen Extremitätenischämie. *Gefäßchirurgie*. 2015;20(3):196-203.
31. Hoffstad O, Mitra N, Walsh J, Margolis DJ. Diabetes, Lower-Extremity Amputation, and Death. *Diabetes Care*. 2015;38(10):1852-7.
32. Claessen H, Narres M, Haastert B, Arend W, Hoffmann F, Morbach S, et al. Lower-extremity amputations in people with and without diabetes in Germany, 2008-2012 - an analysis of more than 30 million inhabitants. *Clin Epidemiol*. 2018;10:475-88.
33. Dihlmann S, Peters AS, Hakimi M. Entstehung der Arteriosklerose. *Der Pathologe*. 2019;40(5):559-72.
34. Thompson RC, Allam AH, Lombardi GP, Wann LS, Sutherland ML, Sutherland JD, et al. Atherosclerosis across 4000 years of human history: the Horus study of four ancient populations. *Lancet*. 2013;381(9873):1211-22.
35. Kumar V, Abbas AK, Aster JC. Robbins basic pathology e-book: Elsevier Health Sciences; 2017.
36. Ross R, Glomset JA. The Pathogenesis of Atherosclerosis: (First of Two Parts). *New England journal of medicine*. 1976;295(7):369-77.
37. Stiefelhagen P. Auch PAVK-Patienten profitieren von neuen Präventionsstrategien. *CardioVasc*. 2021;21(3):18-9.
38. Müller JG, Kuhlencordt P. Arteriosklerose: Ätiologie und Pathogenese. In: Debus ES, Gross-Fengels W, editors. *Operative und interventionelle Gefäßmedizin*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2020. p. 63-76.
39. van Netten, et al. Definitions and criteria for diabetic foot disease. *Diab Metab Res Rev*. 2020;36(S1):e3268.
40. IWGDF Editorial Board. IWGDF Definitions and Criteria 2019 [Available from: <https://iwgdfguidelines.org/definitions-criteria/>].
41. Morbach S, Müller E, Reike H, Risse A, Rümenapf G, Spraul M. Diabetisches Fußsyndrom. *Diabetologie und Stoffwechsel*. 2017;12(S 02):S181-S9.
42. Lawall H, Diehm C, Hoffmann U, Reinecke H. Periphere arterielle Verschlusskrankheit: Epidemiologie, Komorbidität und Prognose. *DMW - Deutsche Medizinische Wochenschrift* 2015. ( ): 1798 - 802.
43. Fujii M, Yamada A, Yamawaki K, Tsuda S, Miyamoto N, Gan K, et al. Predictive Factors for Limb Salvage and Foot Ulcer Recurrence in Patients with Chronic Limb-Threatening Ischemia After Multidisciplinary Team Treatment: A 6-Year Japanese Single-Center Study. *Int J Low Extrem Wounds*. 2021;15347346211041429.
44. Armstrong DG, Boulton AJ, Bus SA. Diabetic foot ulcers and their recurrence. *New England Journal of Medicine*. 2017;376(24):2367-75.
45. Rümenapf G, Morbach S, Rother U, Uhl C, Görtz H, Böckler D, et al. Diabetisches Fußsyndrom – Teil 2. *Der Chirurg*. 2021;92(2):173-86.
46. Espinola-Klein C, Weißer G. Gefäßdiagnostik an peripheren Arterien. *Der Internist*. 2017;58(8):787-95.
47. Werner T. Das Diabetische Fußsyndrom behandeln. *Heilberufe*. 2021;73(11):24-6.
48. Khan NA, Rahim SA, Anand SS, Simel DL, Panju A. Does the clinical examination predict lower extremity peripheral arterial disease? *Jama*. 2006;295(5):536-46.
49. Mühlberger D, Ahrendt JW, Mumme A, Hummel T. Diagnostik der pAVK – arterielle Verschlussdruckmessung. *Phlebologie*. 2020;49(02):111-3.

50. Lawall H, Luedemann C. Diagnostik und Grundzüge der Therapie der peripheren arteriellen Verschlusskrankheit bei Diabetespatienten. *Der Diabetologe*. 2015;11(1):12-21.
51. Spraul M. ABI-Index durch Mediasklerose oft verfälscht. *Info Diabetologie*. 2014;8(6):9-.
52. Jachertz G, Stappler T, Do DD, Mahler F. The pole-pressure test: an easy alternative in patients with ischemic legs and incompressible arteries. *VASA Zeitschrift für Gefasskrankheiten*. 2000;29(1):59-61.
53. Schmiedt W. Femoro-krurale Gefäßverschlüsse. *Kompaktwissen Gefäßchirurgie*: Springer; 2007. p. 233-48.
54. Betz T, Töpel I, Steinbauer M. Gemeinsam klug entscheiden – Periphere arterielle Verschlusskrankheit. *Gefäßchirurgie*. 2021;26(3):206-11.
55. Schmiedt W. Femoro-krurale Gefäßverschlüsse. In: Luther BLP, editor. *Kompaktwissen Gefäßchirurgie: Differenzierte Diagnostik und Therapie*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2011. p. 273-90.
56. Dormandy JA. Management of peripheral arterial disease (PAD). TASC working group. TransAtlantic Inter-Society Consensus (TASC). *J Vasc surg*. 2000;31:S1-S296.
57. Blessing E. Update periphere arterielle Verschlusskrankheit. *Herz*. 2015;40(7):1013-24.
58. Zimmermann A, Arzt F, Wildgruber M, Schuster T, Wendorff H, Eckstein H-H. Differences in patterns of peripheral arterial occlusive disease and eligibility for endovascular treatment. *Vasa*. 2012;41(6):432-9.
59. Larena-Avellaneda A, von Campenhausen J. Geschichtliche Entwicklung der arteriellen Gefäßchirurgie. In: Debus ES, Gross-Fengels W, editors. *Operative und interventionelle Gefäßmedizin*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2020. p. 13-21.
60. Veith I. The surgical achievements of ancient India: Sushruta. *Surgery*. 1961;49:564-8.
61. Smith RB, III. Arthur B. Voorhees, Jr.: Pioneer vascular surgeon. *Journal of Vascular Surgery*. 1993;18(3):341-8.
62. Berceci SA, Chan AK, Pomposelli Jr FB, Gibbons GW, Campbell DR, Akbari CM, et al. Efficacy of dorsal pedal artery bypass in limb salvage for ischemic heel ulcers. *Journal of vascular surgery*. 1999;30(3):499-508.
63. Neufang A, Scheinert D, Kugelmann U. Kruro-pedale Arterien. In: Luther B, Kröger K, Katoh M, editors. *Kompaktwissen Gefäßmedizin: Gefäßchirurgie, Angiologie und endovaskuläre Medizin*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg; 2021. p. 333-66.
64. Zühlke H-V, Zühlke E. Rekonstruktion der arteriellen Strombahn – ein historischer Rückblick. In: Zühlke H-V, editor. *Septische Gefäßmedizin*. 1. Auflage ed: Georg Thieme Verlag; 2019.
65. Okazaki J, Matsuda D, Tanaka K, Ishida M, Kuma S, Morisaki K, et al. Analysis of wound healing time and wound-free period as outcomes after surgical and endovascular revascularization for critical lower limb ischemia. *Journal of Vascular Surgery*. 2018;67(3):817-25.
66. Conte MS. Diabetic revascularization: endovascular versus open bypass--do we have the answer? *Semin Vasc Surg*. 2012;25(2):108-14.
67. Sheahan MG, Hamdan AD, Veraldi JR, McArthur CS, Skillman JJ, Campbell DR, et al. Lower extremity minor amputations: The roles of diabetes mellitus and timing of revascularization. *Journal of Vascular Surgery*. 2005;42(3):476-80.
68. Trampisch HJ, Windeler J, Ehle B, Lange S. Analyse von Überlebenszeiten. *Medizinische Statistik*: Springer; 2000. p. 333-48.
69. Zwiener I, Blettner M, Hommel G. Überlebensanalyse. *Deutsches Ärzteblatt*. 2011;108(10):163-9.
70. Rutherford RB, Flanigran DP, Gupta SK, Johnston KW, Karmody AM, Whittlemore AD, et al. Suggested standards for reports dealing with lower extremity ischemia. *Journal of vascular surgery*. 1986;4(1):80-94.
71. Ascer E, Veith FJ, Gupta S, White SA, Bakal CW, Wengerter K, et al. Short vein grafts: a superior option for arterial reconstructions to poor or compromised outflow tracts? *Journal of vascular surgery*. 1988;7(2):370-8.
72. Taylor LM, Phinney ES, Porter JM. Present status of reversed vein bypass for lower extremity revascularization. *Journal of Vascular Surgery*. 1986;3(2):288-97.
73. Batson RC, Sottiurai VS. Nonreversed and in situ vein grafts. Clinical and experimental observations. *Annals of surgery*. 1985;201(6):771-9.
74. Neufang A, Dorweiler B, Espinola-Klein C, Reinstadler J, Kraus O, Schmiedt W, et al. Extremitätenerhalt durch pedalen In-situ-Bypass beim diabetischen Fußsyndrom. *Zentralblatt für Chirurgie*. 2003;128(09):715-9.
75. Leather RP, Powers SR, Karmody AM. A reappraisal of the in situ saphenous vein arterial bypass: Its use in limb salvage. *Surgery*. 1979;86(3):453-61.

76. LeMaitre. Peripherer Stentgraft Omniflow® II ohne Jahr [Available from: <https://www.lemaitre.com/products/omniflow-ii-vascular-prosthesis>].
77. Neufang A, Dorweiler B, Espinola-Klein C, Savvidis S, Doemland M, Schotten S, et al. Outcomes of complex femorodistal sequential autologous vein and biologic prosthesis composite bypass grafts. *Journal of vascular surgery*. 2014;60(6):1543-53.
78. Harris PL, Bakran A, Enabi L, Nott DM. ePTFE grafts for femoro-crural bypass—Improved results with combined adjuvant venous cuff and arteriovenous fistula? *European Journal of Vascular Surgery*. 1993;7(5):528-33.
79. Deutsch M, Meinhart J, Howanietz N, Fröschl A, Heine B, Moidl R, et al. The bridge graft: a new concept for infrapopliteal surgery. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 2001;21(6):508-12.
80. Palmaz JC, Sibbitt RR, Tio FO, Reuter SR, Peters JE, Garcia F. Expandable intraluminal vascular graft: a feasibility study. *Surgery*. 1986;99(2):199-205.
81. Bolia A, Sayers RD, Thompson MM, Bell PRF. Subintimal and intraluminal recanalisation of occluded crural arteries by percutaneous balloon angioplasty. *European Journal of Vascular Surgery*. 1994;8(2):214-9.
82. Grüntzig A. [Percutaneous recanalisation of chronic arterial occlusions (Dotter principle) with a new double lumen dilatation catheter (author's transl)]. *Rofo*. 1976;124(1):80-6.
83. Giannopoulos S, Varcoe RL, Lichtenberg M, Rundback J, Brodmann M, Zeller T, et al. Balloon Angioplasty of Infrapopliteal Arteries: A Systematic Review and Proposed Algorithm for Optimal Endovascular Therapy. *J Endovasc Ther*. 2020;27(4):547-64.
84. Ruby LC, Darling J, Bensley RP, Giles KA, Dahlberg SE, Hamdan AD, et al. Outcomes following infrapopliteal angioplasty for critical limb ischemia. *Journal of Vascular Surgery*. 2013;57(6):1455-64.
85. Nakama T, Watanabe N, Haraguchi T, Sakamoto H, Kamoi D, Tsubakimoto Y, et al. Clinical Outcomes of Pedal Artery Angioplasty for Patients With Ischemic Wounds: Results From the Multicenter RENDEZVOUS Registry. *JACC: Cardiovascular Interventions*. 2017;10(1):79-90.
86. Jung HW, Ko Y-G, Hong S-J, Ahn C-M, Kim J-S, Kim B-K, et al. Editor's Choice – Impact of Endovascular Pedal Artery Revascularisation on Wound Healing in Patients With Critical Limb Ischaemia. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 2019;58(6):854-63.
87. Geraghty PJ, Adams G, Schmidt A, Cardenas J, Lichtenberg M, Wissgott C, et al. Six-month pivotal results of tack optimized balloon angioplasty using the Tack Endovascular System in below-the-knee arteries. *Journal of Vascular Surgery*. 2021;73(3):918-29.e5.
88. Brodmann M, Wissgott C, Holden A, Staffa R, Zeller T, Vasudevan T, et al. Treatment of infrapopliteal post-PTA dissection with tack implants: 12-month results from the TOBA-BTK study. *Catheterization and Cardiovascular Interventions*. 2018;92(1):96-105.
89. Bisdas T, Borowski M, Torsello G, Adili F, Balzer K, Betz T, et al. Current practice of first-line treatment strategies in patients with critical limb ischemia. *Journal of Vascular Surgery*. 2015;62(4):965-73.e3.
90. Adam DJ, Beard JD, Cleveland T, Bell J, Bradbury AW, Forbes JF, et al. Bypass versus angioplasty in severe ischaemia of the leg (BASIL): multicentre, randomised controlled trial. *Lancet (London, England)*. 2005;366(9501):1925-34.
91. Almasri J, Adusumalli J, Asi N, Lakis S, Alsawas M, Prokop LJ, et al. A systematic review and meta-analysis of revascularization outcomes of infrainguinal chronic limb-threatening ischemia. *J Vasc Surg*. 2018;68(2):624-33.
92. Darling JD, Bodewes TCF, Deery SE, Guzman RJ, Wyers MC, Hamdan AD, et al. Outcomes after first-time lower extremity revascularization for chronic limb-threatening ischemia between patients with and without diabetes. *Journal of Vascular Surgery*. 2018;67(4):1159-69.
93. Schmidt A, Ulrich M, Winkler B, Kläeffling C, Bausback Y, Bräunlich S, et al. Angiographic patency and clinical outcome after balloon-angioplasty for extensive infrapopliteal arterial disease. *Catheterization and Cardiovascular Interventions*. 2010;76(7):1047-54.
94. Rutherford RB, Baker JD, Ernst C, Johnston KW, Porter JM, Ahn S, et al. Recommended standards for reports dealing with lower extremity ischemia: Revised version. *Journal of Vascular Surgery*. 1997;26(3):517-38.
95. Böhmig H, Havlicek W. Venenbypass am Bein: Reversed versus in situ oder orthograd Welcher ist besser? Mit welchen Risiken oder Problemen? *Komplikationen und Risiken in der Gefäßchirurgie*: Springer; 1999. p. 81-92.
96. Saarinen E, Kauhanen P, Söderström M, Albäck A, Venermo M. Long-term Results of Inframalleolar Bypass for Critical Limb Ischaemia. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 2016;52(6):815-22.

97. Enzmann FK, Eder SK, Aschacher T, Aspalter M, Nierlich P, Linni K, et al. Tibiodistal vein bypass in critical limb ischemia and its role after unsuccessful tibial angioplasty. *J Vasc Surg.* 2018;67(4):1191-8.
98. Rutherford RB, Jones DN, Bergentz S-E, Bergqvist D, Comerota AJ, Dardik H, et al. Factors affecting the patency of infrainguinal bypass. *Journal of Vascular Surgery.* 1988;8(3):236-46.
99. Pomposelli FB, Jr., Marcaccio EJ, Gibbons GW, Campbell DR, Freeman DV, Burgess AM, et al. Dorsalis pedis arterial bypass: durable limb salvage for foot ischemia in patients with diabetes mellitus. *J Vasc Surg.* 1995;21(3):375-84.
100. Schmiedt W, Neufang A, Dorweiler B, Espinola-Klein C, Reinstadler J, Kraus O, et al. Der kurze popliteodistale Venenbypass beim diabetischen Fußsyndrom DFS. *Zentralblatt für Chirurgie.* 2003;128(09):720-5.
101. Gargiulo M, Giovanetti F, Bianchini Massoni C, Freyrie A, Faggioli G, Muccini N, et al. Bypass to the ankle and foot in the era of endovascular therapy of tibial disease. Results and factors influencing the outcome. *The Journal of cardiovascular surgery.* 2014;55(3):367-74.

## **7 Danksagung**

Mein Dank gilt all denjenigen, die mich während der Bearbeitung meiner Dissertation unterstützt haben.

Natürlich steht an erster Stelle mein Doktorvater und Mentor. Er hat stets viel Geduld mit mir gehabt, die Arbeit intensiv betreut und wertvolle Anregungen gegeben.

Frau Dr. , Frau und Frau sowie Herr Prof. Dr. haben mich bei der Erhebung der Daten unterstützt.

Schließlich danke ich vor allem auch meiner Familie, die mich lange und ebenfalls sehr geduldig bei diesem Vorhaben unterstützt hat.